

APPENDICE

Applicabilità degli abachi per la microzonazione sismica di livello 2

G.Peruzzi e D.Albarello

Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente – Università di Siena

Introduzione

In seguito all'adozione da parte della Regione Toscana di abachi per la microzonazione sismica di livello 2, si è sviluppata l'esigenza di verificare quali contesti geologici, geomorfologici e morfologici fossero riducibili in modo semplificato a modelli monodimensionali e per i quali gli abachi fossero applicabili e quali invece richiedessero l'applicazione di modelli più complessi.

A questo scopo è stato costruito un modello di bacino di forma semplice per il quale è stata calcolata la risposta sismica locale con codici di calcolo monodimensionali (Rathje E.M., Kottke A., 2013) e bidimensionali (Sanò, 1996; Pagliaroli et al., 2014). I risultati delle simulazioni sono stati confrontati con quelli previsti dall'applicazione degli abachi recentemente adottati in Toscana.

Il modello

Per le simulazioni descritte in seguito è stato ipotizzato un bacino di larghezza fissata ($L=750$ m) circondato da una superficie topografica completamente pianeggiante, come è possibile vedere nell'esempio riportato in Figura 1.



Figura 1. Esempio delle sezioni utilizzate per il calcolo della RSL in 2D (in questo caso la profondità del bacino è 50m, l'inclinazione reale dei bordi è 14°)

La profondità del bacino, l'inclinazione dei suoi bordi, le proprietà dei materiali di riempimento del bacino e del "substrato geologico" (modellati con equazioni costitutive viscoelastiche) sono tutte state variate in modo da poter descrivere una casistica sufficientemente ampia.

In pratica sono state prese in considerazione tre profondità del bacino (25, 50 e 150 metri) e sezioni con tre possibili tipologie di inclinazioni dei bordi: intermedia (sezione tipo 0), alta (sezione tipo 1), bassa (sezione tipo 2). Alla fine si sono ottenute nove diverse sezioni diverse dal punto di vista geometrico, alle quali occorre aggiungerne una avente due materiali di riempimento del bacino (Figura 2), e quindi tre materiali totali, rispetto ai due delle altre.

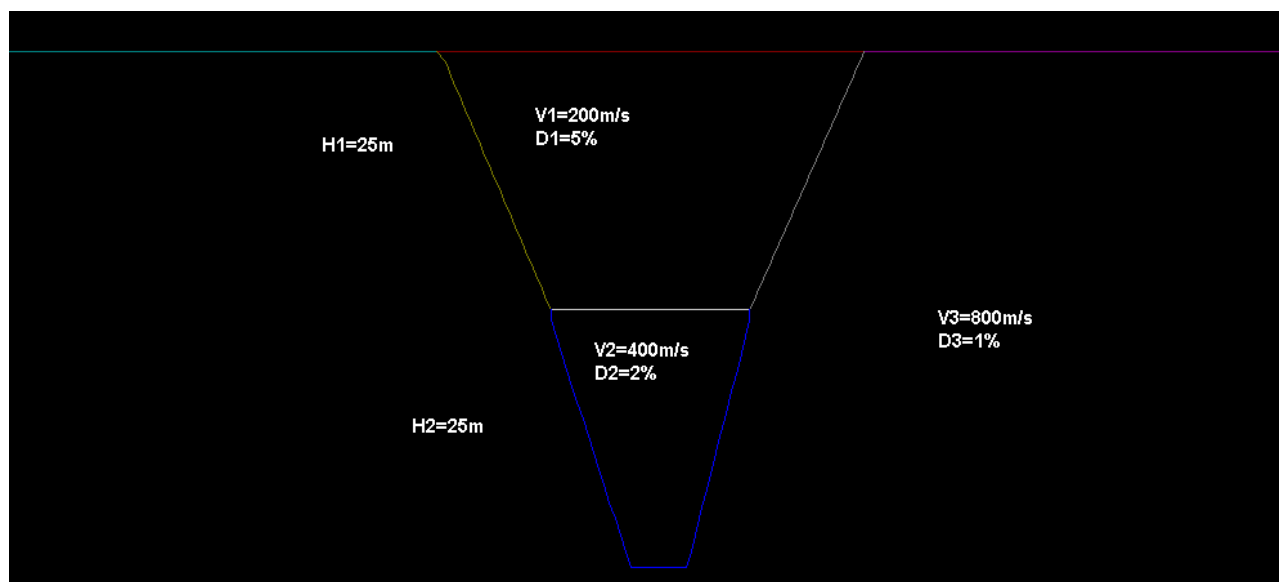


Figura 2. Esempio delle sezione avente il bacino riempito da due materiali con diversa velocità delle onde S (V) e smorzamento (D)

Per aver un quadro completo delle inclinazioni reali (in gradi sessagesimali) dei bordi dei bacini aventi le combinazioni geometriche sopra descritte si rimanda alla sottostante Tabella 1:

Tabella 1. Tabella delle inclinazioni (in gradi sessagesimali) delle sezioni con diversa geometria

sezione	profondità (m)			
	25	50	150	25+25
<i>tipo 0</i>	7°	14°	37°	-
<i>tipo 1</i>	14°	27°	56°	-
<i>tipo 2</i>	5°	9°	27°	-
<i>3 materiali</i>	-	-	-	7°+11°

Per quanto riguarda le proprietà dei materiali costituenti il riempimento del bacino o il materiale incassante sono state elaborate diverse combinazioni di velocità delle onde S e di smorzamento, riassunte schematicamente in Tabella 2. Come si vede sono stati considerati tre valori del contrasto di impedenza (pari a 2, 3 e 4 rispettivamente) e diversi valori dello smorzamento (1, 2 e 5%).

E' da notare che in tutti i casi considerati, l'abaco proposto da Bard, P. Y. e Bouchon, M. (1985) non prevedeva la presenza di effetti di risonanza di bacino.

Tabella 2. Tabella delle combinazioni dei valori di velocità delle onde S (V) e dello smorzamento (D). Si sottolinea che i valori più alti di velocità e smorzamento corrispondono a quelli del materiale incassante

	<i>n° materiali</i>	<i>V1 (m/s)</i>	<i>V2 (m/s)</i>	<i>V3 (m/s)</i>	<i>D1 (%)</i>	<i>D2 (%)</i>	<i>D3 (%)</i>
<i>combinazione 1</i>	2	200	400	-	2	1	-
<i>combinazione 2</i>	2	200	400	-	5	1	-
<i>combinazione 3</i>	2	400	800	-	2	1	-
<i>combinazione 4</i>	2	400	800	-	5	1	-
<i>combinazione 5</i>	2	200	800	-	2	1	-
<i>combinazione 6</i>	2	200	600	-	2	1	-
<i>combinazione 7</i>	3	200	400	800	5	2	1

La risposta sismica locale bidimensionale

La risposta sismica del bacino è stata valutata attraverso l'utilizzo del codice di calcolo *Besoil* (Sanò, 1996) che utilizza il metodo degli elementi di contorno per effettuare analisi di RSL nelle due dimensioni. Come moto in input è stato utilizzato un accelerogramma artificiale già utilizzato per lo studio della risposta sismica locale nell'area aquilana. In realtà, trattandosi di una modellazione in campo lineare e dovendo valutare effetti relativi fra le diverse parti del bacino e all'esterno di quest'ultimo (substrato sismico affiorante), i caratteri del sismogramma non sono di fatto importanti. I calcoli sono stati eseguiti utilizzando le componenti in-piano del moto sismico (onde P, SV e Rayleigh).

Come risultato della simulazione sono stati presi in considerazione gli spettri di risposta in accelerazione (S_a), nella componente orizzontale del moto, di tutti gli elementi sulla superficie libera dal centro all'"unghia" del bacino, oltre allo spettro di risposta in accelerazione di un elemento esterno (S_b) posto a 300 m dalla chiusura del bacino.

Per gli intervalli di periodi contemplati negli abachi della Regione Toscana è stato calcolato il fattore di amplificazione (FA) secondo la seguente relazione:

$$AF = \frac{\int_{T_1}^{T_2} S_a dT}{\int_{T_1}^{T_2} S_b dT}$$

in cui T_1 e T_2 rappresentano gli estremi dell'intervallo di periodo considerato. In particolare, sono stati considerati due possibili valori di FA: uno relativo ai corti periodi ($T_1=0.1$ s e $T_2=0.5$ s) ed uno ai lunghi periodi ($T_1 = 0.5$ s e $T_2=1$ s). I due valori di FA sono stati calcolati per una serie di punti in superficie che coprono l'intervallo compreso fra il centro del bacino e la sua chiusura.

La risposta sismica locale monodimensionale

Immaginando di prendere in considerazione una colonnina stratigrafica corrispondente alla situazione esistente in vari enti del bacino, sono state eseguite analisi di risposta sismica locale (con il metodo lineare ovvero utilizzando equazioni costitutive di tipo viscoelastico) utilizzando il codice di calcolo *Strata* (Rathje & Kottke, 2013). Per ciascuna colonnina sono stati calcolati i due valori di FA indicati nel paragrafo precedente utilizzando un identico moto sismico in input.

I risultati ottenuti (nei due intervalli di periodo) per le diverse combinazioni velocità/smorzamento (descritte in Tabella 2), alle diverse profondità del "bedrock" sono riportate in Allegato 1 (FA analisi RSL 1D)".

La stima degli FA con gli abachi della Regione Toscana

La valutazione dei fattori di amplificazione è stata effettuata anche secondo l'approccio semplificato degli abachi della Regione Toscana (Albarello & Peruzzi, 2014), così da poterli confrontare con i risultati ottenuti precedentemente, valutando poi quanto gli FA stimati in modo semplificato differiscano dagli altri valori ottenuti come descritto precedentemente.

I risultati ottenuti (nei due intervalli di periodo) per le diverse combinazioni di velocità (descritte in Tabella 2), alle diverse profondità del "bedrock" sono riportate in "Allegato 2 (FA stima abachi)".

Risultati ottenuti

Bacino con profondità massima 25 m

Dalla sottostante Figura 3 (sezione tipo 0, con combinazione 1) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia).

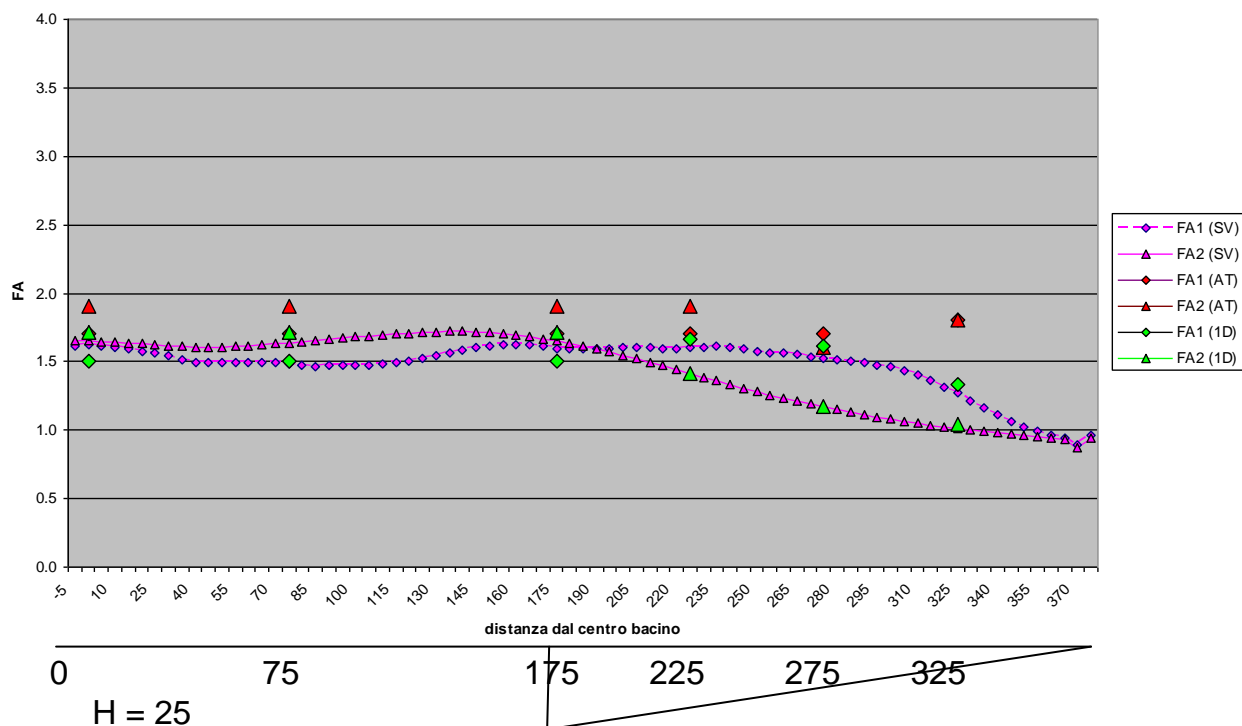


Figura 3. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 1

Dalla sottostante Figura 4 (sezione tipo 0, con combinazione 2) è possibile, anche in questo caso, osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia). Il fenomeno è più accentuato che in precedenza a causa del maggiore smorzamento del materiale del bacino (5% anziché 2%) applicato nelle analisi di RSL.

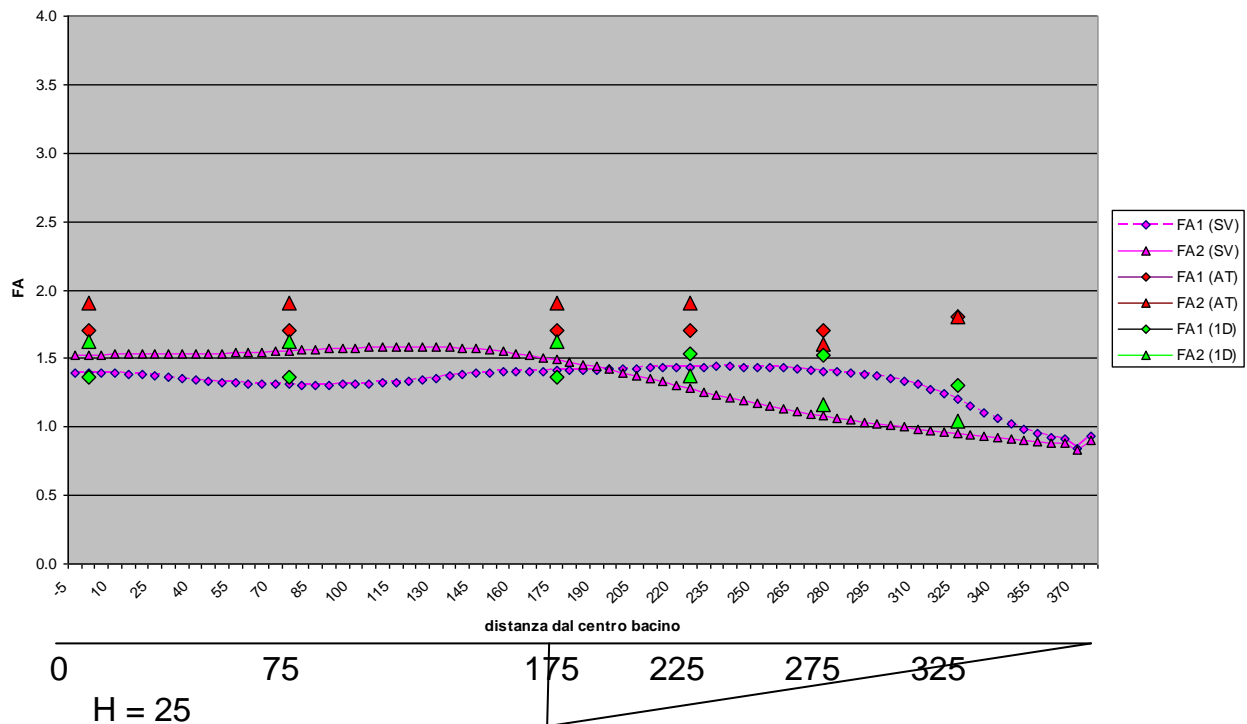


Figura 4. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 2

Dalla sottostante Figura 5 (sezione tipo 0, con combinazione 3) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia pressoché identica a quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia), le differenze maggiori (sia pure contenute) si hanno per i corti periodi (0.1 – 0.5 s) a 225 m ed a 325 m dal centro del bacino.

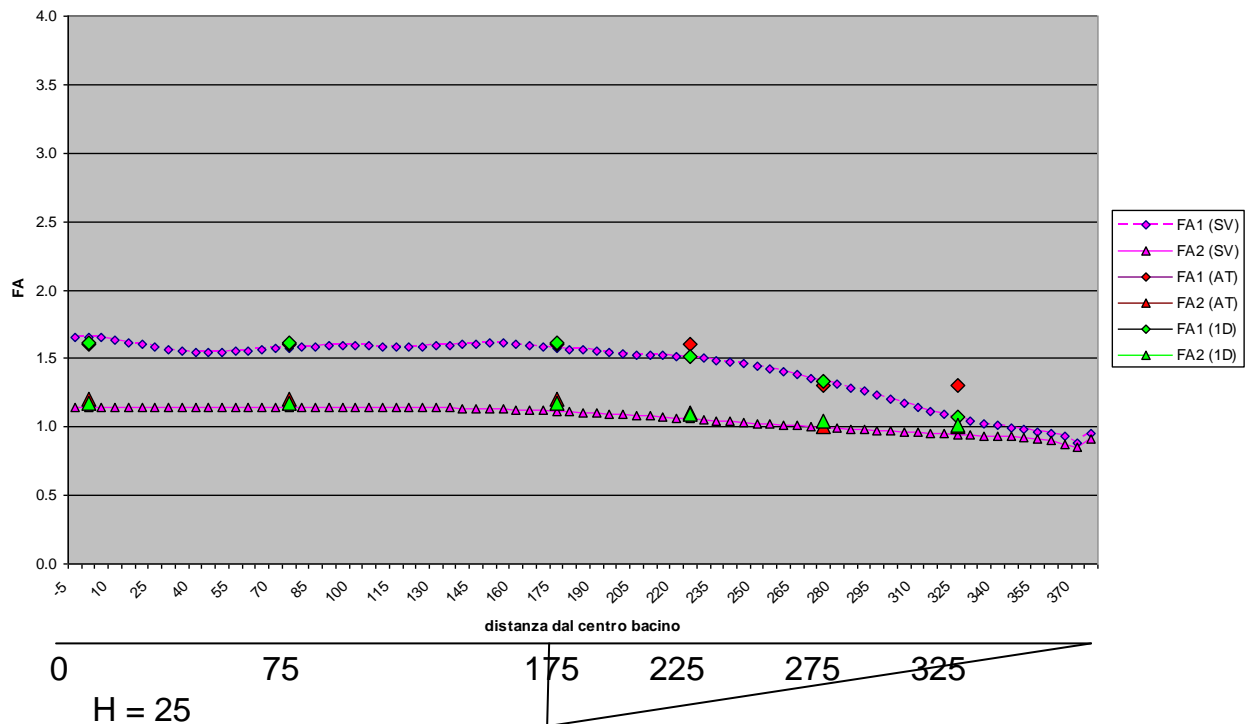


Figura 5. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 3

Dalla sottostante Figura 6 (sezione tipo 0, con combinazione 5) è possibile osservare evidenti, seppur non elevatissime, differenze fra la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) e quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia). Generalmente i valori della RSL 2D e 1D sono i più alti, anche se, a seconda della parte del bacino considerata (per esempio a 325 m dal centro) sono maggiori i FA degli abachi. Da sottolineare come in questa combinazione il contrasto di impedenza fra i due materiali sia raddoppiato (da 2 è passato a 4).

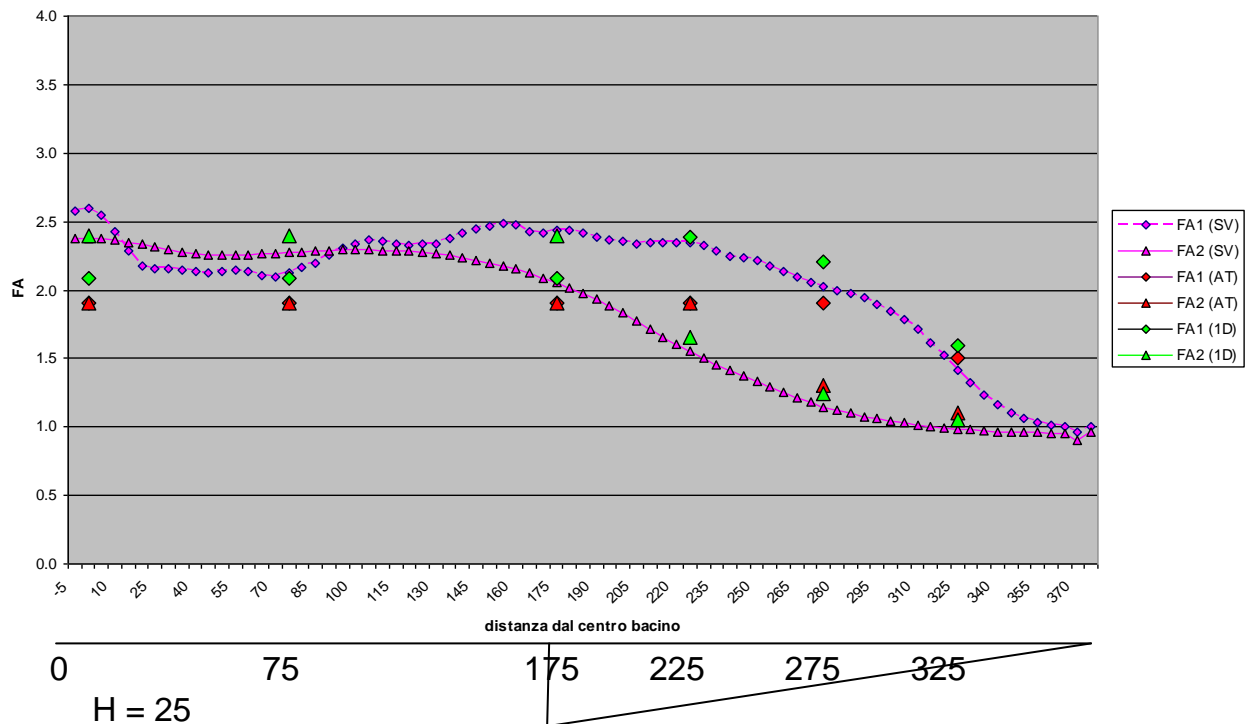


Figura 6. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 5

Dalla sottostante Figura 7 (sezione tipo 1, con combinazione 1) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia).

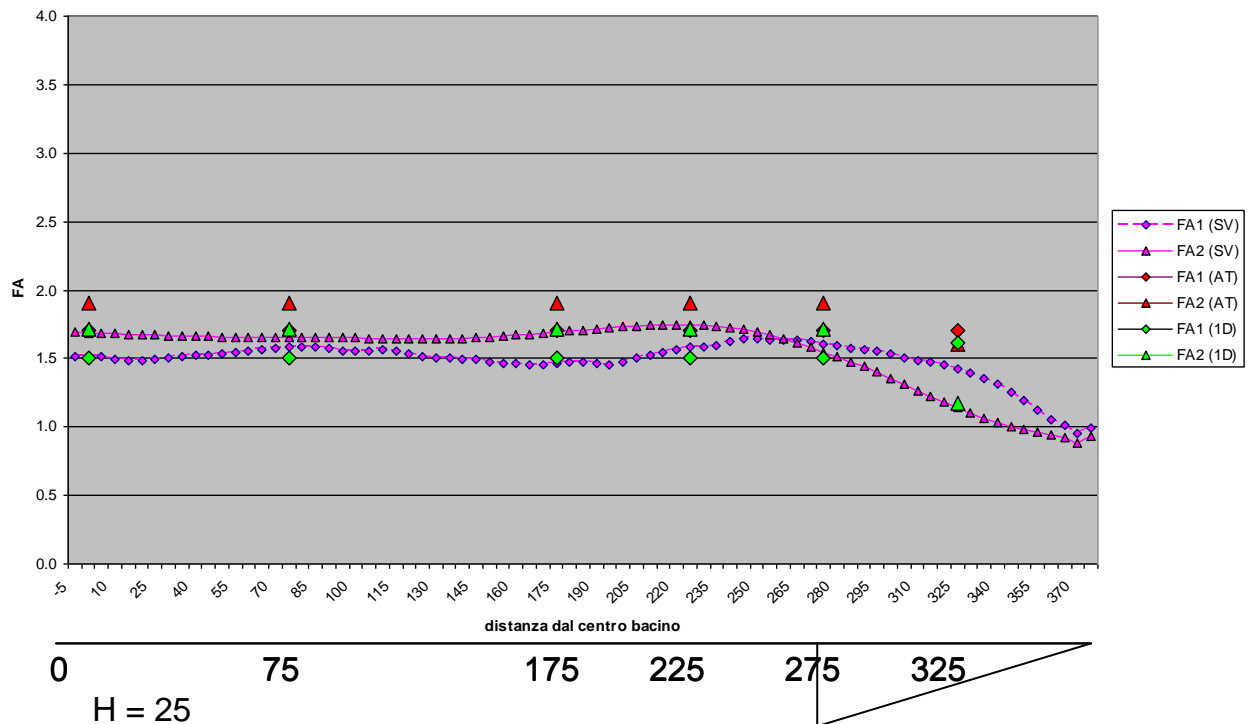


Figura 7. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 1 con combinazione 1

Dalla sottostante Figura 8 (sezione tipo 2, con combinazione 1) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia).

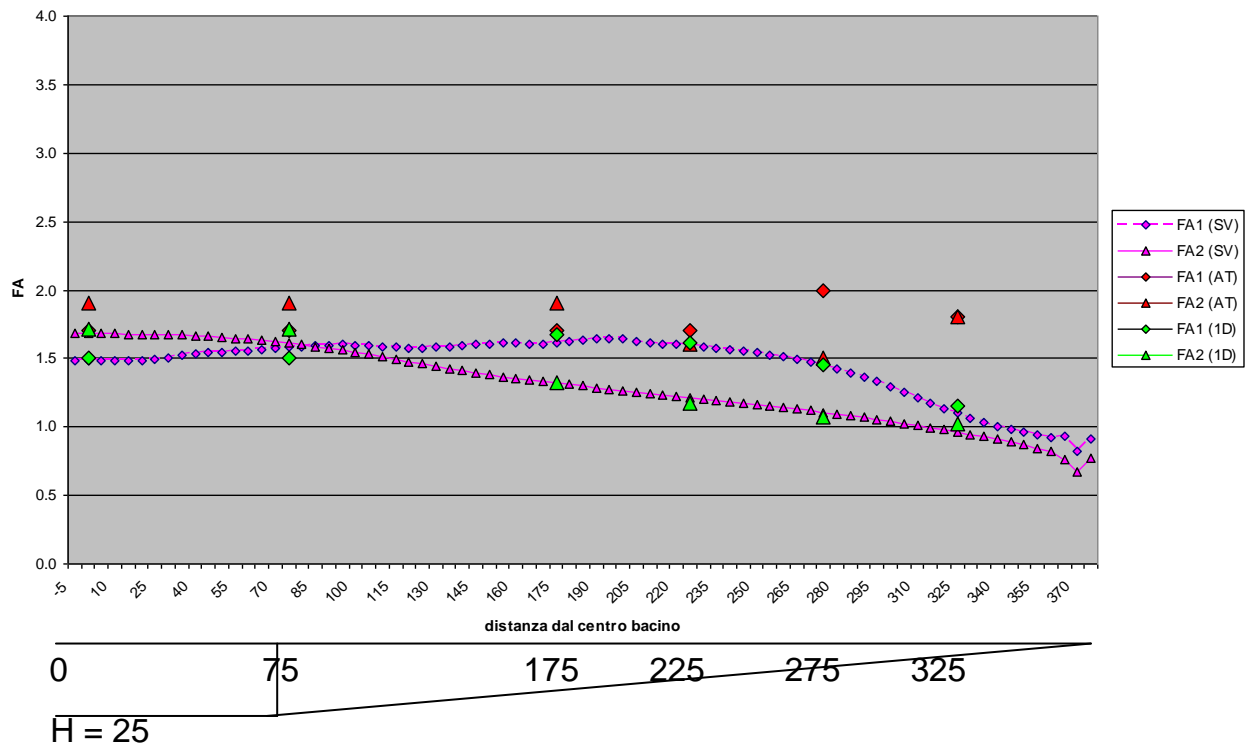


Figura 8. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 2 con combinazione 1

Bacino con profondità massima 50 m

Dalla sottostante Figura 9 (sezione tipo 0, con combinazione 1) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore, e generalmente in modo più evidente che nel bacino profondo 25 m, di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia).

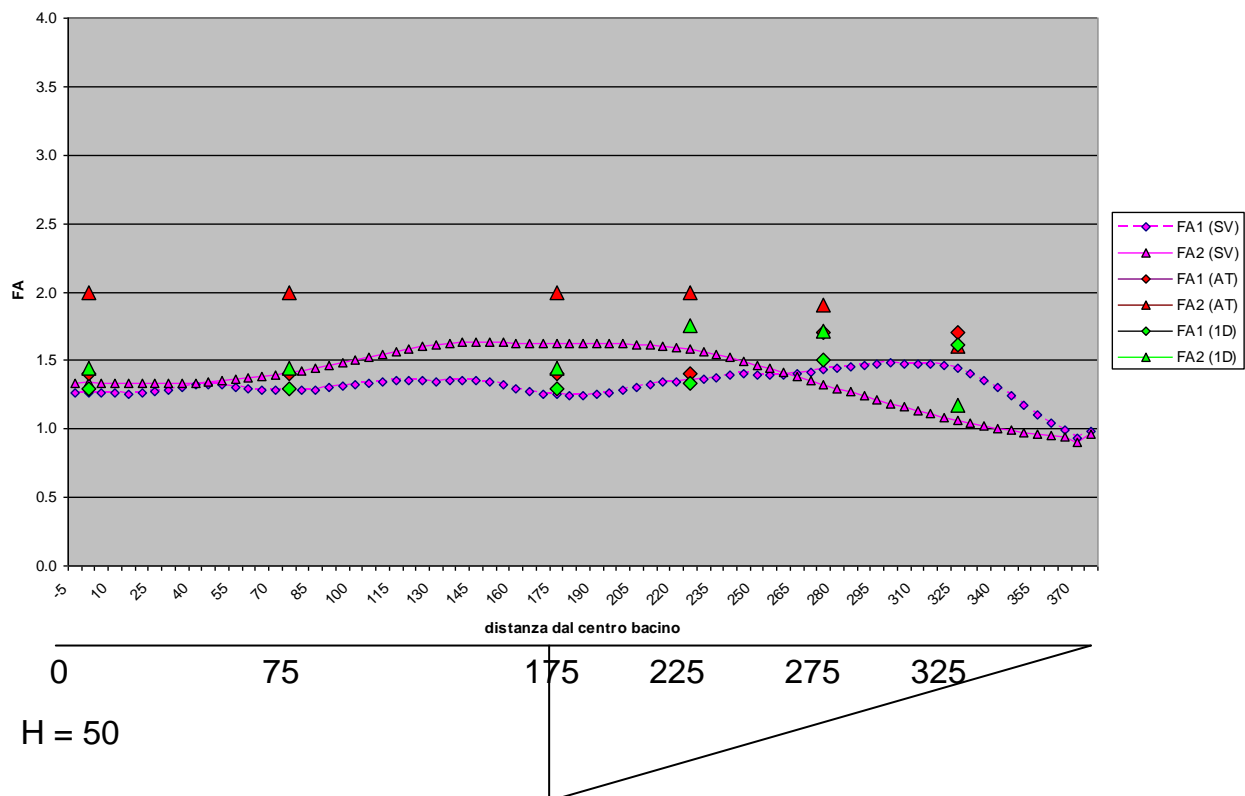


Figura 9. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 1

Dalla sottostante Figura 10 (sezione tipo 0, con combinazione 3) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia tendenzialmente di valore confrontabile a quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia). Tuttavia fino a 75 m dal centro del bacino il FA degli abachi per i lunghi periodi (0.5 – 1 s) è leggermente più basso della RSL, mentre poi è sempre più alto (almeno di quella 2D); il FA degli abachi per i corti periodi (0.1 – 0.5 s) è minore rispetto a quello stimato con la RSL in modo leggermente più evidente tra 175 e 225 m dal centro del bacino.

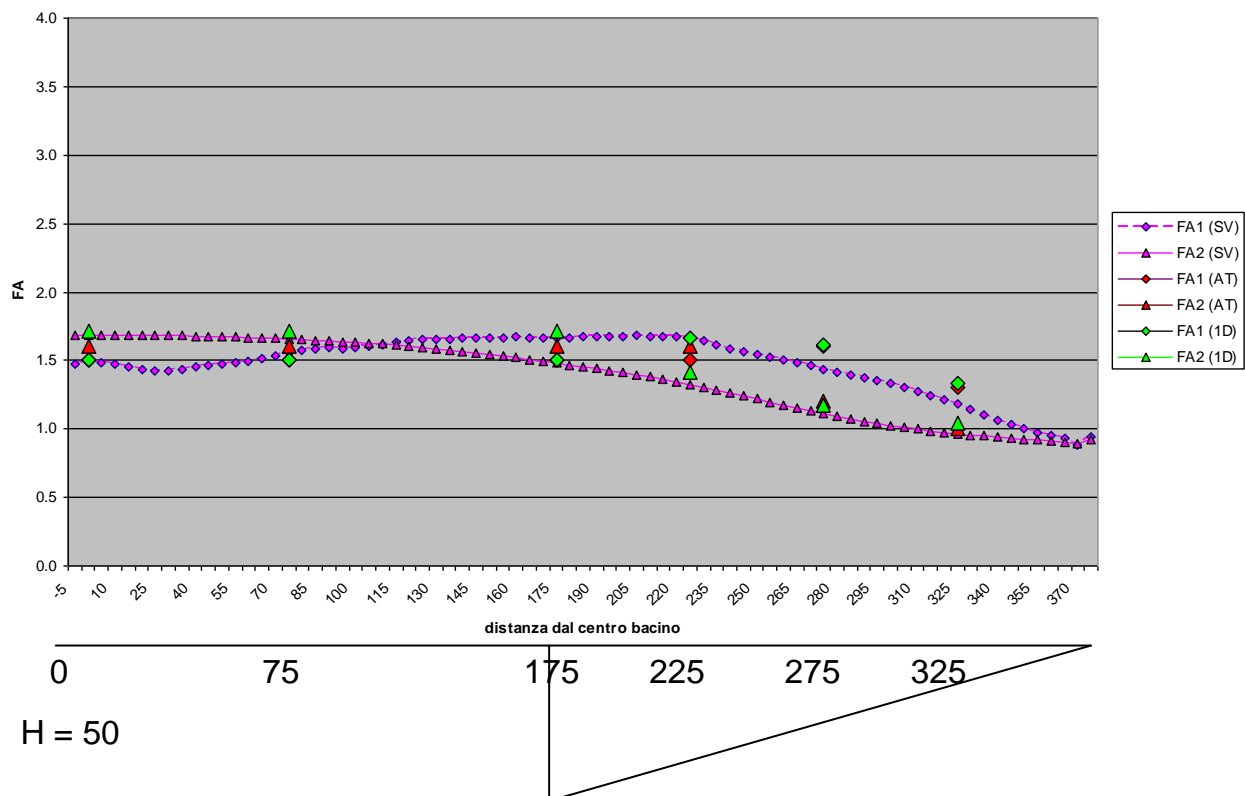


Figura 10. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 3

Dalla sottostante Figura 11 (sezione tipo 0, con combinazione 4) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia). A differenza del caso precedente è stato applicato un maggiore smorzamento al materiale del bacino nelle analisi di RSL, ciò contribuisce ad abbassarne i valori dei FA.

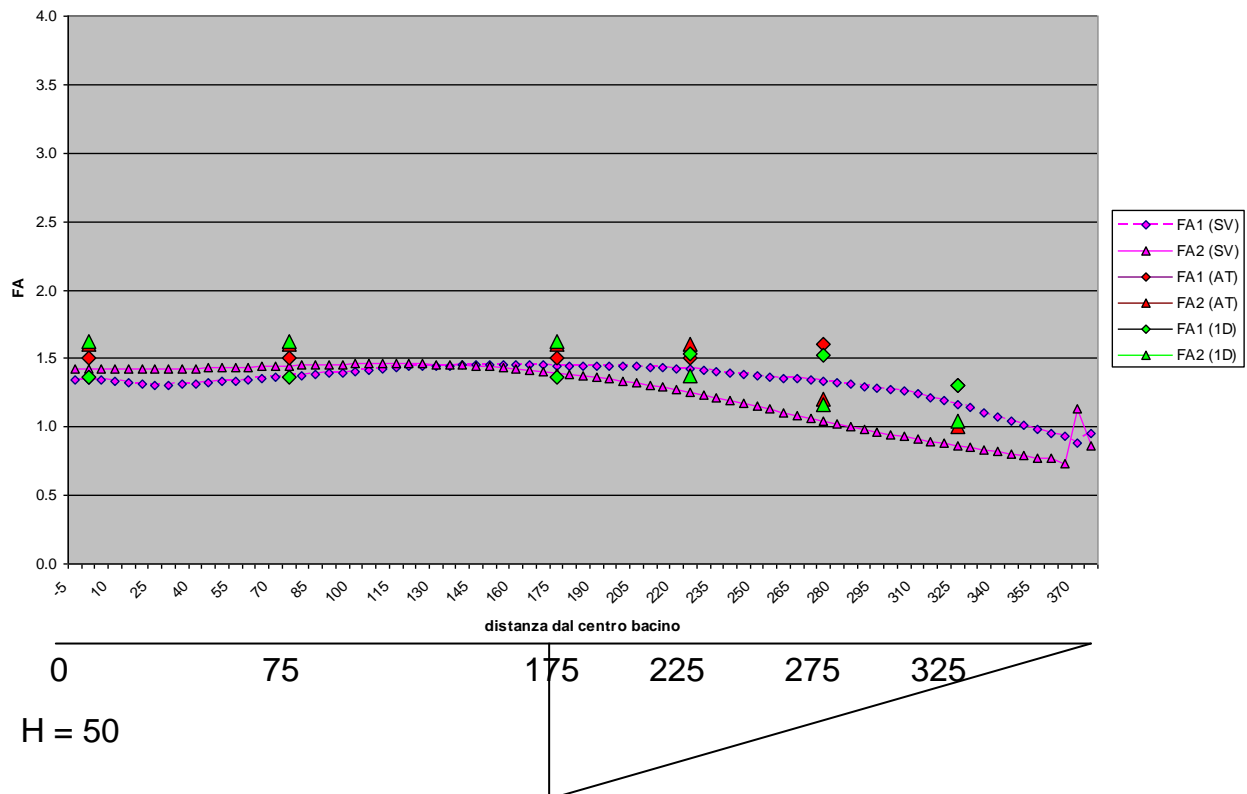


Figura 11. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 4

Dalla sottostante Figura 12 (sezione tipo 0, con combinazione 5) è possibile osservare evidenti, seppur non elevatissime, differenze fra la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) e quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia). Generalmente i valori della RSL 2D e 1D sono i più alti, anche se, a seconda della parte del bacino considerata (per esempio da 275 m dal centro) sono maggiori tutti e due i FA degli abachi, mentre, a parte a centro bacino, il FA degli abachi per i lunghi periodi (0.5 – 1 s) è comunque maggiore o uguale al FA della RSL 2D. Da sottolineare come in questa combinazione il contrasto di impedenza fra i due materiali sia raddoppiato (da 2 è passato a 4).

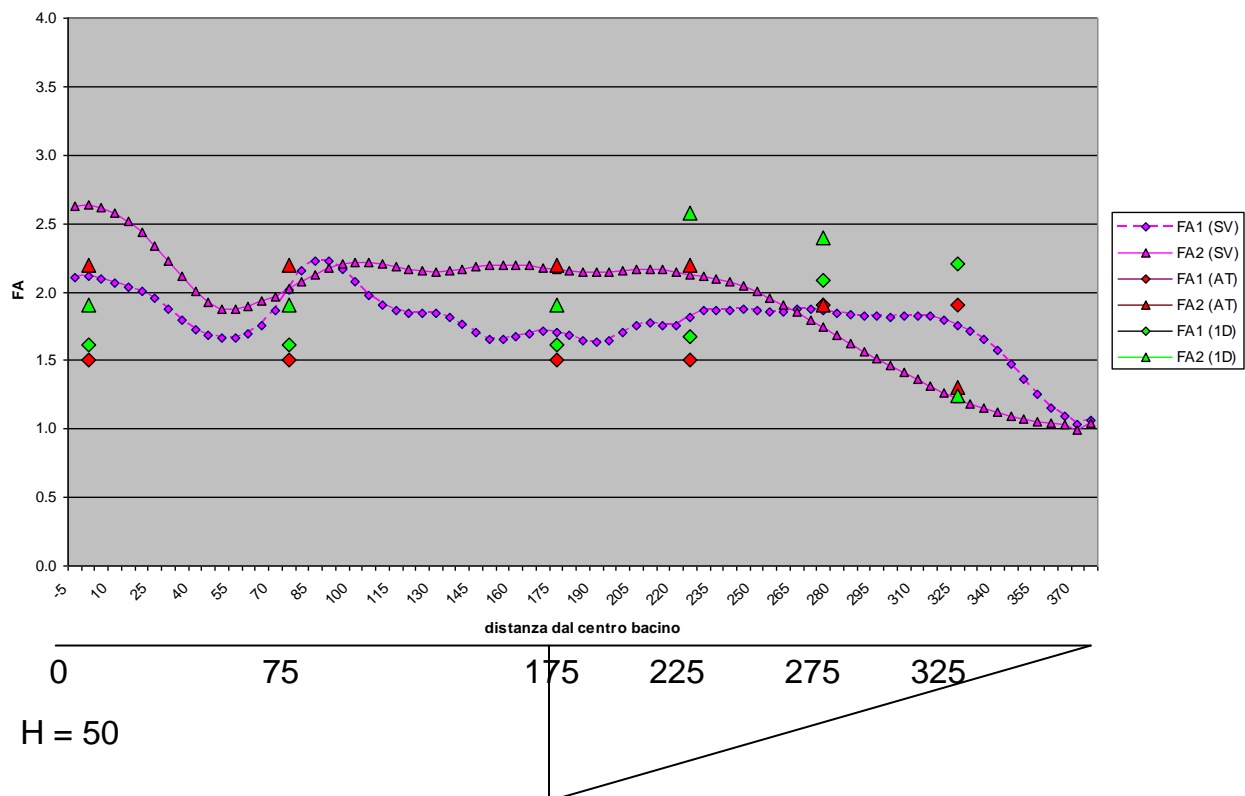


Figura 12. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 5

Dalla sottostante Figura 13 (sezione tipo 0, con combinazione 6) è possibile osservare differenze meno evidenti, rispetto al caso precedente, fra la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) e quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia); in effetti soltanto fino a 75 m dal centro del bacino, il solo FA per i corti periodi (0.1 – 0.5 s) è inferiore ai FA della RSL 2D. Da sottolineare come in questa combinazione il contrasto di impedenza fra i due materiali sia passato da 3 a 4 rispetto al caso precedente.

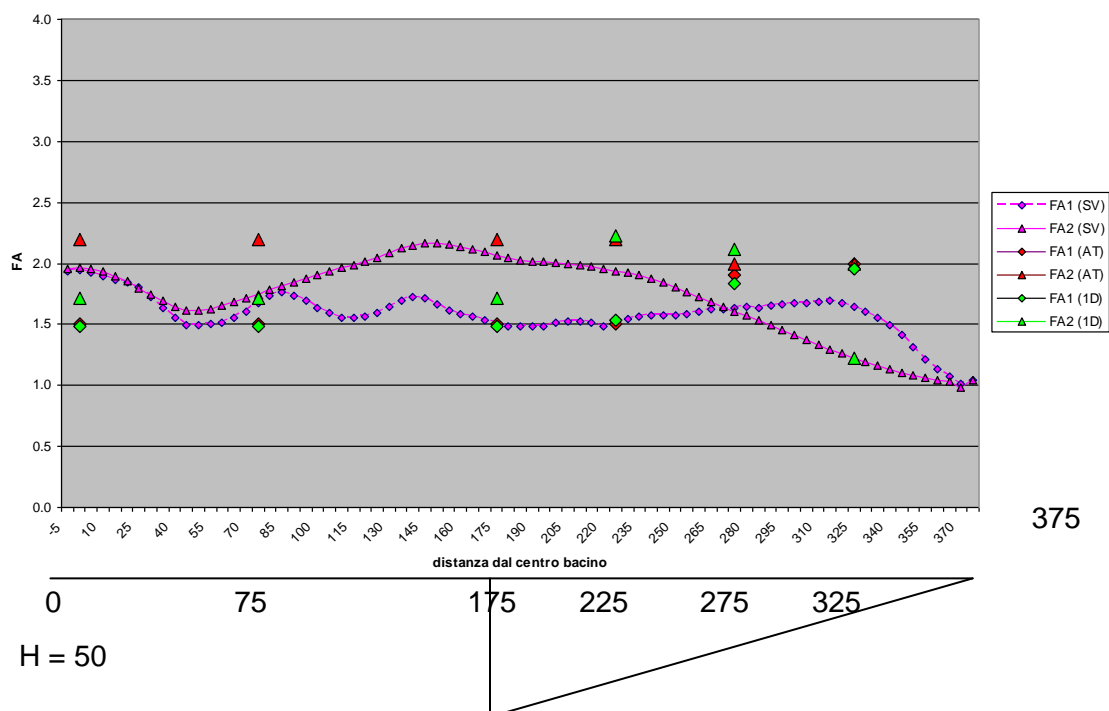


Figura 13. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 6

Dalla sottostante Figura 14 (sezione tipo 1, con combinazione 1) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia).

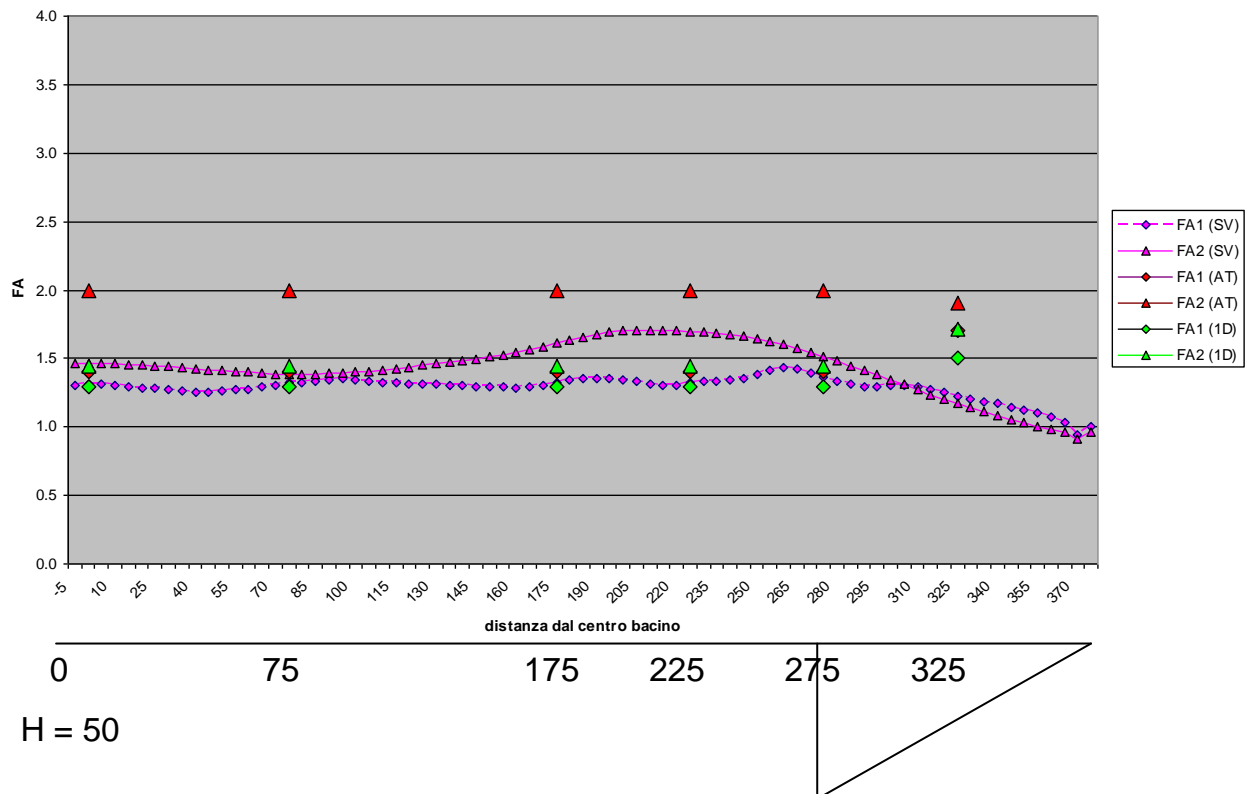


Figura 14. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 1 con combinazione 1

Dalla sottostante Figura 15 (sezione tipo 2, con combinazione 1) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia).

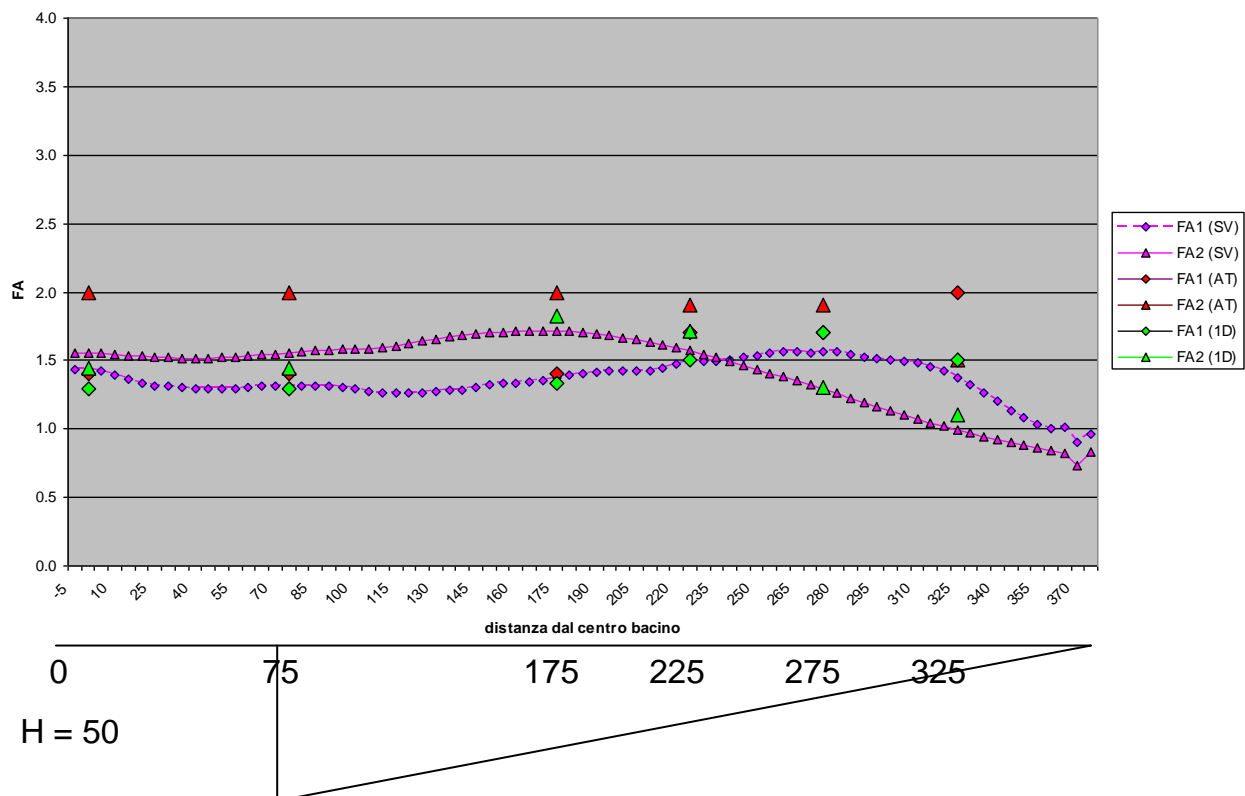


Figura 15. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 2 con combinazione 1

Bacino con profondità massima 150 m

Dalla sottostante Figura 16 (sezione tipo 0, con combinazione 1) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia).

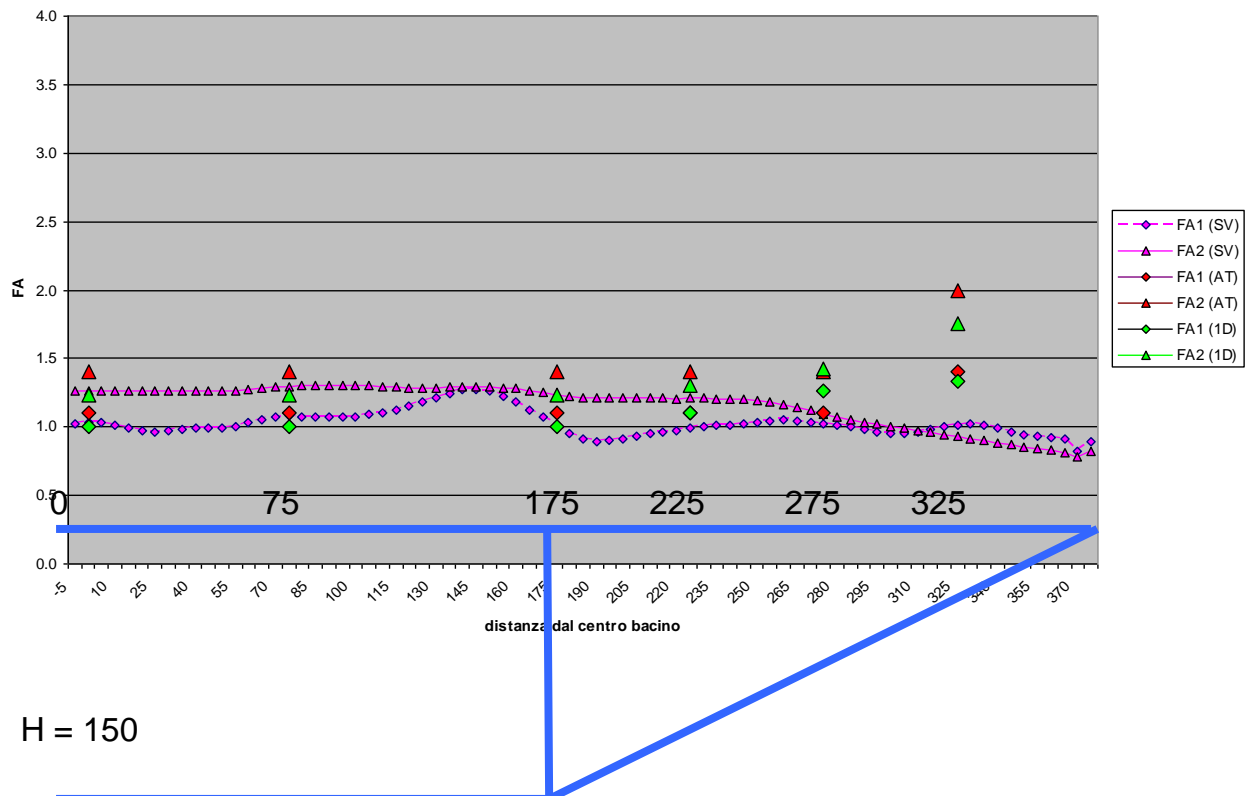


Figura 16. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 1

Dalla sottostante Figura 17 (sezione tipo 0, con combinazione 2) è possibile, anche in questo caso, osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia). Il fenomeno, a differenza dei casi di Figura 4 e Figura 11 è meno accentuato, soprattutto a 175 m dal centro, nonostante il maggiore smorzamento del materiale del bacino (5% anziché 2%) applicato nelle analisi di RSL. E' comunque importante evidenziare come uno smorzamento del 5% a profondità di 150 m sia probabilmente irrealistico.

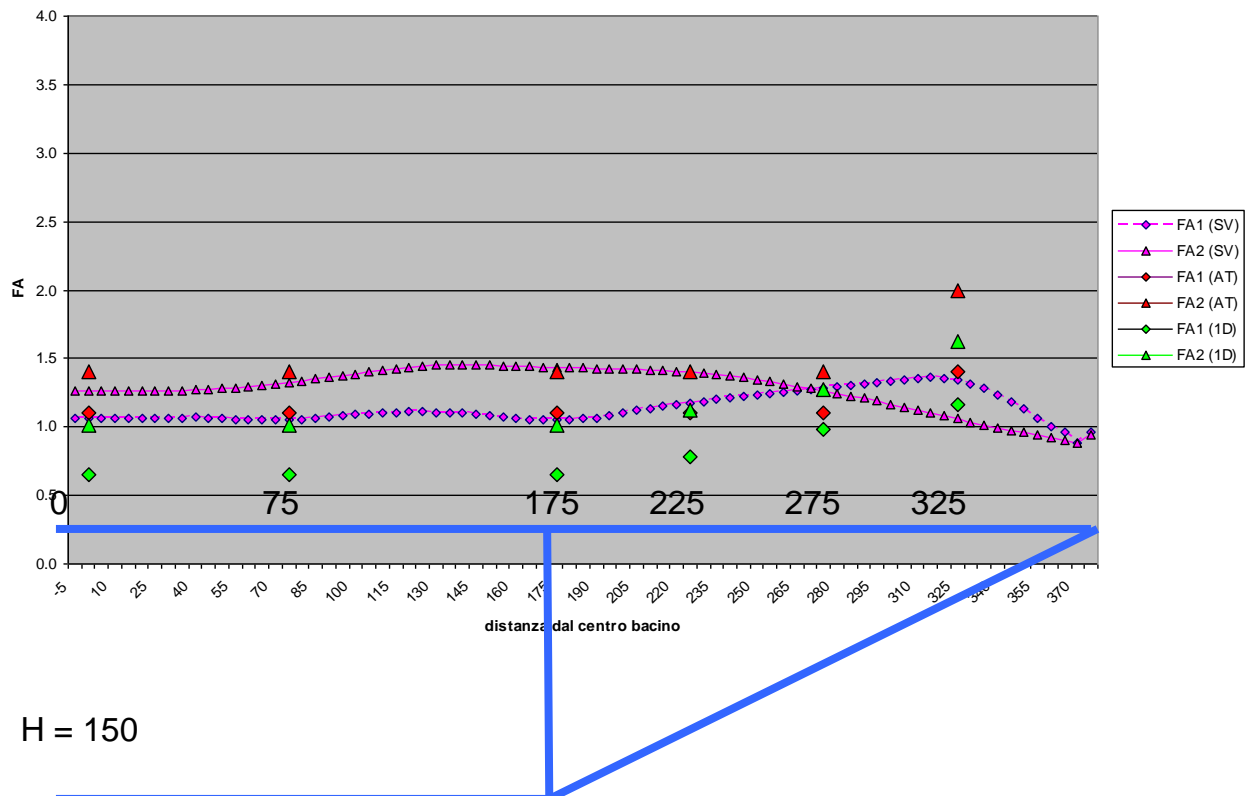


Figura 17. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 2

Dalla sottostante Figura 18 (sezione tipo 0, con combinazione 3) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sostanzialmente confrontabile, seppur lievemente inferiore, con quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia), fino a 225 m dal centro del bacino, mentre poi i FA degli abachi diventano decisamente maggiore.

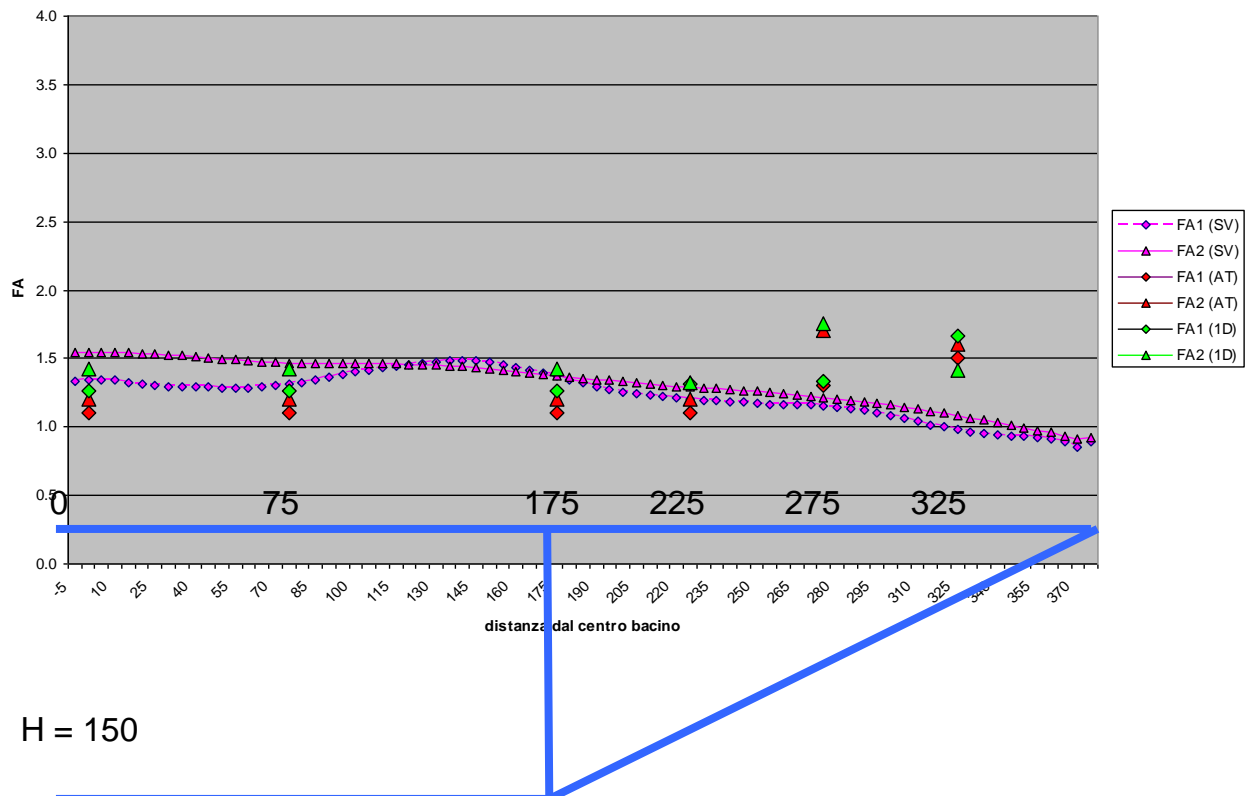


Figura 18. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 3

Dalla sottostante Figura 19 (sezione tipo 0, con combinazione 5) è possibile osservare evidenti, seppur non elevatissime, differenze fra la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) e quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia). Generalmente i valori dei FA ottenuti dalle analisi di RSL 2D e 1D sono i più alti, anche se, a seconda della parte del bacino considerata (per esempio da 275 m dal centro) sono maggiori tutti e due i FA degli abachi. Da sottolineare come in questa combinazione il contrasto di impedenza fra i due materiali sia raddoppiato (da 2 è passato a 4).

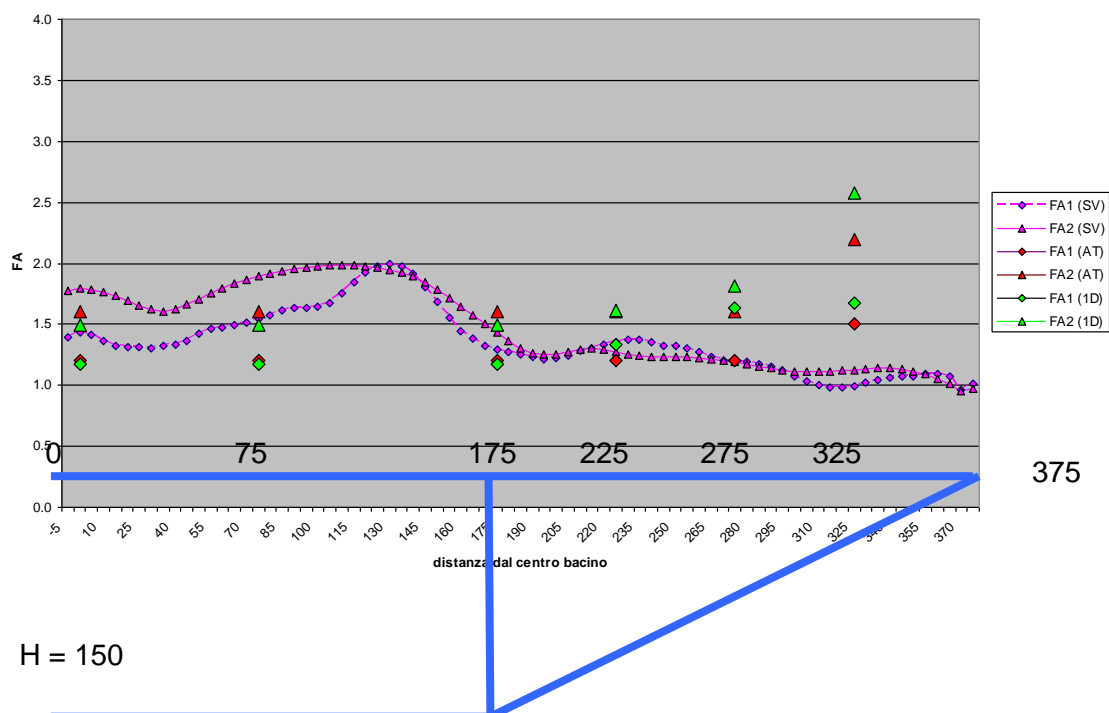
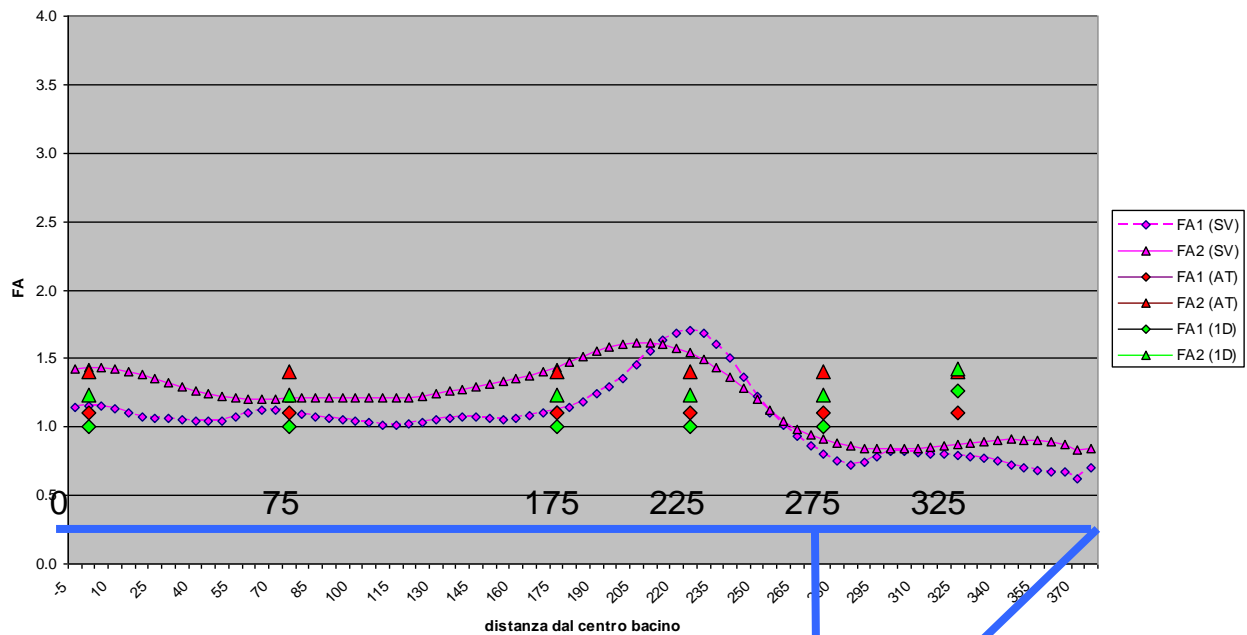


Figura 19. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 0 con combinazione 5

Dalla sottostante Figura 20 (sezione tipo 1, con combinazione 1) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia), con l'eccezione della zona situata a circa 225 m dal centro del bacino. E' importante evidenziare come il bordo del bacino nella sezione considerata assume pendenze considerevoli (56°).



H = 150

Figura 20. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 1 con combinazione 1

Dalla sottostante Figura 21 (sezione tipo 2, con combinazione 1) è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia), con rare eccezioni che riguardano solo la parte centrale del bacino e a 225 m dal suo centro, in cui il FA degli abachi per i corti periodi è lievemente inferiore agli analoghi FA delle analisi di RSL.

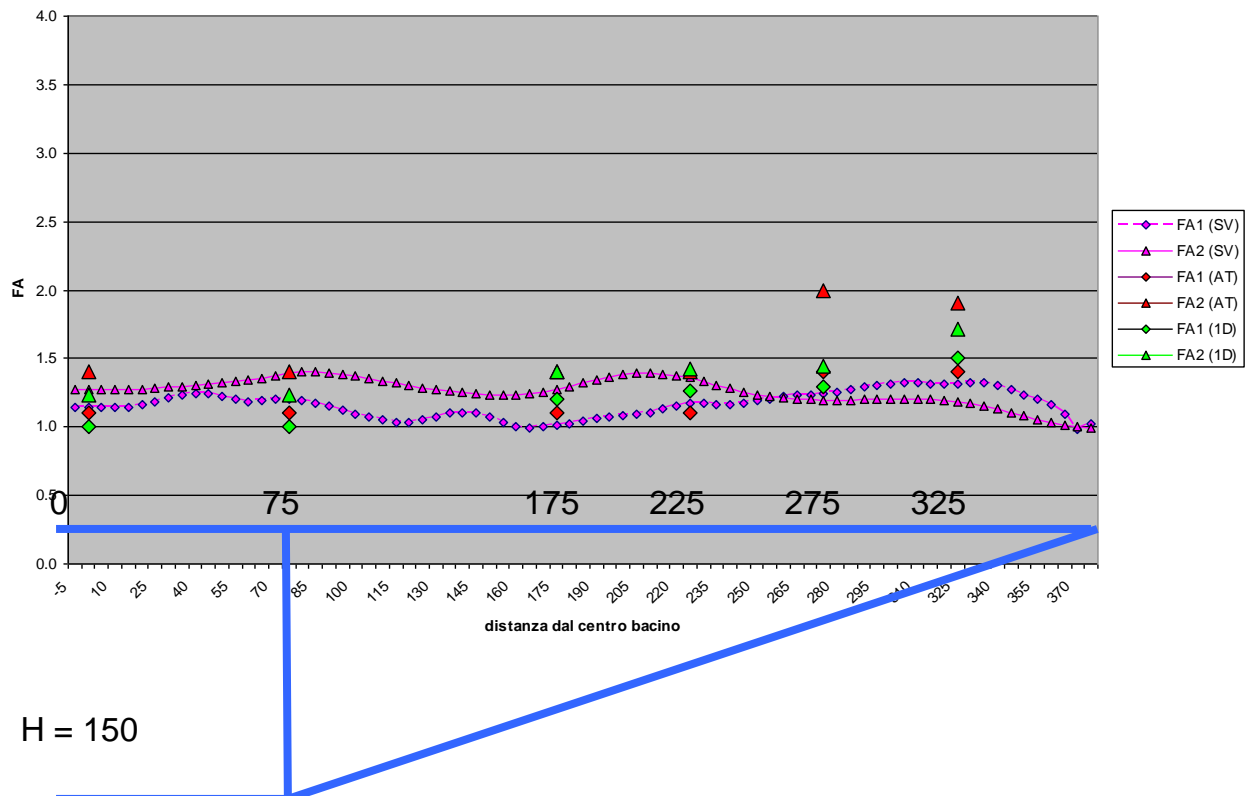


Figura 21. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione di tipo 2 con combinazione 1

Bacino con profondità massima 50 m riempito da due materiali di uguale spessore

Dalla sottostante Figura 22 è possibile osservare come la stima dei FA con gli abachi della Regione Toscana (triangoli e rombi rossi) sia sempre maggiore di quella effettuata con analisi di risposta sismica locale 1D (stesse forme di colore verde) e 2D (stesse forme di colore fucsia) per distanze maggiori di 175 m dal centro, mentre per distanze inferiori il FA per corti periodi (0.1 – 0.5 s) è inferiore rispetto a quelli ottenuti dalle analisi di RSL.

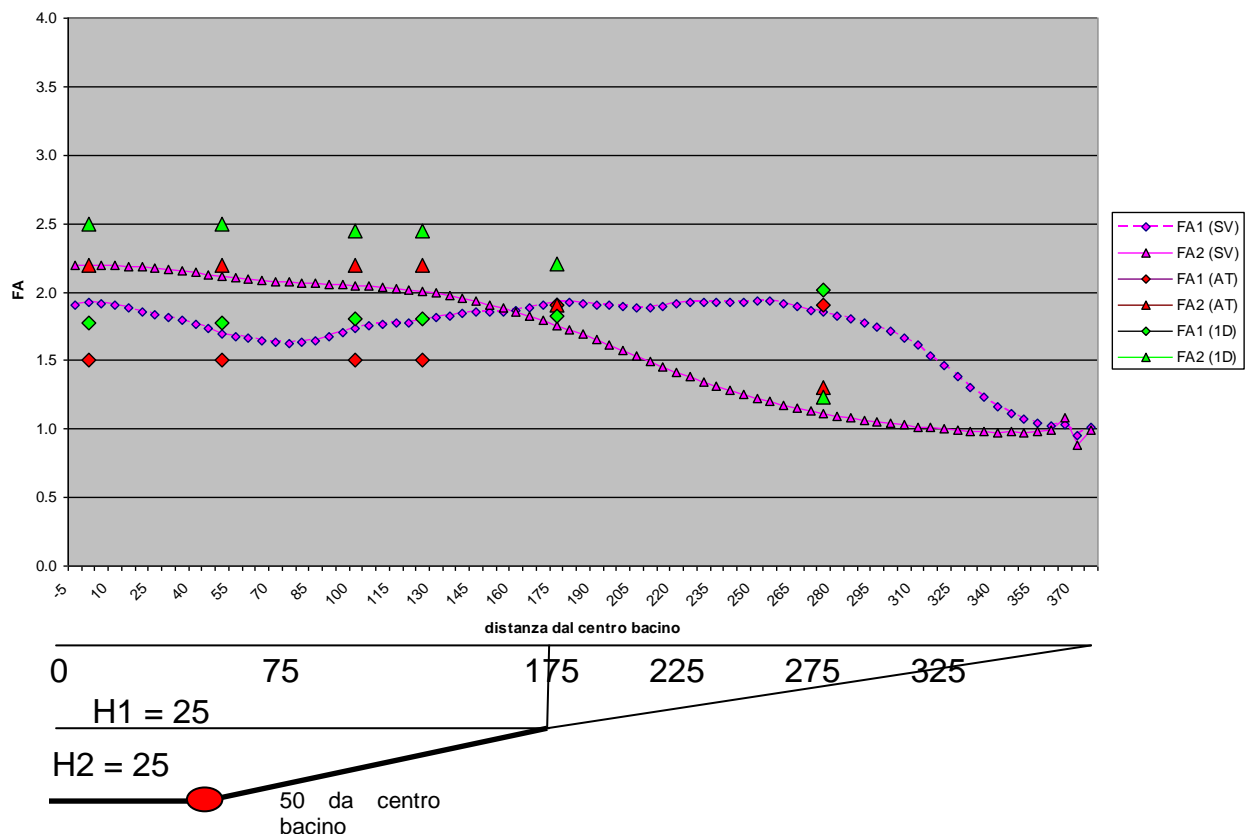


Figura 22. Grafico di confronto fra i valori del FA per i corti periodi (FA1) e i lunghi periodi (FA2), considerando l'analisi di RSL effettuata con Besoil dal centro del bacino alla sua terminazione (SV), la RSL effettuata con Strata (1D) e la stima del FA con gli abachi della Regione Toscana (AT). La figura si riferisce al caso della sezione con tre materiali complessivi

Conclusioni

1. Salvo che nel caso di contrasti di impedenza molto elevati (un fattore 4 probabilmente mai osservato in Toscana) gli abachi forniscono valori sempre conservativi.
2. Nei casi in cui la discrepanza esiste (comunque non più del 10% di tutti i casi esaminati), la differenza non supera il 30% del corrispondente valore di FA.
3. Le modellazioni 1D forniscono spesso valori di FA compatibili o più conservativi salvo che al centro del bacino.
4. Gli effetti del bordo del bacino sembrano poco significativi (in termini di FA).

Questi esiti riguardano i soli valori di FA, differenze nelle forme spettrali sono invece assai significative quando si mettono a confronto le diverse situazioni.

Riferimenti

- Albarelli D., Peruzzi G., 2014. Abachi regionali per amplificazioni litostratigrafiche finalizzati alla redazione di carte di microzonazione sismica di livello II. Disponibile su http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/01informazione/formazione/pubblicazioni/microzonazione/02_ps_locale/02_cap10.htm
- Bard, P. Y. e Bouchon, M. (1985) - The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys, Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 75, N. 2, pp. 519-541.
- Pagliaroli A., Quadrio B., Lanzo G. e Sanò T., 2014. Numerical modelling of site effects in the Palatine Hill, Roman Forum, and Coliseum Archaeological Area. Bull.Earthq.Engg., 12:1383–1403
- Rathje E.M., Kottke A., 2013. Strata. Disponibile online su <http://nees.org/resources/strata>
- Sanò T., 1996. BESoil: un programma per il calcolo della propagazione delle onde sismiche. Rapporto tecnico SSN/RT/96/9

Allegato 1 (FA analisi RSL 1D)

	<i>prof. substrato (m)</i>	<i>FA1</i>	<i>FA2</i>
<i>combinazione 1</i>	150	1.0	1.2
	112.5	1.1	1.3
	100	1.2	1.4
	75	1.3	1.4
	50	1.3	1.4
	37.5	1.3	1.8
	33.3	1.3	1.8
	25	1.5	1.7
	18.75	1.7	1.4
	16.7	1.7	1.3
	12.5	1.6	1.2
	8.3	1.5	1.1
	6.25	1.3	1.0
	4.16	1.1	1.0
<i>combinazione 2</i>	150	0.7	1.0
	112.5	0.8	1.1
	75	1.0	1.3
	37.5	1.2	1.6
	25	1.4	1.6
	18.75	1.5	1.4
	12.5	1.5	1.2
	6.25	1.3	1.0
<i>combinazione 3</i>	150	1.3	1.4
	112.5	1.3	1.3
	75	1.3	1.8
	50	1.5	1.7
	37.5	1.7	1.4
	25	1.6	1.2
	18.75	1.5	1.1
	12.5	1.3	1.0
	6.25	1.1	1.0
<i>combinazione 4</i>	50	1.4	1.6
	37.5	1.5	1.4
	25	1.5	1.2
	12.5	1.3	1.0
<i>combinazione 5</i>	150	1.2	1.5
	112.5	1.3	1.6
	75	1.6	1.8
	50	1.6	1.9
	37.5	1.7	2.6
	25	2.1	2.4
	18.75	2.4	1.7
	12.5	2.2	1.2
	6.25	1.6	1.1
<i>combinazione 6</i>	50	1.5	1.7
	37.5	1.5	2.2
	25	1.8	2.1
	12.5	2.0	1.2
<i>combinazione 7</i>	25+25	1.8	2.5
	25+15	1.8	2.4
	25+10	1.8	2.4
	25	1.8	2.2
	12.5	2.0	1.2

Allegato 2 (FA stima abachi)

Bacino profondo 25 m

Sezione tipo 0, combinazione 1 + combinazione 2
riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock > 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
25	218.1818182	200	2	1.7	1.9
18.75	246.1538462	200	2.666666667	1.7	1.9
12.5	282.3529412	200	4	1.7	1.6
6.25	333.3333333	200	8	1.8	1.8

Sezione tipo 0, combinazione 3
riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock < 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs H (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
25	400	400	4	1.6	1.2
18.75	400	400	5.333333333	1.6	1.1
12.5	400	400	8	1.3	1.0
6.25	400	400	16	1.3	1

Sezione tipo 0, combinazione 5
riferimento:

Abachi Toscana Appenninica, bedrock < 30 (< 0.15g)

H (m)	Vs H (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
25	200	200	2	1.9	1.9
18.75	200	200	2.666666667	1.9	1.9
12.5	200	200	4	1.9	1.3
6.25	200	200	8	1.5	1.1

Sezione tipo 1 + sezione tipo 2, combinazione 1
riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock > 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
25	218.1818182	200	2	1.7	1.9
16.67	257.1244911	200	2.99940012	1.7	1.9
12.5	282.3529412	200	4	1.7	1.6
8.33	313.0707018	200	6.00240096	2.0	1.5
4.16	351.2880562	200	12.0192308	1.8	1.8

Bacino profondo 50 m

Sezione tipo 0, combinazione 1

riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock > 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
50	200	200	1	1.4	2.0
37.5	200	200	1.3	1.4	2.0
25	218	200	2	1.7	1.9
12.5	282	200	4	1.7	1.6

Sezione tipo 0, combinazione 3 + combinazione 4

riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock > 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
50	400	400	2	1.5	1.6
37.5	400	400	2.7	1.5	1.6

riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock < 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs H (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
25	400	400	4	1.6	1.2
12.5	400	400	8	1.3	1.0

Sezione tipo 0, combinazione 5

riferimento:

Abachi Toscana Appenninica, bedrock > 30 (< 0.15g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
50	200	200	1	1.5	2.2
37.5	200	200	1.3	1.5	2.2

riferimento:

Abachi Toscana Appenninica, bedrock < 30 (< 0.15g)

H (m)	Vs H (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
25	200	200	2	1.9	1.9
12.5	200	200	4	1.9	1.3

Sezione tipo 0, combinazione 5

riferimento:

Abachi Toscana Appenninica, bedrock > 30 (< 0.15g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
50	200	200	1	1.5	2.2
37.5	200	200	1.3	1.5	2.2
25	225	200	2	1.9	2.0
12.5	327	200	4	2.0	2.0

Sezione tipo 1 + sezione tipo 2, combinazione 1
riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock > 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
50	200	200	1	1.4	2.0
33.3	200	200	1.501502	1.4	2.0
25	218	200	2	1.7	1.9
16.67	253	200	2.9994	1.7	1.9
8.33	313	200	6.002401	*2.0	*1.5

- *cella poco popolata nell'abaco*

Bacino profondo 25+25 m (due materiali di riempimento)

riferimento:

Abachi Toscana Appenninica. bedrock > 30 (< 0.15g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
50	363.6363636	266.6666667	1.333333	1.5	2.2
40	363.6363636	257.1428571	1.6	1.5	2.2
35	363.6363636	246.1538462	1.8	1.5	2.2

riferimento:

Abachi Toscana Appenninica. bedrock < 30 (< 0.15g)

H (m)	Vs H (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
25	200	200	2	1.9	1.9
12.5	200	200	4	1.9	1.3

Bacino profondo 50 m

Sezione tipo 0, combinazione 1 + combinazione 2
riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock > 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
150	200	200	0.333333	1.1	1.4
112.5	200	200	0.444444	1.1	1.4
75	200	200	0.666667	1.1	1.4
37.5	200	200	1.3	1.4	2.0

Sezione tipo 0, combinazione 3
riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock > 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
150	400	400	0.666667	1.1	1.2
112.5	400	400	0.888889	1.1	1.2
75	400	400	1.333333	1.3	1.7
37.5	400	400	2.7	1.5	1.6

Sezione tipo 0, combinazione 5
riferimento:

Abachi Toscana appenninica, bedrock > 30 (< 0.15g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
150	200	200	0.333333	1.2	1.6
112.5	200	200	0.444444	1.2	1.6
75	200	200	0.666667	1.2	1.6
37.5	200	200	1.3	1.5	2.2

Sezione tipo 1 + sezione tipo 2, combinazione 1
riferimento:

Abachi Toscana Interna, bedrock > 30 (< 0.125g)

H (m)	Vs 30 (m/s)	Vs media (m/s)	f0 (Hz)	FA1	FA2
150	200	200	0.333333	1.1	1.4
100	200	200	0.5	1.1	1.4
75	200	200	0.666667	1.1	1.4
50	200	200	1	1.4	2.0
25	200	200	2	1.7	1.9