

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione tecnica illustrativa (MS3)

### Regione Toscana Comune di Castel San Niccolò



Regione Toscana	Soggetto realizzatore Progeo Engineering S.r.l.  Referente e coordinatore attività: Geol. Massimiliano Rossi Geol. Fabio Poggi  Collaboratori: Geol. Gabriele Menchetti Geol. Andrea Martini	Data Febbraio 2025
--------------------	---	-----------------------



<b>1.</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>ELABORAZIONI DELLO STUDIO DI MS3 .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>MODELLO DEL SOTTOSUOLO .....</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>MODELLAZIONI NUMERICHE E ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE .....</b>	<b>8</b>
4.1.	PARAMETRIZZAZIONE IN CHIAVE DINAMICA DEI TERRENI .....	9
4.2.	AREE IN FRANA MS3.....	20
4.3.	RAPPRESENTAZIONE SU MAPPA ED ESTRAPOLAZIONE .....	20
4.4.	INDICAZIONI RELATIVE ALLA FASE PROGETTUALE .....	24
4.5.	DISTRIBUZIONE DEGLI SPETTRI .....	27
4.6.	REDAZIONE DELLA CARTA DI MS3 .....	27
<b>5.</b>	<b>COMMENTI FINALI E CRITICITÀ .....</b>	<b>29</b>



## **1. PREMESSA**

La presente relazione Tecnica illustrativa descrive le fasi operative ed i risultati ottenuti dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Castel San Niccolò, effettuato per l'area urbana di Strada in Casentino, Prato di Strada e Rifiglio.

Il Livello 3 rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione del territorio basata su metodologie analitiche di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della “Carta di Microzonazione Sismica di Livello 3”.

## **2. ELABORAZIONI DELLO STUDIO DI MS3**

Uno studio di microzonazione sismica di terzo livello (di seguito MS3) prevede la disamina di tutti gli aspetti propri di una microzonazione sismica (stima dell'azione sismica e, quindi, dell'eventuale livello di amplificazione sismica e definizione delle aree di rispetto e/o suscettibilità per le aree instabili) mediante procedure avanzate finalizzate ad una parametrizzazione quantitativa. Lo studio di MS3 nel territorio comunale di Castel San Niccolò è stato limitato ai centri abitati ubicati in corrispondenza del fondovalle del T.Solano e quindi Strada in Casentino (sede comunale), Prato di Strada e Rifiglio.

L'analisi parametrica finalizzata alla redazione di una cartografia di microzonazione sismica di livello 3, impone la preliminare definizione di un input sismico, costituito da un set di accelerogrammi naturali sismo-compatibili con le caratteristiche tettoniche dell'area e spettro-compatibili con quanto prescritto dalle vigenti NTC 2018.

L'input sismico è stato definito mediante la procedura messa a punto dall'Università di Pavia nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica con la Regione Toscana, finalizzata alla *“Definizione di input sismici sismo-compatibili e spettro-compatibili per i comuni della regione Toscana”*.

A tal proposito è stato sviluppato un codice di calcolo di semplice utilizzo che fornisce, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerati, l'input sismico compatibile con le NTC18 sia in termini spettrali che di accelerogrammi spettro-compatibili.

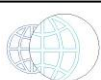
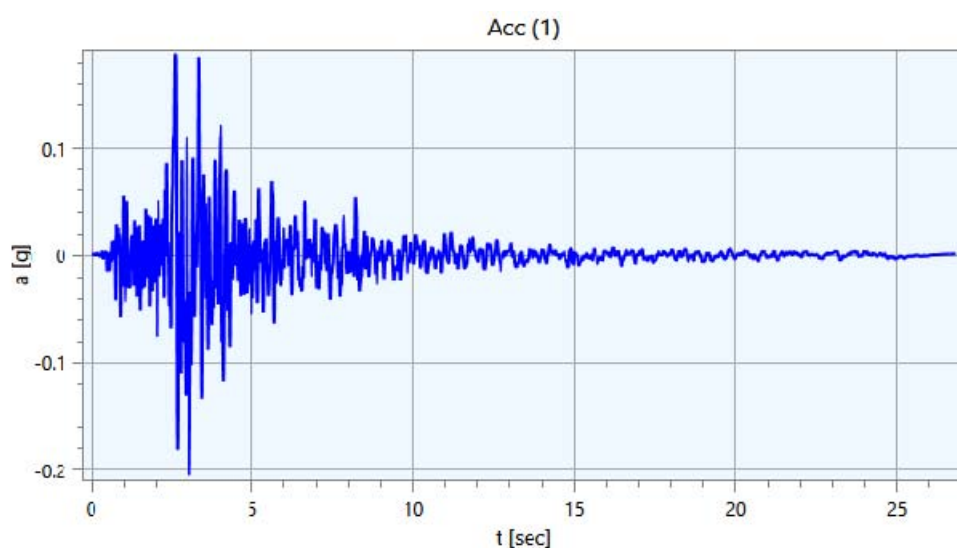


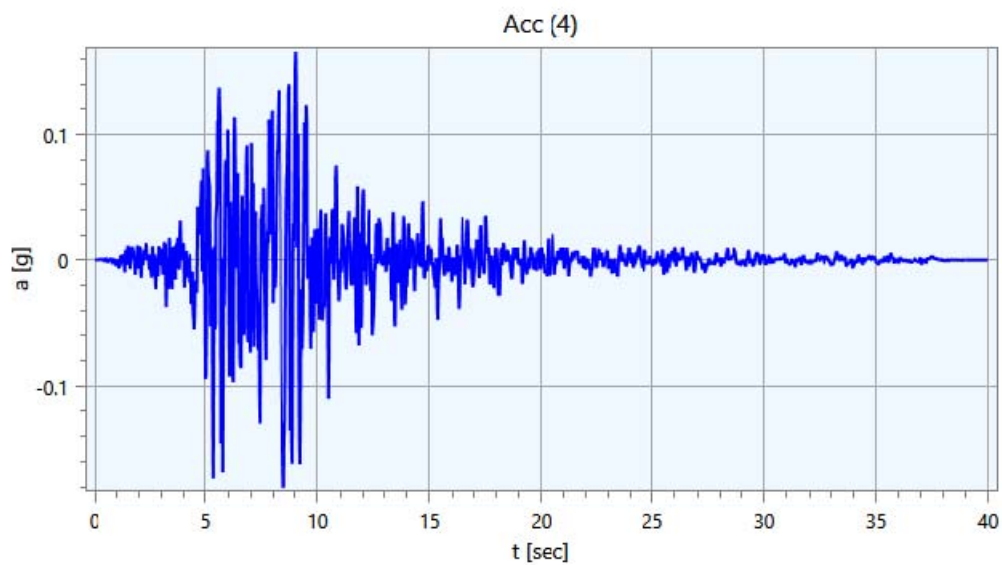
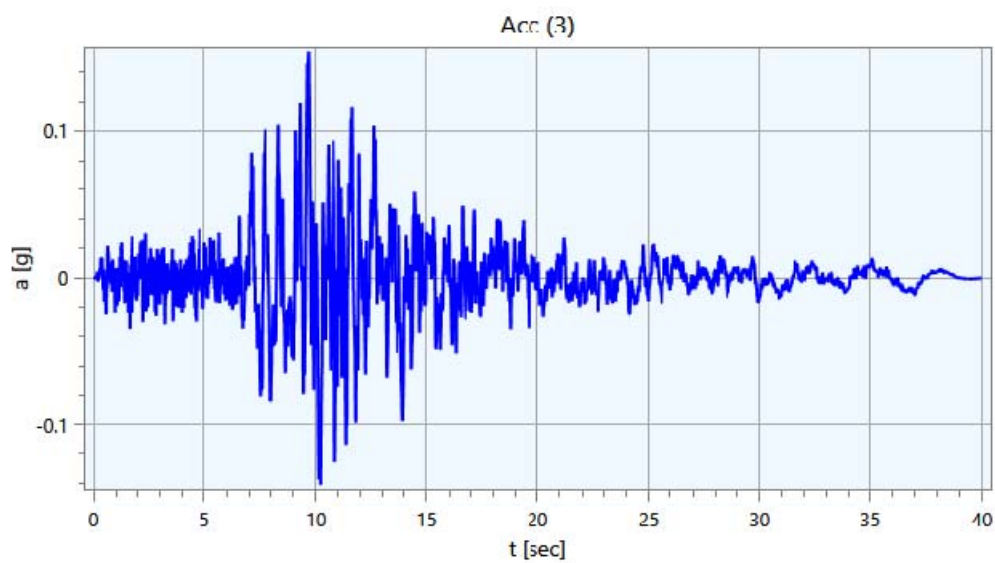
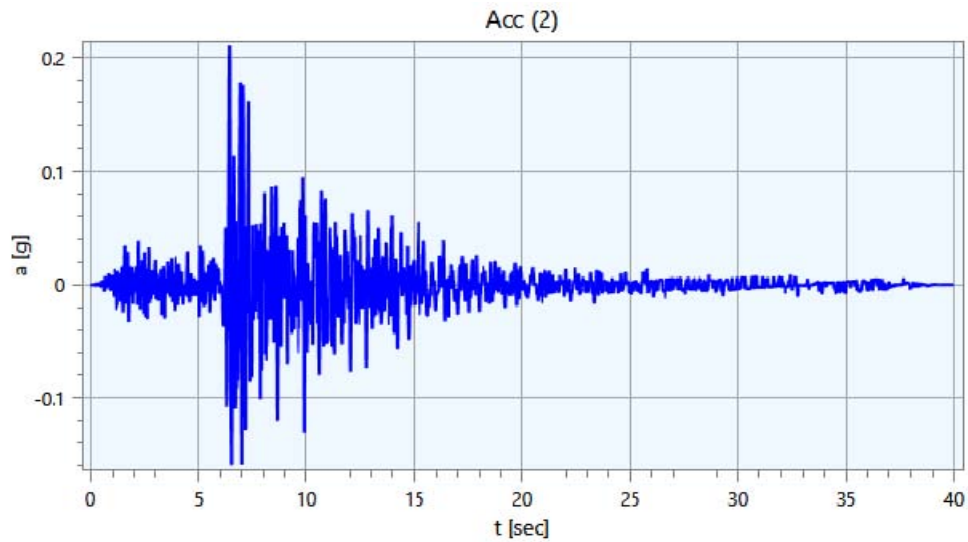
Il codice è chiamato SCALCONA 3.0 (SCALing of COmpatible Natural Accelerograms) ed è scaricabile al link: <http://www.regione.toscana.it/-/accelerogrammi-di-riferimento-per-la-toscana>.

Si è optato per gli accelerogrammi naturali selezionati da banche dati accelerometriche “*strong-motion*” accreditate. Essi sono da preferire, secondo la normativa e la letteratura internazionale più avanzata per le analisi geotecniche e di risposta sismica locale, a fronte degli accelerogrammi artificiali. SCALCONA 3.0 utilizza i risultati della selezione degli accelerogrammi, consentendo di restituire, per il sito e periodo di ritorno di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC18 e succ. Circolare.

Gli accelerogrammi possono essere selezionati per ciascun punto interno ai territori di studio e per ciascuno dei 9 periodi di ritorno considerati nelle NTC18 (ossia 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni).

Le analisi di risposta sismica locale realizzate per la microzonazione sismica di livello 3 oggetto del presente lavoro fanno riferimento ad un input sismico relativo ad un periodo di ritorno di 475 anni (SLV). Di seguito è possibile visualizzare le storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati nelle analisi di risposta sismica locale come input sismico (Figura 2.1) e gli spettri di risposta elastici dei medesimi accelerogrammi a confronto con lo spettro di cat. A (bedrock sismico) previsto dalle NTC 2018 (Figura 2.2) per il centro urbano di Strada in Casentino (il valore è riferito convenzionalmente alla sede comunale, per la quale è previsto un valore di  $a_g$  pari a 0.178 g per un tempo di ritorno di 475 anni).





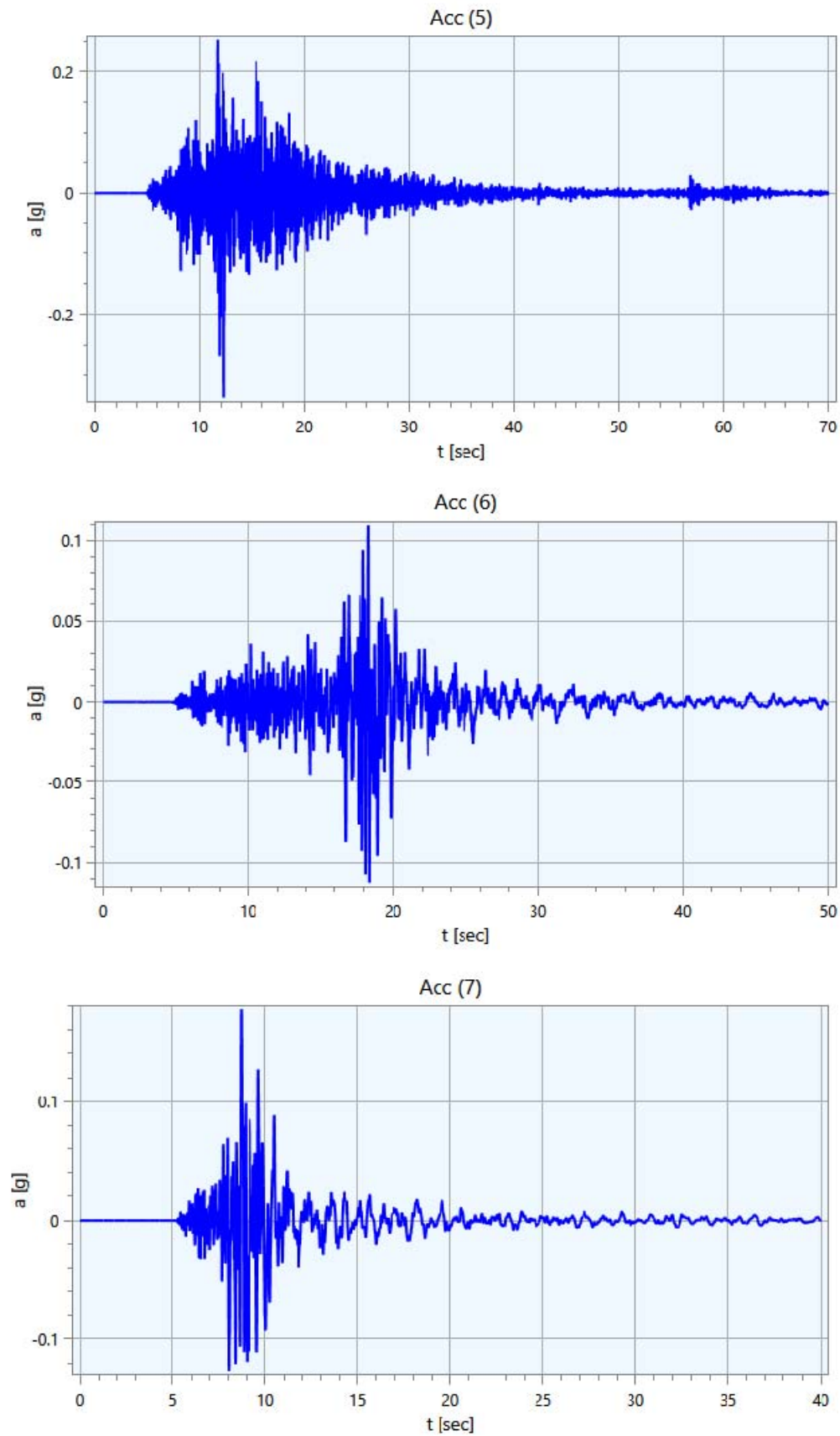


Figura 2.1: Storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico relativo ad un tempo di ritorno pari a 475 anni.



Dal grafico di Figura 2.2 è possibile notare la spettro-compatibilità della media dei 7 input a confronto con lo spettro target di normativa.

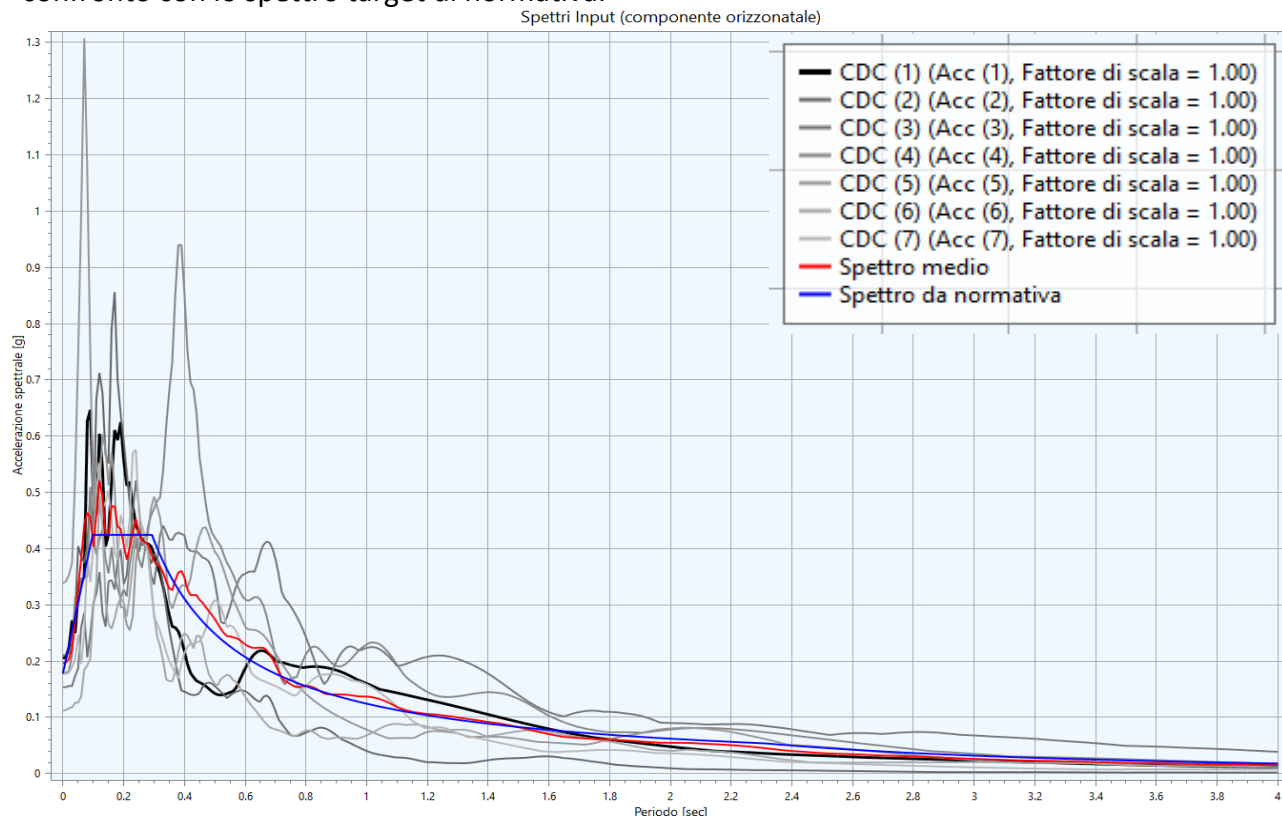


Figura 2.2: Rappresentazione in termini di spettro di risposta elastico (damping factor=5%) dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico per le analisi di risposta sismica locale relative ad un tempo di ritorno pari a 475 anni.

La Tabella 2.1 riporta le informazioni relative ai predetti accelerogrammi. Essi si riferiscono a registrazioni di eventi naturali e relative a stazioni poste sulla superficie terrestre, in corrispondenza di situazioni sismo-stratigrafiche inerenti la CAT. A ai sensi dell'Eurocodice 8 e delle NTC2018.

#### CASTEL SAN NICCOLO' TR475

n°	Magnitude (Mw)	Epic.Distance (km)	Scaling Factor	Source File Name
1	5.74	12.57	1.76	NGA-West2 RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
2	5.99	54.21	3.40	NGA-West2 RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
3	6.93	83.53	2.83	NGA-West2 RSN804_LOMAP_SSF115.AT2
4	6.69	38.07	1.18	NGA-West2 RSN1091_NORTHV_VAS000.AT2
5	6.60	26.00	1.75	KiK-net OKYH070010061330.NS2
6	6.60	62.00	1.53	KiK-net SAGH050503201053.NS2
7	5.20	11.80	2.28	ESM IT.AQP..HNN.D.20090409.005259.C.ACC.ASC

Tab.2.1 - Informazioni relative ai 7 accelerogrammi spettro-compatibili utilizzati come input sismico: Magnitude Mw = magnitudo momento associata, Epicentral Distance = distanza epicentrale in km, Scaling Factor = fattore di scala, Source file name = indicazione del nome del record e del codice della banca dati di provenienza.



### 3. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

A seguito delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche recuperate (indagini VEL) ed eseguite per gli studi di MS1-MS2/3, nell'area di indagine del Comune di Castel San Niccolò, sono stati ricostruiti dei modelli geologici, geofisici e geotecnici di sottosuolo; definendo altresì la sezione geologica rappresentativa della zona e fornendo una parametrizzazione geofisica e geotecnica di riferimento.

Naturalmente è opportuno sottolineare che tale parametrizzazione poiché deriva dalle indagini eseguite risulta indicativa e non deve quindi essere utilizzata a scala di progettazione.

Per il presente studio di MS3 sono state realizzate n°5 sezioni geologico-tecniche, denominate A, B, C, D e E, che riprendono quelle riportate nella Tavola delle Sezioni Geologico-tecniche. Nello specifico viene riportata la seguente correlazione:

- sez A=sez 13-13';
- sez B=Sez 6-6';
- sez C=Sez 7-7';
- sez D=Sez 12-12';
- sez E=Sez 8-8'.

Le sezioni studiate dalla A alla D sono tutte in direzione SE-NW e dunque trasversalmente alla pianura alluvionale del Torrente Solano, allungata in senso SW-NE; mentre la sezione E ha direzione W-E posta trasversalmente alla piccola valle alluvionale del Rio di Solano (zona stadio), che rappresenta un affluente di sinistra del T.Solano. Per l'area di Rifiglio, piccolo centro abitato posto all'interno della valle del T.Solano a monte dell'abitato di Prato di Strada, è stata eseguita la modellazione 1D.

Nell'area di fondovalle ove sorgono l'abitato di Strada in Casentino e Prato di Strada sono state effettuate numerose indagini sia per il progetto VEL che per i precedenti studi di MS. Tali indagini hanno confermato un modello geologico caratterizzato dalla presenza di un substrato lapideo rappresentato direttamente dalla F.ne delle Arenarie del M.Falterona (FAL2 e FAL3), posto spesso al di sotto di esigui spessori (<10m) di depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi. A volte gli



spessori dei depositi superano i 10 m ed in alcune zone sono presenti i depositi eluvio-colluviali e detritici, soprattutto a bordo della stretta valle.

Nella porzione superficiale dei rilievi collinari che sovrastano l’abitato di Strada è presente molto spesso una coltre detritica di limitato spessore o direttamente l’alterazione superficiale del substrato. Il rilievo posto in sinistra idrografica del T.Solano e dunque a Nord-Ovest di Strada è interessato da frane quiescenti a volte attive di elevato spessore 10-15 m che sono state riportate nelle sezioni B e C.

Per quanto riguarda le aree interessate da instabilità, sono state oggetto di studio preliminare (screening fase 1) tutte le Zone di Attenzione per instabilità inserite nel livello di MS 1, al fine di individuare le frane attivabili in condizioni dinamiche oltre a quelle attive, inserite a priori. In seguito alla fase 1 di screening tali aree sono state classificate come aree di suscettibilità per instabilità di versante (ZS-FR). Le aree in frana non sono state oggetto di analisi dinamica con il calcolo dello spostamento sismo indotto in quanto non previsto nel presente studio.

#### **4. MODELLAZIONI NUMERICHE E ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Il modello geometrico da sottoporre ad analisi di risposta sismica locale è stato rappresentato, per gli abitati di Strada e Prato di Strada, mediante sezioni geologico-tecniche sia desunte dalle sezioni utilizzate per la definizione del Modello Geologico di Riferimento della MS1 sia di nuova realizzazione nell’ambito dell’implementazione dello studio di MS3. L’Analisi di Risposta Sismica è stata condotta in assetto bidimensionale utilizzando approcci di tipo lineare-equivalente.

Il numero di sezioni realizzate (n.5), ha consentito una buona copertura in riferimento all’estensione dell’area di studio in modo da intercettare tutte le geometrie superficiali e/o sepolte in grado di influenzare la risposta sismica locale.

Nella trasposizione del modello geologico-tecnico delle sezioni in modelli numerici 2D sono stati definiti (oltre che i valori dei parametri fisico-meccanici derivati dalla campagna di esplorazione del sottosuolo a corredo dello studio di MS):

- le geometrie dei litotipi investigati, come desunto dalla ricostruzione del modello geologico-tecnico;
- le condizioni di vincolo lungo i bordi dei modelli numerici.



Le formazioni oggetto di studio sono state discretizzate mediante elementi finiti triangolari le cui dimensioni massime sono state selezionate secondo la regola (*Kuhlemeyer e Lysmer, 1973*):

$$D_{max} = \lambda / k = (T V_s)/k \quad (1)$$

dove **V<sub>s</sub>** è la velocità di propagazione delle onde di taglio (ricavata dalle indagini geofisiche dirette ed illustrate nei precedenti capitoli) e **T** è il periodo corrispondente alla più corta onda sismica propagabile e posto pari a 0.05s (frequenza massima propagata pari a 20Hz).

Tale periodo è quindi il minor periodo per cui si può ritenere attendibile il dato di output. Il coefficiente **k** è stato posto pari a 8 (*Lanzo & Silvestri, 1999*).

Per l'area di Rifiglio il modello geometrico da sottoporre ad analisi di risposta sismica locale è stato rappresentato da “Colonne di controllo” geologico-tecnico realizzate sui punti d'indagine sismica ritenuti maggiormente significativi, appositamente realizzati e recuperati dalla banca dati delle Indagini, come visibili nella Carta delle Indagini.

L'Analisi di Risposta Sismica Locale per quest'area è stata condotta, in accordo con il Servizio Sismico della Regione Toscana, in assetto 1D “monodimensionale” utilizzando approcci di tipo lineare-equivalente. Il numero di verticali analizzate (n°4) ha consentito una buona copertura in riferimento all'estensione dell'area di studio ed alla conformazione geologico-tecnica e sismo-stratigrafica, in modo da intercettare tutte le geometrie superficiali e/o sepolte in grado di influenzare la risposta sismica locale.

Nella trasposizione del modello geologico-tecnico delle verticali d'indagine in modelli numerici 1D sono state definite, oltre che i valori dei parametri fisico-meccanici derivati dalla campagna di esplorazione del sottosuolo a corredo dello studio di MS, anche le geometrie dei litotipi investigati, come desunto dalla ricostruzione del modello geologico-tecnico.

#### 4.1. PARAMETRIZZAZIONE IN CHIAVE DINAMICA DEI TERRENI

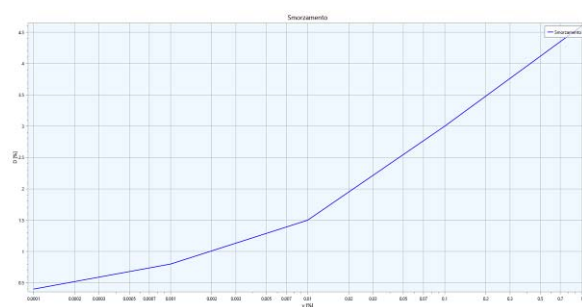
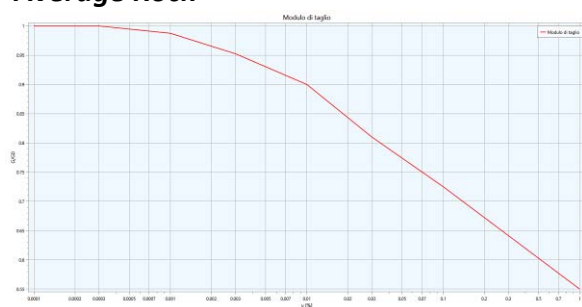
L'esecuzione di analisi di risposta sismica locale, eseguita con il software LSR-2D Vers. 5.0.12 (Local Seismic Response) della Stacec, prevede la parametrizzazione in chiave dinamica dei terreni di studio.

Avendo deciso di ricorrere all'utilizzo di codici di calcolo 1D e 2D operanti in ambito lineare-equivalente, è stato necessario ottenere, per ognuno dei sismostrati da modellare, i seguenti parametri:

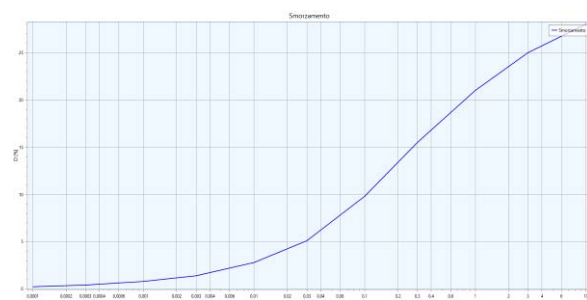
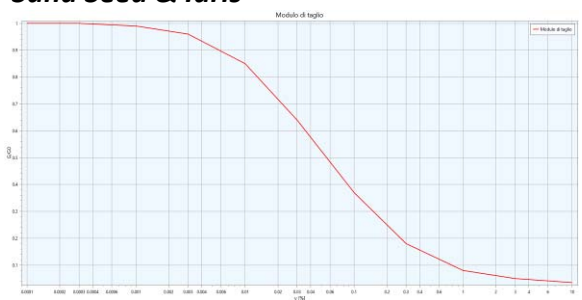


- Valori di **V<sub>p</sub>** (velocità di propagazione delle onde di compressione) e di **V<sub>s</sub>** (velocità di propagazione delle onde di taglio). Il valore di V<sub>s</sub> (come indicato nel precedente paragrafo) è servito anche per determinare la dimensione ottimale della mesh con cui è stata discretizzata la sezione da modellare;
- Pesì di volume dei litotipi in oggetto;
- Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato  $G(\gamma)$  e di incremento del rapporto di smorzamento  $D(\gamma)$  utilizzate per simulare il comportamento non lineare dei terreni mediante il legame costitutivo lineare equivalente (Figura 4.1).

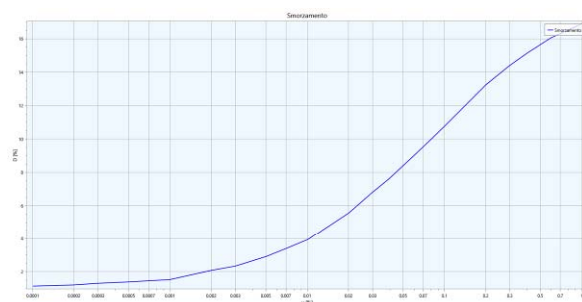
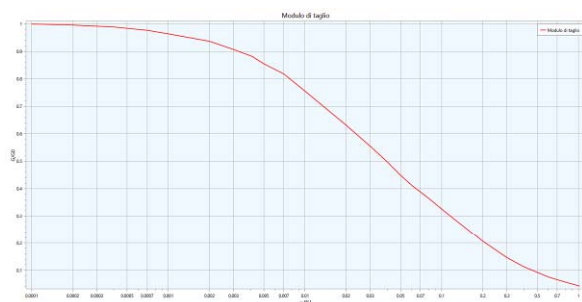
### Average Rock



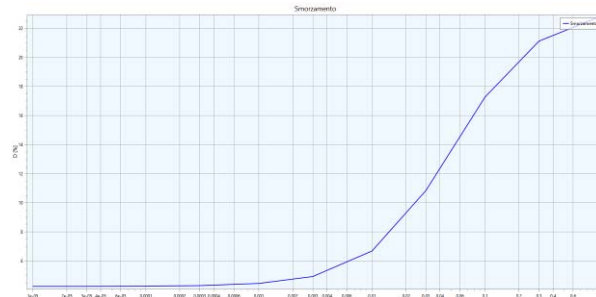
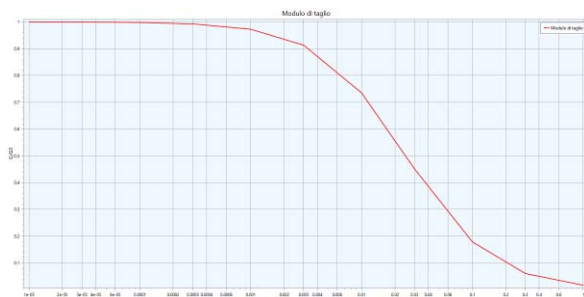
### Sand Seed & Idris



### GHIAIE Rollins



### Riporti\_Casentino



### LINEARE

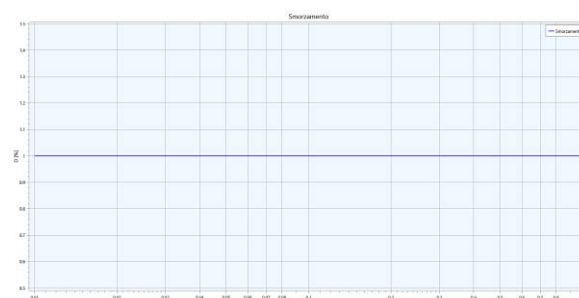
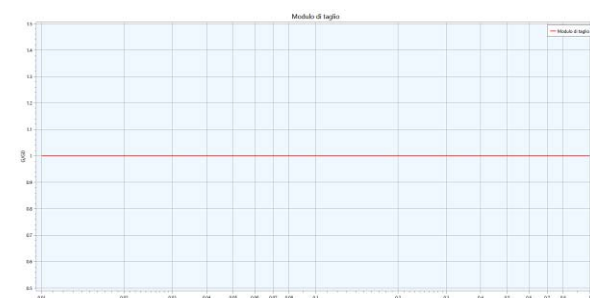


Figura 4.1: Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato  $G(\gamma)$  e di incremento del rapporto di smorzamento  $D(\gamma)$ , utilizzate nella MS3 di Castel San Niccolò (AR)

Nel presente studio le curve di decadimento, sono state tutte derivate da banche dati presenti nel software ad eccezione di “**Riporti\_Casentino**” per i quali sono state scaricate, dall’applicativo della banca dati VEL, le curve di decadimento relative ai campioni presenti in corrispondenza di tali formazioni o depositi. Tali curve sono state reperite al seguente link: <http://150.217.76.22/BancaDatiVEL/>. Per tutti i litotipi a comportamento rigido le curve relative inserite nelle modellazioni sono di tipo lineare. Nella tabella seguente vengono riportate le caratteristiche meccaniche degli strati rinvenuti all’interno dell’area di studio con modellazione 2D:

FORMAZIONI	densità	VP	VS	mod. poisson	G/G0-D
<b>Riporto</b>	1800	750	350	0.36	Riporti_Casentino
<b>Frana Inattiva</b>	1800	650 700	300	0.39 0.36	Ghiaie Rollins Sand Seed & Idriss (1970)
<b>Frana Quiescente</b>	1800	650 800	300 350	0.36 0.38	Sand Seed & Idriss (1970) Ghiaie Rollins
<b>Frana Attiva</b>	1800	550	250	0.41	Ghiaie Rollins
<b>Falda Detritica</b>	1800	700	300 350	0.39 0.33	Clay Seed & sun (1989) Ghiaie Rollins
<b>Falda Detritica-rio</b>	1800	600	250	0.39	Sand Seed & Idriss (1970)
<b>Alluvioni Recenti</b>	1800	750 1000	300 400	0.40	Sand Seed & Idriss (1970) Ghiaie Rollins
<b>Alluvioni Terrazzate</b>	1900	1400	500 550	0.43 0.41	Ghiaie Rollins



<b>Alluv. Terraz._prato</b>	1800	800	400	0.33	Ghiaie Rollins
<b>Alluv. Terraz._rio</b>	1800	600	250	0.39	Ghiaie Rollins
<b>Conoide Alluvionale</b>	1800	700	300	0.39	Ghiaie Rollins
<b>Eluvio Colluvio</b>	1900	1400	700	0.33	Sand Seed & Idriss (1970)
<b>Falterona siltitico o alterato</b>	2100	2200 2500	700	0.44 0.46	Average Rock
<b>M. Falterona FAL2</b>	2200	3000 3600	1500	0.33 0.39	Lineare
<b>M. Falterona FAL3</b>	2200	2800	1300	0.36	Lineare

In fase di predisposizione del modello, sono stati inseriti 82 punti complessivi di output al fine di ottenere una completa analisi dei risultati necessari per la successiva fase di estrapolazione dei dati. In ogni caso è presente come minimo un punto di output ogni 100m di sviluppo della sezione.

Nella tabella seguente vengono invece riportate le caratteristiche meccaniche degli strati rinvenuti all'interno dell'area di studio di Rifiglio con modellazione 1D, suddivise per verticale d'indagine:

n°	Carta delle Indagini			MOPS	profondità (m)	stratigrafia	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	densità	G-G0-D	mod. Poisson
	Tipo	Rif.	ubicazione								
1	MASW	L117 (MASW 140)	Rifiglio	2008+ conoide	0-3.7	conoide	300	800	1800	Ghiaie Rollins	0.42
					3.7-5.7	Ghiaie	420	1150	1900	Ghiaie Rollins	0.42
					5.7-11.7	FAL2_Alt	630	1700	2100	Average rock	0.42
					>11.7	FAL2	900	2400	2200	Lineare	0.42
2	MASW	L118 (MASW 141)	Rifiglio	2008	0-4.2	Ghiaie	320	800	1900	Ghiaie Rollins	0.40
					4.2-6.2	Ghiaie	420	1050	1900	Ghiaie Rollins	0.40
					6.2-7.2	FAL2_Alt	630	1700	2100	Average rock	0.42
					>7.2	FAL2	1100	2500	2200	Lineare	0.38
3	MASW	L23 (MASW 33)	Rifiglio	2008	0-3	Ghiaie	300	700	1900	Ghiaie Rollins	0.40
					3-5	Ghiaie	450	1100	1900	Ghiaie Rollins	0.40
					5-10	FAL2_Alt	700	1900	2100	Average rock	0.42
					>10	FAL2	1000	2500	2200	Lineare	0.38
4	MASW	L26 (MASW 36)	Rifiglio	2001	0-2	Ghiaie	300	750	1900	Ghiaie Rollins	0.40
					2-5	FAL2_Alt	600	1500	2100	Average rock	0.40
					>5	FAL2	1100	2500	2200	Lineare	0.38

Sono state effettuate due distinte analisi: la prima utilizzando una settupla di storie temporali relativa ad un periodo di ritorno di 475 anni e la seconda ad un periodo di ritorno di 50 anni.

La prima analisi è quella ufficiale dello studio di MS3, da cui sono stati estrapolati tutti i prodotti dello studio di Microzonazione (spettri di risposta elastici e Fattori di Amplificazione).

La seconda analisi è utilizzata esclusivamente per acquisire spettri medi caratteristici da utilizzare come indicazioni e strumenti per la progettazione edilizia.



Partendo dallo spettro di risposta elastico in output, si è effettuato il confronto tra gli integrali di output e di input, in riferimento a 3 differenti intervalli di periodo

$$FA0105 = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA0408 = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA0711 = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T) dT}$$

La metodologia necessaria per il calcolo dei predetti fattori consiste nel calcolare l'area sottesa allo spettro di output nell'intervallo di periodi richiesto (ad es. 0.1sec-0.5sec) mettendola a rapporto con l'area sottesa dallo spettro di input. Il valore risultante in tale caso sarà corrispondente a FA0105. Gli altri intervalli sui quali è stato effettuato il calcolo corrispondono ai periodi di 0.4-0.8sec e di 0.7-1.1 sec.

Sia lo spettro di output sia lo spettro di input sono stati discretizzati con passo di campionamento lineare ed omogeneo  $\Delta t = 0.01\text{sec}$ , in modo da rendere possibile il calcolo del fattore di amplificazione come rapporto tra le sommatorie dei valori di pseudoaccelerazione (PSA) nell'intervallo di periodi necessario (sia per l'output sia per l'input - Figura 4.2).

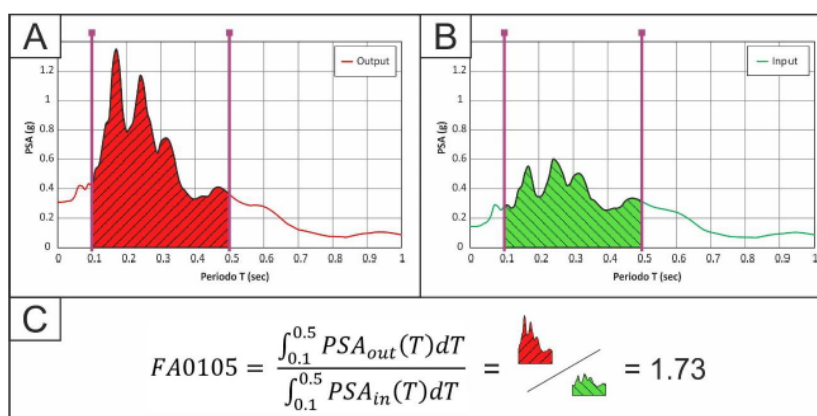


Figura 4.2: - Procedura per il calcolo del fattore di amplificazione FA0105

Il calcolo dei fattori di amplificazione è stato effettuato direttamente dal programma RSL2D sui singoli spettri di risposta (messi a rapporto con il corrispondente spettro di input) mediando successivamente i sette fattori determinati.

Infine, in corrispondenza dei punti di controllo più rappresentativi in sezione, per poter verificare il contributo degli effetti bidimensionali sulla risposta sismica definita, sono stati effettuati dei confronti con gli omologhi risultati derivanti da modellazione in ambiente monodimensionale.

L'esecuzione di analisi di risposta sismica locale consente l'acquisizione di molteplici parametri e strumenti di output. In particolare nelle figure riportate nelle pagine seguenti, sono restituiti gli spettri di risposta elastici relativi alle analisi di RSL in assetto bidimensionale e le sezioni geologico-tecniche con indicato la distribuzione e i valori dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali.





## Sezione A

sezione A - MS3 Castel San Niccolò'  
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

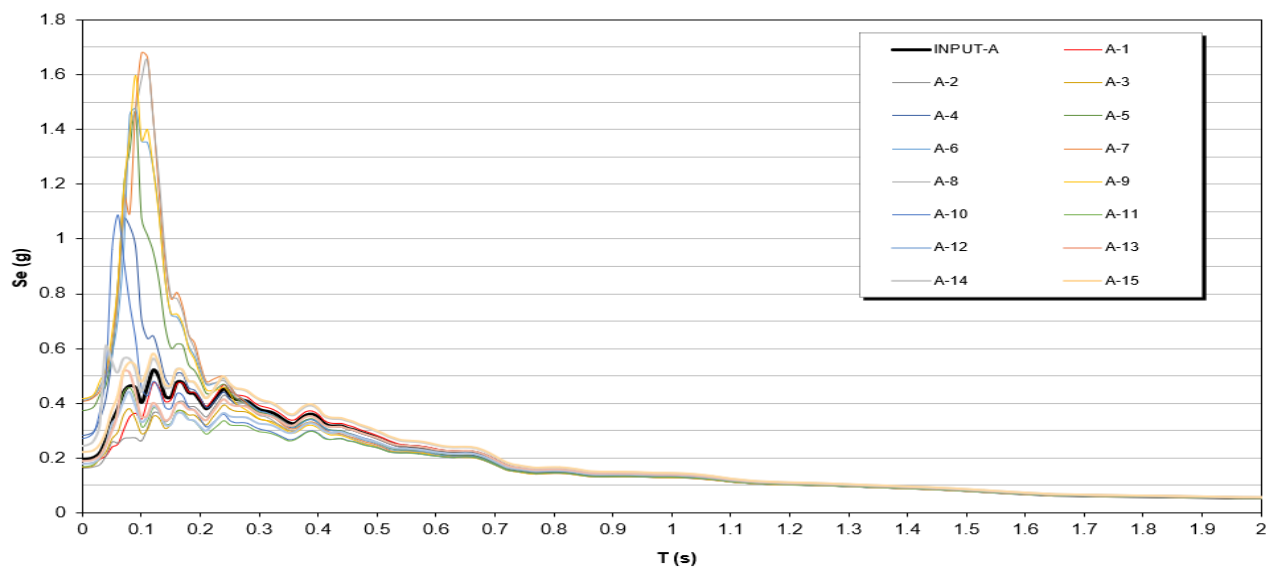


Figura 4.3: Sezione A - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

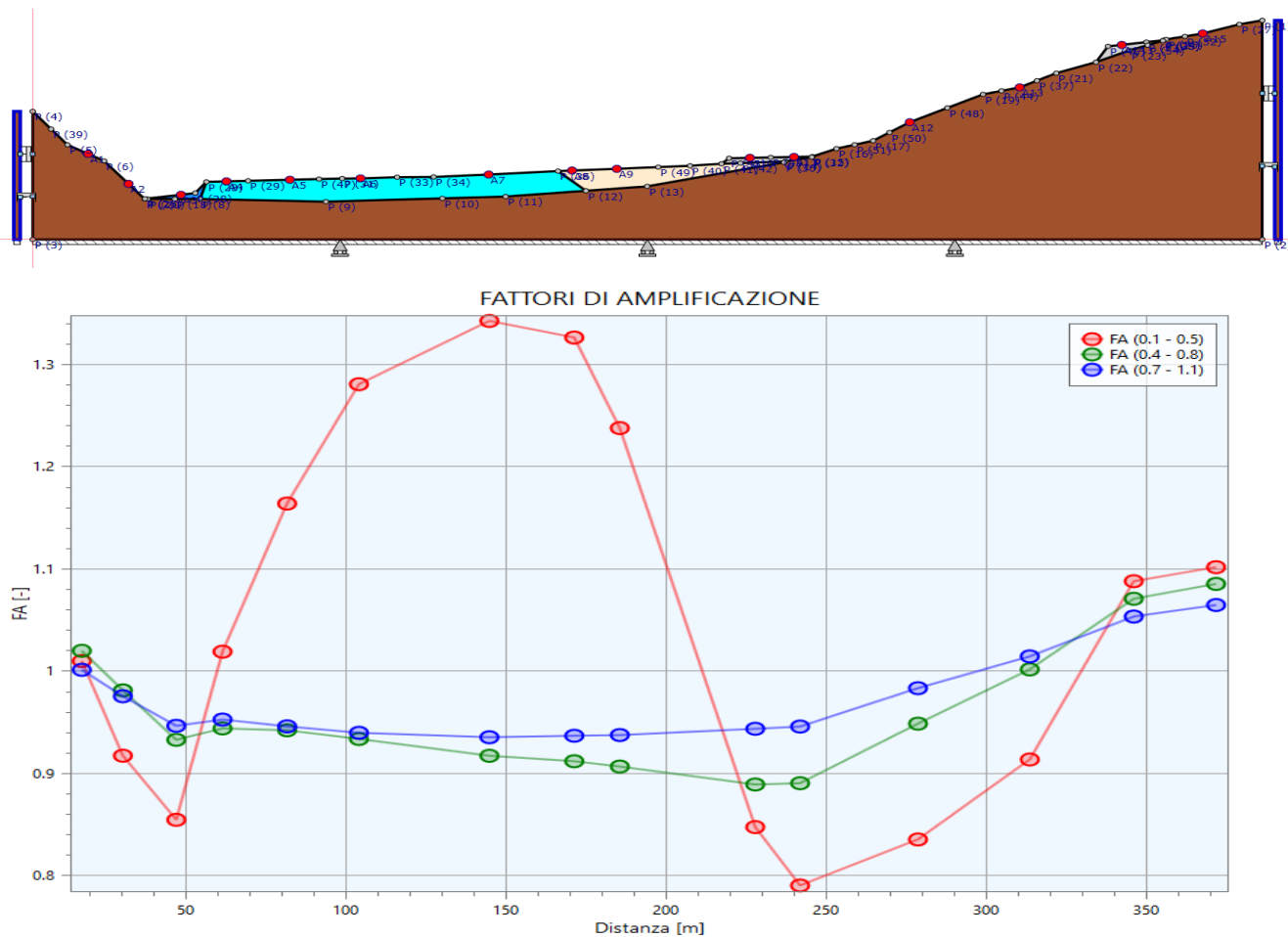


Figura 4.4: Sezione A - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali



**ProGeo** Engineering S.r.l.

via Don Luigi Sturzo, 43/A - 52100 Arezzo  
tel 0575 324114 fax 0575 406473 email info@progeo.arezzo.it

## Sezione B

sezione B - MS3 Castel San Niccolò  
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

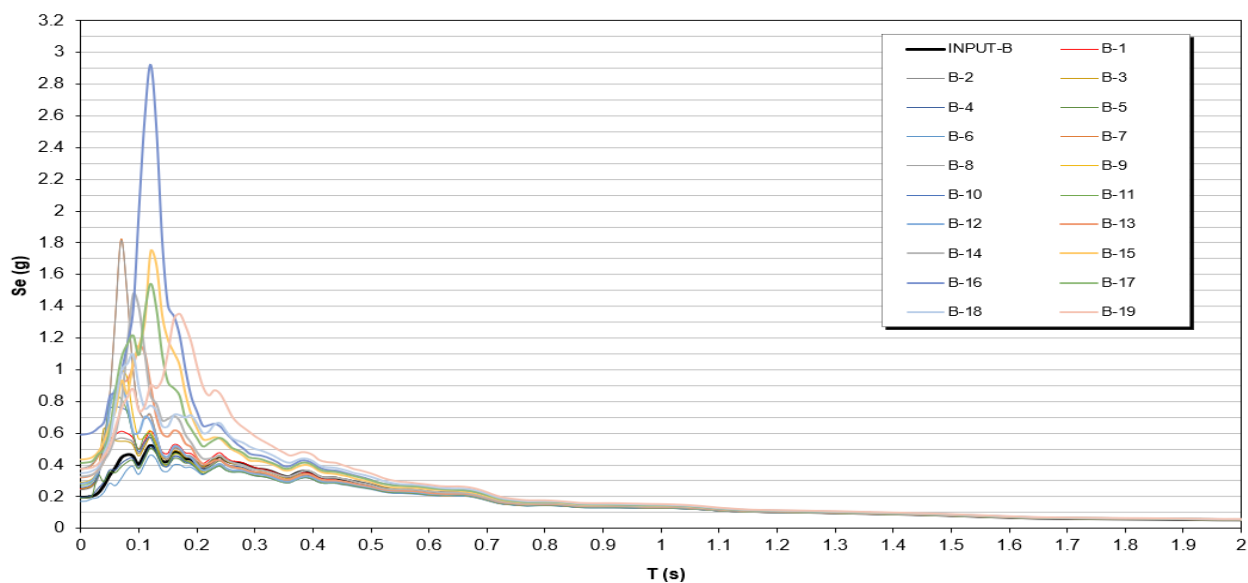


Figura 4.5: Sezione B - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

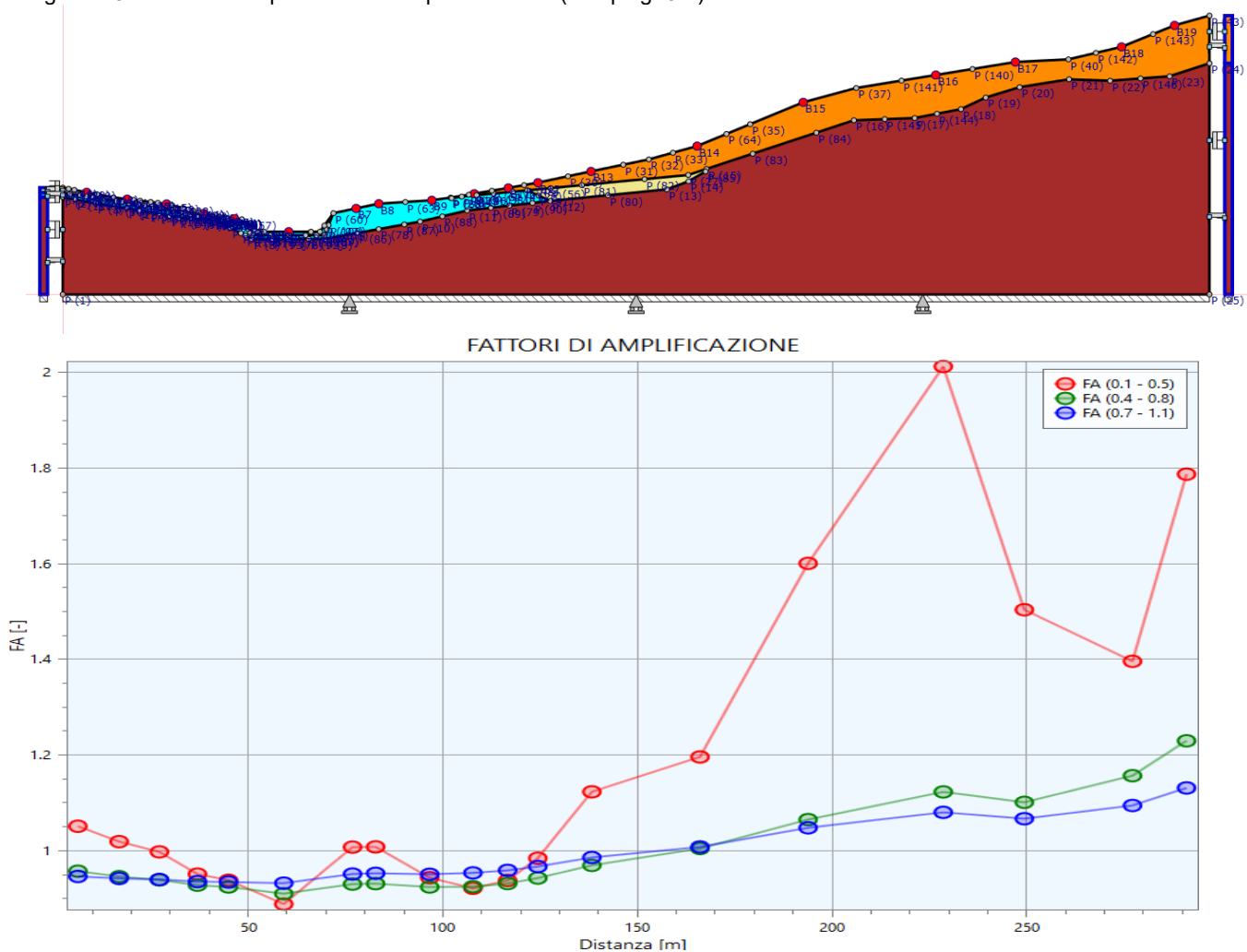


Figura 4.6: Sezione B - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali



**ProGeo** Engineering S.r.l.

via Don Luigi Sturzo, 43/A - 52100 Arezzo  
tel 0575 324114 fax 0575 406473 email info@progeo.arezzo.it

## Sezione C

sezione C - MS3 Castel San Niccolò'  
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

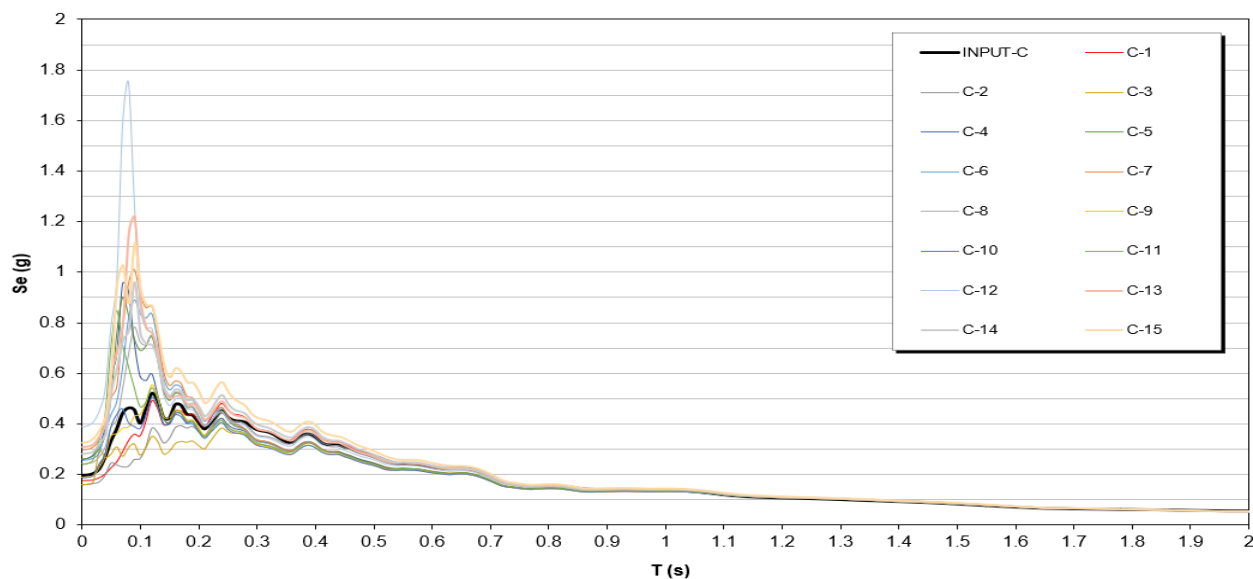


Figura 4.7: Sezione C - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

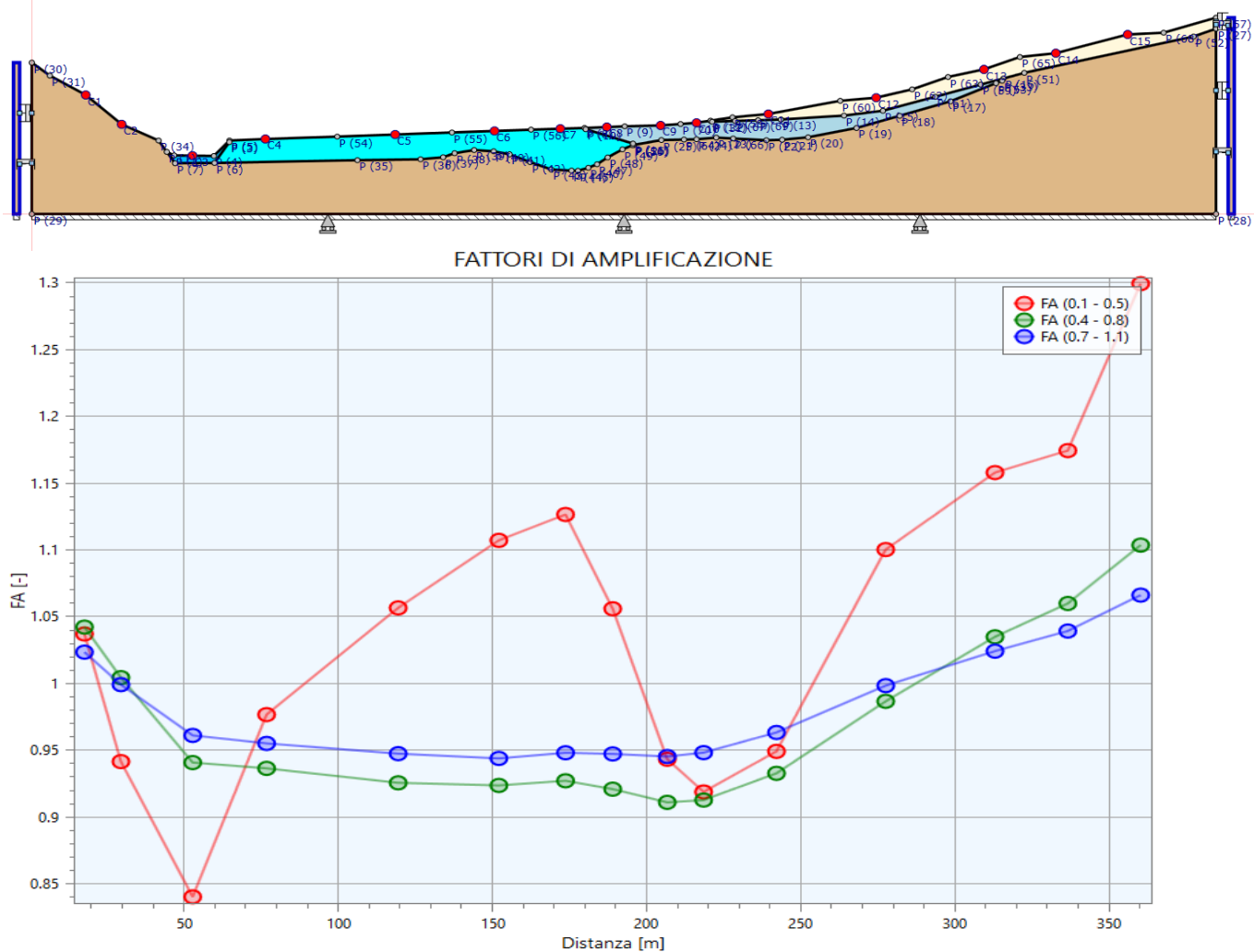


Figura 4.8: Sezione C - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali



**ProGeo** Engineering S.r.l.

via Don Luigi Sturzo, 43/A - 52100 Arezzo  
tel 0575 324114 fax 0575 406473 email info@progeo.arezzo.it

## Sezione D

sezione D - MS3 Castel San Niccolò  
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

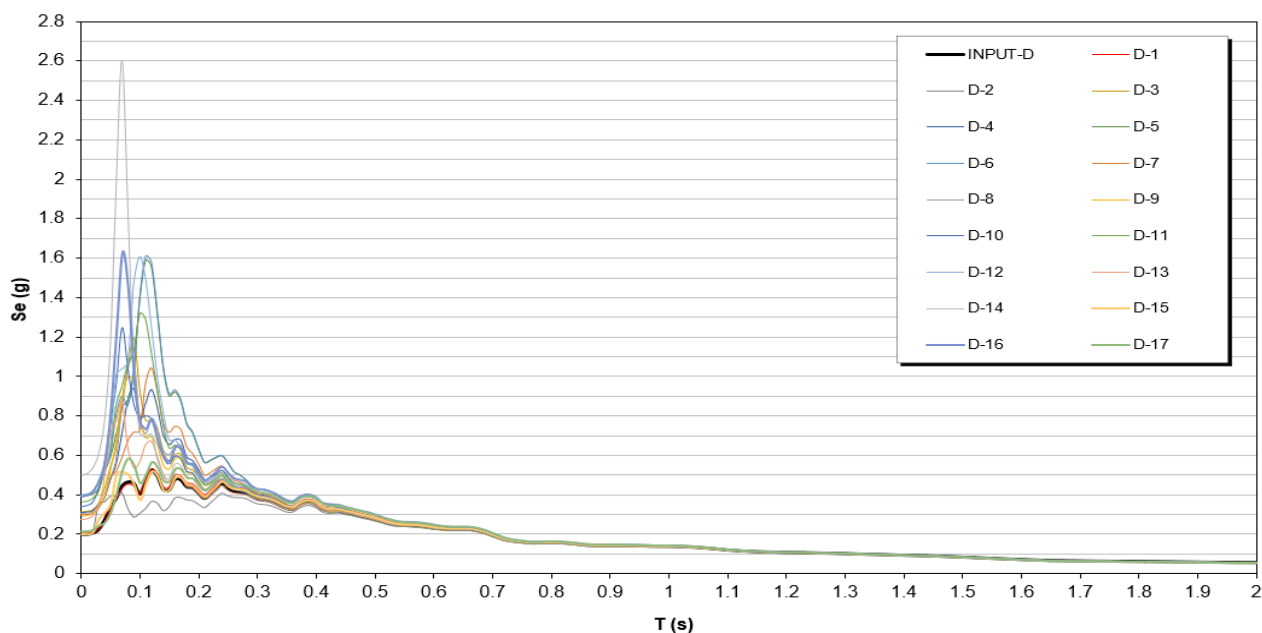


Figura 4.9: Sezione D - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

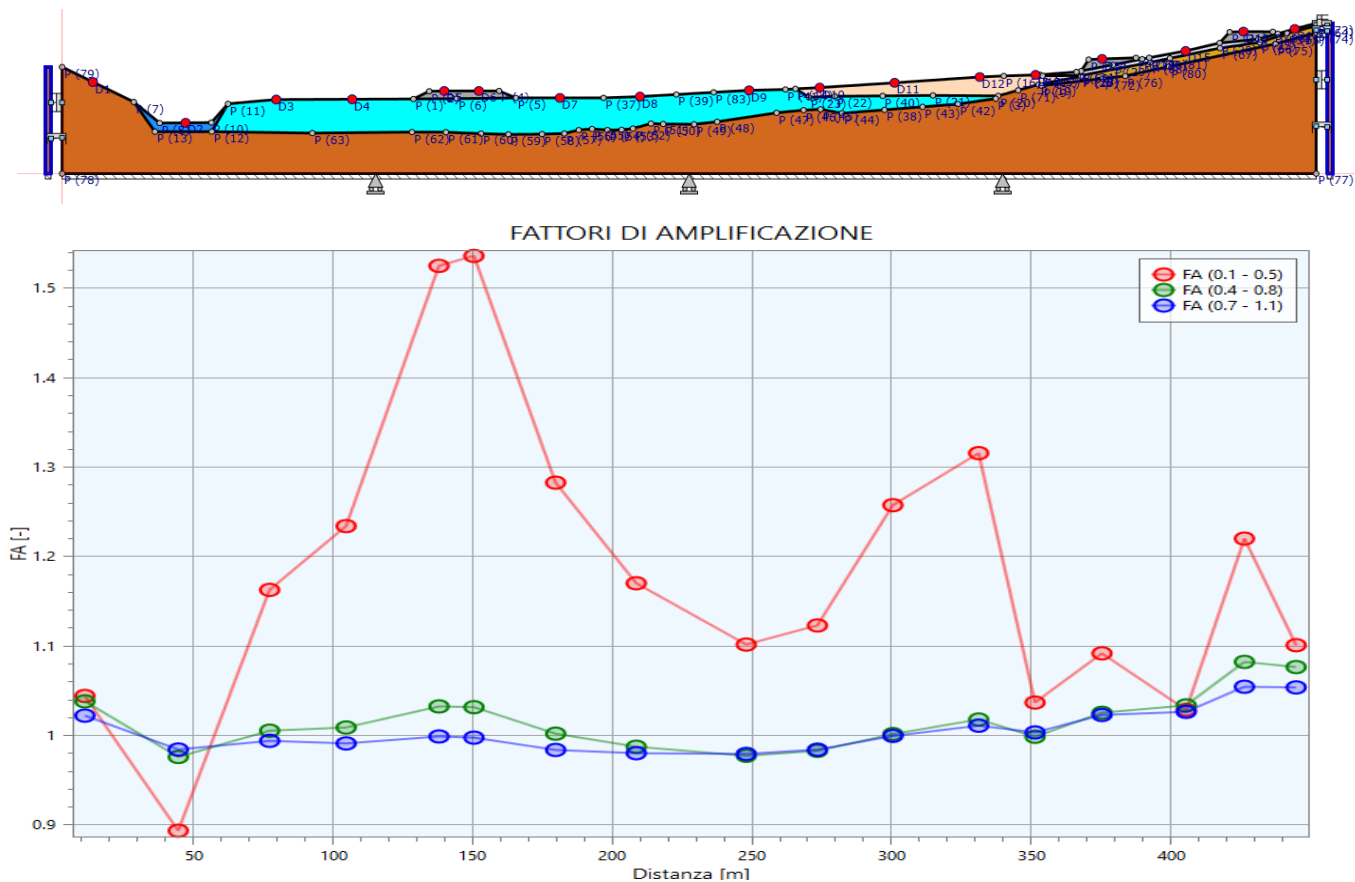


Figura 4.10: Sezione D - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali



**ProGeo** Engineering S.r.l.

via Don Luigi Sturzo, 43/A - 52100 Arezzo  
tel 0575 324114 fax 0575 406473 email info@progeo.arezzo.it

**Sezione E**  
**sezione E - MS3 Castel San Niccolò'**  
**analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali**

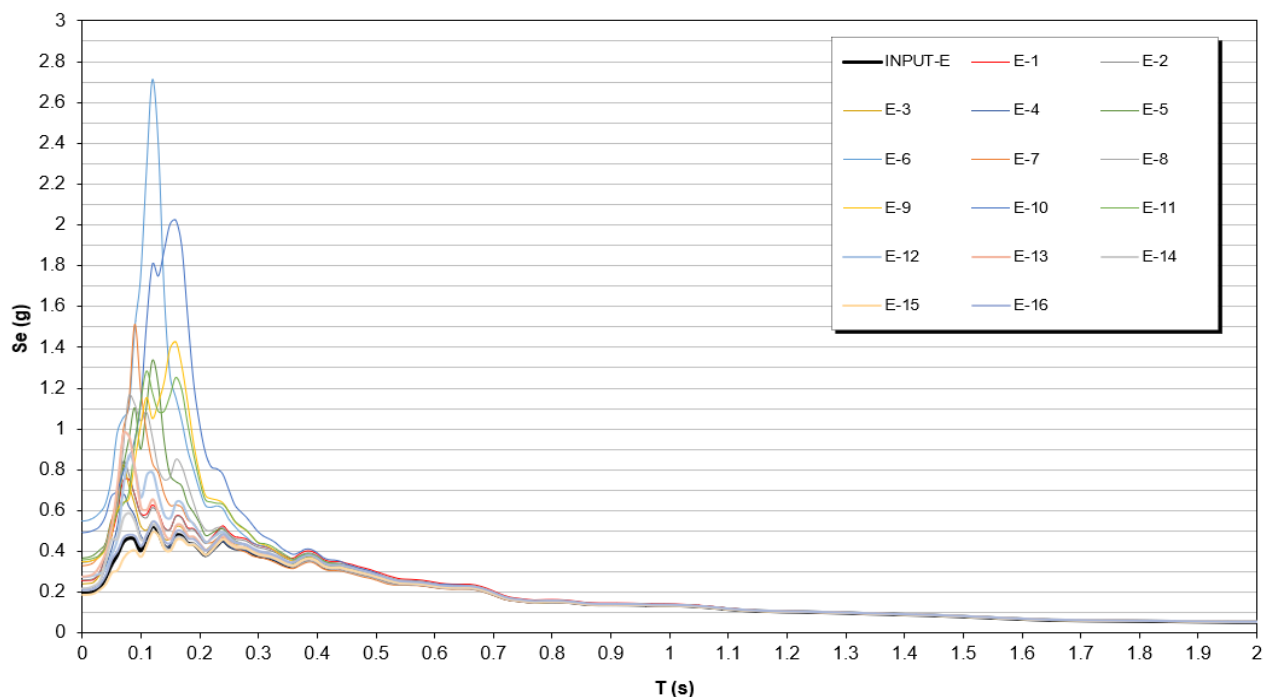


Figura 4.11: Sezione E - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

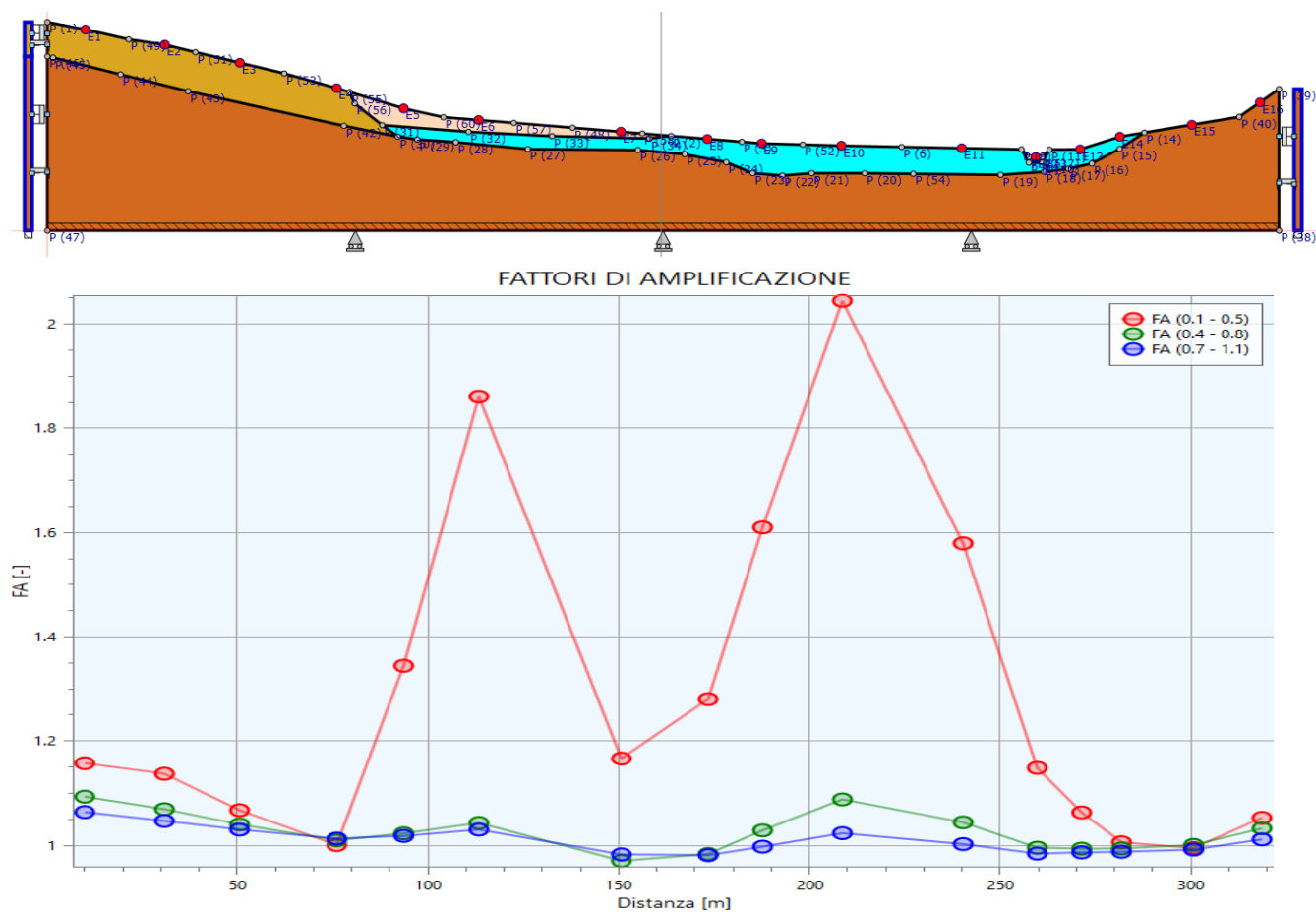


Figura 4.12: Sezione E - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali





#### 4.2. AREE IN FRANA MS3

Le aree in frana, derivanti dalle carte MOPS di livello 1, non sono state indagate tramite metodi di analisi dinamica sia per assenza di parametri geotecnici affidabili, sia in quanto non previsto nel presente studio di MS3. Tali valutazioni sono state fatte prendendo come riferimento i dati risultanti dalle elaborazioni condotte nello studio MS3 del Comune limitrofo di Chiusi della Verna in quanto ricadente nel medesimo contesto sismico-geologico per cui è stato assegnato un valore cautelativo di FRT pari a 50 cm.

#### 4.3. RAPPRESENTAZIONE SU MAPPA ED ESTRAPOLAZIONE

Ai fini dell'estensione areale del dato, nei settori dell'area di studio non coperti dalle sezioni geologico-tecniche e, quindi, sprovvisti dei dati di output delle analisi numeriche, si è ricorso ad estrapolazione areale. Tale processo è stato effettuato mediante l'ausilio combinato della cartografia geologico-tecnica e della cartografia MOPS, come visibile nelle sottostanti figure.

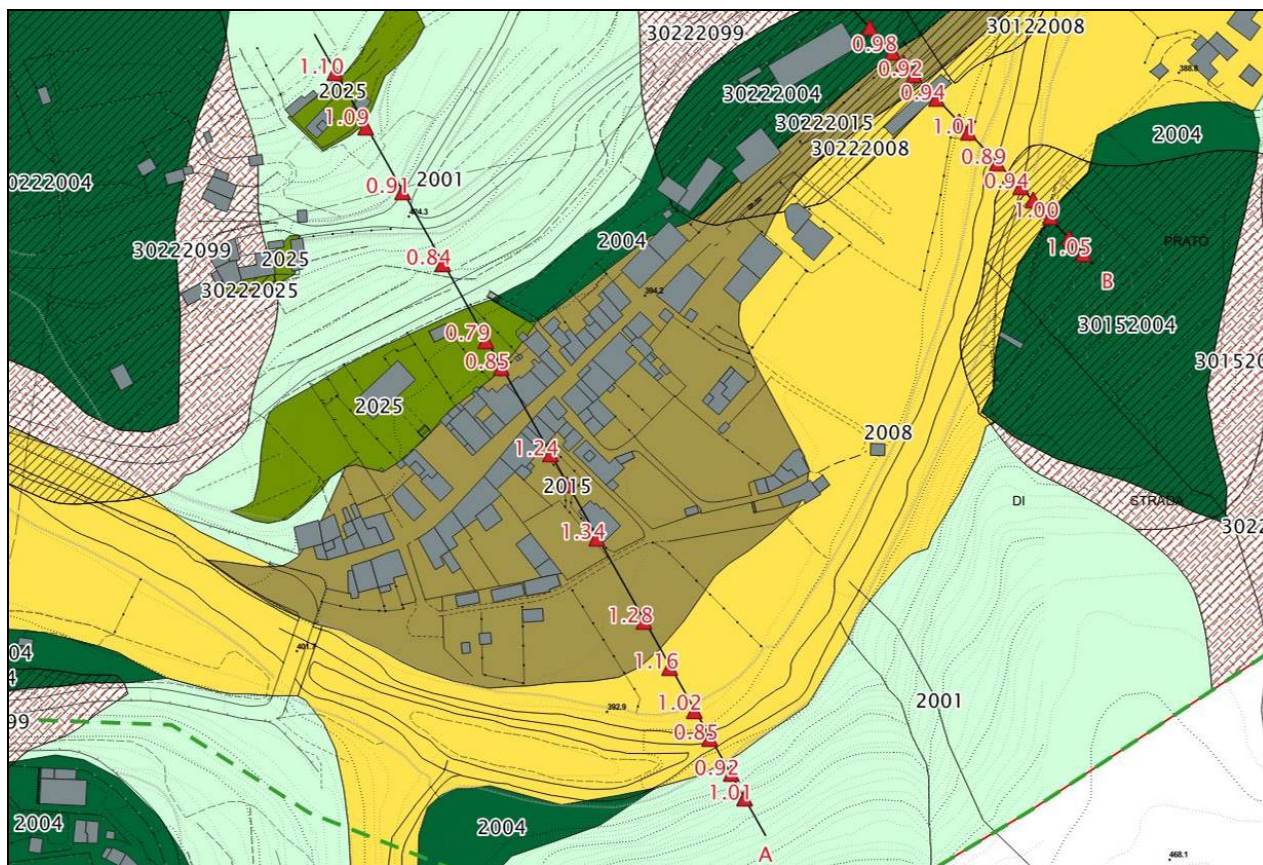


Figura 4.13: - Sovrapposizione dei valori di FA0105 con le MOPS – Zona Prato di Strada (Sezione A)









Figura 4.16: - Sovrapposizione dei valori di FA0105 con le MOPS – Zona Strada in Casentino (Sezione D)

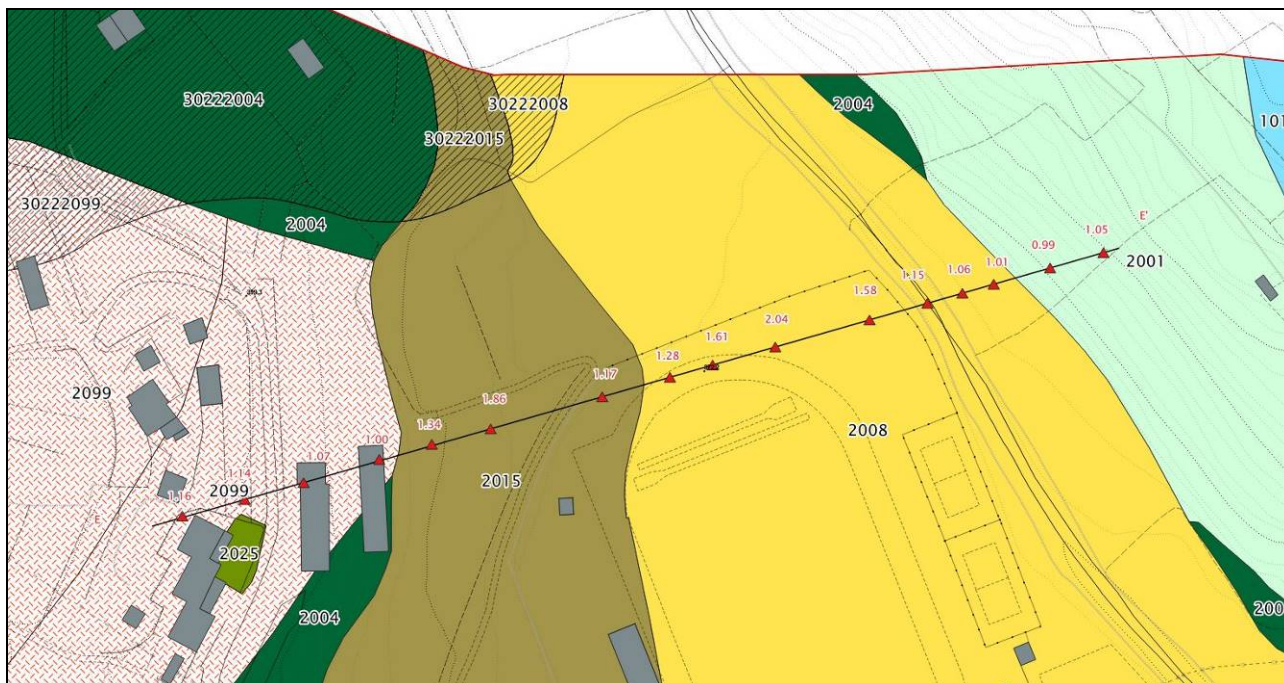


Figura 4.17: - Sovrapposizione dei valori di FA0105 con le MOPS – Zona campo sportivo di Strada (Sezione E)



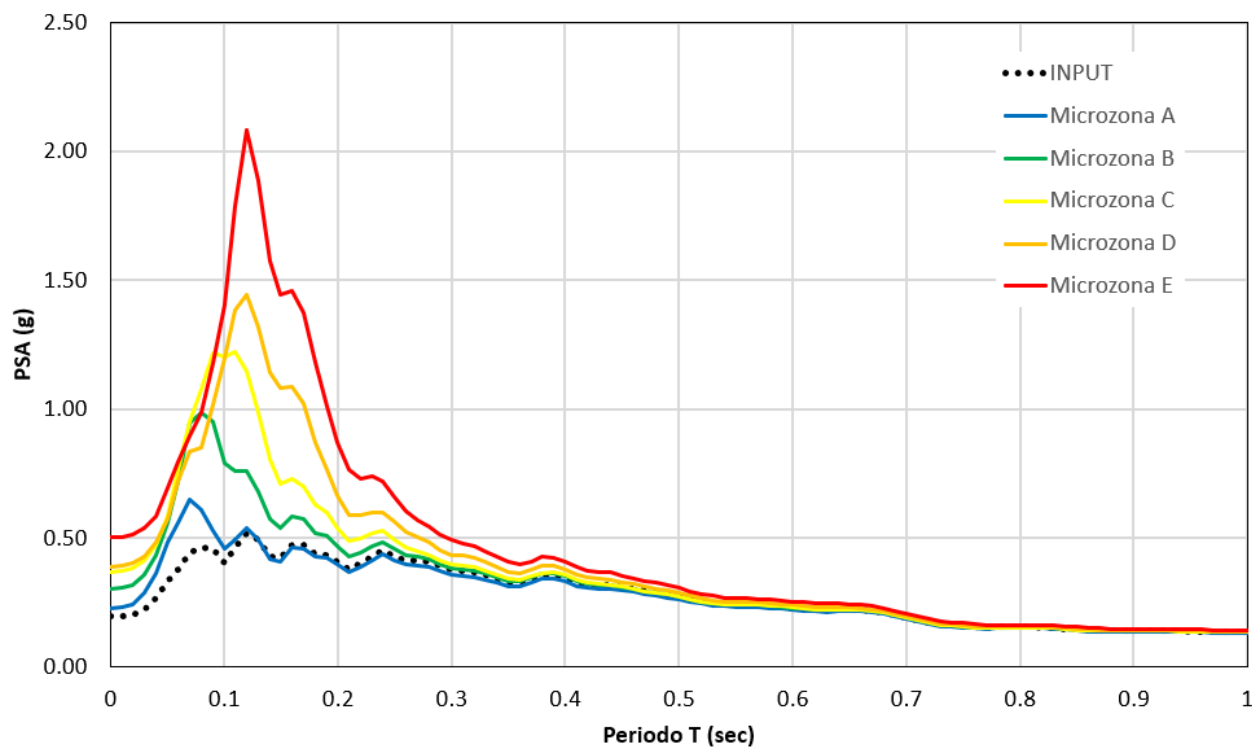


L'estrapolazione areale dei dati di amplificazione si è basato sul seguente modello logico:

- Rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con il relativo valore del fattore di amplificazione;
- Individuazione del contesto sismostratigrafico alla base di ogni valore di FA desunto;
- Identificazione sulle cartografie geologico-tecnica e MOPS di analoghe condizioni sismostratigrafiche su aree non coperte da analisi di risposta sismica locale tenendo conto delle indagini sismiche presenti;
- Raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte da differenti intervalli di FA0105;
- Stima, in corrispondenza delle microzone individuate al punto precedente, dei fattori di amplificazione richiesti dagli Standard nazionali e regionali (FA0105, FA0408 ed FA0711);
- Rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS;
- Calcolo degli spettri medi per ogni microzona individuata nella MS3.

Per ognuna delle microzone individuate, sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici medi in termini di PSA, in formato .txt secondo le specifiche richieste.

**MS3 Castel San Niccolò (AR) loc. Strada in Casentino - Spettri medi (Tr=475 anni)**



		TIPO_Z	FA0105	FA0408	FA0711
Microzona A	PSAO01	1011 - 2001	0.98	0.97	0.97
Microzona B	PSAO02	2004-2025-2099-2008 (fondovalle Solano)	1.13	1.00	1.00
Microzona C	PSAO03	2010-2013-2015-2017 - 2019 - quasi tutte le frane	1.31	1.00	1.00
Microzona D	PSAO04	2008 (zona stadio) - 2019 (fondovalle) - frana quiescente vicino Terzelli	1.56	1.05	1.02
Microzona E	PSAO05	Frana Attiva Terzelli	1.92	1.12	1.07

Figura 4.18: - Spettri di risposta elastici medi in pseudoaccelerazione relativi alle microzone stabili suscettibili di amplificazione locale individuate nell'ambito della MS3 del Comune di Castel San Niccolò (AR).

#### 4.4. INDICAZIONI RELATIVE ALLA FASE PROGETTUALE

Effettuate le analisi di risposta sismica locale ( $T_r=475$  anni e per  $T_r=50$  anni) è stato possibile, realizzata la carta di microzonazione sismica di terzo livello, pervenire alla definizione di spettri “caratteristici”, tramite i seguenti step:

1. Raggruppamento per ogni microzona individuata (caratterizzata da un valore omogeneo del Fattore di amplificazione scelto) di tutti gli spettri di risposta elastici di output ricadenti in essa, ricavandone lo spettro medio (nella Figura 4.18 sono rappresentati gli spettri medi associati alle 4 microzone omogenee individuate nella MS3);
2. Regularizzazione dello spettro medio con definizione sia di uno spettro di forma simile a quelli semplificati di normativa sia, di conseguenza, i suoi parametri dipendenti ( $S$ ,  $T_b$  e  $T_c$ ), mentre i parametri indipendenti sono fissati, come noto, dalla localizzazione del sito e dalle scelte progettuali alla base, in funzione della progettazione Figura 4.19.

La regularizzazione dello spettro è stata effettuata secondo le procedure illustrate negli ICMS 2008 e meglio specificate da *Pergalani e Compagnoni* (2013).

Gli spettri si riferiscono a periodi di ritorno di 475 anni e di 50 anni e, pertanto, possono essere paragonati agli spettri semplificati di normativa relativi all'azione sismica per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per un edificio “ordinario” (Vita nominale  $VN = 50$  anni e Classe d'uso  $CU = II$ ) e per lo Stato Limite di Esercizio (Stato limite di Danno, SLD), che nel caso specifico corrispondono ad un  $T_r=50$  anni. Tali spettri caratteristici normalizzati sono utilizzabili per rappresentare l'azione sismica allo SLE.



Di seguito, gli Spettri caratteristici normalizzati secondo la procedura descritta nel testo, relativi alle microzone individuate per il Comune di Castel San Niccolò per periodi di ritorno pari a 475 e 50 anni (Figura 4.19).

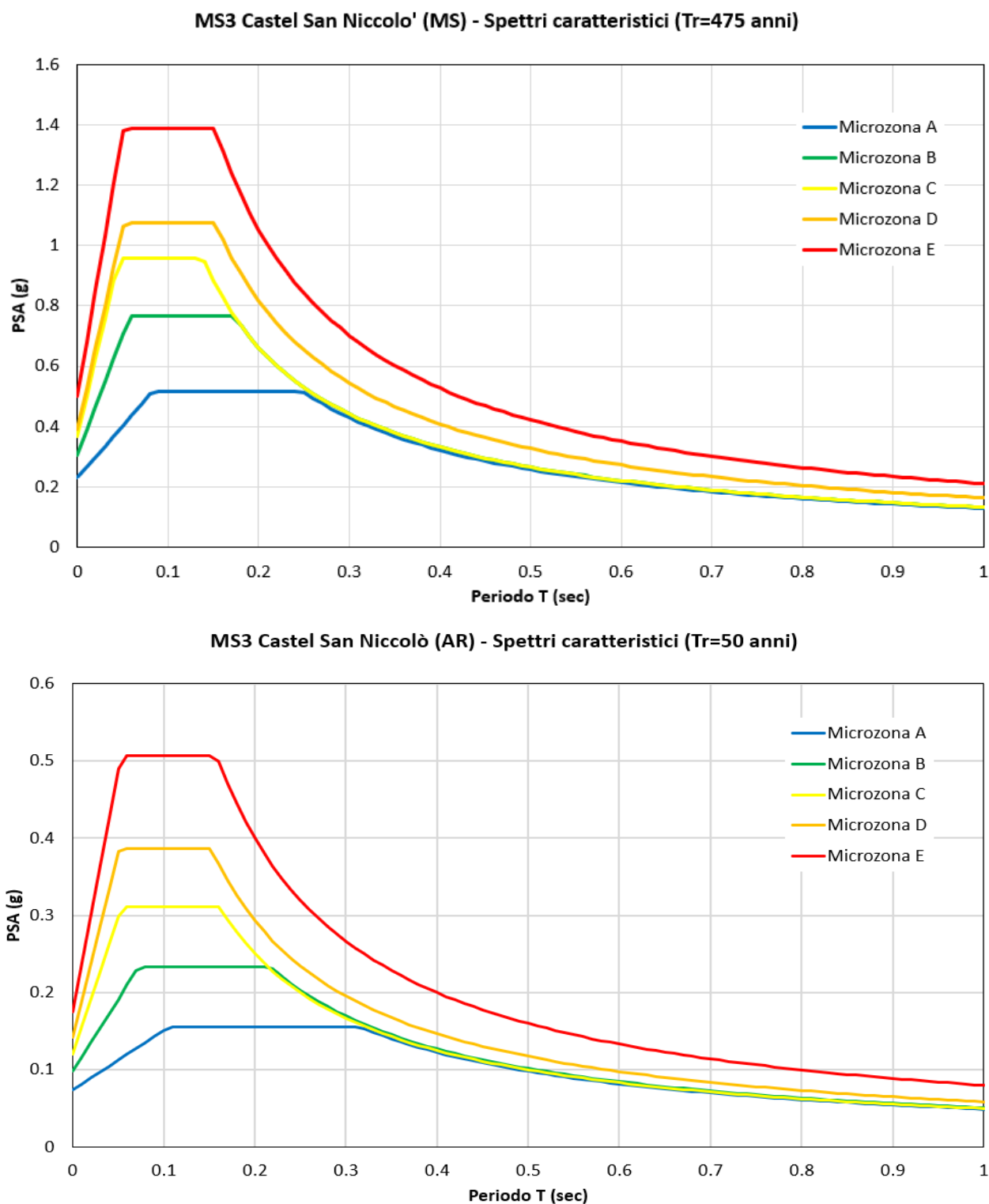


Figura 4.19: - Spettri caratteristici normalizzati, relativi alle microzone individuate per il Comune di Castel San Niccolò per periodi di ritorno pari a 475 e 50 anni

Regularizzati gli spettri è stato possibile produrre i parametri indipendenti e dipendenti desunti a seguito della regolarizzazione dello spettro medio (Figura 4.20).

Castel San Niccolò (AR)						
Microzonazione sismica di 3°livello - SLV (Tr=475 anni)						
Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri						
ag = 0.178g						
microzona	località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	Strada in Casentino	2.264	1.29	0.083	0.248	2.516
B		2.521	1.71	0.057	0.172	2.819
C		2.609	2.07	0.046	0.138	3.072
D		2.750	2.20	0.051	0.152	3.163
E		2.767	2.82	0.051	0.152	3.608

Castel San Niccolò (AR)						
Microzonazione sismica di 3°livello - SLD (Tr=50 anni)						
Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri						
ag = 0.074g						
microzona	località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	Strada in Casentino	2.084	1.01	0.106	0.317	1.897
B		2.371	1.33	0.073	0.218	1.994
C		2.586	1.63	0.054	0.161	2.082
D		2.727	1.91	0.051	0.152	2.166
E		2.891	2.37	0.053	0.158	2.301

Figura 4.20: - Parametri dipendenti relativi agli spettri di risposta caratteristici (Tr=475 anni e Tr=50 anni), desunti a seguito del processo di normalizzazione.

#### 4.5. DISTRIBUZIONE DEGLI SPETTRI

Nella seguente immagine di Figura 4.21 viene riportata la distribuzione areale degli spettri caratteristici relativi alle 5 microzone individuate.

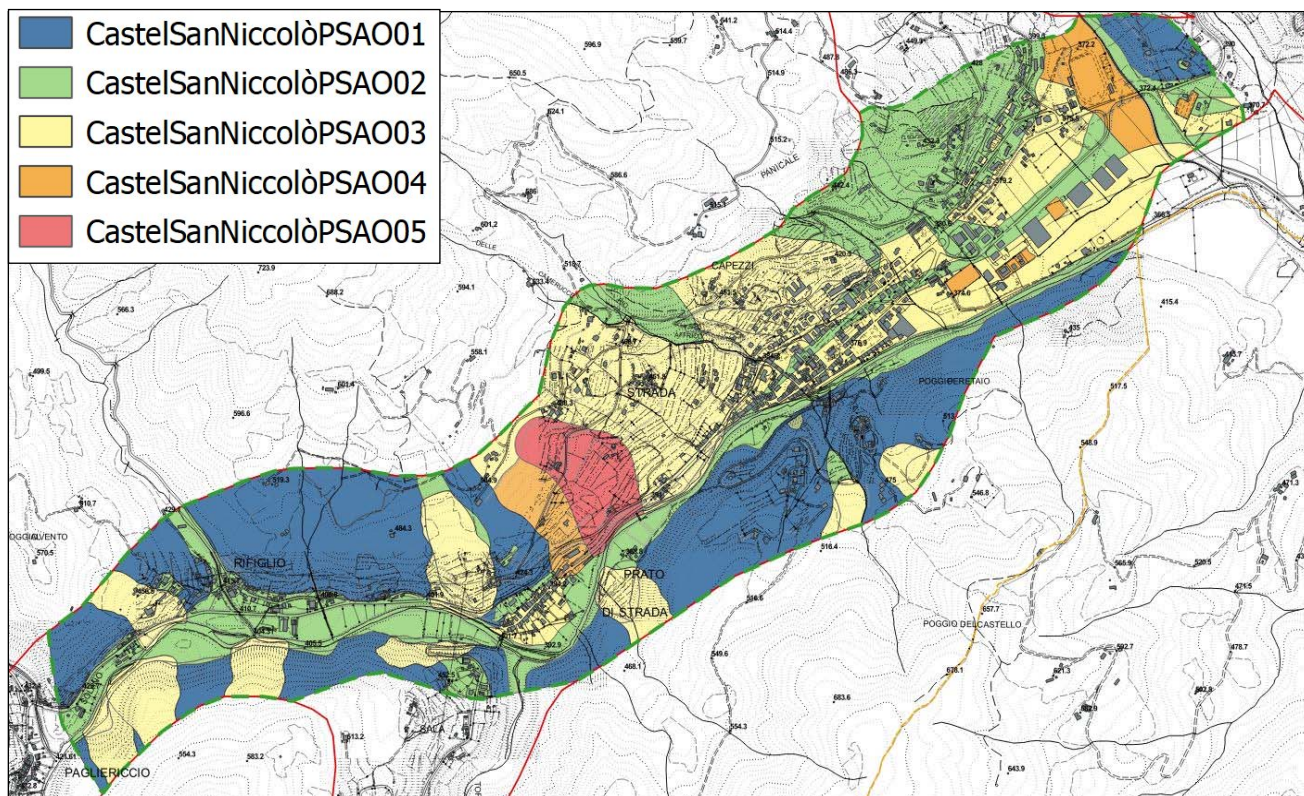


Figura 4.21: - Distribuzione degli spettri caratteristici delle 5 microzone sismiche

#### 4.6. REDAZIONE DELLA CARTA DI MS3

La realizzazione delle analisi di risposta sismica locale illustrate nei capitoli precedenti, ha permesso la redazione della cartografia di microzonazione sismica di livello 3, per quanto attiene all'area di studio delimitata dalla linea verde tratteggiata e riportata in Tavola A della Carta di MS2-3 in scala 1:5.000.

Nell'elaborato è stata operata la rappresentazione grafica delle varie microzone ad uguale Fattore di Amplificazione per l'intervallo di periodo compreso tra 0.1 e 0.5 secondi, sulla base di quanto indicato dagli Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica di cui alla versione 4.2.



Sulla base di quanto illustrato precedentemente, si può discretizzare l'area di studio nelle seguenti classi:

**MICROZONA A ( $FA \leq 1 - FA 0.98$ ):** include solamente le aree di affioramento del substrato rigido (Formazione delle Arenarie del Monte Falterona) in corrispondenza dei rilievi collinari anche su superfici topografiche più inclinate di  $15^\circ$ .

**MICROZONA B ( $1.05 < FA < 1.24 - FA 1.13$ ):** include le aree dei rilievi collinari dove il substrato rigido risulta fratturato in superficie e nelle zone di fondovalle in cui sono presenti, al di sotto dei depositi alluvionali con spessori  $< 10\text{m}$ , litotipi competenti (FAL2 e FAL3).

**MICROZONA C ( $1.25 < FA < 1.44 - FA 1.31$ ):** include la parte dell'area di fondovalle in presenza di coperture alluvionali di spessore compreso tra 10 e 20m o piccole porzioni di detrito di versante, entrambi poggianti al di sopra del substrato lapideo competente (FAL2 o FAL3). In questa zona è posizionato l'abitato di Prato di Strada e parte dell'abitato di Strada in Casentino. Altre zone sono poste sui versanti in corrispondenza di aree interessate da frane inattive e/o quiescenti, oppure attive ma di limitato spessore.

**MICROZONA D ( $1.45 < FA < 1.64 - FA 1.56$ ):** include piccole porzioni di fondovalle del T.Solano dove è presente materiale di riporto posto al di sopra dei depositi alluvionali (spessori compresi tra 10 e 20 m), oppure nell'area di fondovalle del Rio di Solano, affluente di sinistra del T.Solano; questa amplificazione è dovuta alla presenza di limitati spessori di depositi alluvionali poco addensati poggianti direttamente sul bedrock sismico. Infine questa microzona è presente anche nella zona collinare interessata da una frana quiescente posta nelle vicinanze della Frana attiva di Terzelli.

**MICROZONA E ( $1.85 < FA < 2.04 - FA 1.92$ ):** l'area interessata da questa zona di amplificazione è presente sul versante collinare in sinistra idrografica del T.Solano, dove sono presenti spessori elevati (10-15 m) di materiale detritico interni ad una frana attiva (Frana di Terzelli).



## 5. COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Il presente lavoro ha messo in risalto valori di FA nei 3 intervalli di periodi indagati non significativamente differenti. In particolare è risultato evidente come nell'intervallo 0.1-0.5 sec i valori più alti di FA siano stati individuati nella porzione di territorio caratterizzato da una frana quiescente e/o attiva, oppure in corrispondenza di depositi alluvionali poco addensati poggianti su bedrock sismico.

Nell'area della pianura del T.Solano caratterizzata dalla presenza degli alluvioni con spessori compresi tra 10 e 20 m, poggianti direttamente sul bedrock sismico il fattore amplificativo è costantemente  $FA=1.31$ ; diversamente in corrispondenza di piccole porzioni dove è presente materiale di riporto, il valore di FA aumenta leggermente  $FA=1.56$ . I versanti collinari, dove non sono presenti delle aree in frana, o nelle aree di pianura con spessori limitati dei depositi ( $<10$  m), il fattore amplificativo è pari a 1.13.

Per tutta l'area studiata con modellazione MS3, in relazione soprattutto alla presenza del bedrock sismico a profondità limitate, nell'intervallo dei periodi 0.4-0.8 sec. e 0.7-1.1 sec, si ha una netta diminuzione dei valori di FA (sempre  $\leq 1.2$ ) e dunque bassi effetti di amplificazione.

In relazione alla conformazione della piccola valle ove sorge l'abitato di Strada in Casentino, Prato di Strada e Rifioglio ed alla presenza di limitati spessori delle coperture (alluvionali e detritiche), poggianti direttamente sul substrato roccioso; l'utilizzo degli abachi per lo studio MS2 è risultato più cautelativo rispetto agli effetti ottenuti dalle modellazioni di Risposta Sismica Locale in assetto sia mono che bidimensionale.

Alcune aree sono state caratterizzate nella carta delle MOPS con il codice tipo\_z = 2001, poiché caratterizzate da un punto di vista stratigrafico dalla presenza di substrato sismico affiorante ma con morfologia inclinata  $>15^\circ$ . Tali aree, però, a seguito dell'approfondimento di terzo livello mediante realizzazione delle analisi di Risposta Sismica Locale 2D, hanno dimostrato assenza di amplificazione sismica con fattori di amplificazione  $< 1$ . Si è deciso, comunque, di confermare per tali aree lo stesso tipo\_z al fine di non perdere l'informazione sulle caratteristiche morfologiche dei siti.

