

LIMITI DI UTILIZZO DEGLI ABACHI PER IN SITUAZIONI BIDIMENSIONALI

A. Tenta, IDPA-CNR

Introduzione

Gli abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione (FA) predisposti per la Regione Emilia-Romagna fanno riferimento a situazioni stratigrafiche monodimensionali, (Regione Emilia-Romagna, 2007).

Tuttavia, in particolare negli ambienti geolitologici appenninici non sono infrequenti valli con un marcato carattere bidimensionale.

L'importanza e l'entità degli effetti di strutture geologiche locali bi- o tridimensionali sul moto sismico sono da tempo noti, vedi ad esempio (Bard e Riepl-Thomas, 1999).

La loro significativa rilevanza da un punto di vista applicativo ha portato alla presentazione di proposte per la loro inclusione nei codici sismici, vedi ad esempio (Chavez-Garcia e Faccioli, 2000).

L'obiettivo di questa nota è definire, con semplici indicatori geometrici, i limiti per l'impiego degli abachi della Regione Emilia-Romagna in relazione ai propri specifici ambienti geolitologici appenninici.

E' stata effettuata, per alcune situazioni caratteristiche semplificate, la modellazioni della risposta sismica bidimensionale che è stata confrontata con l'equivalente risposta monodimensionale. I limiti per l'impiego degli abachi negli ambienti appenninici sono stati elaborati in funzione di semplici indicatori geometrici e assumendo alcuni criteri descritti in questa nota.

Casistica analizzata

Sono state analizzate valli, di geometria semplificata, con larghezza compresa fra 1600 e 200 metri e profondità compresa fra 60 e 20 metri. La figura 1 mostra alcuni esempi delle geometrie utilizzate. Per quanto riguarda le caratteristiche sismiche dei depositi di copertura si è fatto riferimento ai profili di velocità utilizzati in ambiente appenninico per la costruzione degli abachi. In particolare si è utilizzato il profilo, denominato **p2** negli abachi, che è riportato in figura 2.

Per questo profilo la tabella 1 riporta in funzione delle profondità delle valli utilizzate i valori di V_{SH} , riferibili quindi alla parte piatta dell'interfaccia.

H (m)	20	30	40	50	60
V_{SH} (m/s)	234	258	283	310	331

Tabella 1: Profondità valle e V_s media a centro valle

Analogamente alle elaborazioni degli abachi, si sono considerati due tipi di substrato: il primo più rigido con V_s di 1400 m/s il secondo con V_s di 800 m/s. Il substrato è stato assunto omogeneo.

Metodologia

Per il calcolo della risposta sismica bidimensionale è stato utilizzato un codice di calcolo che considera l'incidenza di onde piane SH su valli con stratificazioni orizzontali (Bard e Gariel, 1986). Le caratteristiche del metodo limitano i casi analizzabili a strutture con interfacce con pendenza

inferiore a 35°, inoltre la frequenza massima analizzabile corrisponde a una lunghezza d'onda nel bedrock di ampiezza uguale alla profondità della valle.
Il comportamento dei suoli è considerato lineare.

La risposta sismica bidimensionale calcolata sulla superficie della valle è confrontata con la risposta monodimensionale calcolata con la struttura 1d locale, ovvero assumendo lateralmente omogenea la stratigrafia al di sotto dei punti considerati. Il codice di calcolo utilizzato segue la metodologia classica, ad esempio (Schnabel et al. 1972), considerando lineare il comportamento dei suoli analogamente alle elaborazioni 2d.

La risposta sismica è espressa in termini di Fattore di Amplificazione dell'intensità spettrale valutata per $0.1 \text{ s} < T_0 < 0.5 \text{ s}$ (FA).

FA rappresenta l'amplificazione rispetto a un suolo A, ovvero a una stratigrafia monodimensionale con $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$.

Questo implica che nel caso di bedrock con V_s di 1400 m/s, FA risulta essere ridotta di un fattore di 1.3 rispetto all'amplificazione valutata rispetto al bedrock affiorante, ovvero all'esterno della valle.

Analogamente alle elaborazioni degli abachi, il moto di input, riferito al suolo A, è rappresentato da 10 accelerogrammi il cui spettro di risposta è compatibile con la forma spettrale della pericolosità sismica ($T_r=475$ anni) per la Regione Emilia-Romagna. Trattandosi di modellazioni lineari, l'ampiezza del moto non è influente. La frequenza massima analizzabile con la modellazione 2d è 12.5 Hz, gli accelerogrammi sono stati quindi opportunamente ricampionati.

La figura 3 mostra un esempio delle elaborazioni effettuate e permette di valutare la sensibilità di Fa rispetto al moto di input utilizzato.

Poiché l'incidenza del moto è verticale e la valle è simmetrica, sono visualizzati i risultati relativi a metà valle: nel pannello inferiore è riportato il profilo della valle, negli altri pannelli sono visibili gli FA dei singoli accelerogrammi e per i casi 1d e 2d gli FA medi che sono le elaborazioni considerati nelle analisi successive.

Si osserva una significativa variabilità di FA, maggiore per il caso 2d, che conferma la validità dell'utilizzo di un set di accelerogrammi di input per ottenere risultati medi relativamente robusti.

Risultati

Fra i numerosi casi analizzati, ne vengono mostrati e commentati alcuni ritenuti particolarmente significativi.

Nella figura 4 sono riportati i risultati relativi al caso di una *valle larga*, caratterizzata da:

- larghezza di 1600 m
- profondità 50 m
- tre differenti pendenze del bordo, con discontinuità laterali che si estendono fino a circa 100 m, 200 m e 300 m dal bordo valle
- bedrock di 1400 m/s

Nella figura sono visibili la geometria della valle, gli FA 1d e 2d e il rapporto fra FA bidimensionali e monodimensionali.

Si osserva:

- in prossimità del bordo della valle l'amplificazione 1d è superiore a quella 2d
- a parte la considerazione precedente, la rilevanza dell'amplificazione 2d si estende fino a una distanza dal bordo della valle (P) che è proporzionale all'estensione della discontinuità laterale (D). In particolare, nel caso della figura 4, $D = 100, 200$ e 300 metri. Basandosi anche sui risultati di altre valli con differenti valori di D, si può stimare $P = D/2 + 140$.
- Non si osservano differenze fra l'amplificazione 2d e 1d verso il centro della valle

- i risultati ottenibili con valli di larghezza maggiore sono sostanzialmente analoghi a quelli relativi a questa valle. I risultati mostrati in figura sono quindi assimilabili a quelli di una *valle aperta*.

Analogamente, nella figura 5 sono riportati i risultati relativi al caso di una *valle stretta*, caratterizzata da:

- larghezza di 400 m
- profondità di 20 m, 40 m e 60 m
- discontinuità laterale che si estende fino a metà valle
- bedrock di 1400 m/s

Si osserva:

- in prossimità del bordo della valle l'amplificazione 1d è superiore a quella 2d
- la rilevanza dell'amplificazione 2d si estende per tutta la superficie della valle ed è maggiormente significativa al centro
- l'entità della differenza fra l'amplificazione 2d e 1d aumenta con la profondità della valle

Infine, nella figura 6 si evidenziano le differenze relative al riferimento rispetto al quale è valutata la risposta sismica analizzando due valli con caratteristiche geometriche uguali ma con differente velocità del substrato. Si osserva:

- FA valutato rispetto al suolo A (pannelli superiori della figura) relativo al substrato meno rigido è maggiore rispetto a quello relativo al substrato più rigido per quanto il caso 1d ed è comparabile per quanto riguarda la modellazione 2d.
- La risposta sismica valutata rispetto al bordo valle (pannelli intermedi) indica viceversa una maggiore amplificazione per la valle con substrato più rigido. Come già ricordato, risulta che l'amplificazione rispetto al bordo valle, nel caso di substrato con V_s 1400 m/s, viene ridotta di un fattore 1.3 per ottenere quella relativa al suolo A.

Confronto con gli abachi

Un confronto diretto fra FA contenuti negli abachi e quelli ricavati con la modellazione bidimensionale non è possibile. I primi sono stati valutati considerando il comportamento non lineare dei suoli e si riferiscono al 84 percentile dei valori ottenuti perturbando il profilo di V_s medio che caratterizza l'ambito geolitologico considerato. Inoltre le modellazioni bidimensionali illustrate in questa nota non considerano la non linearità dei suoli e per evidenziare l'influenza dei fattori geometrici che caratterizzano la forma della valle, il profilo di velocità dei depositi di copertura è stato considerato fisso per tutti i casi analizzati.

Si è quindi scelto di valutare il rapporto $R = FA_{2d} / FA_{1d}$ come indicatore dell'entità degli effetti bidimensionali. In particolare si considera:

- il valore di R che viene superato nel 15% dei punti della valle
- il valore di R che viene superato nel 15% dei punti del bordo valle, ovvero interni alla zona P, definita precedentemente e proporzionale alla estensione della discontinuità laterale
- la larghezza e la profondità della valle indipendentemente dalla geometria della discontinuità laterale come unici indicatori delle caratteristiche delle valli
- il valore $R=1.3$ come soglia per ritenere validi i fattori di amplificazione ottenuti con gli abachi. Questa soglia tiene conto:
 - i valori di FA riportati negli abachi considerano cautelativamente (84 percentile) i valori di amplificazione sismica, come ricordato precedentemente.
 - la differenza fra l'amplificazione 2d e 1d verosimilmente diminuirebbe se si considerasse la non linearità dei suoli, come è stato fatto per gli abachi

- la limitazione nell'utilizzo degli abachi deve essere relativa a differenze significative fra le amplificazione 2d e 1d

Nella figura 7 è mappato il valore di R in funzione della larghezza e della profondità della valle, relativamente ai due substrati e alle condizioni sopra riportate (superato nel 15% dei punti della valle e dei punti interni alla zona P).

Si osserva che solo per quanto riguarda il substrato con $V_s = 800$ m/s, R rimane sostanzialmente inferiore al valore di soglia di 1.3. I corrispondenti abachi possono essere utilizzati senza limitazioni.

Nelle figure 8-11 vengono riportati alcuni esempi di risultati che illustrano l'applicazione del criterio descritto precedentemente.

La sintesi dei risultati per il substrato di 1400 m/s è illustrata in figura 12 dove in funzione della larghezza e della profondità della valle è indicata: la non applicabilità degli abachi a tutta la valle e la non applicabilità degli abachi al bordo valle, la cui estensione può essere stimata con il parametro P definito precedentemente.

Nella seguente tabella è riportata, in funzione della larghezza della valle, la profondità limite per l'utilizzo degli abachi dedotta dai risultati di figura 12.

Si può inoltre individuare la profondità limite di 50 metri per l'utilizzo degli abachi in corrispondenza del bordo valle.

Larghezza valle (m)	200	300	400	500	600	700
Profondità valle (m)	30	30	35	35	40	50

Tabella 2: Limiti di utilizzo degli abachi per il substrato con V_s 1400 m/s

Per quanto riguarda il substrato con V_s di 800 m/s, l'unico caso di inapplicabilità è quello relativo al caso estremo di una valle di larghezza 200 metri e profondità 60 metri. Gli abachi sono quindi sempre applicabili.

Infine nella figura 13 è riportato un confronto fra i risultati elaborati in questa nota e i limiti per l'applicabilità degli abachi adottati in (Gruppo di Lavoro MS, 2008) sulla base del lavoro di (Bard e Bouchon, 1985). In quest'ultimo lavoro viene individuato, in funzione del contrasto di velocità fra substrato e valle, un limite del rapporto fra profondità e semilarghezza della valle oltre al quale gli effetti bidimensionali sono causati dalla risonanza della valle e sono di notevole entità.

Per la valutazione del contrasto di velocità nei casi analizzati si sono utilizzate i valori di V_{sH} relativi al centro valli riportati in tabella 1.

Dalla figura 13 si evince che i limiti riportati in (Gruppo di Lavoro MS, 2008) appaiono più cautelativi rispetto a quelli individuati, utilizzando altri criteri, in questa nota.

Riferimenti

Bard P.-Y., M. Bouchon, 1985. The two-dimensional resonance of sediment filled valleys. Bull. Seism. Soc. Am. 75, 519–541.

Bard P.-Y., J. C. Gariel, 1986. The seismic response of two-dimensional sedimentary deposits with large vertical velocity gradient. Bull. Seis. Soc. Am., 76, 343-346.

Bard P.-Y., J. Riepl-Thomas, 1999. Wave propagation in complex geological structures and local effects on strong ground motion. In "Wave motion in earthquake engineering", E. Kausel and G.D. Manolis Editors, WIT Press, 1999. p. 38-95.

Chavez-Garcia F. J., E. Faccioli, 2000. Complex site effects and building codes: making the leap. Journal of Seismology, Vol. 4, No. 1, pp. 23-40.

Gruppo di Lavoro MS, 2008. Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e DVD.

Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC, 2008. Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale n. 29, 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30.

Rassem M., A. Ghobarah, A. C. Heidebrecht, 1997. Engineering perspective for the seismic response of alluvial valleys. Earthq. Engng. Struct. Dyn. 26, 477–493.

Regione Emilia-Romagna, 2007. Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica. Delibera dell'Assemblea Legislativa n. 112/2007

Schnabel P. B., J. Lysmer, H. B. Seed, 1972. SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Report n. EERC.72-12, University of California, Berkeley.

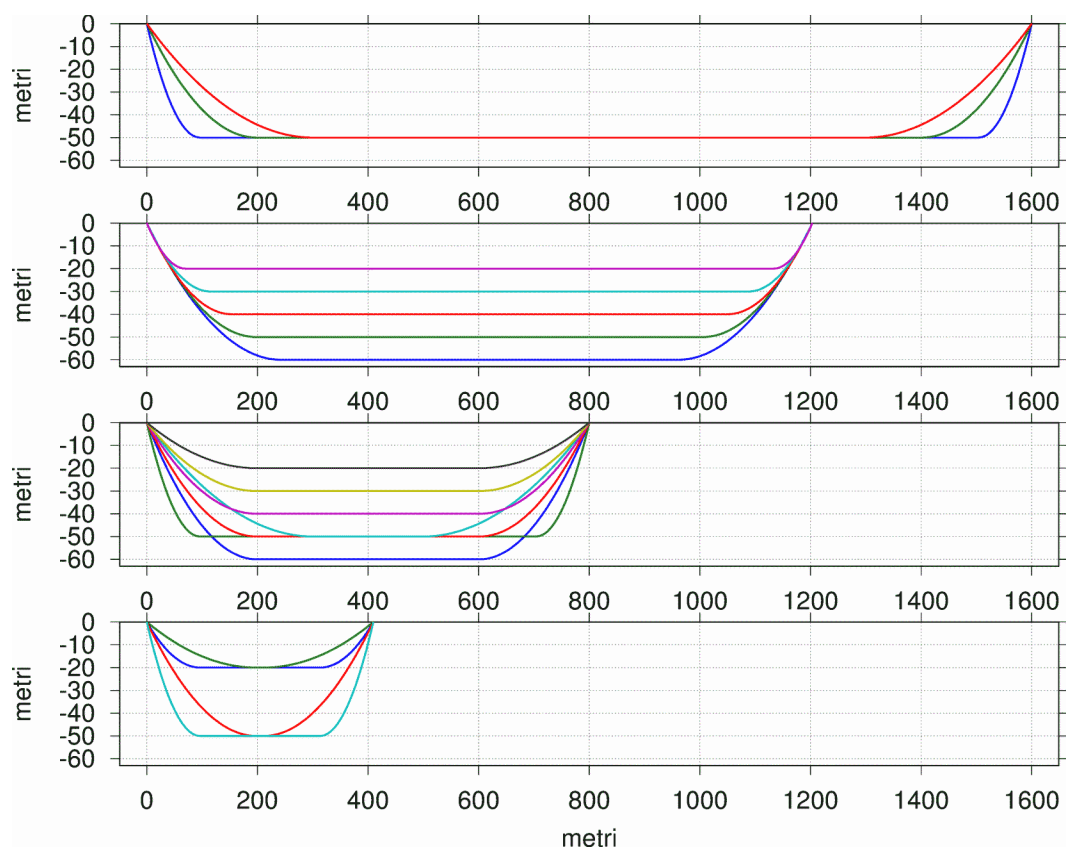


Figura 1: Geometria delle valli utilizzata per la modellazione della risposta sismica

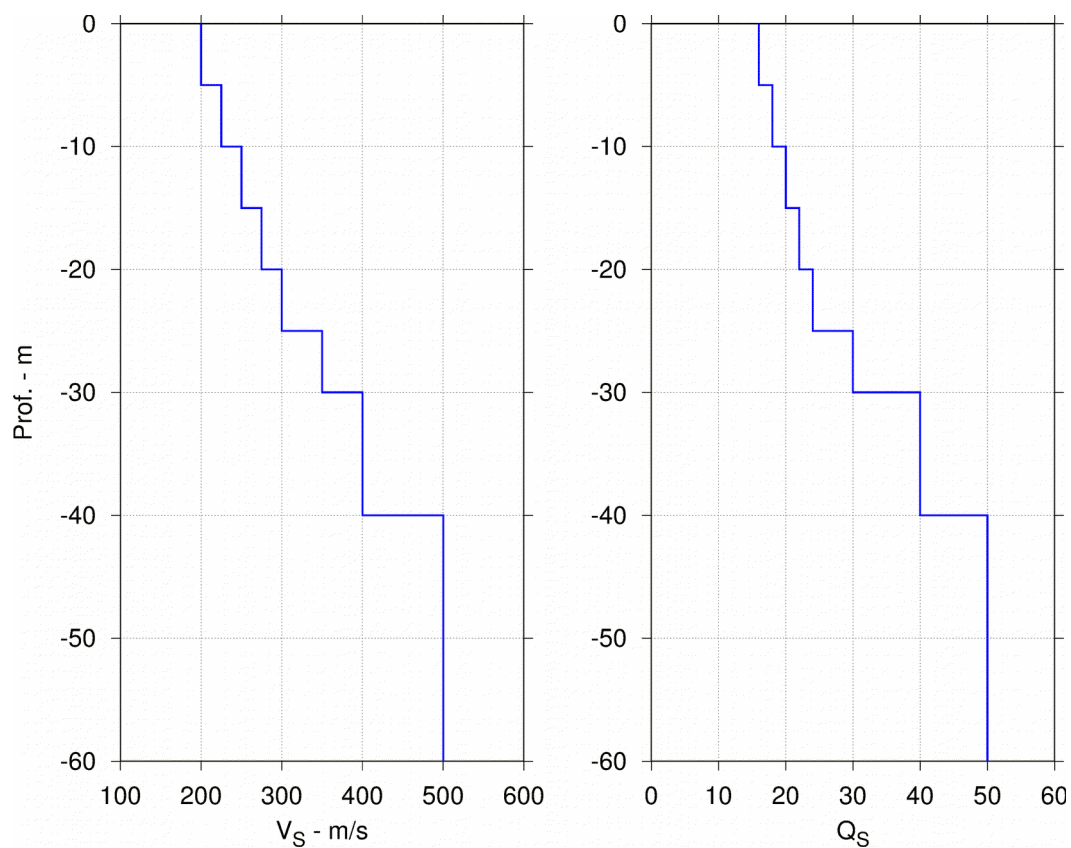


Figura 2: Profili di V_S e Q_S dei depositi di copertura delle valli

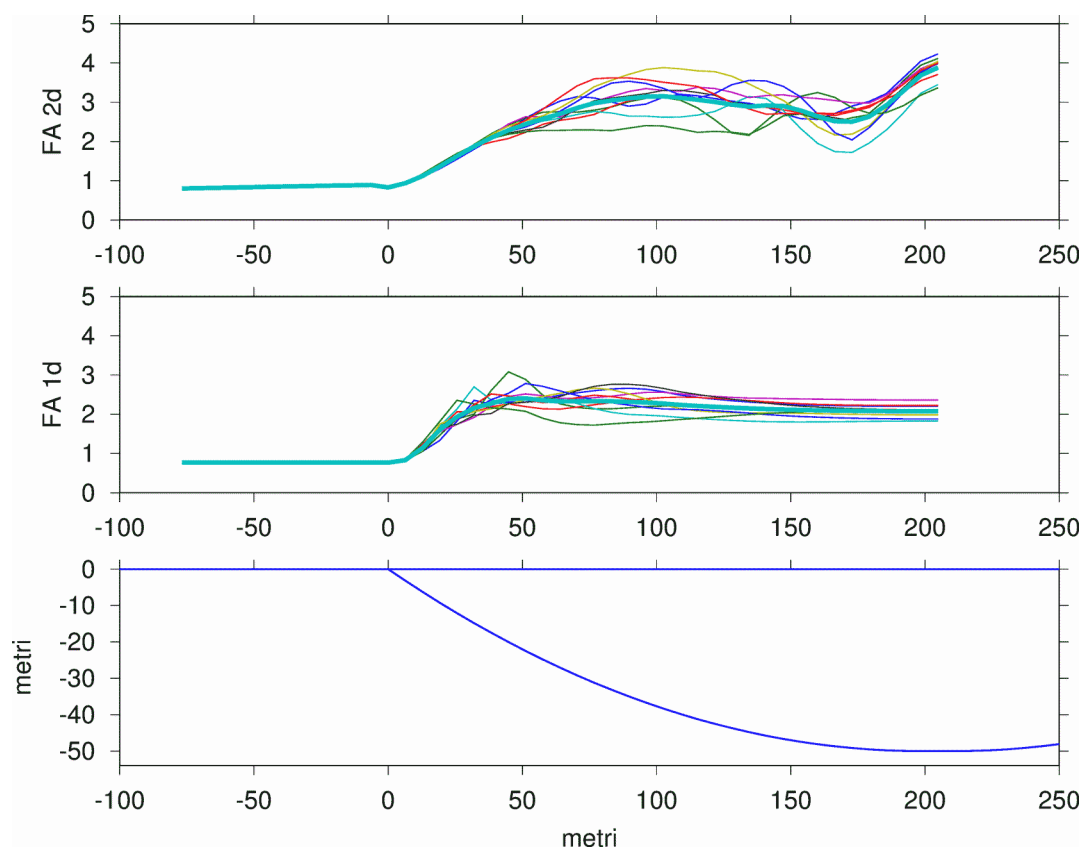


Figura 3: Esempio di risultati. Pannello inferiore: geometria valle, pannelli superiori: linee sottili: FA dei singoli accelerogrammi, linee spesse FA medi

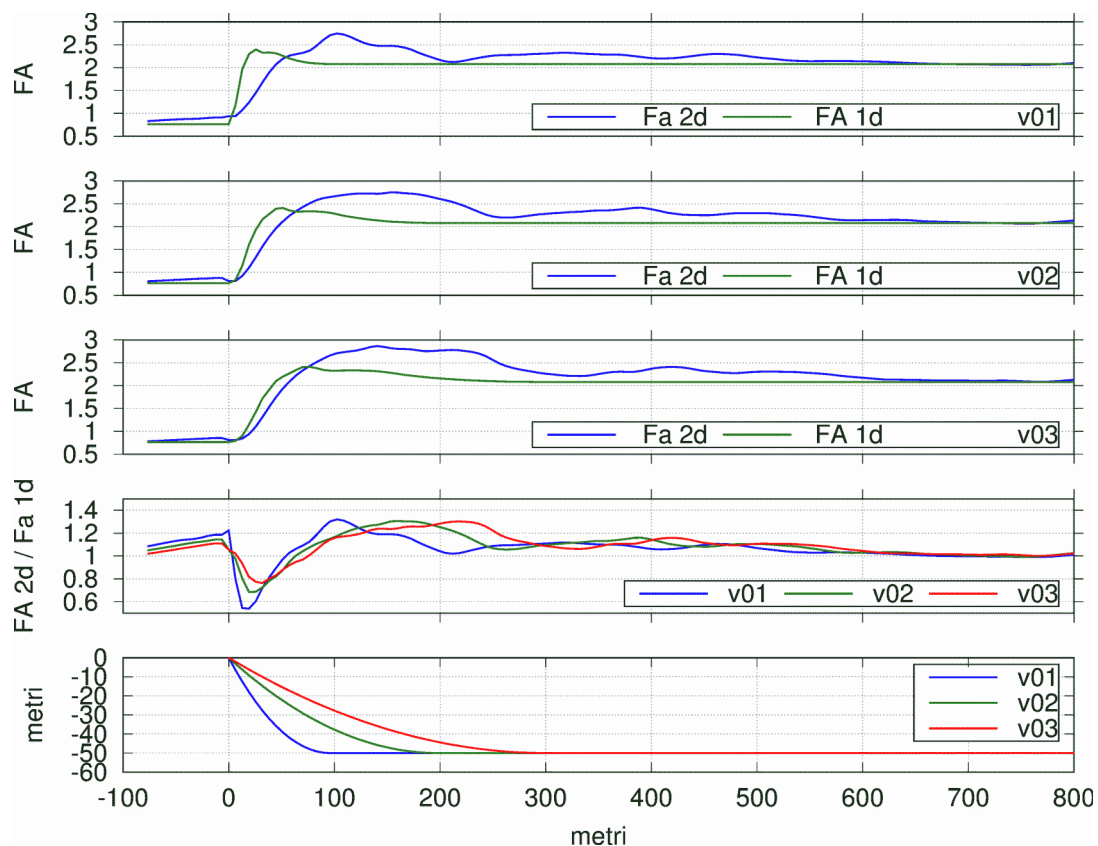


Figura 4: Valle di larghezza 1600 m, bedrock 1400 m/s e tre pendenze del bordo. Nei pannelli superiori: FA 2d, FA 1d e loro rapporto

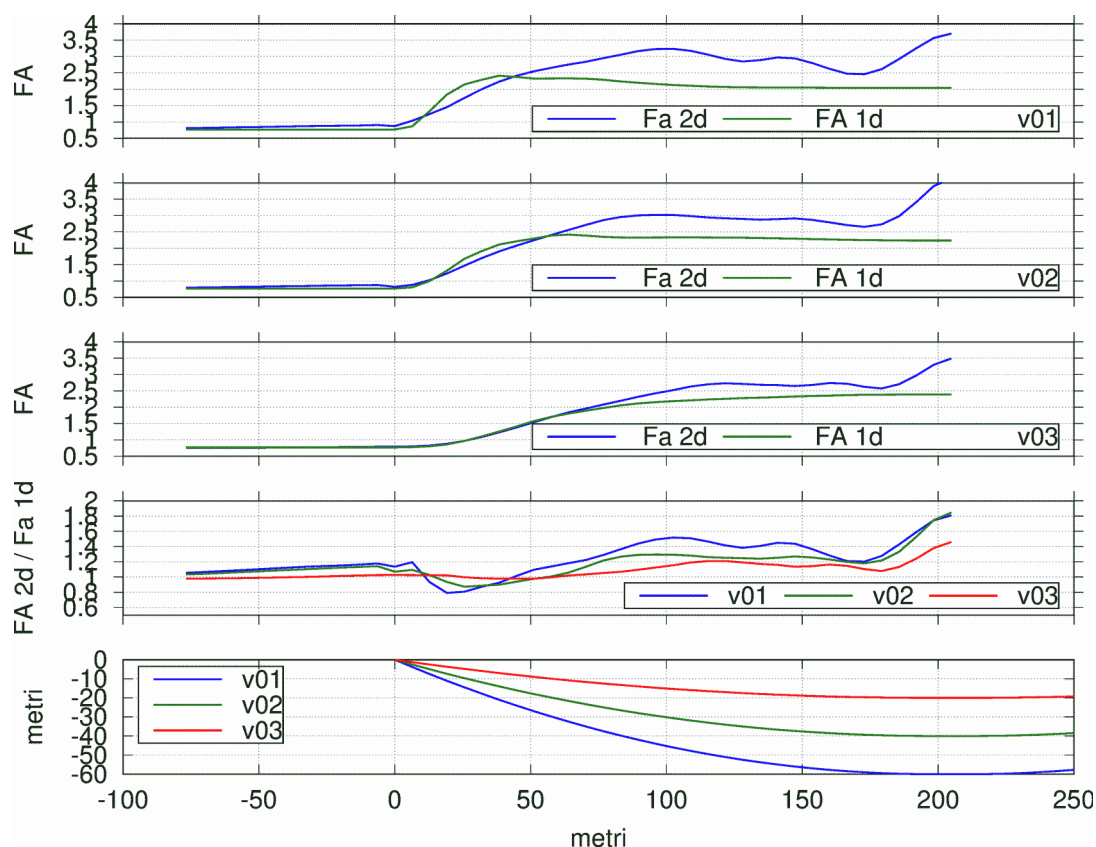


Figura 5: Valle di larghezza 400 m, profondità di 20 m, 40 m, e 60 m. Bedrock 1400 m/s. Nei pannelli superiori FA 2d, FA 1d e loro rapporto

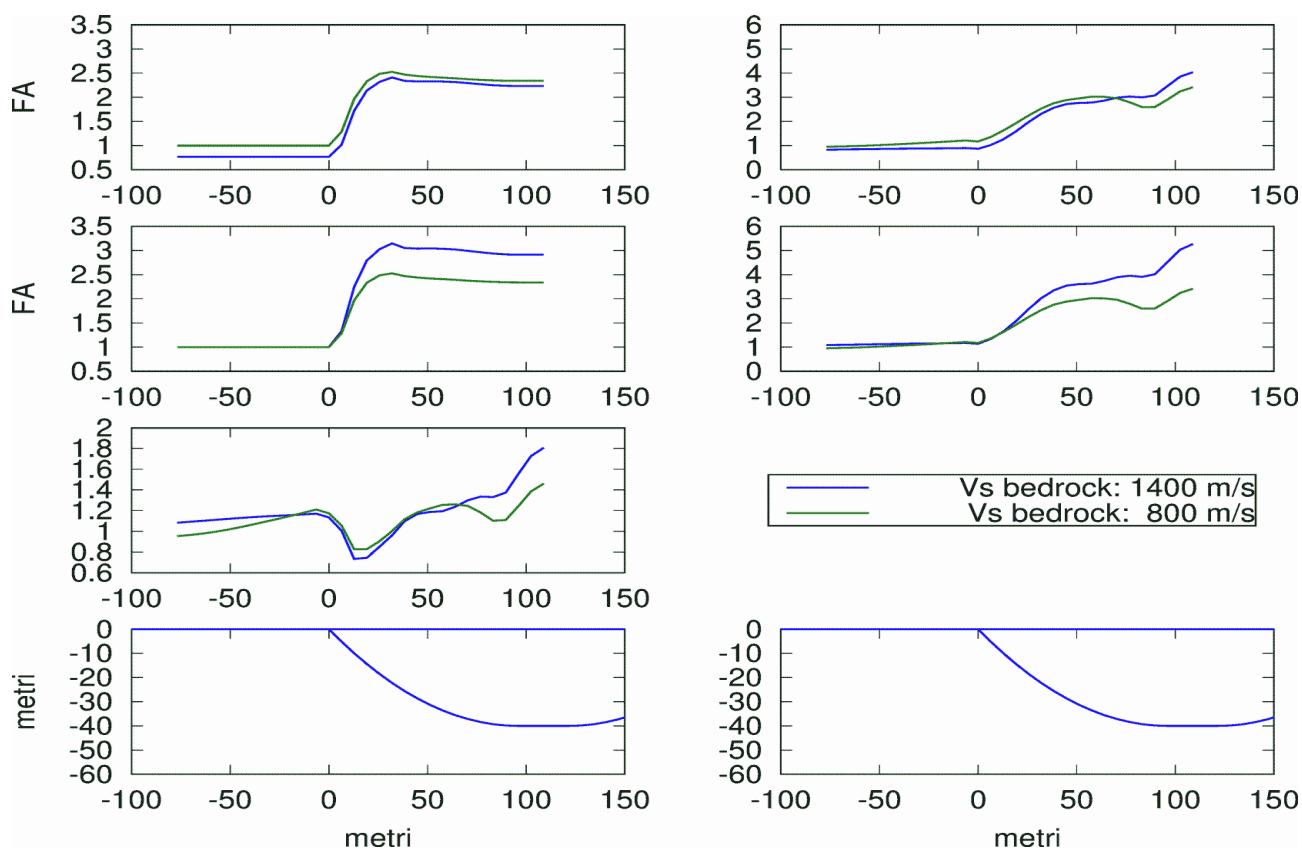


Figura 6: Valle di larghezza 200 m, profondità 50 m con bedrock 1400 m/s e 800 m/s. Nei pannelli superiori: Fa rispetto al suolo A (1d sinistra 2d destra). Pannelli intermedi: amplificazione rispetto al bordo valle (1d sinistra 2d destra). Pannello singolo intermedio: rapporto FA 2d/1d

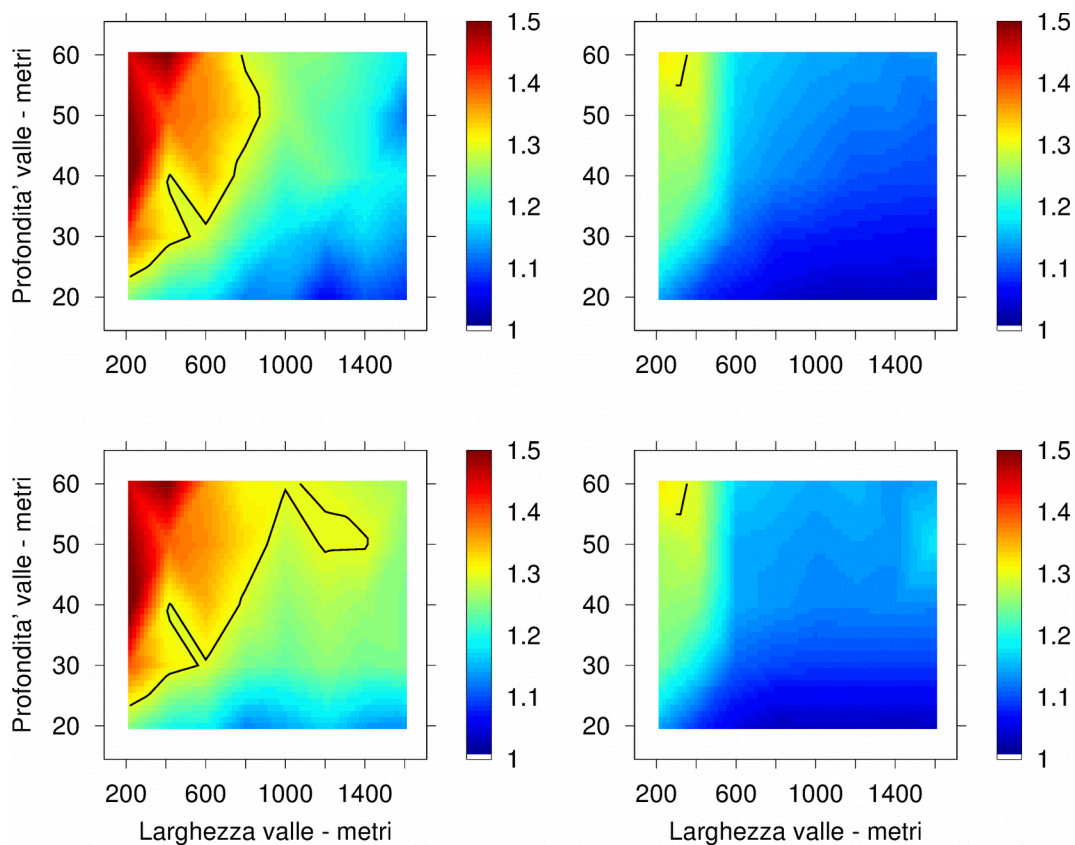


Figura 7: Rapporto $R=FA_{2d}/FA_{1d}$ superato nel 15% dei punti della valle (pannelli superiori) e nel 15% della zona P (pannelli inferiori). Substrato: 1400 m/s (pannelli di sinistra), 800 m/s (pannelli di destra). Linea nera: $R=1.3$

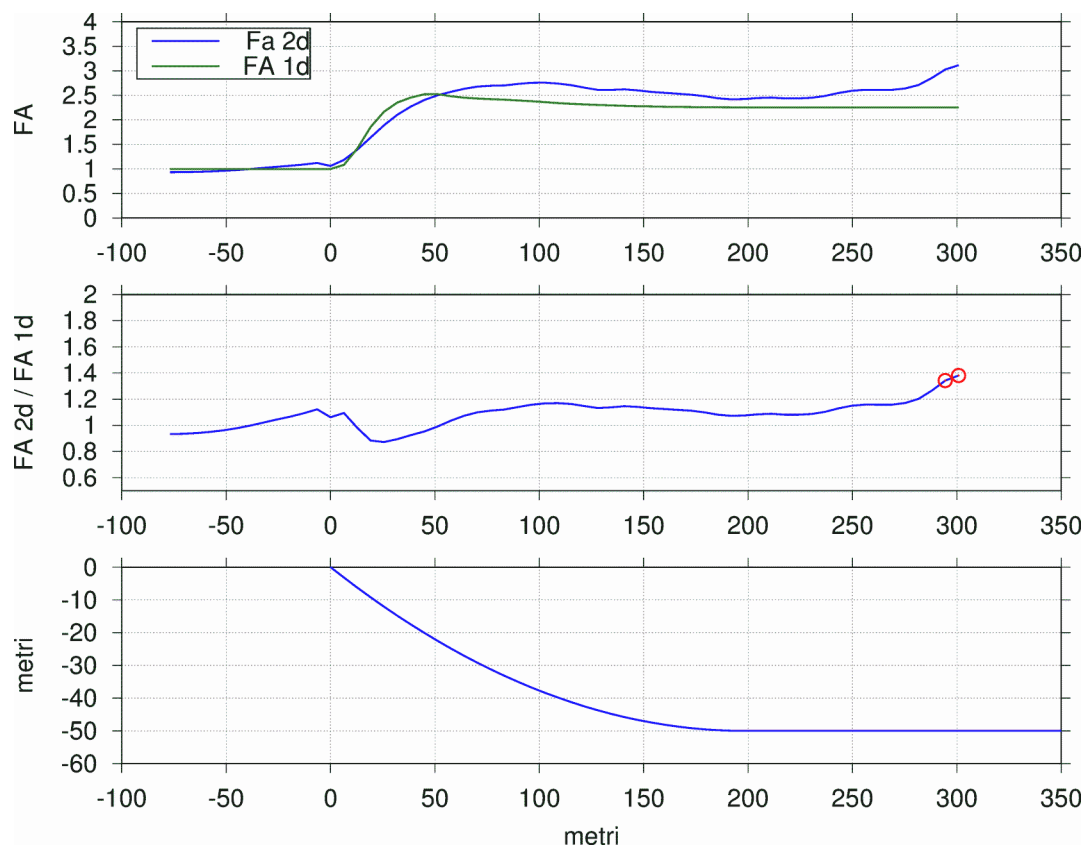


Figura 8: I pallini indicano i punti dove $R>1.3$. La condizione si verifica in una zona di estensione minore al 15% della larghezza della valle. Bedrock 800 m/s

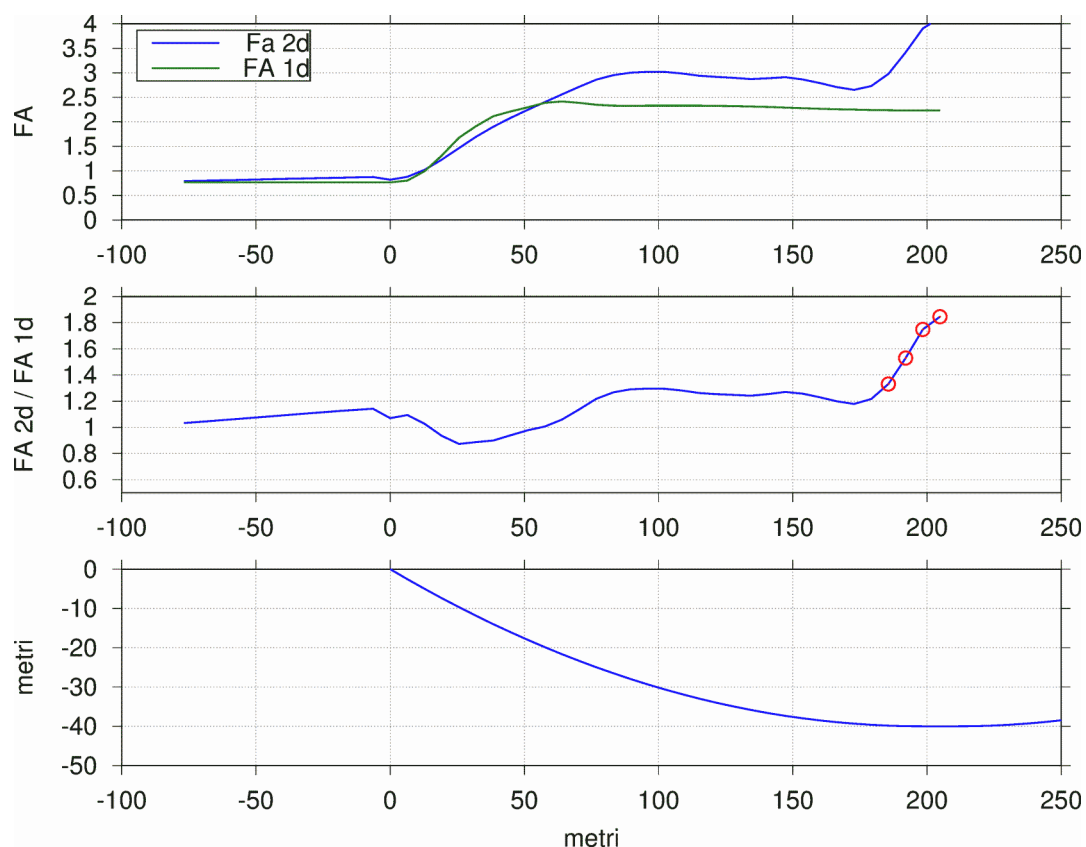


Figura 9: I pallini indicano i punti dove $R > 1.3$. La condizione si verifica in una zona di estensione maggiore al 15% della larghezza della valle. Bedrock 1400 m/s

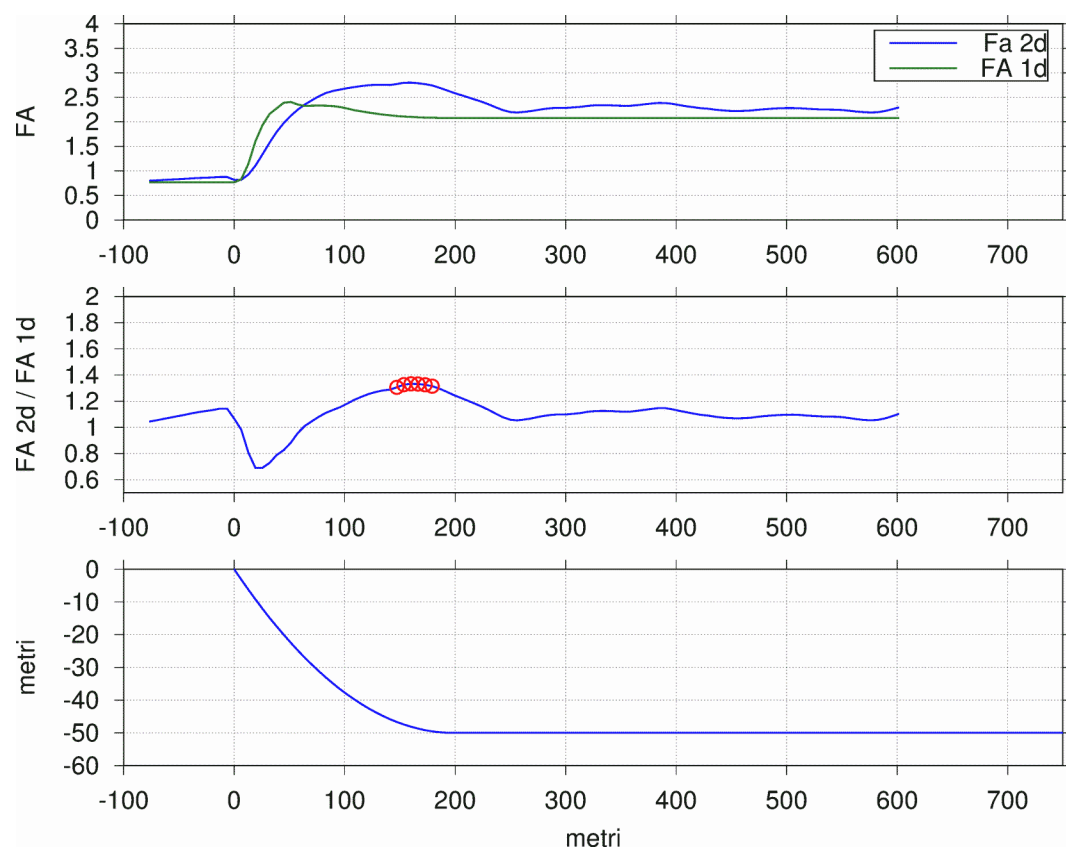


Figura 10: I pallini indicano i punti dove $R > 1.3$. La condizione si verifica in una zona di estensione maggiore al 15% del bordo valle P. Bedrock 1400 m/s

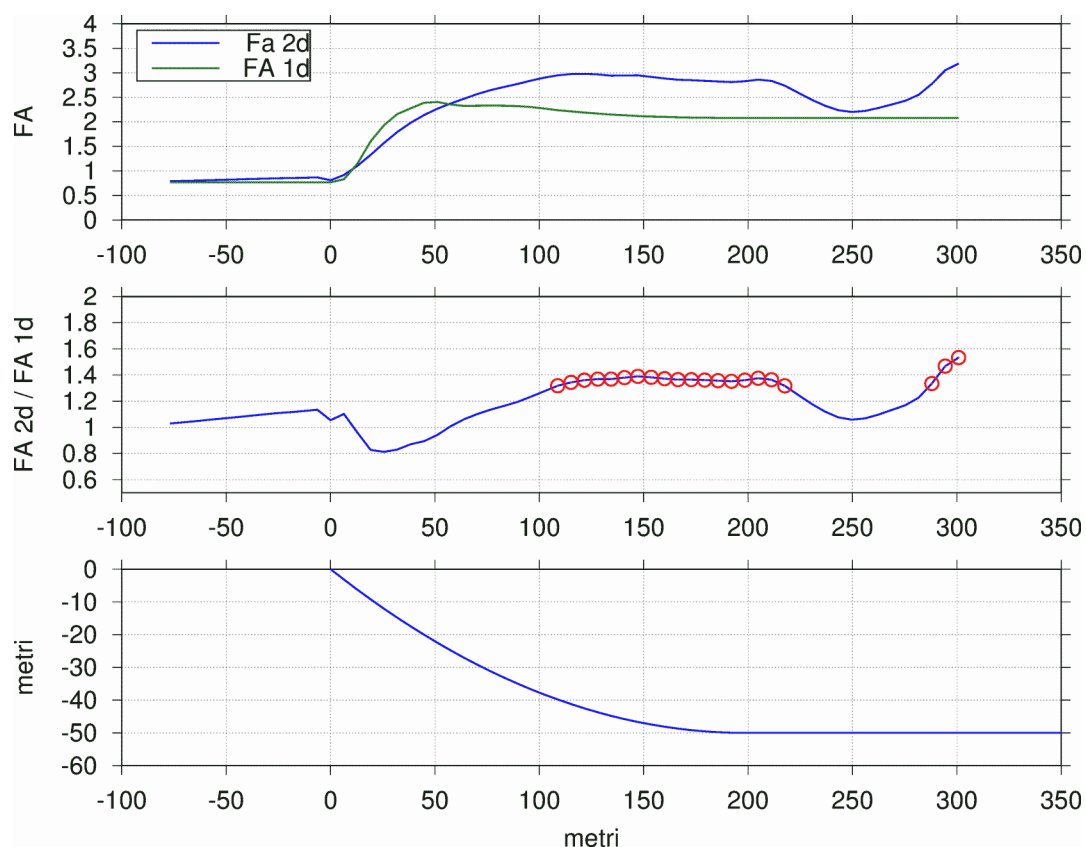


Figura 11: I pallini indicano i punti dove $R > 1.3$. La condizione si verifica in una zona di estensione maggiore al 15% sia della larghezza che del bordo valle P. Bedrock 1400 m/s

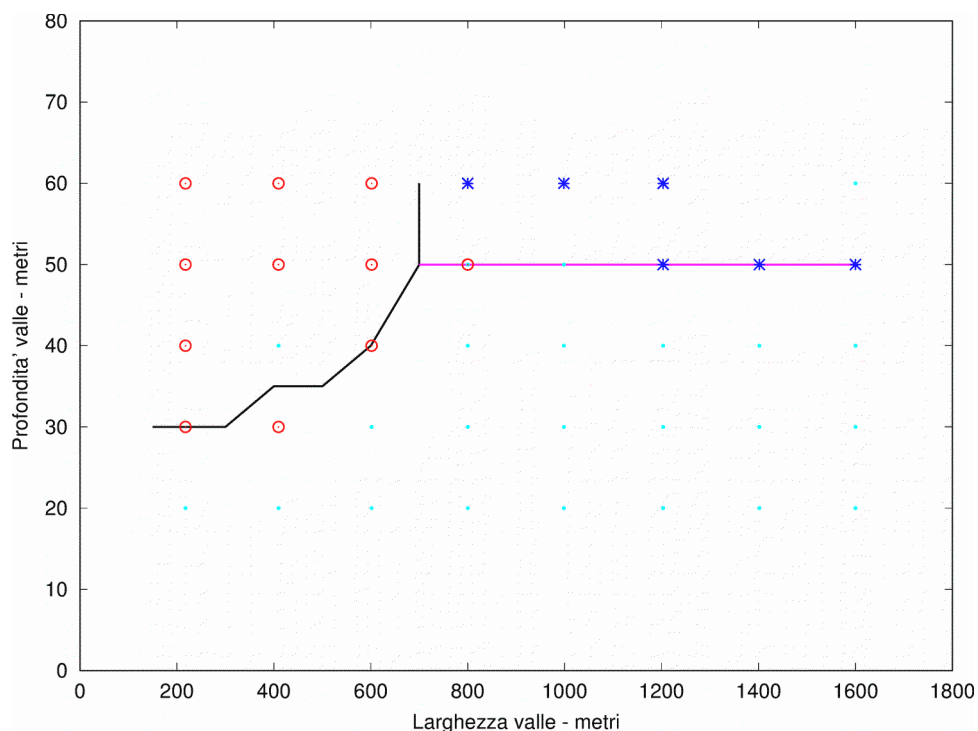


Figura 12: Sintesi dei risultati per substrato 1400 m/s. Pallini rossi: abachi non applicabili, asterischi: abachi non applicabili al bordo valle. La linea nera delimita l'area di non applicabilità degli abachi, la linea magenta delimita l'area di non applicabilità degli abachi al bordo valle

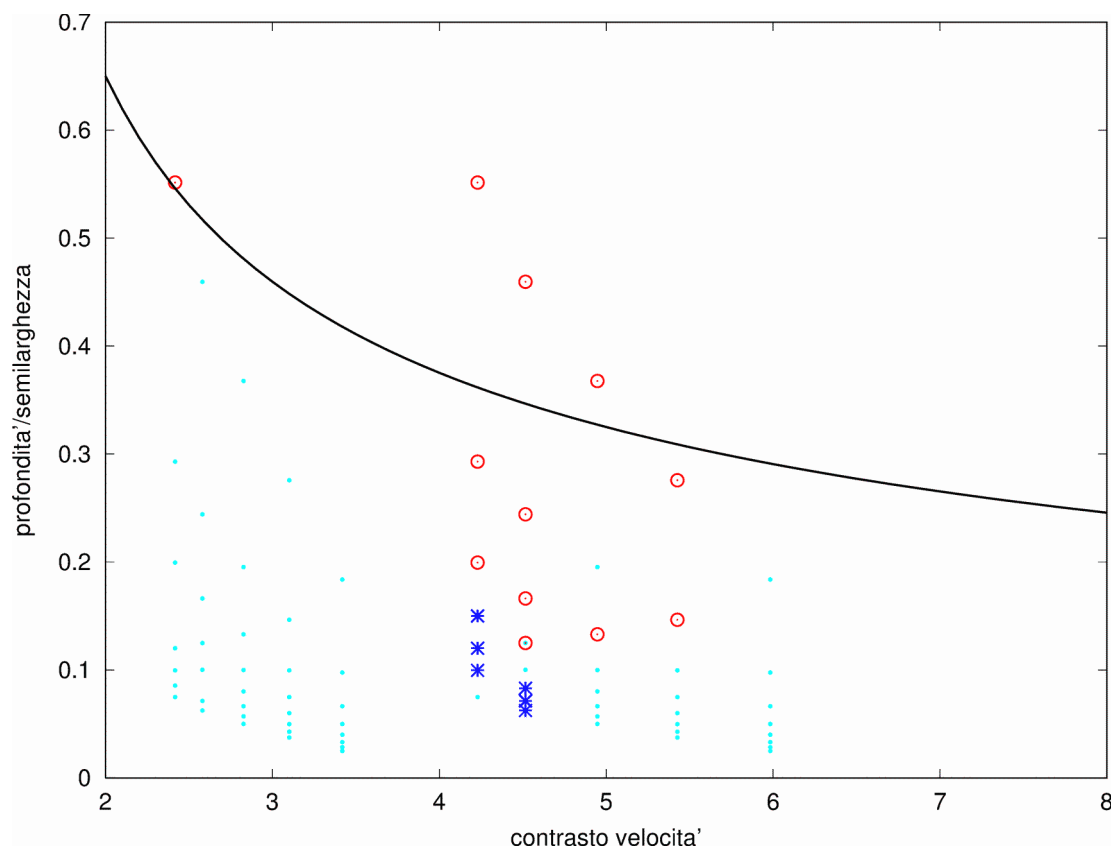


Figura 13: Pallini rossi: abachi non utilizzabili. Asterischi: abachi non utilizzabili al bordo valle. Linea nera: limite per applicabilità abachi individuata in (Gruppo di Lavoro MS, 2008)