

Regolarizzazione dello spettro ottenuto con gli studi di MS di livello 3 o con la RSL^{1 2 3}

Alla fine della procedura di Risposta Sismica Locale, metodo principale per capire l'amplificazione locale secondo quanto previsto dal capitolo 3.2.2 delle NTC2018, si ottiene lo spettro medio di risposta che i molti programmi strutturali non sono in grado di importare o molti ingegneri non hanno mai fatto una tale procedura e non sono avvezzi ad inserire i dati dello spettro in maniera numerica.

Gli spettri da normativa dipendono da parametri indipendenti a_g , T_C^* , F_0 dati dalla norma, altri ξ , S_T fissati dal progettista e T_B, T_C, T_D, S_S dipendenti dai precedenti.

a_g accelerazione orizzontale massima al sito su suolo rigido di tipo A;

T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:
 $T_B = T_C / 3$.

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro:
 $T_C = C_C \cdot T_C^*$.

C_C dipende dalla categoria di sottosuolo:

categoria sottosuolo	C_C
A	1
B	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro:
 $T_D = 1.6 + 4.0 \cdot a_g / g$

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche:
 $S = S_S \cdot S_T$

S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica:

categoria sottosuolo	C_C
A	1
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.60$

¹ Metodo indicato nell'Ordinanza 55 del commissario per la ricostruzione post-sismica 2016, appendice 1 dell'allegato 1.

² Metodo suggerito dal Prof. Dario Albarello, nelle linee guida per la "Regolarizzazione dello spettro ottenuto con gli studi di MS di livello 3 o con la RSL".

³ Metodo indicato anche nelle slide dell'Dott. Ing. Tito Sanò – Slide del corso "Università de L'AQUILA - CORSO DI MICROZONAZIONE SISMICA - Simulazioni numeriche per valutare l' amplificazione locale"



S_T il coefficiente di amplificazione topografica:

categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1.2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1.4

ξ è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%:

$$\mu = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0.55$$

La procedura permette di trasformare lo spettro elastico di risposta, risultato delle simulazioni numeriche (output), in uno spettro con forma standard (NTC, 2018), costituita da un ramo con accelerazione crescente lineare, un ramo ad accelerazione costante, ed un ramo in cui l'accelerazione decresce con $1/T$ e quindi con velocità costante.

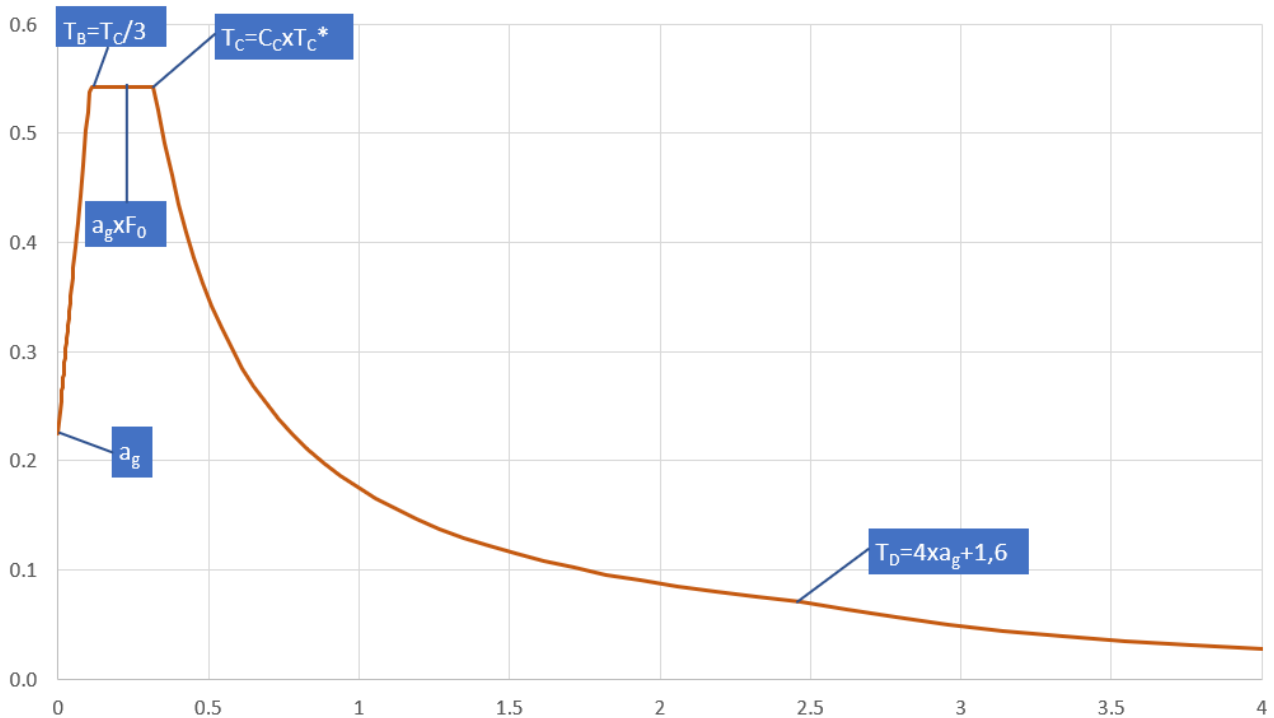


Figura 1 – Spettro suolo A

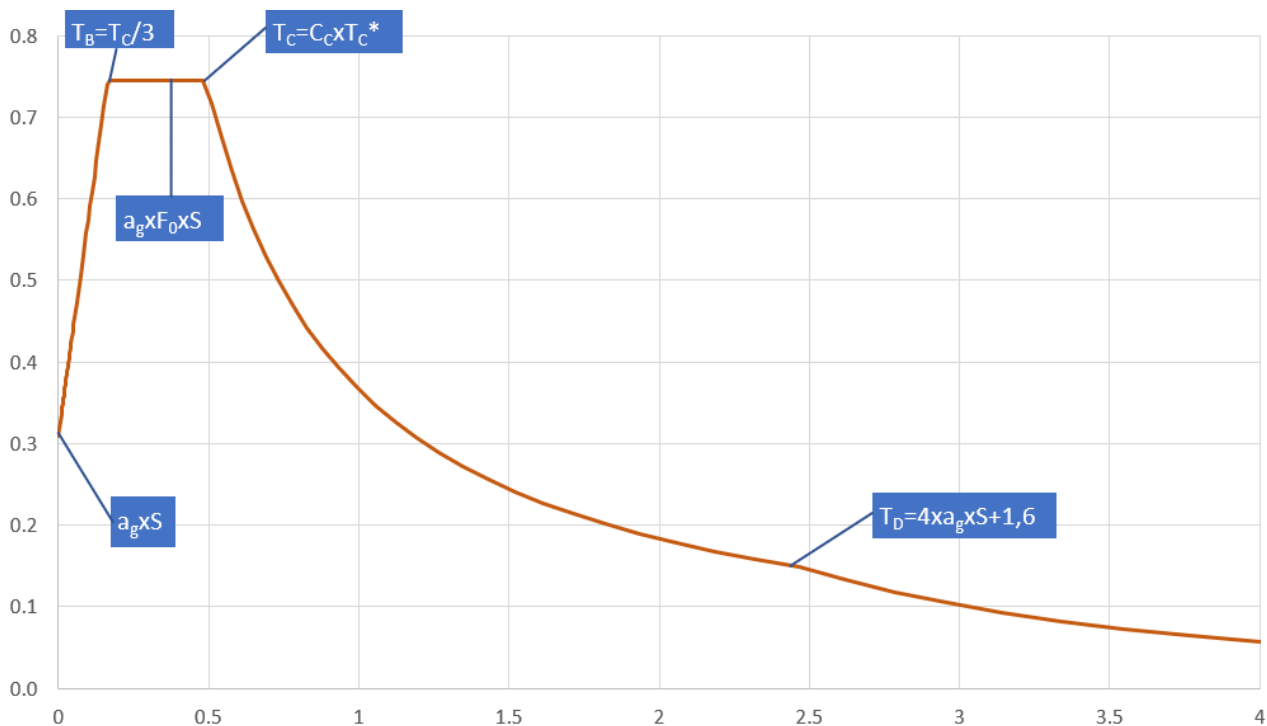


Figura 2 – spettro suolo B, C, D, E

Il metodo si basa su quanto previsto al capitolo 2.5.4.3.1 del volume I “Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” del Dipartimento di Protezione Sismica a cura di F. Bramerini, G. Di Pasquale, G. Naso, M. Severino.

1. Passo a) ordinanza 55

Dalla Risposta Sismica Locale si calcola lo spettro in pseudoaccelerazione (SA) si determina il periodo (TA) per il quale si ha il massimo dello spettro stesso.

2. Passo b) ordinanza 55

Si calcola il valore medio dello spettro (SA_m) nell’intorno del massimo TA tra $0,5 \cdot TA$ e $1,5 \cdot TA$, questo sarà assunto come valore del tratto ad accelerazione costante dello spettro standard:

$$SA_m = \frac{1}{TA} \cdot \int_{0,5 \cdot TA}^{1,5 \cdot TA} SA(T) dT \quad (1)$$

area calcolo SA_m

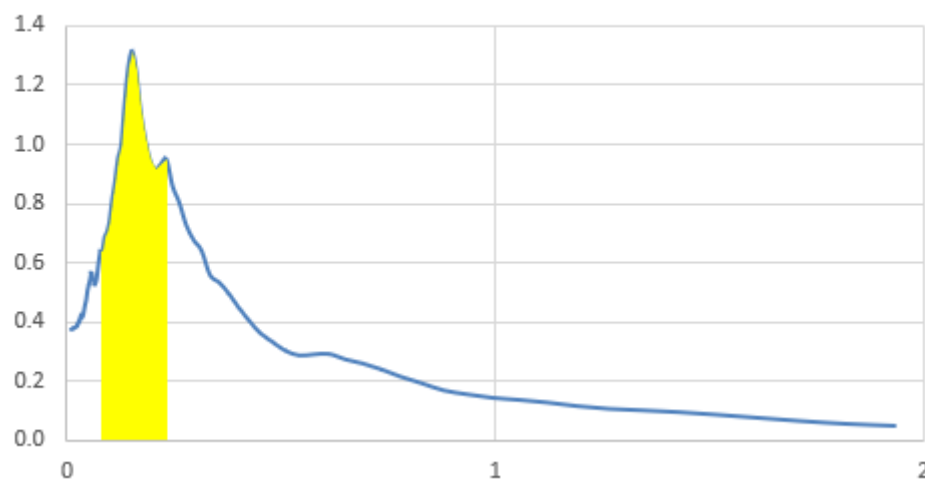


Figura 3 – Integrale formula (1)



area calcolo SAm

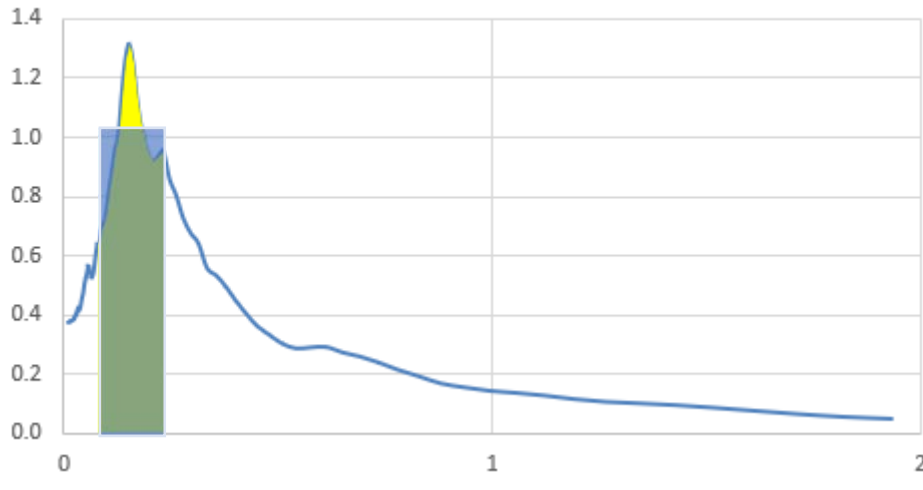


Figura 4 – rettangolarizzazione di figura 3

Cioè si calcola l'area tra i due limiti e si divide per la larghezza, trasformando la figura gialla in un rettangolo di area equivalente.

3. Passo c) ordinanza 55

Si determina lo spettro in pseudovelocità (SV) a partire da quello di accelerazione, di determina altresì il massimo (TV) di tale valore in pseudovelocità:

$$SV(T) = SA(T) \cdot \frac{T}{2\pi} \quad (2)$$

4. Passo d) ordinanza 55

Si calcola il valore medio dello spettro (SV_m) nell'intorno di TV tra 0,8•TV e 1,2•TV

$$SV_m = \frac{1}{0,4 \cdot TV} \cdot \int_{0,8 \cdot TV}^{1,2 \cdot TV} SV(T) dT \quad (3)$$

Anche in questo caso si trasforma l'area sottesa con un rettangolo equivalente.

area calcolo SVm

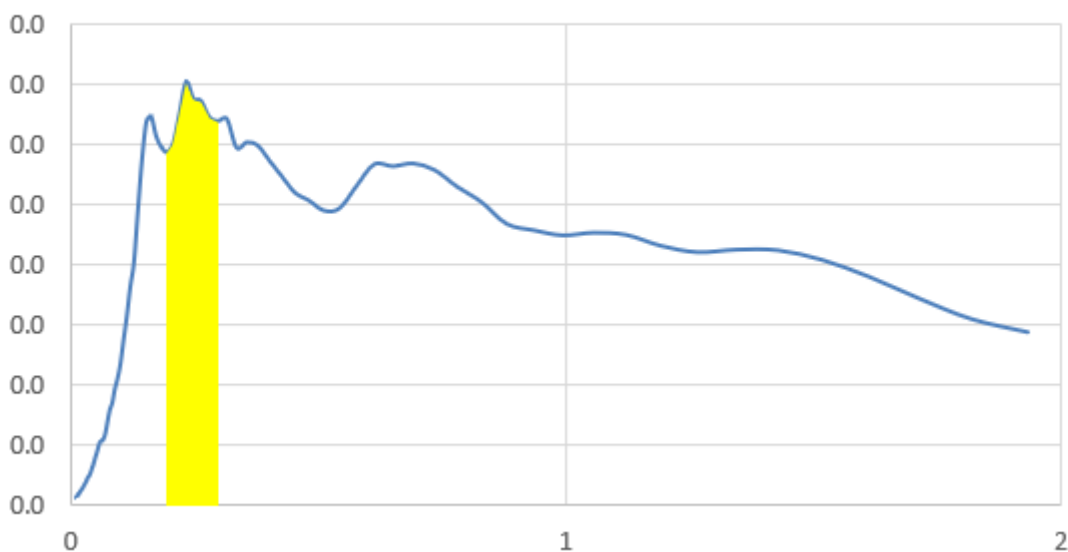


Figura 5 – Area formula (3)



area calcolo SVM

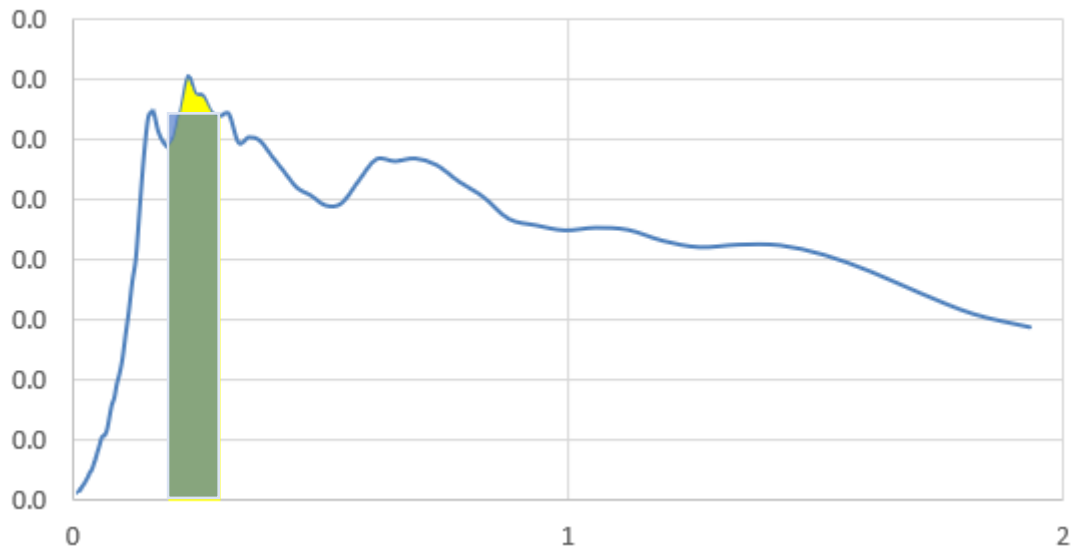


Figura 6 – rettangolarizzazione dell'area di Figura 5

5. Passo e) ordinanza 55

Si determina il periodo in corrispondenza del quale si incontrano i due rami dello spettro ad accelerazione costante e velocità costante:

$$T_c = 2 \cdot \pi \cdot \frac{SV_m}{SA_m} \quad (4)$$

6. Passo f) ordinanza 55

Poiché il valore di a_{max} non è fornito nello spettro delle simulazioni numeriche si procede per estrapolazione lineare:

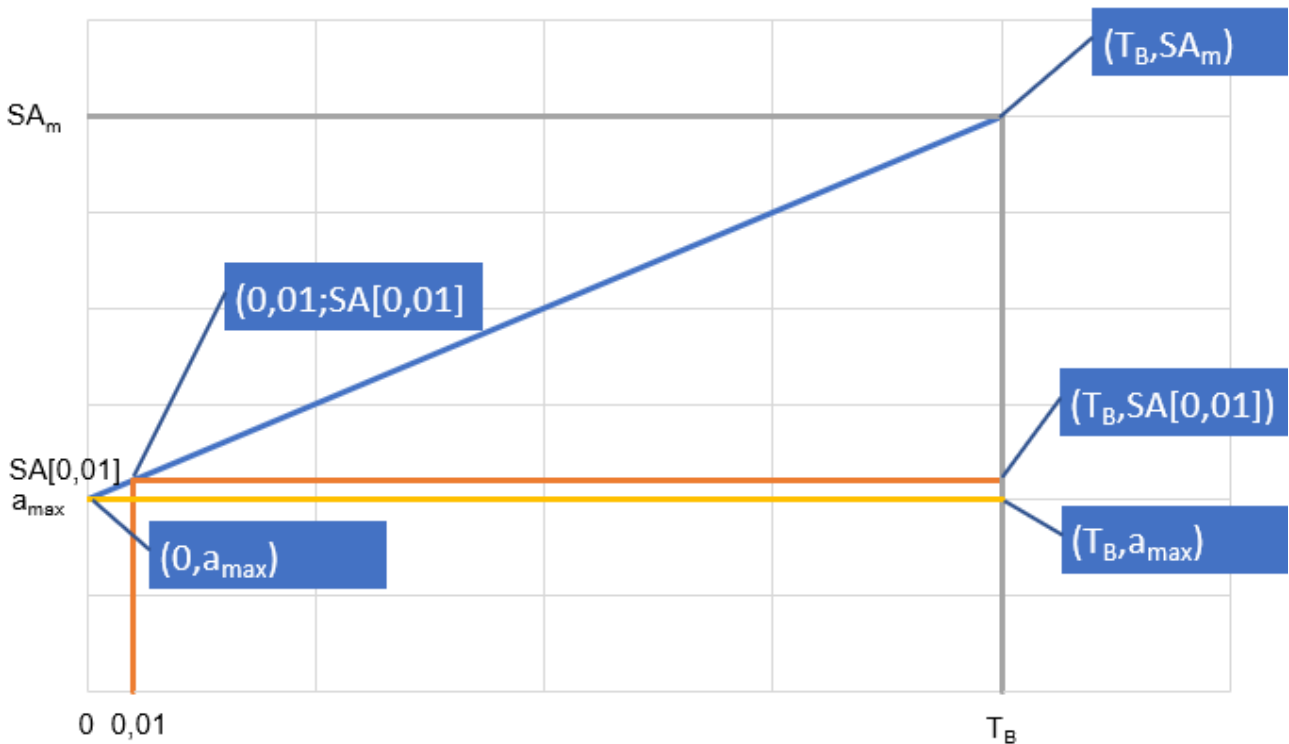


Figura 7 – Estrapolazione lineare



$$(T_B - 0,00) : (T_B - 0,01) = (SA_m - a_{max}) : (SA_m - SA[0,01])$$

$$\frac{(SA_m - SA[0,01]) \cdot T_B}{T_B - 0,01} = (SA_m - a_{max})$$

$$a_{max} = SA_m - \frac{(SA_m - SA[0,01]) \cdot T_B}{T_B - 0,01}$$

$$a_{max} = SA_m - \frac{(SA_m - SA[0,01]) \cdot T_B}{\left(1 - \frac{0,01}{T_B}\right) \cdot T_B}$$

$$a_{max} = \frac{SA_m \cdot \left(1 - \frac{0,01}{T_B}\right) - (SA_m - SA[0,01])}{\left(1 - \frac{0,01}{T_B}\right)}$$

$$a_{max} = \frac{SA_m - SA_m \left(\frac{0,01}{T_B}\right) - SA_m + SA[0,01]}{\left(1 - \frac{0,01}{T_B}\right)}$$

$$a_{max} = \frac{SA_m}{\left(1 - \frac{0,01}{T_B}\right)} \cdot \left[\frac{SA[0,01]}{SA_m} - \left(\frac{0,01}{T_B}\right) \right]$$

7. Passo f) ordinanza 55

Si determinano $T_B = T_C/3$ e $T_D = 4 \cdot a_{max} + 1.6$

8. Passo g) ordinanza 55

Si applicano le equazioni da NTC 2018 per la determinazione dei tratti dello spettro tra 0 s, T_B , T_C , T_D , 4 s.

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

9. Passo h) ordinanza 55

Si determina F_o di output come rapporto fra SA_m e a_{max} , mentre il parametro S_s , di amplificazione stratigrafica, come rapporto fra a_{max} e a_g (ovvero accelerazione del sito su roccia, terreno A), il tutto come meglio evidenziato dalle figure 1 e 2.

È importante controllare sempre che il valore di F_o sia maggiore di 2,2 così come previsto dalle NTC al punto 3.2.3.2.1, altrimenti bisogna imporre manualmente tale valore.



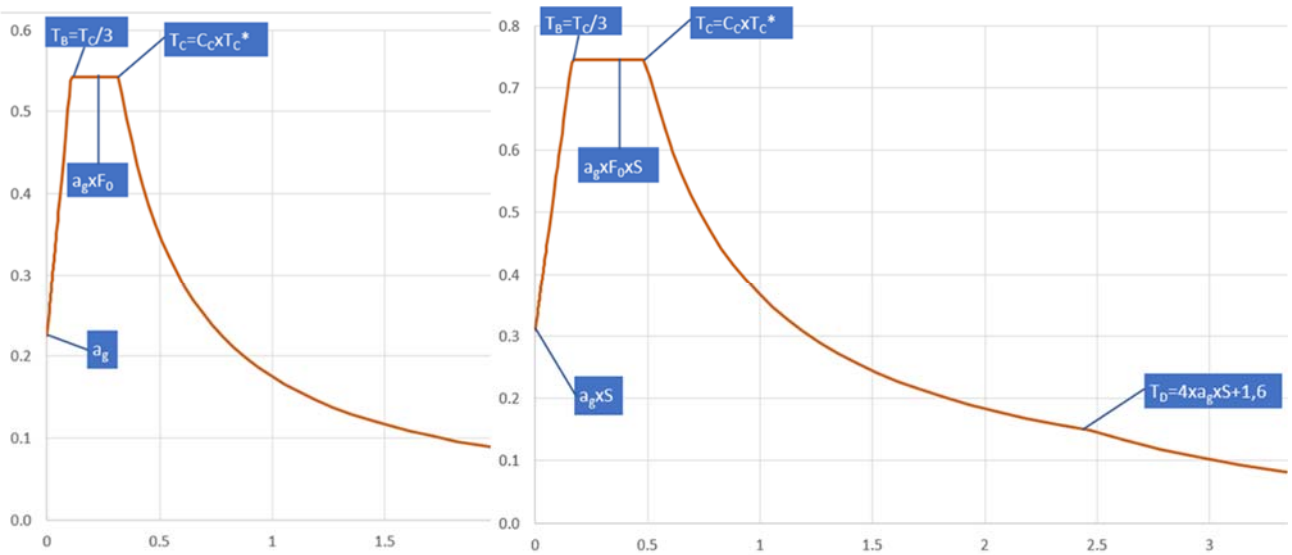


Figura 8 – confronto fra spettro su suolo A e spettro regolarizzato

10. Problema 1 – integrazione di funzione discreta

Al passo n. 2 si calcola il valore medio dello spettro (SA_m) nell'intorno del massimo TA tra $0,5 \cdot TA$ e $1,5 \cdot TA$, questo sarà assunto come valore del tratto ad accelerazione costante dello spettro standard:

area calcolo SA_m

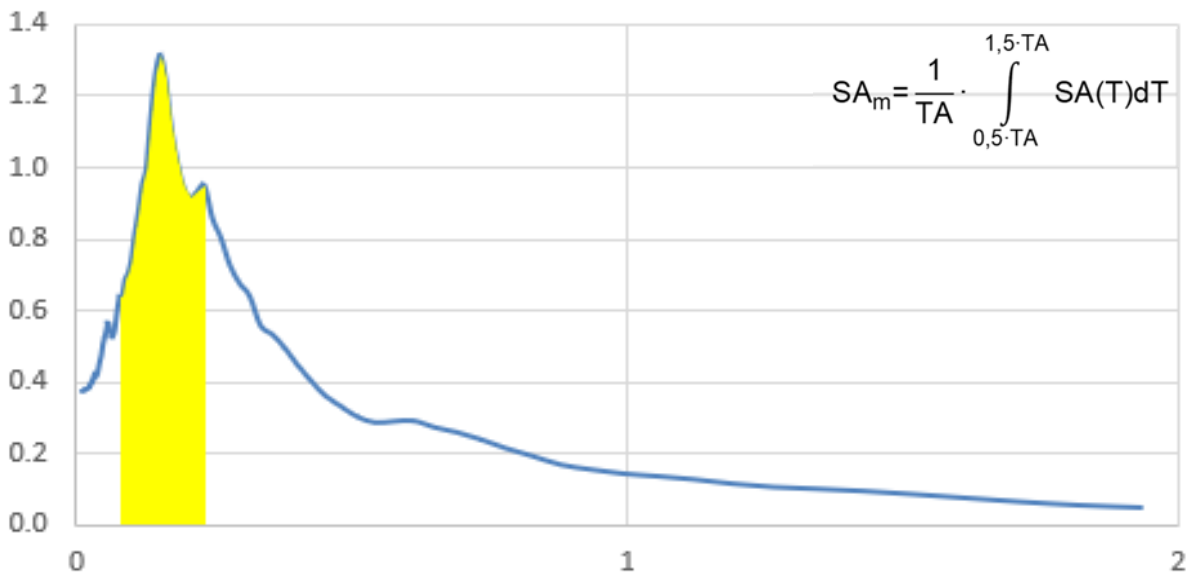


Figura 9 – Esempio di area dove fare integrale, formula 1

Questo vuol dire che sicuramente il punto di massimo della curva discreta avrà un valore TA , mentre è altamente improbabile che il valore di $0,5 \cdot TA$ e $1,5 \cdot TA$ siano dei punti, ma sicuramente essi capiteranno fra due punti del diagramma discreto:

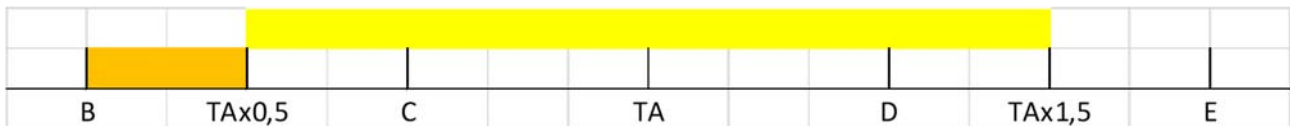


Figura 10 – Errore di approssimazione

(dove i punti B, C, TA, D, E sono i punti discreti della spezzata dello spettro)

Il calcolo dell'integrale, area, dovrà essere scomposto:

AI = area tra $TA \times 0,5$ - C

A = area tra C - D

AF = area tra $TA \times 1,5$ - E

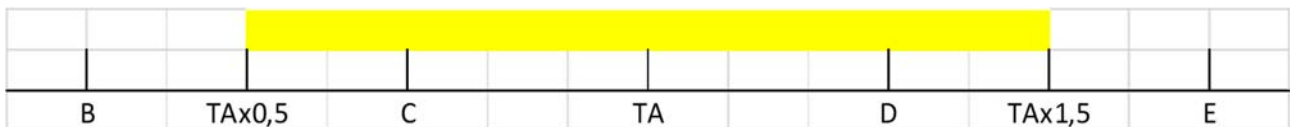


Figura 11 – Come dovrebbe essere calcolato in maniera corretta



I valori di $FA(TAx0,5)$ e $FA(TAx1,5)$ devono essere trovati con interpolazione lineare.

$$[T(C) - T(0,5xTA)]:[T(C)-T(B)]=[FA(C)-FA(0,5xTA)]:[FA(C)-FA(B)]$$

$$FA(0,5xTA)=\frac{[T(C)-T(0,5xTA)]x[S(C)-S(B)]}{[T(C)-T(B)]}$$

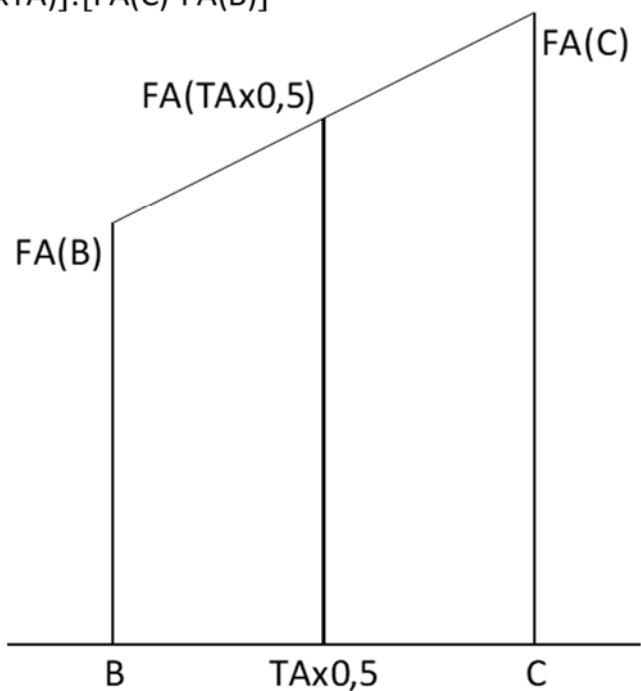


Figura 12 – interpolazione lineare per il calcolo del valore corretto

Il problema visto per il grafico delle accelerazioni è duale per quello delle velocità, pertanto lo stesso problema deve essere risolto anche nel calcolo di quell'integrale (area).

NB: da simulazioni fatte l'errore prendendo i valori discreti può essere anche del 5% - 10% nell'altezza del pianerottolo, positivo o negativa a seconda se si prendono i valori più interni o più esterni.

11. Problema 2 – pianerottolo troppo corto

Se il pianerottolo sembra corto rispetto alla costruzione standard e lascia fuori una parte dello spettro, come ad esempio qua sotto,

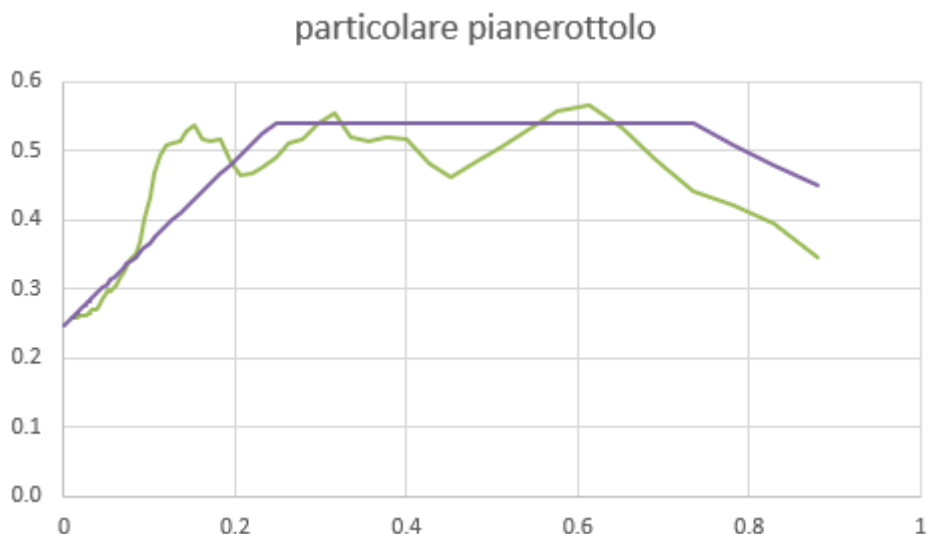


Figura 13 - pianerottolo corto

Ingegnieristicamente si può modificare la lunghezza del pianerottolo per avere maggiore copertura, tale modifica viene fatta, però tenendo fermo il punto a_{max} trovato in precedenza.

Tale impostazione è importante perché altrimenti, imponendo come punto fisso il primo punto noto dalla analisi STRATA ($T=0,01$), allungando il pianerottolo aumenta la pendenza e tenendo fissa la accelerazione al periodo $T = 0,01$ diminuirebbe la a_{max} , per questo si è preferisce tenere fermo il punto a_{max} e cambiare la pendenza del primo tratto dello spettro.

12. Problema 2 – presenza di più picchi

Nel caso di presenza di più picchi la media a cavallo del massimo potrebbe non essere corretta infatti come si vede dall'esempio sotto riportato:

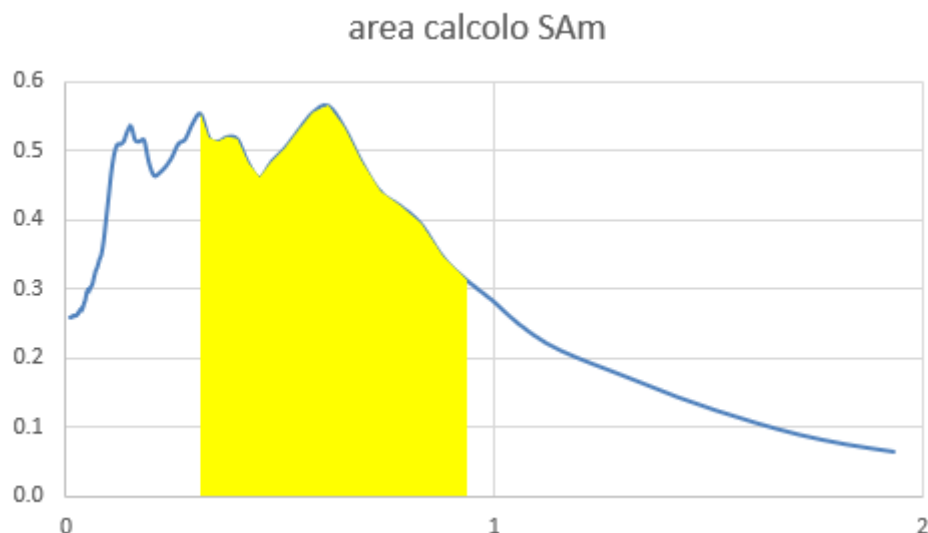


Figura 14 – copertura dell'area non corretta



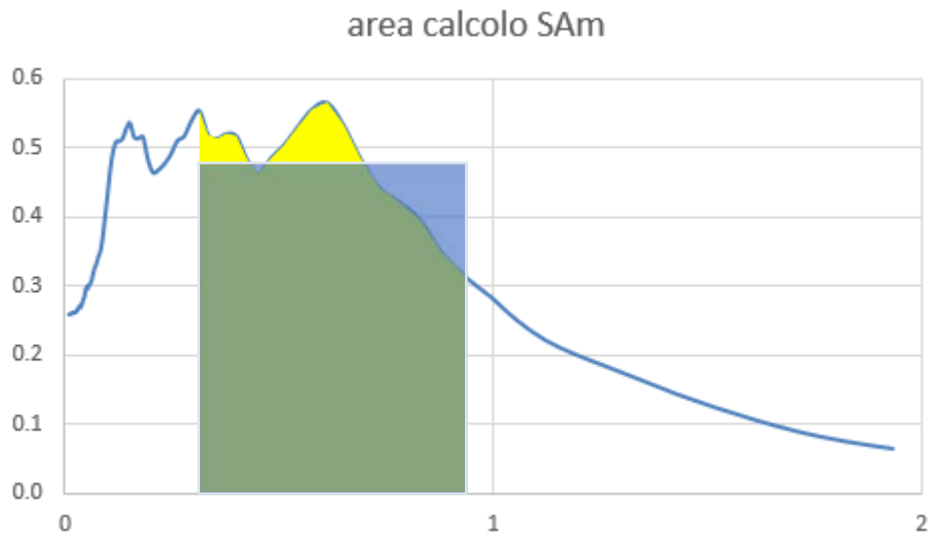


Figura 15 – Rettangolarizzazione che sottostima il valore del tratto ad ag costante

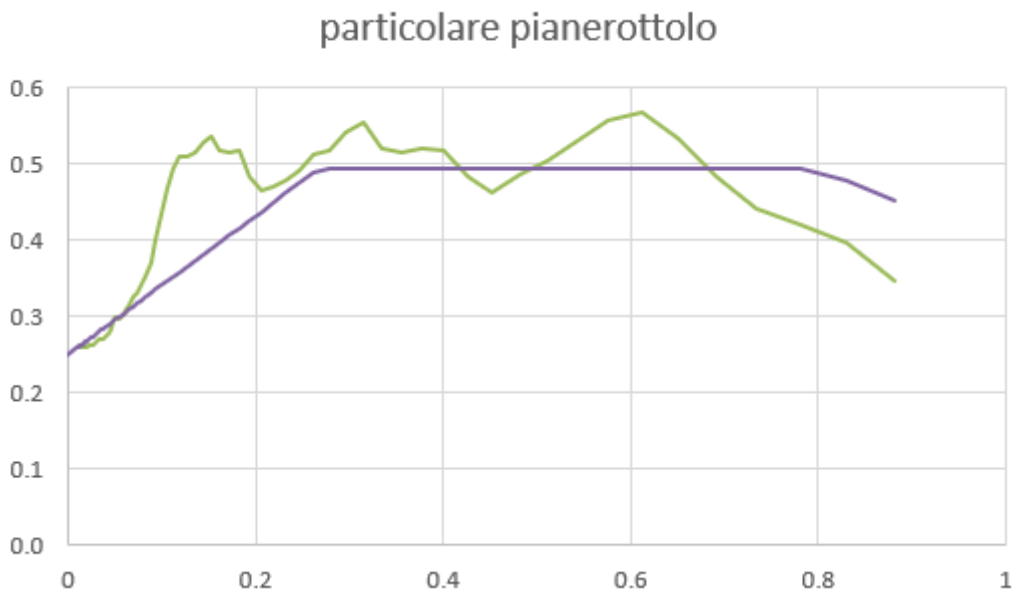


Figura 16 – particolare del pianerottolo nel caso di figura 15

In tale caso la normalizzazione fa una media su una zona che potrebbe non è significativa, pertanto bisogna considerare l'integrale che tiene conto dei massimi un metodo potrebbe essere:

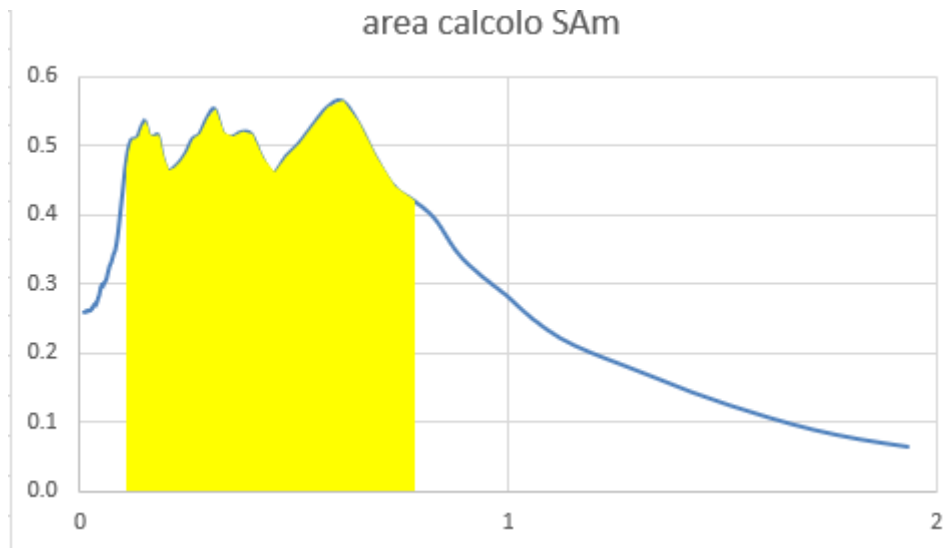


Figura 17 – nuova area considerando i tre picchi

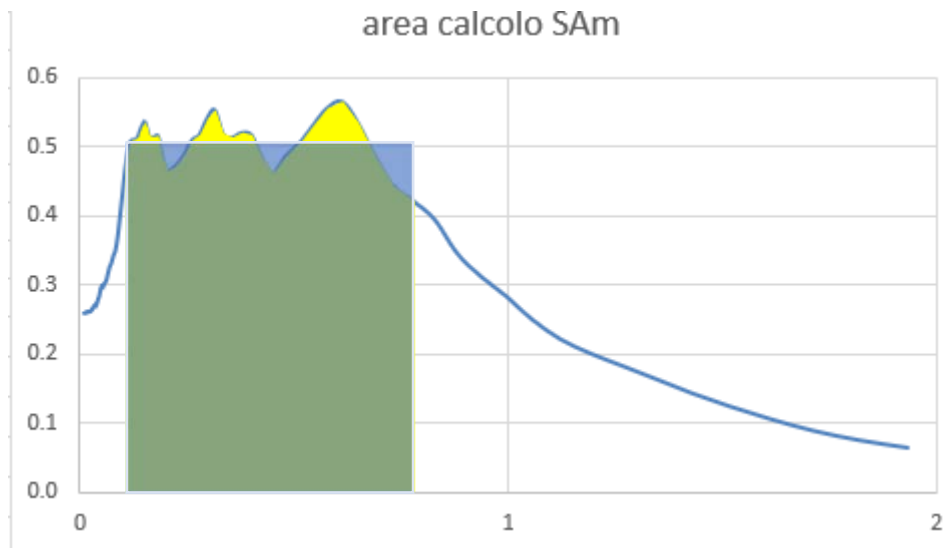


Figura 18 - media

L'integrale e la media relativa prende in considerazione i massimi e fa la "lisciatura" di questi massimi e prende come limiti sx e dx il minimo fra i minimi relativi, ovvero il valore discreto più piccolo e più grande.

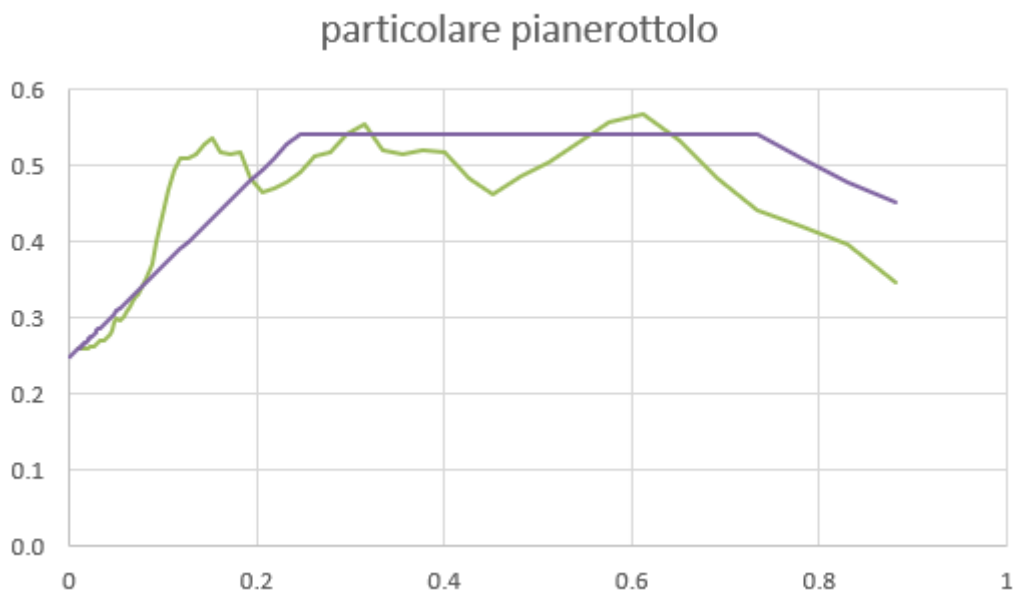


Figura 19 – particolare del pianerottolo della figura 15

Poi potrà ampliare, eventualmente, il pianerottolo a sx.

13. Conclusioni

Il metodo per la regolarizzazione degli spettri è relativamente semplice, ma deve essere sempre fatta guardando con occhio critico la congruità del risultato ottenuto.

Tutto quanto sopra riportato è frutto di una lettura personale e critica dell'ordinanza 55 sulla regolarizzazione degli spettri.

Ing. Roberto Di Girolamo

