

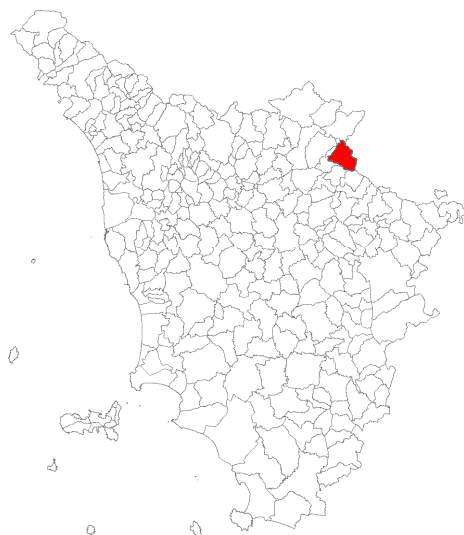


Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)

Regione Toscana
Comune di S. Godenzo (FI)



<p>Regione</p> <p>Regione Toscana – Settore Sismica</p>	<p>Soggetto realizzatore:</p> <p>Comune di S.Godenzo /Servizio Assetto del Territorio/RUP Geom. Franco Pretolani</p> <p>Professionisti incaricati:</p> <p>Dott. Geol. Eros Aiello Dott. Geol. Gabriele Grandini Dott. Geol. Cristian Pieroni Dott. Geol. Francesco Puccetti</p>  <p><small>Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze tel.055/671393, 055/675964, fax.055/6522329 E3 info@geocoprogetti.com</small></p>	<p>Data</p> <p>Aggiornamento Cartografico Dicembre 2021</p>
----------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------

INDICE

1 – INTRODUZIONE.....	2
2 - DESCRIZIONI DELLE FASI OPERATIVE.....	3
2.1 Gli Accelerogrammi di INPUT.....	3
2.2 Modellazioni numeriche, parametrizzazione del modello geologico-tecnico e analisi di risposta sismica locale.....	7
2.3 Risultati delle analisi di risposta sismica mono e bidimensionale svolte.....	13
2.4 Analisi dinamiche nelle aree in frana MS3.....	27
2.5 Rappresentazione su mappa ed estrapolazione.....	28
2.6 Indicazioni relative alla fase progettuale.....	30

1 – INTRODUZIONE

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di San Godenzo (FI), sono stati eseguiti Studi di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 per le aree urbane principali dell'intero Comune.

L'esecuzione degli "Studi di Microzonazione sismica di livello 3 (MS3)", sono stati eseguiti secondo la Delibera GRT n. 468 del 02 Maggio 2018 e successivamente all'approvazione dei finanziamenti del Decreto GRT n. 16262 del 04.10.2018.

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

Il Comune di San Godenzo è classificato ai sensi della DGRT n.431 del 19.06.2006, in recepimento dell'OPCM n.3619 del 28.04.2006, in classe 2 e rientra nel Programma VEL.

2 - DESCRIZIONI DELLE FASI OPERATIVE

2.1 Gli Accelerogrammi di INPUT

La fase iniziale, finalizzata alla redazione di una cartografia di microzonazione sismica di livello 3, impone la preliminare definizione di un input sismico, costituito da un set composto da 7 accelerogrammi naturali sismocompatibili con le caratteristiche tettoniche dell'area e spettrocompatibili 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 sismocompatibili e spettro-compatibili per i comuni della regione Toscana".

A tal proposito è stato utilizzato un codice appositamente sviluppato in ambiente Fortran90, chiamato SCALCONA 3.0 (SCALing of COmpatible Natural Accelerograms) in grado di fornire, 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.

Gli accelerogrammi così ottenuti rientrano in una banca dati composta da eventi naturali da preferire all'utilizzo di accelerogrammi artificiali secondo la normativa e gli studi accademici svolti negli anni.

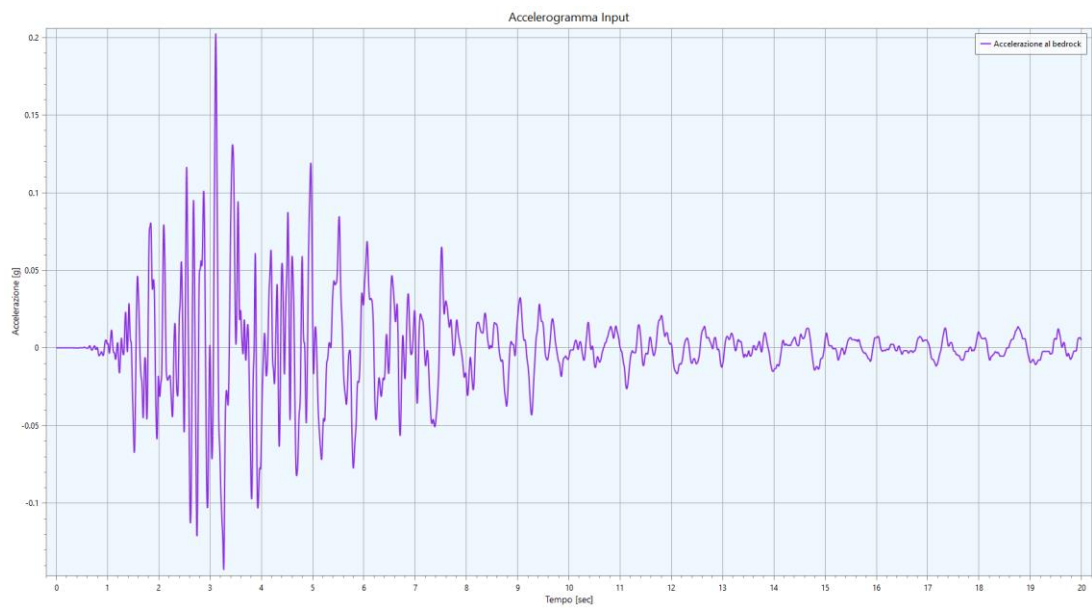
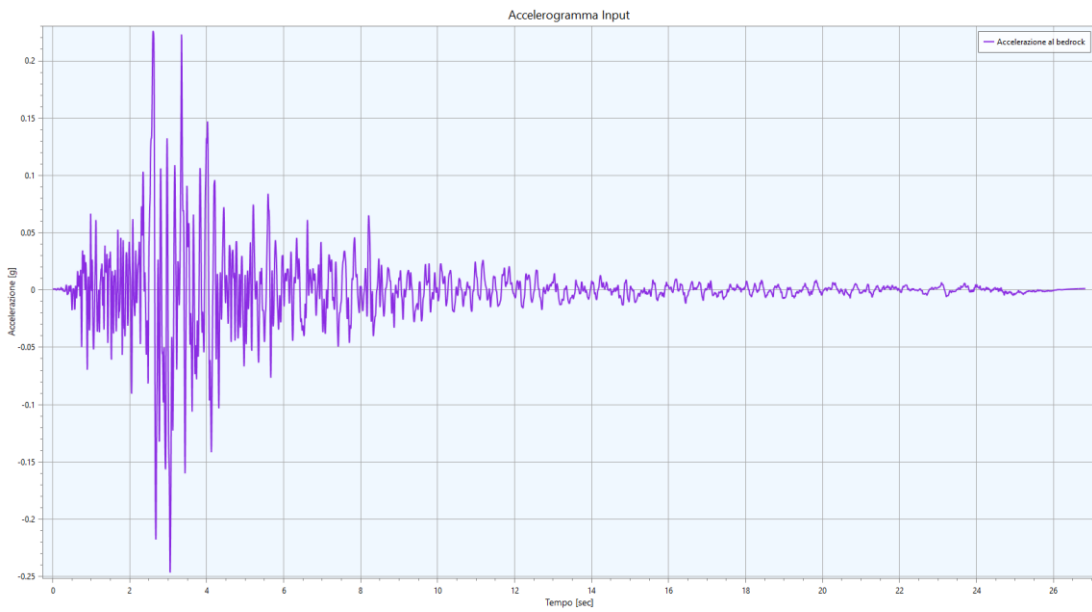
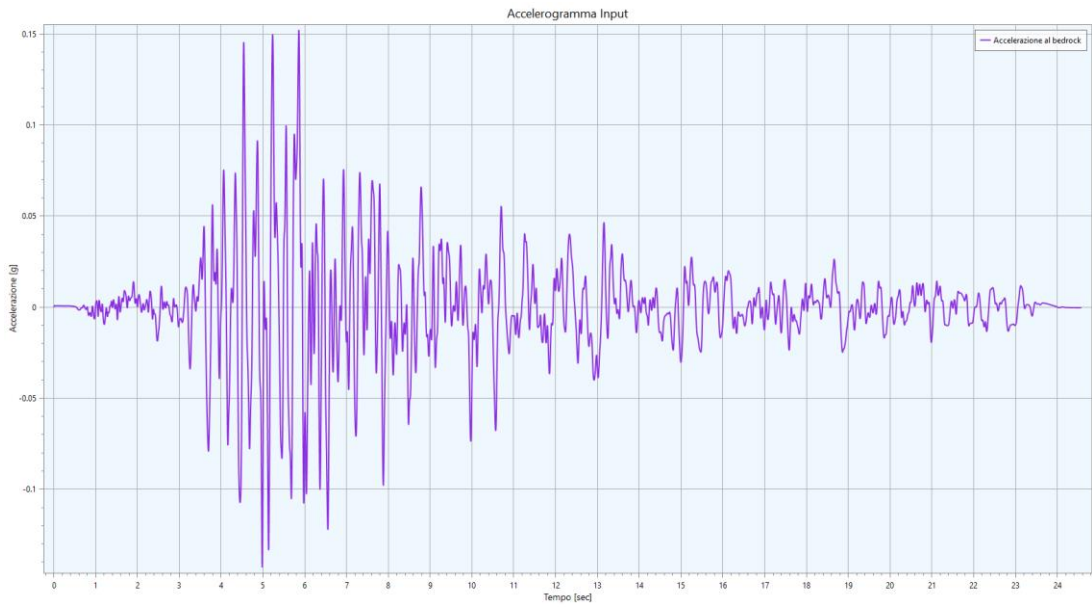
Ai fini della selezione degli accelerogrammi non è stata necessaria la suddivisione del territorio in più aree omogenee sismicamente in quanto l'estensione ridotta del Comune San Godenzo oggetto di studio ha permesso l'utilizzo di un solo set di accelerogrammi, opportunamente scalati per tener conto della differente pericolosità di base dei due siti, sia per San Godenzo capoluogo sia per la frazione di Castagno d'Andrea

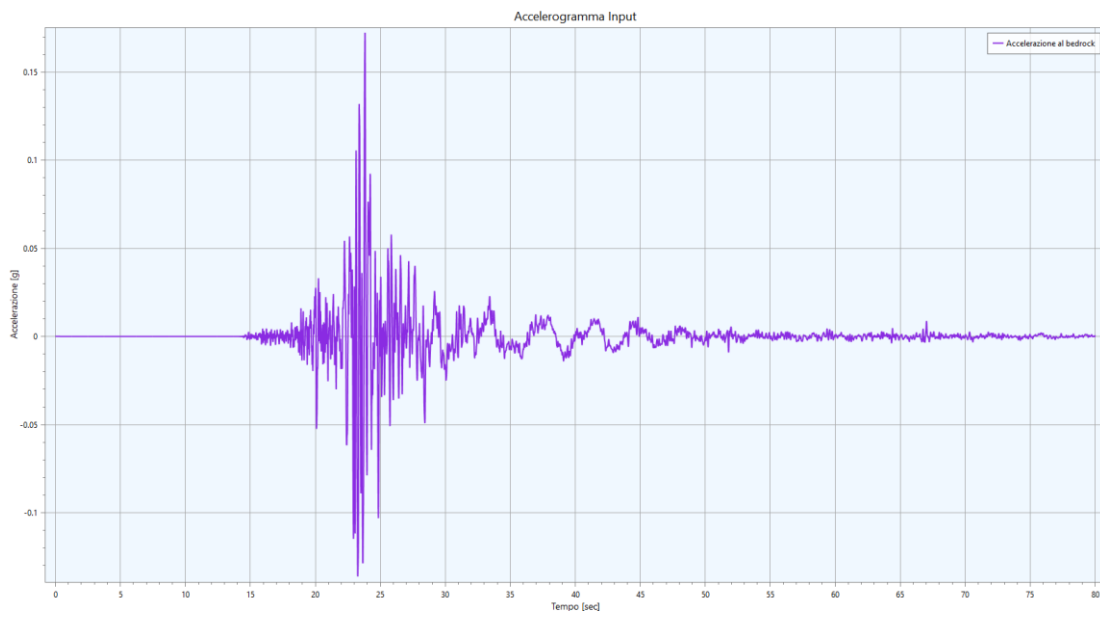
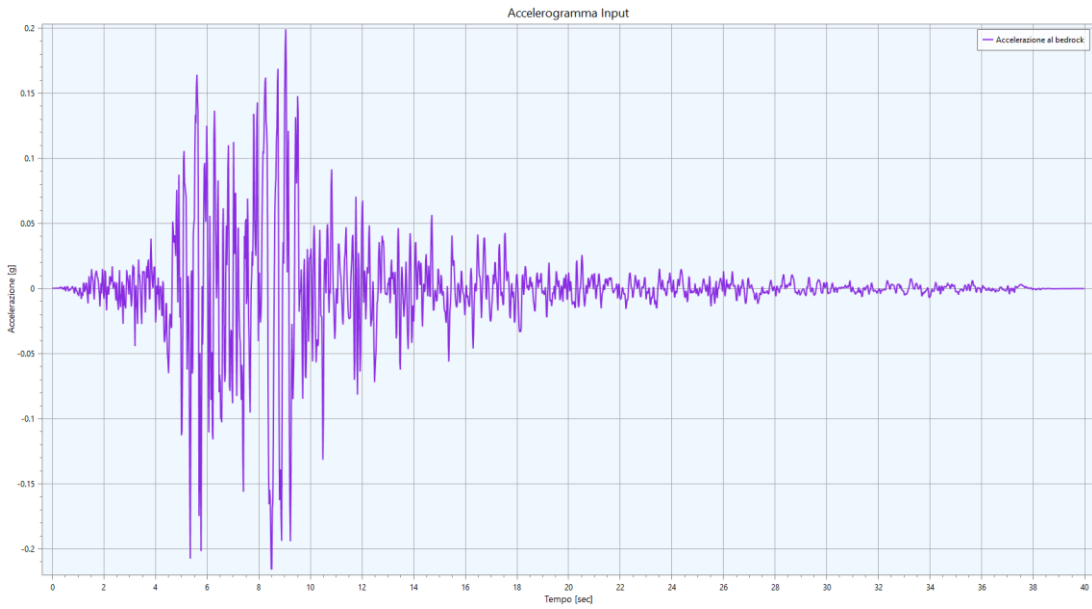
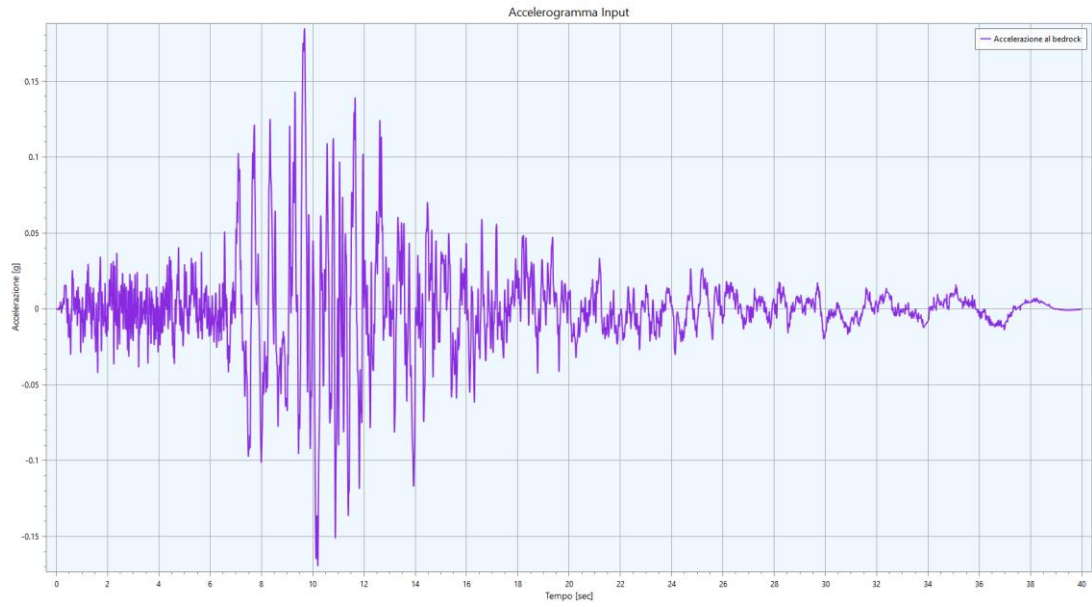
SCALCONA utilizza opportunamente i risultati della selezione degli accelerogrammi, consentendo di restituire, per il sito e periodo di ritorno di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC18 e succ. Circolare.

Gli accelerogrammi possono essere selezionati per ciascun punto interno ai territori di studio e per ciascuno dei 9 periodi di ritorno considerati nelle NTC18.

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) e di 50 anni (SLD).

Di seguito si riportano i 7 accelerogrammi utilizzati come input delle analisi svolte per TR=475 anni e riferiti ad una condizione detta di 'outcrop':





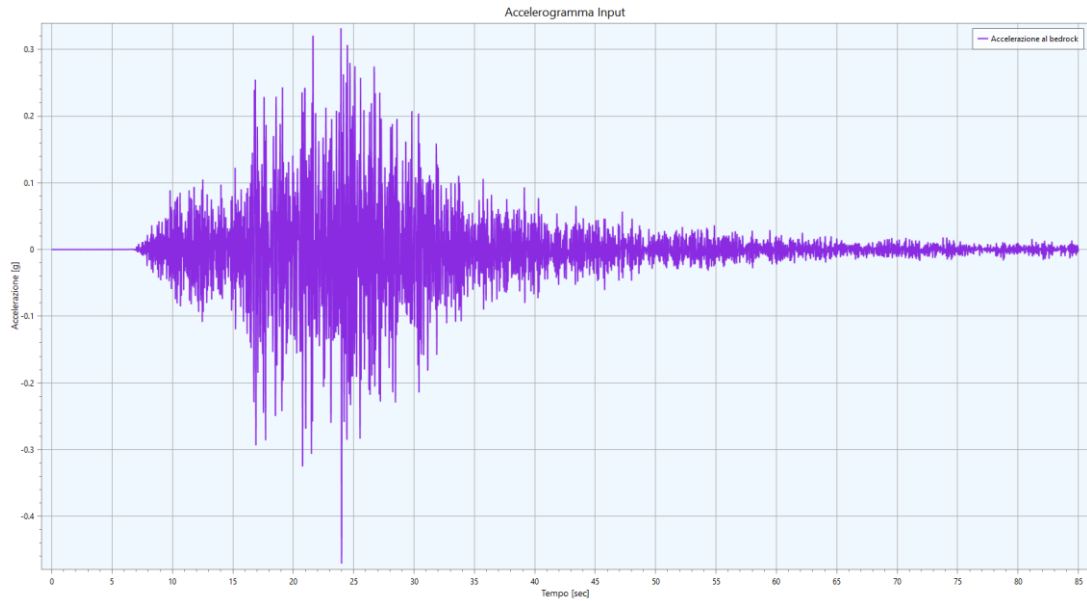


Fig. 1 – Storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico relativo ad un tempo di ritorno pari a 475 anni.

n°	Magnitude (Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling Factor	Source File Name
1	6.20	29.90	1.99	ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
2	5.74	12.57	2.11	NGA-West2 RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
3	5.90	10.10	2.02	ESM IT.ATN..HNN.D.19840507.174943.C.ACC.ASC
4	6.93	83.53	3.41	NGA-West2 RSN804_LOMAP_SSF115.AT2
5	6.69	38.07	1.42	NGA-West2 RSN1091_NORTHR_VAS000.AT2
6	6.60	31.00	0.70	KiK-net SMNH100010061330.EW2
7	6.90	70.13	2.55	NGA-West2 RSN5685_IWATE_MYGH11NS.AT2

La tabella riporta le informazioni relative ai predetti accelerogrammi. Essi si riferiscono a registrazioni di eventi naturali registrati a stazioni poste sulla superficie terrestre, in corrispondenza di situazioni sismostratigrafiche inerenti alla CAT.A ai sensi dell'Eurocodice 8 e delle NTC2018.

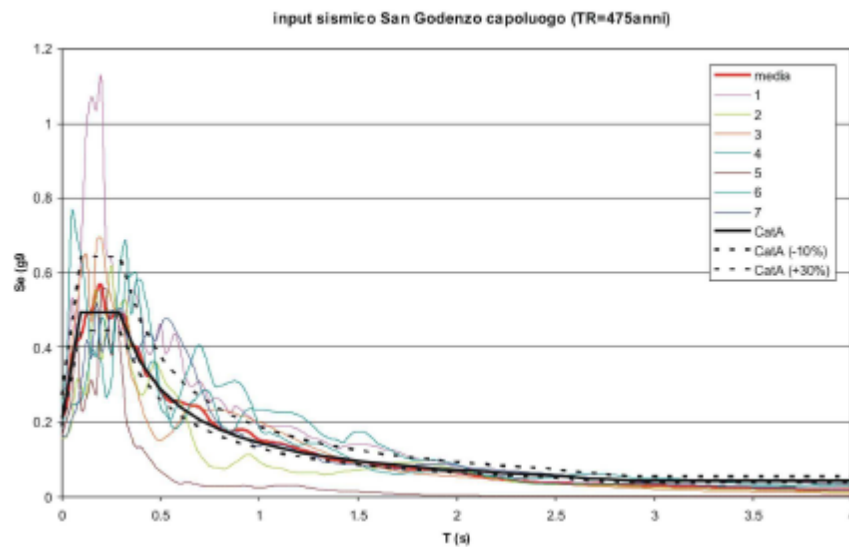


Fig. 2 – Rappresentazione in termini di spettro di risposta elastico (damping factor=5%) dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico per le analisi di risposta sismica locale nel centro abitato di San Godenzo.

2.2 Modellazioni numeriche, parametrizzazione del modello geologico-tecnico e analisi di risposta sismica locale

Quanto descritto di seguito è stato ripreso dallo studio di MS3 del Comune di San Godenzo realizzato dal servizio sismico della Regione Toscana e approvato nel 2013.

Le aree del centro abitato di San Godenzo e della frazione di Castagno d'Andrea sono state oggetto di analisi di risposta sismica locale in assetto mono e bidimensionale, finalizzate alla redazione di cartografie di microzonazione sismica di livello 3. Per ottenere tale risultato sono state ricostruite 3 sezioni geologiche su sono state condotte successivamente le analisi numeriche.

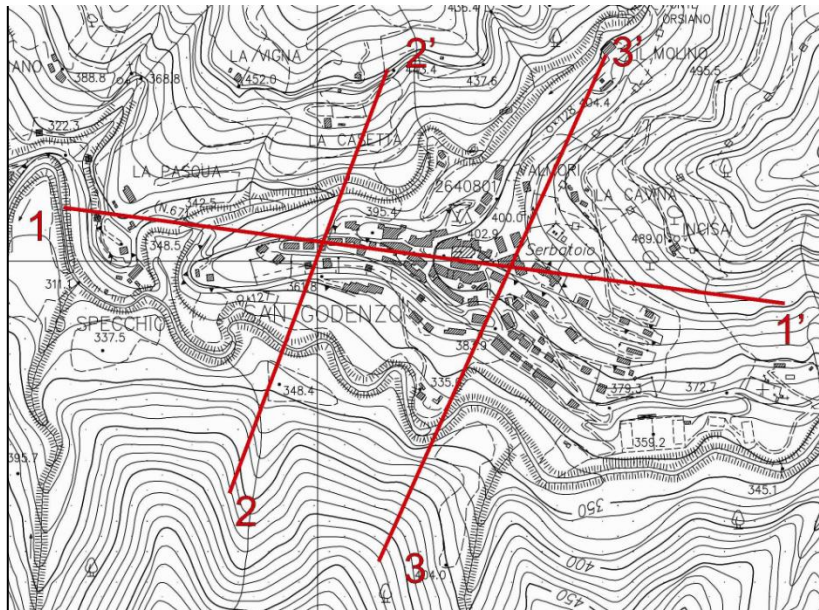


Fig. 3 – Ubicazione delle sezioni geologiche presso il capoluogo di San Godenzo.

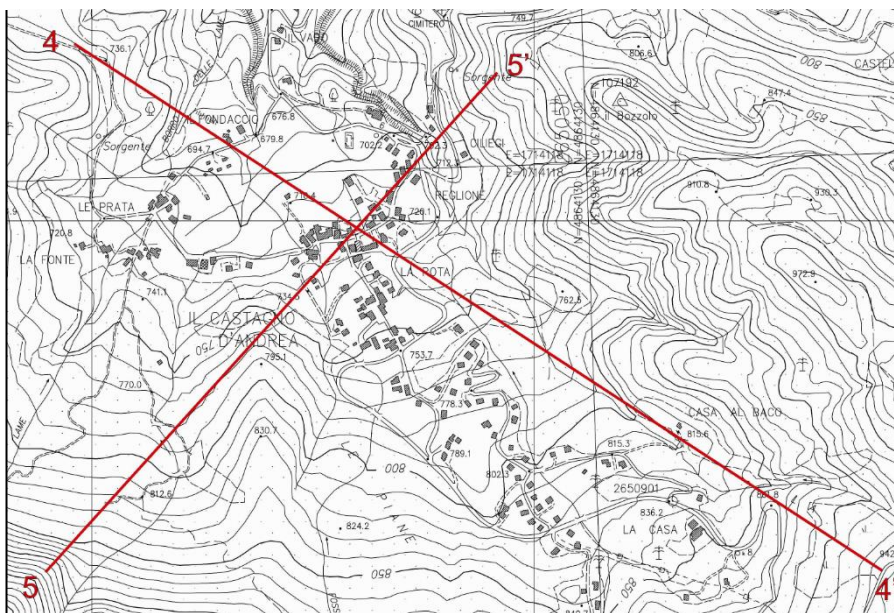


Fig. 4 – Ubicazione delle sezioni geologiche presso la frazione de Il Castagno d'Andrea.

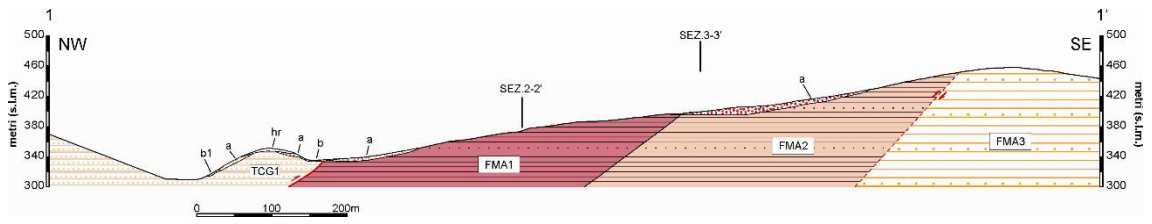


Fig. 5 – Sezione geologica 1-1' nel capoluogo

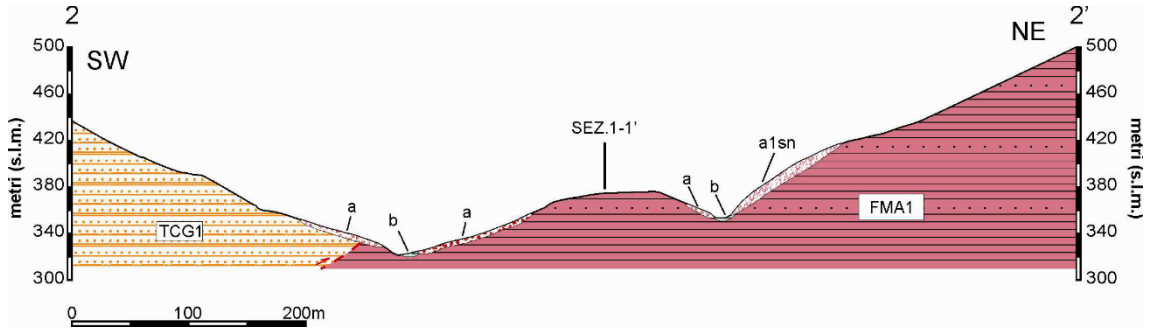


Fig. 6 – Sezione geologica 2-2' nel capoluogo

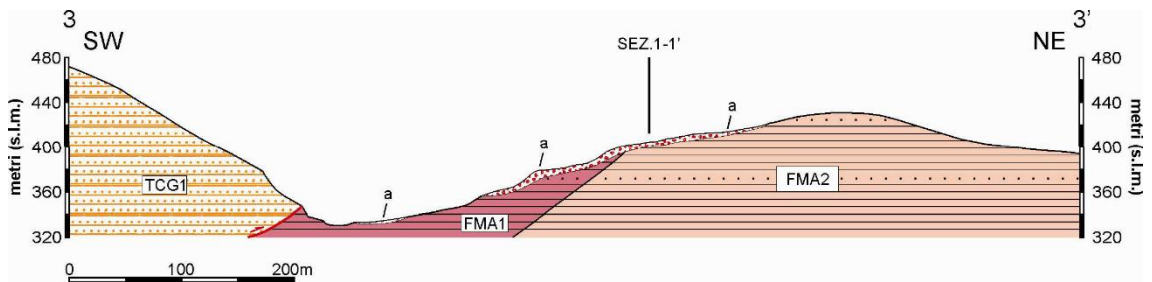


Fig. 7 – Sezione geologica 3-3' nel capoluogo

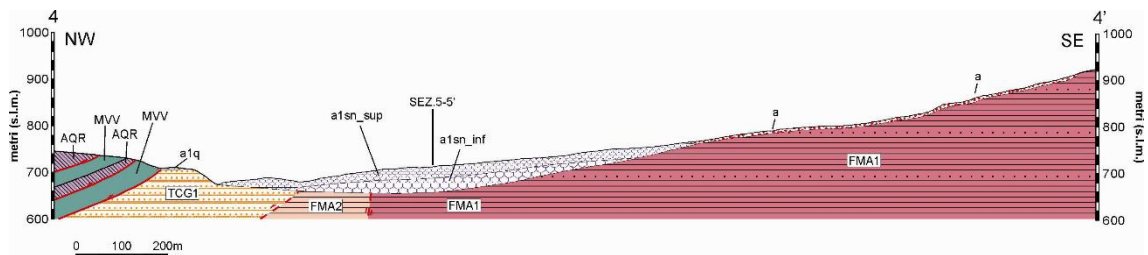


Fig. 8 – Sezione geologica 4-4' nella frazione di Castagno d'Andrea

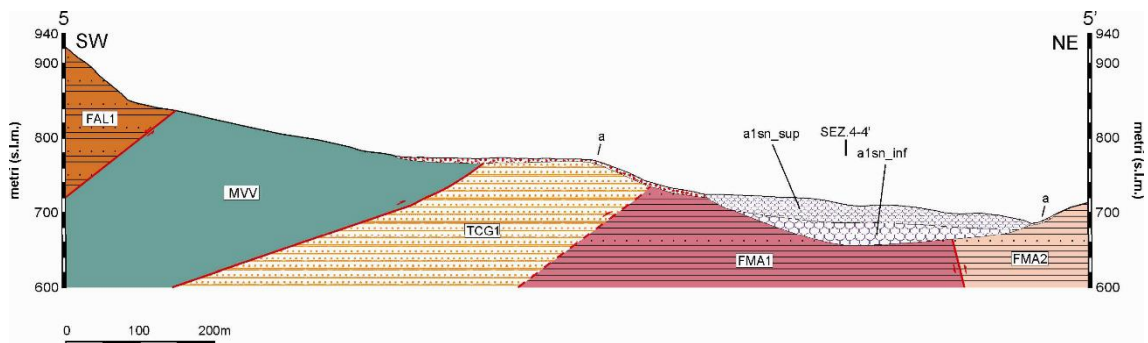


Fig. 9 – Sezione geologica 5-5' nella frazione di Castagno d'Andrea

Il fine principale è stato quello di stimare, mediante una procedura analitica (possibile grazie alla campagna di esplorazione multidisciplinare del sottosuolo, descritta nei precedenti capitoli) il valore del fattore di amplificazione dei terreni oggetto di indagine, ascrivibile sia a condizioni stratigrafiche e/o topografiche sia al contesto geometrico sepolto dell'area.

Infatti, le suindicate analisi condotte in assetto bidimensionale sono state successivamente confrontate con i risultati delle omologhe modellazioni monodimensionali, per una valutazione disaggregata del contributo all'amplificazione sismica del sito degli aspetti di natura bidimensionale rispetto a quelli dovuti al semplice assetto sismostratigrafico.

In alcuni contesti, marcatamente caratterizzati in sezione dall'assenza di fenomenologie riconducibili a modelli 2D, sono state trattate esclusivamente in assetto monodimensionale.

In particolare, le analisi di modellazione dinamica in assetto bidimensionale sono state condotte mediante software agli elementi finiti QUAKE/W della Geostudio 2012. Esso consente di definire il comportamento dinamico del terreno con un modello lineare equivalente, il quale si basa su parametri rappresentativi delle proprietà elastiche ed isteretiche dei terreni in funzione della deformazione di taglio. Nei modelli lineari equivalenti, pur attenendosi ad una formulazione lineare "a tratti", si considerano gli effetti di non linearità e di dissipazione.

Tale software permette la digitalizzazione di sezioni geologo-tecniche, l'inserimento dei parametri geotecnico-geofisici delle formazioni geologiche presenti e la discretizzazione dei livelli individuati in elementi (mesh), le cui dimensioni sono stimate sulla base dei valori di velocità delle onde di taglio nello strato in esame, della massima frequenza che si vuole propagare e di un coefficiente di stabilità.

La sezione geologico-tecnica viene sottoposta, quindi, alla sollecitazione dinamica relativa ad ognuno dei 7 accelerogrammi spettro-compatibili ricavati con le procedure descritte nel capitolo 2.0.

La dimensione degli elementi finiti è stata stabilita (per ognuna delle sezioni analizzate) considerandola proporzionale alla minima lunghezza d'onda propagabile nel mezzo investigato (Kuhlemeyer & Lysimer, 1973). Pertanto, introducendo un coefficiente di stabilità k pari mediamente a 8 (Lanzo & Silvestri, 1999), possiamo indicare la dimensione massima di ogni elemento (D_{max}) come:

$$D_{max} = \lambda / 8 = 0.12 T V_s$$

Dove V_s viene ricavata dalle indagini geofisiche dirette illustrate per il sito in esame in tabella sottostante, mentre T è il periodo corrispondente alla minore onda sismica propagabile (si è ritenuto sufficiente il valore di frequenza pari a 20Hz), corrispondente a 0.05s che è quindi minor periodo per cui si può ritenere attendibile il dato di output.

In seguito, 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).

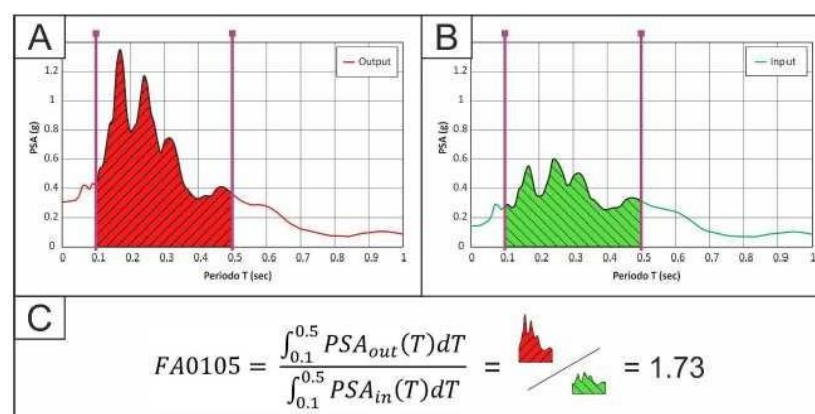


Fig. 10 - Procedura per il calcolo del fattore di amplificazione FA0105

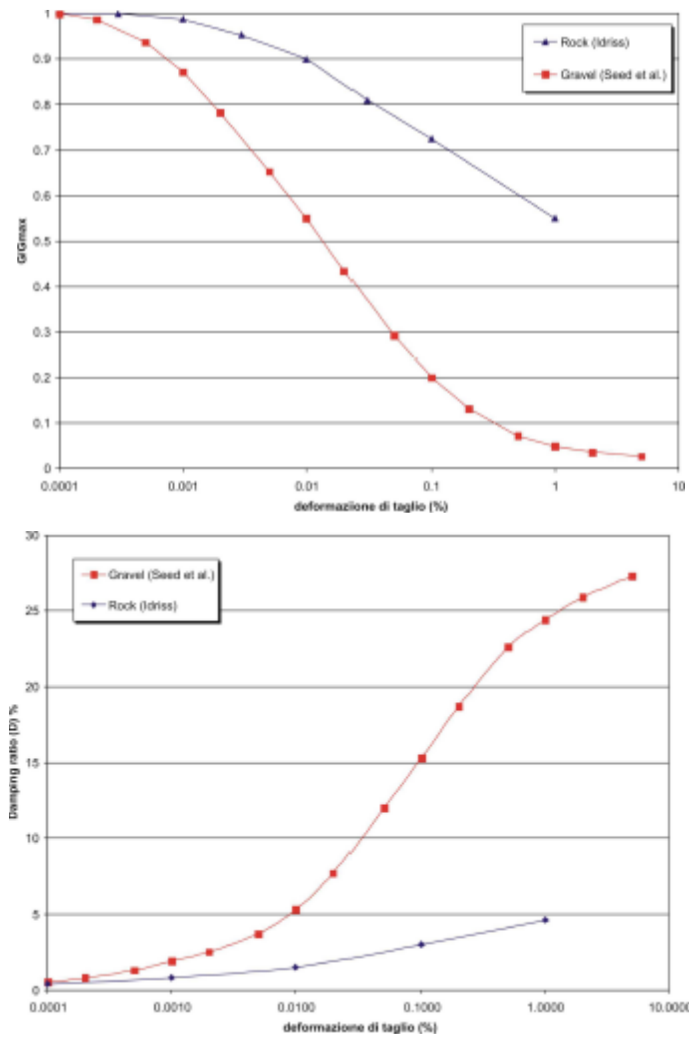
Il calcolo dei fattori di amplificazione è stato effettuato sui singoli spettri di risposta (messi a rapporto con il corrispondente spettro di input) mediando successivamente i sette fattori determinati.

Preliminarmente all'esecuzione delle analisi di risposta sismica locale, nello studio approvato del 2013, sono stati condotti test al fine di valutare l'influenza sul risultato finale del numero di iterazioni eseguite.

Sono stati considerati i risultati in termini di FH relativi a 5, 10 e 15 iterazioni. Dalle analisi effettuate è stato verificato come già con 5 iterazioni il risultato in termini di FH, messo a confronto con l'analogo valore per 15 iterazioni, risulta pressoché stabile, con differenze massime inferiori al 2%. La differenza, invece, tra i risultati ottenuti con 10 e 15 iterazioni è pressoché nulla.

Sulla base del predetto confronto, si è stabilito un numero massimo di iterazioni pari a 10.

I parametri utilizzati (coefficiente di poisson dinamico, peso di volume, modulo di taglio massimo) sono direttamente quelli ricavati dalle prospezioni dirette ed indirette effettuate nell'area. Invece, le curve dinamiche G/G_0 e Damping sono state desunte da bibliografia, a causa dell'impossibilità (dovuta alla natura litologica dei terreni) di prelevare campioni indisturbati da analizzare mediante prove di laboratorio in campo dinamico. In particolare, nelle figure sottostanti, sono riportate rispettivamente le curve relative al decadimento del modulo di taglio normalizzato G/G_0 ed all'incremento percentuale del rapporto di smorzamento D , utilizzate per le coperture sismiche (tutte di natura ghiaiosa) e per le formazioni rocciose che, in virtù delle proprietà fisico-meccaniche in campo dinamico, sono considerate bedrock sismico "deformabile".



Inoltre, la tabella, illustra i parametri utilizzati per le analisi in oggetto. Si tenga presente che, laddove presenti, le differenziazioni nell'ambito della medesima formazione sono legate ai differenti punti di caratterizzazione dinamica della stessa (prove down-hole in onde P ed SH e subordinatamente indagini di sismica a rifrazione). Per l'attribuzione dei parametri si è fatto riferimento al criterio della vicinanza, ovvero laddove esistevano differenti parametrizzazioni per una stessa formazione geologica si sono utilizzati i parametri relativi al punto d'indagine più vicino (e pertinente) alla sezione geologico-tecnica in esame.

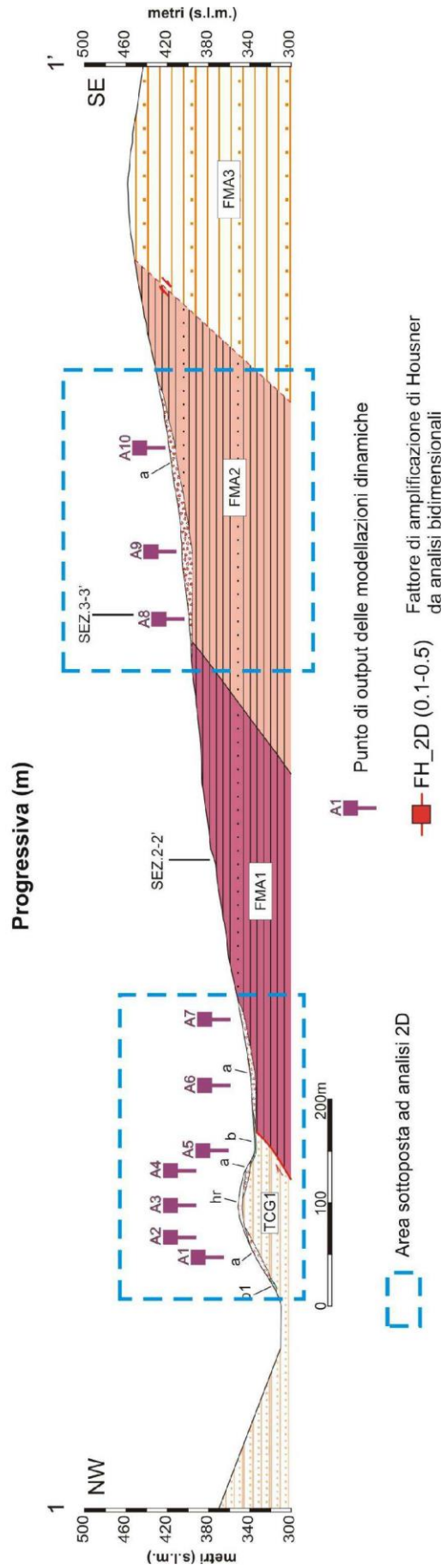
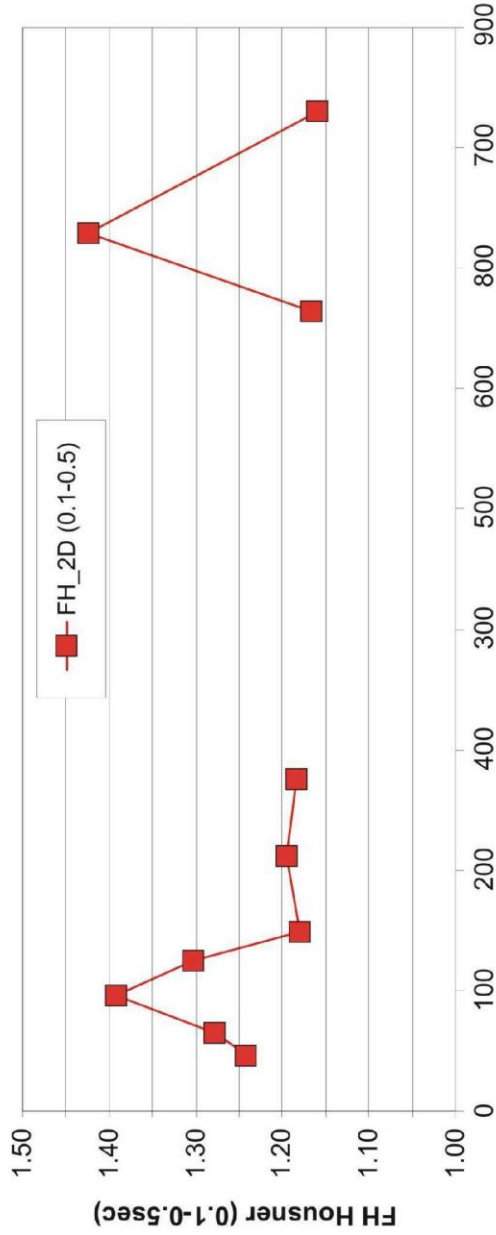
Tipologia terreno	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	Rapporto Poisson dinamico	Peso di volume (kN/m ³)	ambito di applicazione
Alluvioni (b-b1)	795	450	1.767	0.26	21.26	sezioni 1, 2
terreni di riporto (Hr)	510	310	1.645	0.21	21.26	sezione 1
detrito di versante (a) - area di San Godenzo	795	450	1.767	0.26	21.26	sezioni 1, 2 e 3
detrito di versante (a) - area di Castagno d'Andrea	1180	400	2.950	0.44	21.26	sezioni 4, 5
depositi di frana quiescenti (a1q)	1180	400	2.950	0.44	21.26	sezione 4
depositi di frana stabilizzati (a1sn) - livello superiore	1180	400	2.950	0.44	21.26	sezioni 4, 5
depositi di frana stabilizzati (a1sn) - livello inferiore	2790	870	3.207	0.45	22.95	sezioni 4, 5
Marne varicolori di Villore (MVV)	2050	690	2.971	0.44	22.95	sezioni 4, 5
Formazione dell'Acquerino (AQR)	2280	1100	2.073	0.35	25.00	sezione 4
Formazione marnoso-arenacea - Membro di Biserno (FMA1)	3095	1535	2.016	0.34	25.00	sezioni 1, 2, 3, 4 e 5
Formazione marnoso-arenacea - Membro di Corniolo (FMA2)	3095	1535	2.016	0.34	25.00	sezioni 1, 3, 4 e 5
Formazione marnoso-arenacea - Membro di Premilcuore (FMA3)	3095	1535	2.016	0.34	25.00	sezione 1
Formazione del Torrente Carigiola (TGC)	2615	860	3.041	0.44	22.95	sezioni 1, 2, 3 e 4

2.3 Risultati delle analisi di risposta sismica mono e bidimensionale svolte

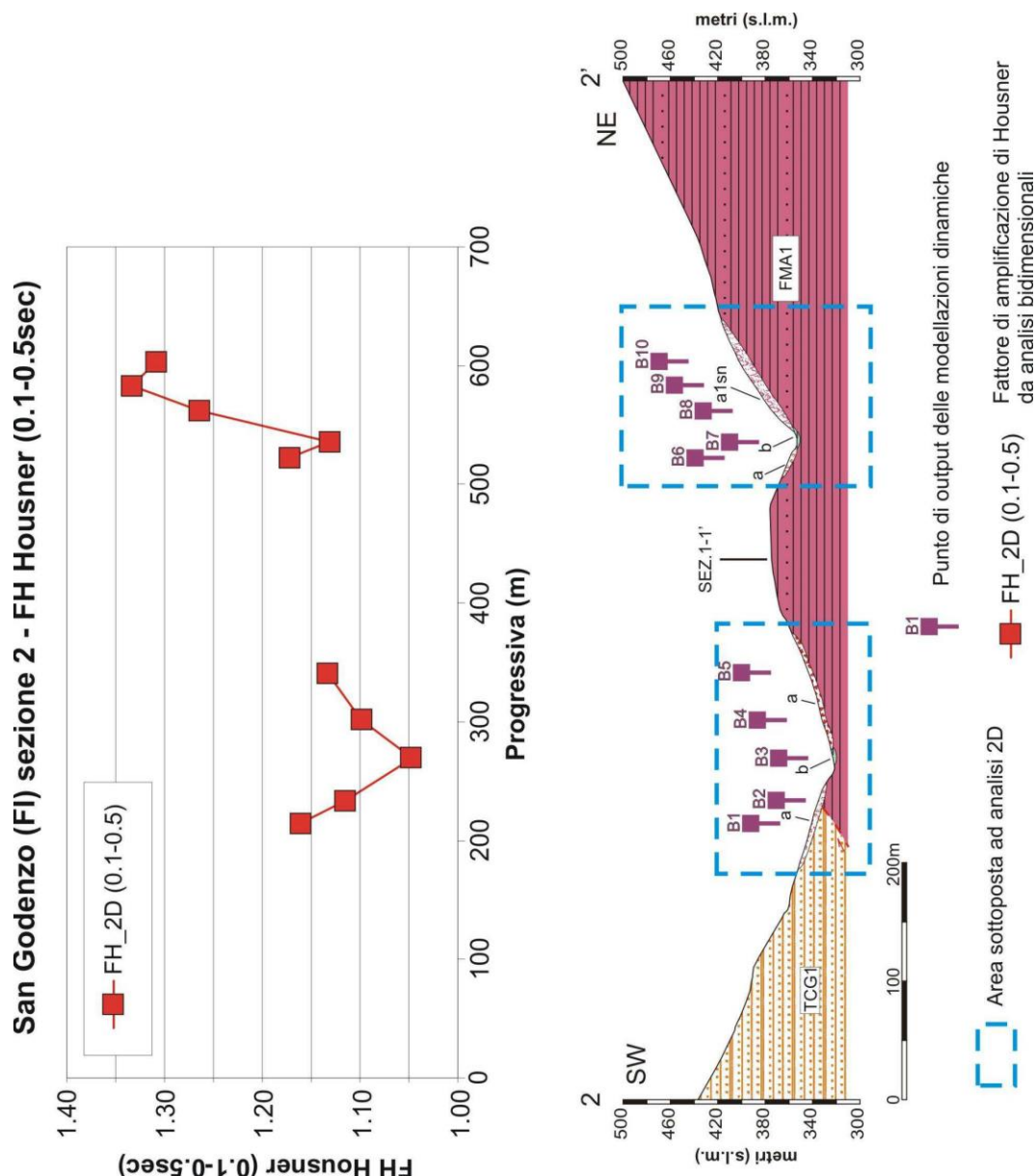
Nell'area del capoluogo di San Godenzo sono state realizzate analisi bidimensionali su 3 sezioni geologico-tecniche. I risultati sono illustrati nelle figure successive, dove i valori dei fattori di amplificazione sono rappresentati in corrispondenza delle sezioni geologico-tecniche, utilizzate come input per la costruzione del modello di sottosuolo sottoposto ad analisi.

Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione n°1

San Godenzo (FI) sezione 1-1' - FH Housner (0.1-0.5sec)



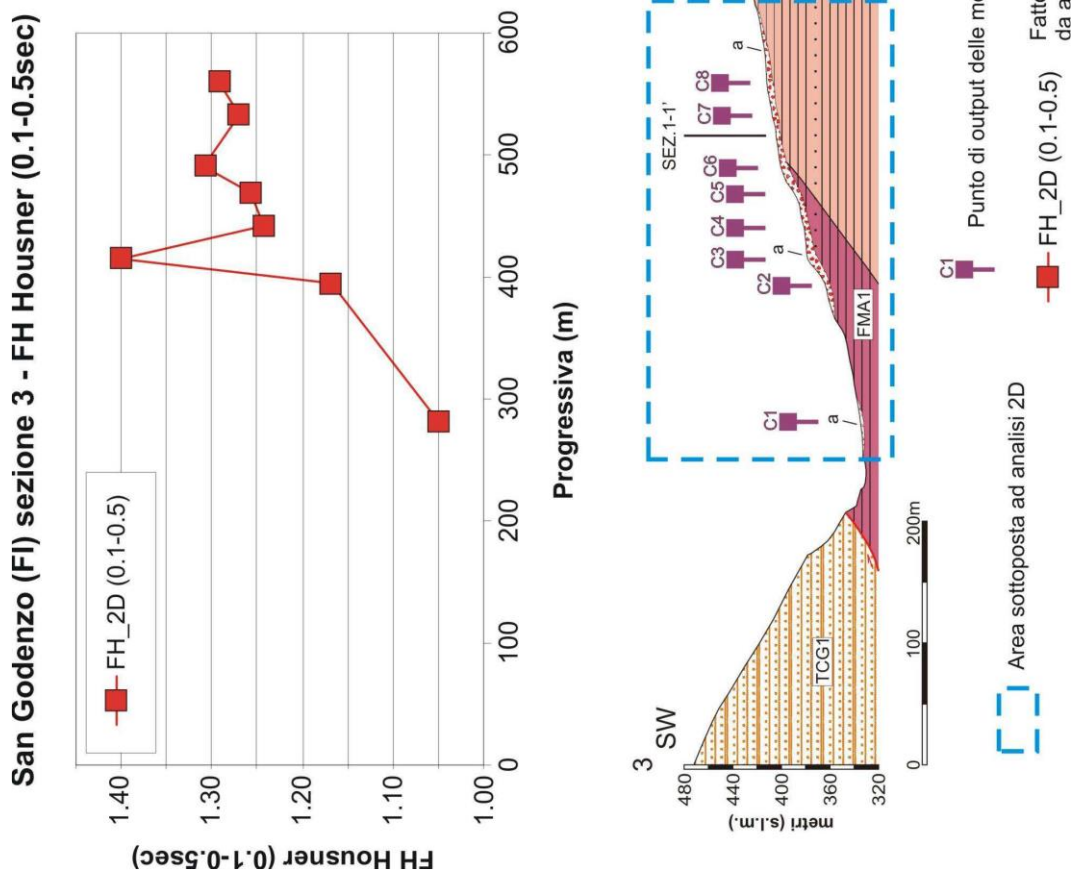
Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione n°2



Il codice di calcolo utilizzato per le analisi 1D è STRATA (Kottke & Rathje, 2008).

Questo software (distribuito gratuitamente online) permette la realizzazione di analisi di risposta sismica locale 1D agendo in un contesto semplificato di tipo elastico-equivalente. Il modello fisico consiste di N strati piani e paralleli, di estensione orizzontale infinita, su un semispazio (bedrock). Ogni strato, considerato omogeneo ed isotropo, è caratterizzato dallo spessore h , dalla densità ρ , dal modulo di taglio G , e dal fattore di smorzamento ζ .

Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione n°3



Il processo di analisi, a seguito dell'inserimento dei dati di input (sismo-stratigrafia del sito ed input sismici) comporta i seguenti passaggi:

Trasformazione del moto di input dal dominio del tempo al dominio delle frequenze (spettro di Fourier);

2 - Esecuzione dell'analisi: sulla base del modello sismostratigrafico e quindi della funzione di trasferimento tipica del sito, lo spettro di input sarà modificato nell'attraversare il profilo. Il modello è iterativo e ciò comporta che all'aumentare della deformazione indotta, i valori di G e ξ iniziali vengano progressivamente sostituiti con i valori degradati, sulla base delle curve dinamiche inserite per ogni strato;

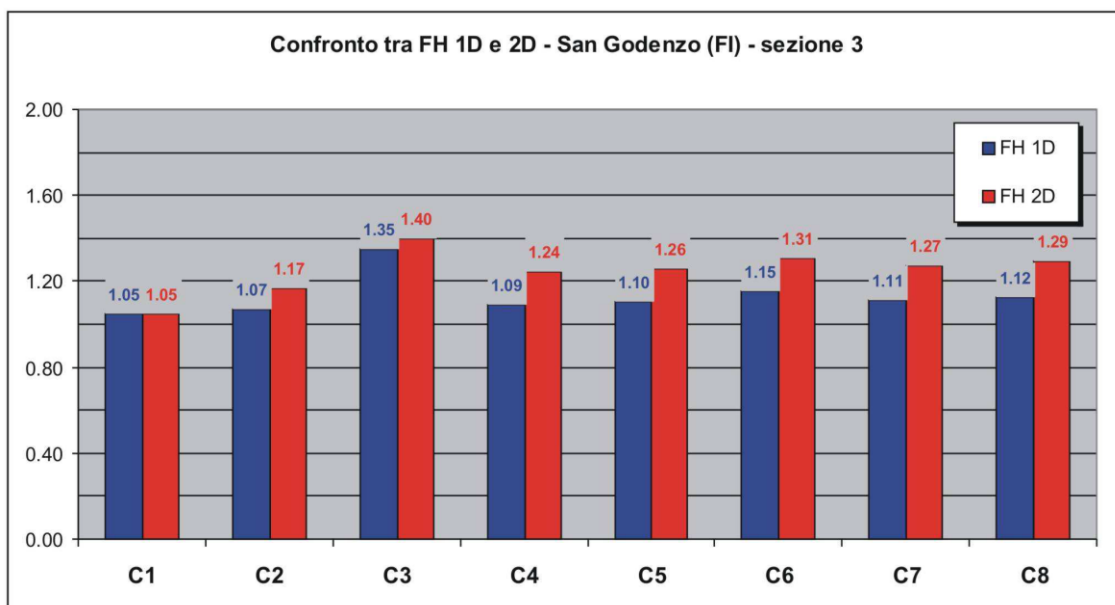
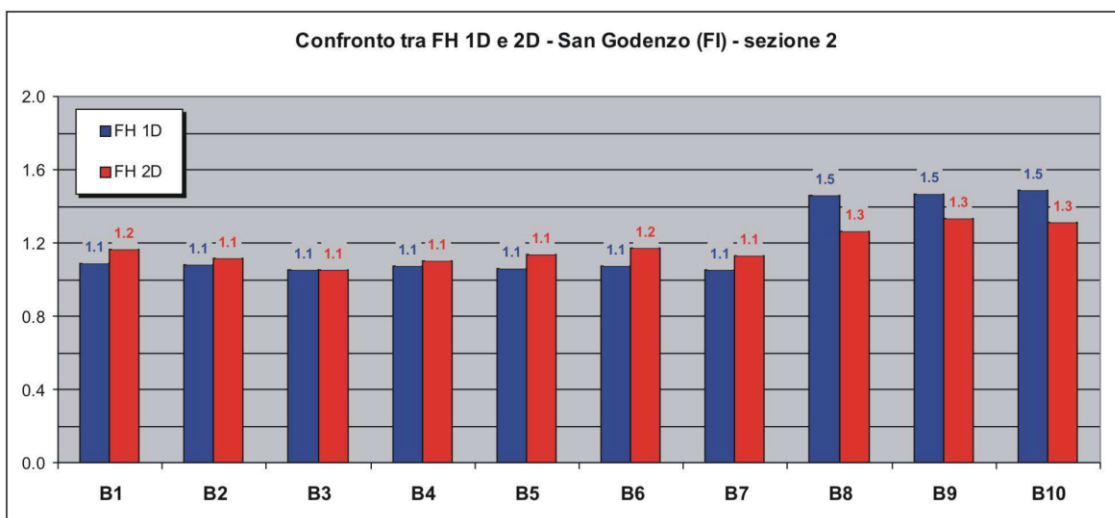
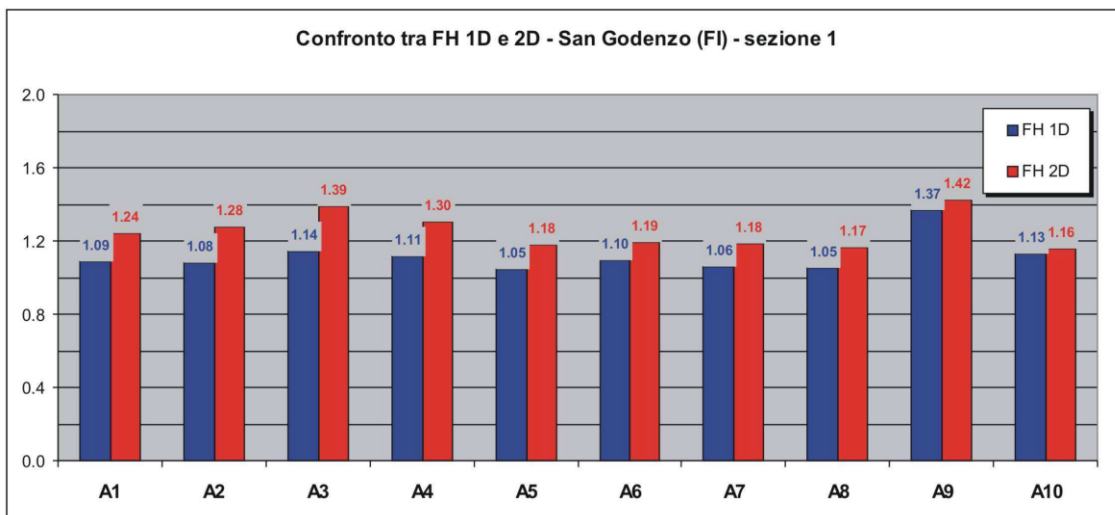
3 - Alla fine dell'analisi sarà definito uno spettro di Fourier in output, relativo alla modifica dello spettro di input sulla base delle caratteristiche geologico-tecniche del sito. Dal rapporto tra spettro di output e spettro di input, sarà definibile la funzione di trasferimento peculiare del sito;

4 - Mediante antitrasformata di Fourier sarà definito l'accelerogramma di output, tramite il quale il programma calcolerà lo spettro di risposta di output.

Dall'osservazione dei risultati delle analisi bidimensionali in termini di FH è possibile evincere come in assetto 2D l'area fornisca amplificazioni di media entità, collegate alla presenza di coperture sismiche caratterizzate da modesti spessori. Infatti, i valori di FH più elevati sono da correlarsi a zone in cui le coperture sismiche hanno i maggiori spessori (ad esempio il punto di misura A9), oppure a contesti in cui all'amplificazione stratigrafica si sommano amplificazioni dovute ad aspetti topografici (punti di misura A3 e C3).

In corrispondenza di tutti i punti di misura 2D ubicati nel centro abitato di San Godenzo, sono state realizzate analisi monodimensionali, eseguite utilizzando i medesimi parametri geomeccanici e sismologici. Generalmente tutti i valori derivanti dalle analisi 2D sono superiori agli omologhi valori relativi alle analisi 1D, ad eccezione dei punti di misura B8, B9 E B10.

Il confronto tra i valori di FH mono e bidimensionali è riportato, per ogni sezione, nelle figure sottostanti e riassunte nella tabella.



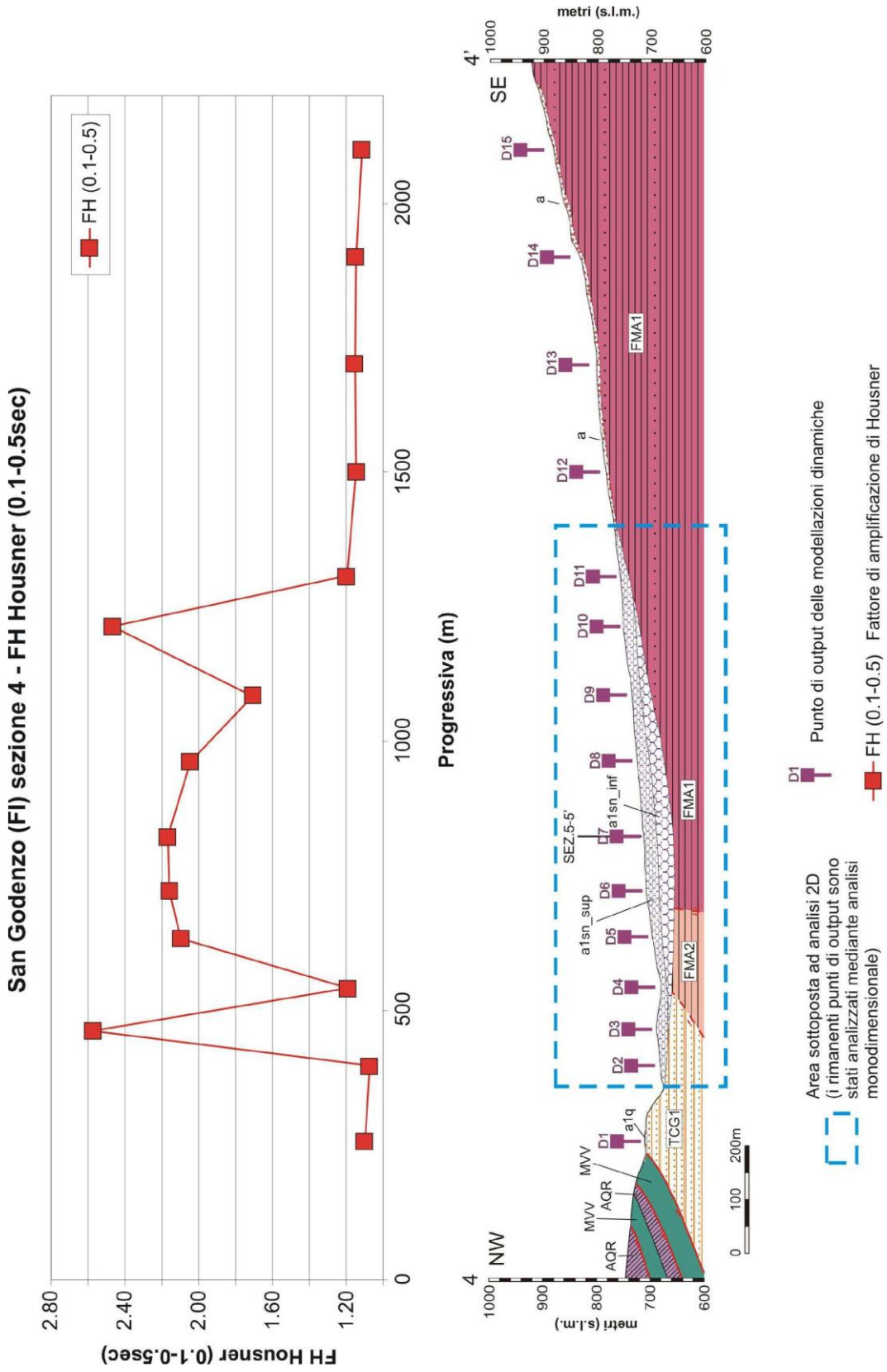
Punto di output delle analisi dinamiche	FH 2D	FH 1D
A1	1.24	1.09
A2	1.28	1.08
A3	1.39	1.14
A4	1.30	1.11
A5	1.18	1.05
A6	1.19	1.10
A7	1.18	1.08
A8	1.17	1.05
A9	1.42	1.37
A10	1.16	1.13
B1	1.17	1.09
B2	1.12	1.08
B3	1.05	1.05
B4	1.10	1.07
B5	1.14	1.08
B6	1.17	1.07
B7	1.13	1.05
B8	1.27	1.46
B9	1.33	1.47
B10	1.31	1.49
C1	1.05	1.05
C2	1.17	1.07
C3	1.40	1.35
C4	1.24	1.09
C5	1.26	1.10
C6	1.31	1.15
C7	1.27	1.11
C8	1.29	1.12

Nelle figure sottostanti sono illustrati i risultati, sempre in termini di FH, relativi alle 2 sezioni geologico-tecniche, modellate per il centro abitato di Castagno d'Andrea.

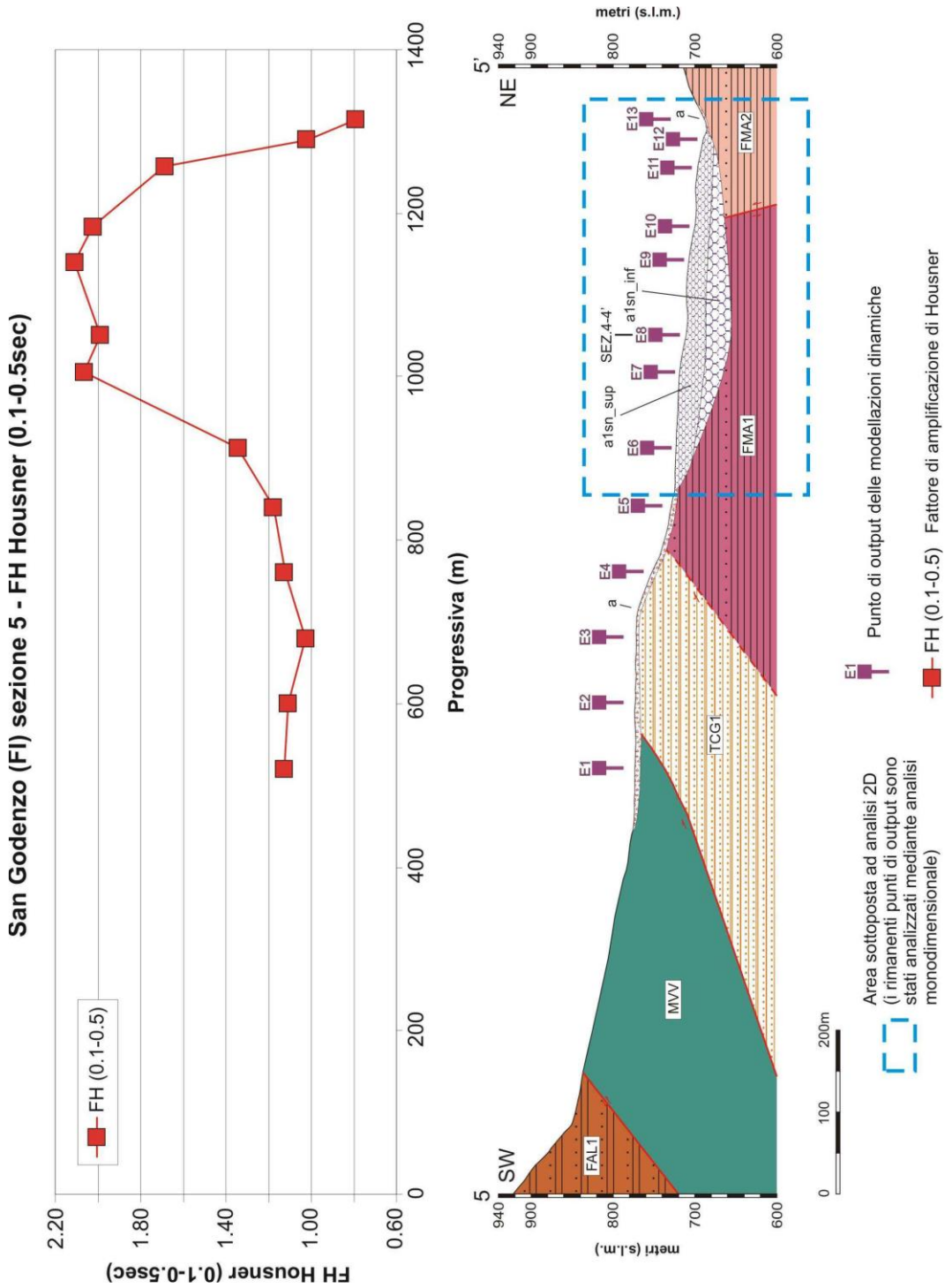
In quest'area, in virtù dell'assetto sismostratigrafico radicalmente differente dall'area del capoluogo, anche i risultati in termini di valori di FH sono sensibilmente diversi.

In particolare, la zona di affioramento dei depositi di frana stabilizzati (A1sn) su cui è posto il centro abitato, è caratterizzata da elevati valori del fattore di amplificazione, che si attesta con buona costanza su valori prossimi a 2.

Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione n°4



Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione n°5



Le attigue aree di affioramento dei depositi detritici di versante, sono state, invece, sottoposte ad analisi di risposta sismica di tipo monodimensionale.

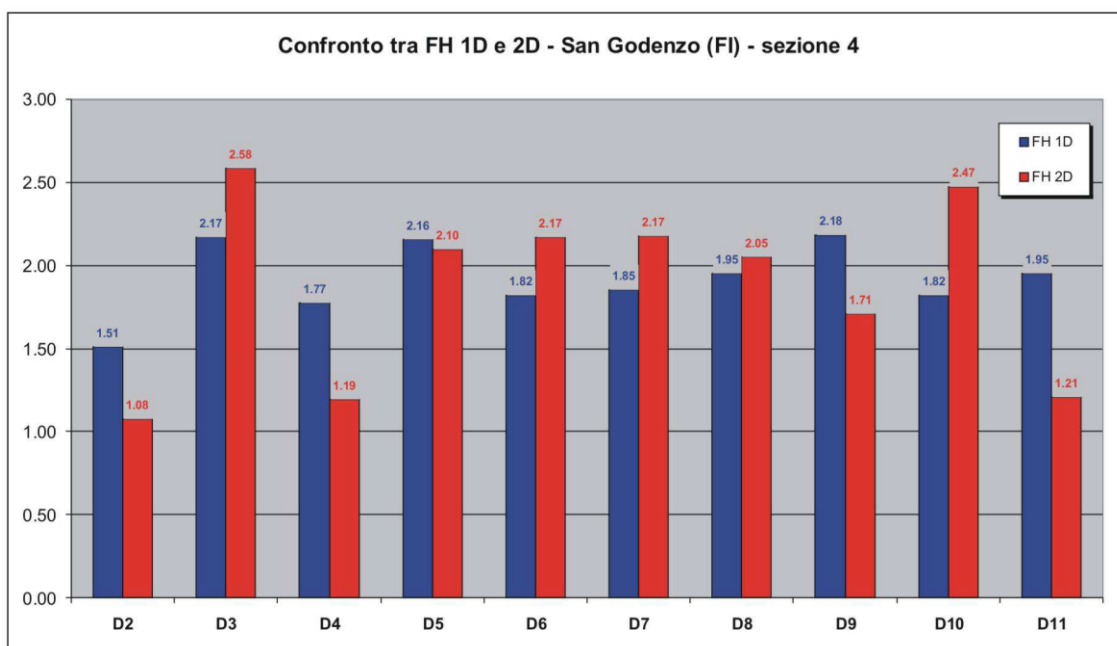
Infatti, per questi depositi, presenti sia nella sezione n°4 sia nella sezione n°5, si è verificata preliminarmente l'assenza di condizioni riconducibili a fenomenologie di natura bidimensionale.

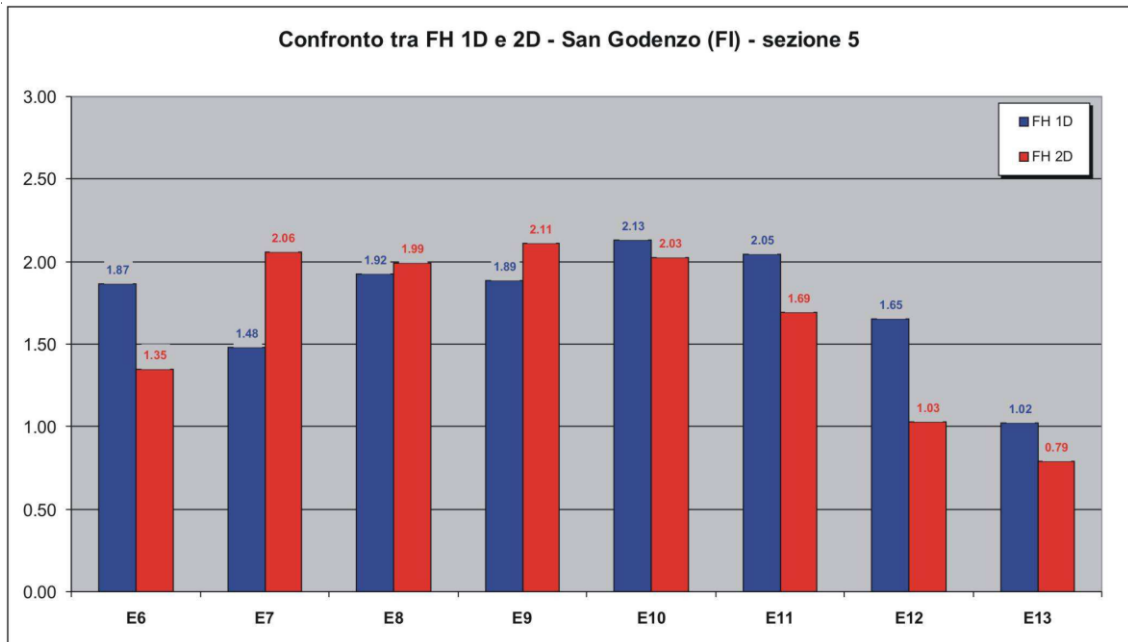
I punti di misura ubicati in corrispondenza di tali depositi dimostrano valori del fattore d'amplificazione radicalmente più esigui, in linea con il loro ridotto spessore.

Anche per il sito di Castagno d'Andrea, tutti i valori del Fattore di amplificazione bidimensionale sono stati confrontati con gli omologhi valori dedotti da analisi monodimensionali.

Il confronto è visibile nelle figure seguenti e riassunto nella tabella.

Come è possibile notare dal confronto, non sempre nell'area di Castagno d'Andrea i risultati delle analisi 2D sono più elevati dei corrispondenti FH monodimensionali, pur tenendo conto non solo dell'aspetto stratigrafico, ma anche del contesto geometrico sepolto.





Punto di output delle analisi dinamiche	FH 2D	FH 1D
D1	-	1.11
D2	1.08	1.51
D3	2.58	2.17
D4	1.19	1.77
D5	2.10	2.16
D6	2.17	1.82
D7	2.17	1.85
D8	2.05	1.95
D9	1.71	2.18
D10	2.47	1.82
D11	1.21	1.95
D12	-	1.14
D13	-	1.16
D14	-	1.15
D15	-	1.12
E1	-	1.13
E2	-	1.11
E3	-	1.02

Ciò è riscontrabile nell'area per due differenti tipologie di contesti:

1 - diffusamente nei punti di misura ai bordi della sezione, e generalmente nei punti di misura in cui gli spessori di copertura sono esigui. Una motivazione potrebbe essere ricercata nel delicato processo di deconvoluzione del moto di input, per portarlo dalle originali condizioni free-field in affioramento alle condizioni presunte all'interfaccia tra substrato sismico e coperture. Infatti, mentre per analisi 1D il processo di deconvoluzione viene svolto automaticamente dal software singolarmente per ogni analisi, nel caso di modellazioni 2D il segnale da deconvolvere al bedrock viene riportato artificialmente a condizioni medie sia di profondità dell'interfaccia bedrock sismico-coperture, sia di caratteristiche fisico-meccaniche in campo dinamico del bedrock sismico. Ciò potrebbe comportare per i punti di misura ubicati in corrispondenza di minori spessori una sottovalutazione in termini di fattore di amplificazione;

2 - All'interno dei depositi di frana stabilizzati, in corrispondenza di verticali corrispondenti ad aree di relativa deamplificazione, dovuta alla laterale compresenza di zone di focalizzazione. E' questo il caso, ad esempio, del punto di misura D9, di cui si riporta in figura 7.1.15 la distribuzione delle PGA relative allo step finale dell'analisi 2D relativa agli input sismici n°1 e n°3 (capitolo 2). Come è possibile notare, i valori di PGA nel nodo D9 sono sensibilmente inferiori ai nodi limitrofi, con conseguente ripercussione sullo spettro di risposta e, quindi, sul valore di FH.

Pertanto, a fini cautelativi, nella scelta del valore di FH più idoneo per la stesura della carta di microzonazione sismica e conseguente individuazione delle classi di pericolosità sismica, si ritiene opportuno utilizzare il valore di FH più elevato tra analisi mono e bidimensionale.

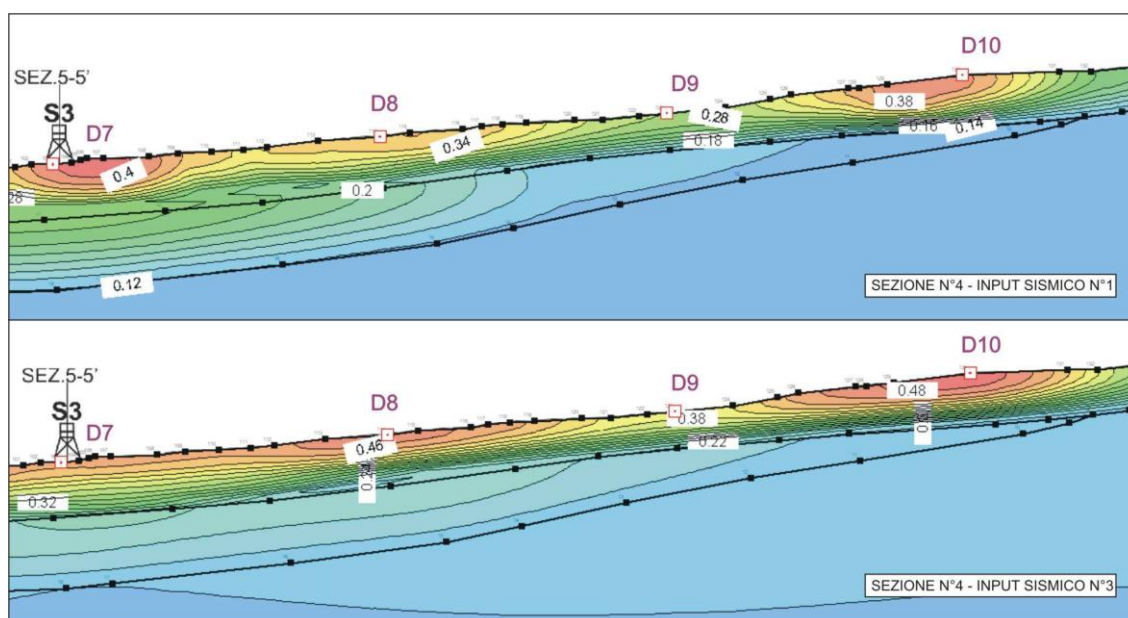


Fig.11 – Distribuzione delle PGA relative allo step finale dell'analisi 2D relativa alla propagazione degli input sismici n°1 e n°3, in corrispondenza di un tratto della sezione n°4. I valori sono espressi in g.

Infine, si è valutata monodimensionalmente la propensione all'amplificazione sismica locale dell'assetto che contraddistingue l'affioramento delle formazioni litoidi, affioranti diffusamente nella porzione nordoccidentale dell'area di studio, con riferimento all'affioramento della formazione delle Marne varicolori di Villore (MVV) caratterizzate da valori di v_s inferiori ad 800 m/s e poggianti sia sulla Formazione dell'Acquerino (AQR), sia sulla Formazione del Torrente Carigiola (TGC).

In figura sottostante è presentato il risultato dell'analisi 1D in cui, considerando uno spessore medio di MVV pari a 10m, vengono variate le proprietà del bedrock sismico, in riferimento ai valori caratteristici di ACQ e TGC, così come desumibile dalla tabella.

Gli spettri elastici di output denotano modeste amplificazioni, che si ripercuotono su valori del

fattore di amplificazione FH di poco superiori all'unità.

Inoltre, si è valutata la risposta sismica locale di tale assetto, variando lo spessore (da 10m a 50m) di MVV poggiate su TGC, in ottemperanza a quanto illustrato in sezione 5.

L'amplificazione locale, anche in questo caso, si dimostra di modesta entità con valori di FH sempre inferiori ad 1.3.

Pertanto, ai fini della trasposizione areale dei predetti risultati in termini di classi di microzonazione sismica, le aree di affioramento della formazione MVV sono state considerate stabili ma suscettibili di amplificazione stratigrafica, seppur di modesta entità.

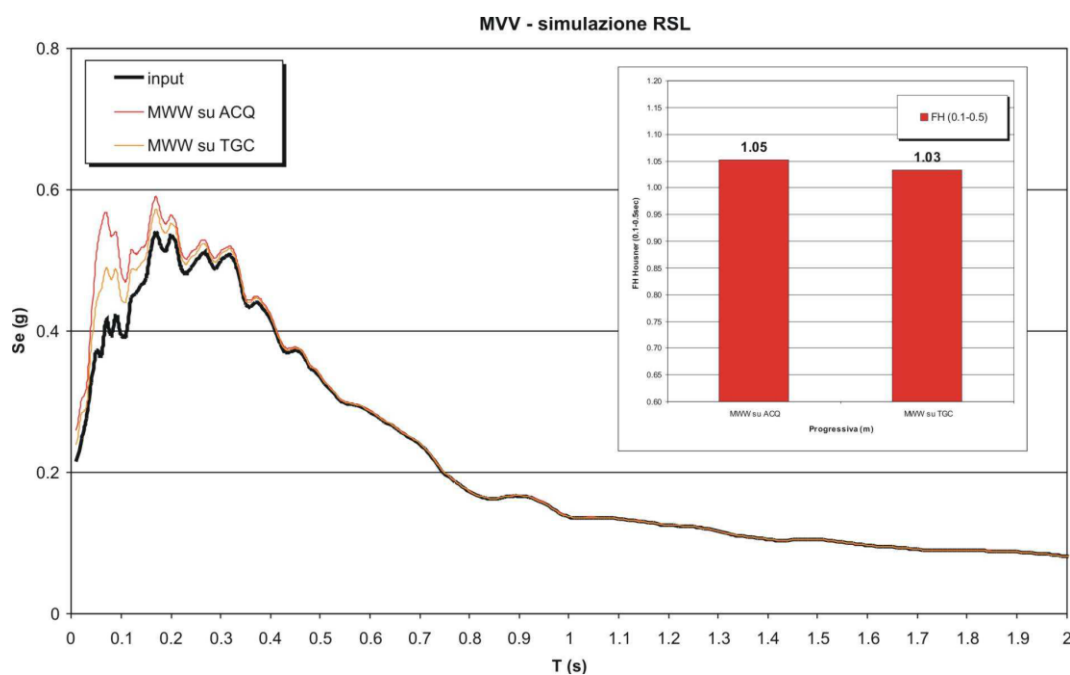


Fig.12 – Simulazione 1D su MVV poggiate su bedrock sismici differenti

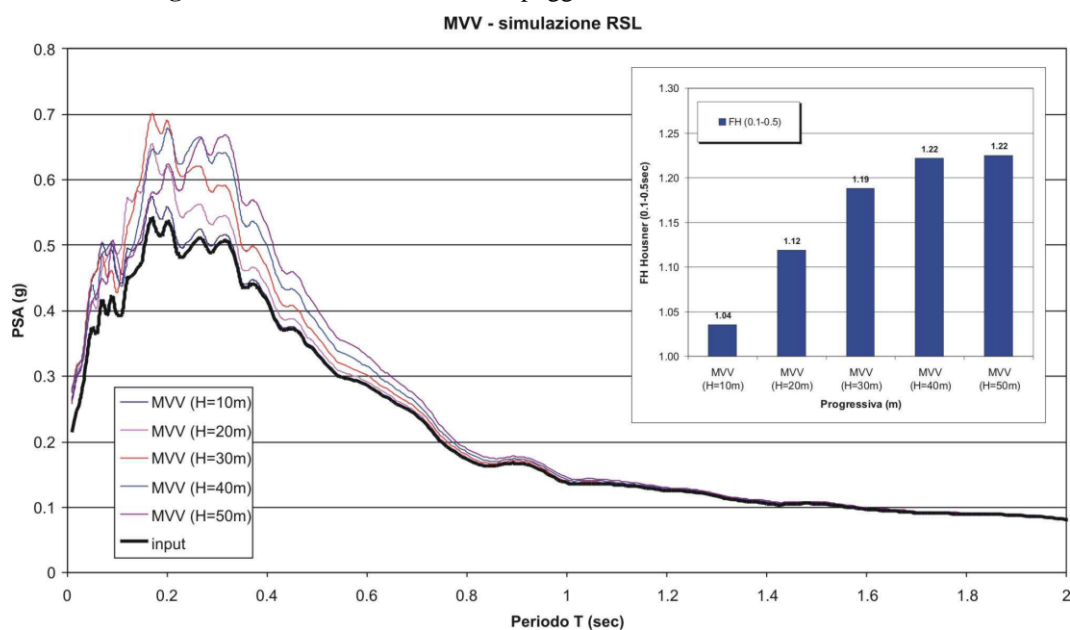


Fig.13 – Simulazione 1D su MVV poggiate su bedrock sismici differenti

Gli esiti delle analisi (così come le cartografie), vedi paragrafo successivo, sono stati aggiornati ai recenti standard, rispetto a quanto detto in precedenza relativo alle analisi svolte nel 2013, che per la parte di modellazione è significato nel calcolare i valori di FA nei tre intervalli richiesti dalle vigenti specifiche, nella determinazione degli spettri medi e normalizzati riferiti alle microzone indagate e nell'ottenimento degli spettri normalizzati per il periodo di ritorno accessorio ($Tr=50$ anni)

2.4 Analisi dinamiche nelle aree in frana MS3

Le zone di attenzione per instabilità di versante derivano dalle carte MOPS di livello 1.

La valutazione dell'attività con forzante sismica tramite metodi semplificati ha previsto per le aree in frana la valutazione dei coefficienti K_c (coefficiente sismico critico) e K_{heq} (coefficiente sismico orizzontale equivalente) così come definiti nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte".

In particolare K_c corrisponde ad un coefficiente sismico critico in condizioni di collasso incipiente, posto $FS = 1.2$ (analisi pseudostatica inversa), mentre K_{heq} deriva da appropriata analisi numerica che presuppone il calcolo dell'accelerazione massima equivalente nella sezione di studio. In particolare come descritto nelle NTC 2018, § 7.11.3.5.2

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

Imponendo $\beta=0.24$ come da tabella seguente (Tab.7.11.I - NTC2018)

Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Si perviene al calcolo di K_{heq} , da confrontare con il valore di K_c , precedentemente descritto.

Sono state quindi definite suscettibili di instabilità le aree per le quali si è riconosciuto $K_{heq} > K_c$.

In aree limitrofe al Comune oggetto di questo studio non state condotte delle analisi dinamiche su due frane cartografe come quiescenti i cui risultati possono essere estesi anche alle zone instabili di San Godenzo in quanto derivanti dal medesimo contesto geologico-geomorfologico e sismico permettendo così l'inserimento di dette aree tra le Zone di Suscettibilità per instabilità di versante.

Il calcolo di tali spostamenti è stato effettuato mediante l'utilizzo del software *Slope* della Geostru, in particolare con l'applicativo *QSIM*, il quale consente di ricavare con il metodo Newmark l'andamento degli spostamenti e delle velocità durante la fase sismica e lo spostamento massimo permanente.

2.5 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.

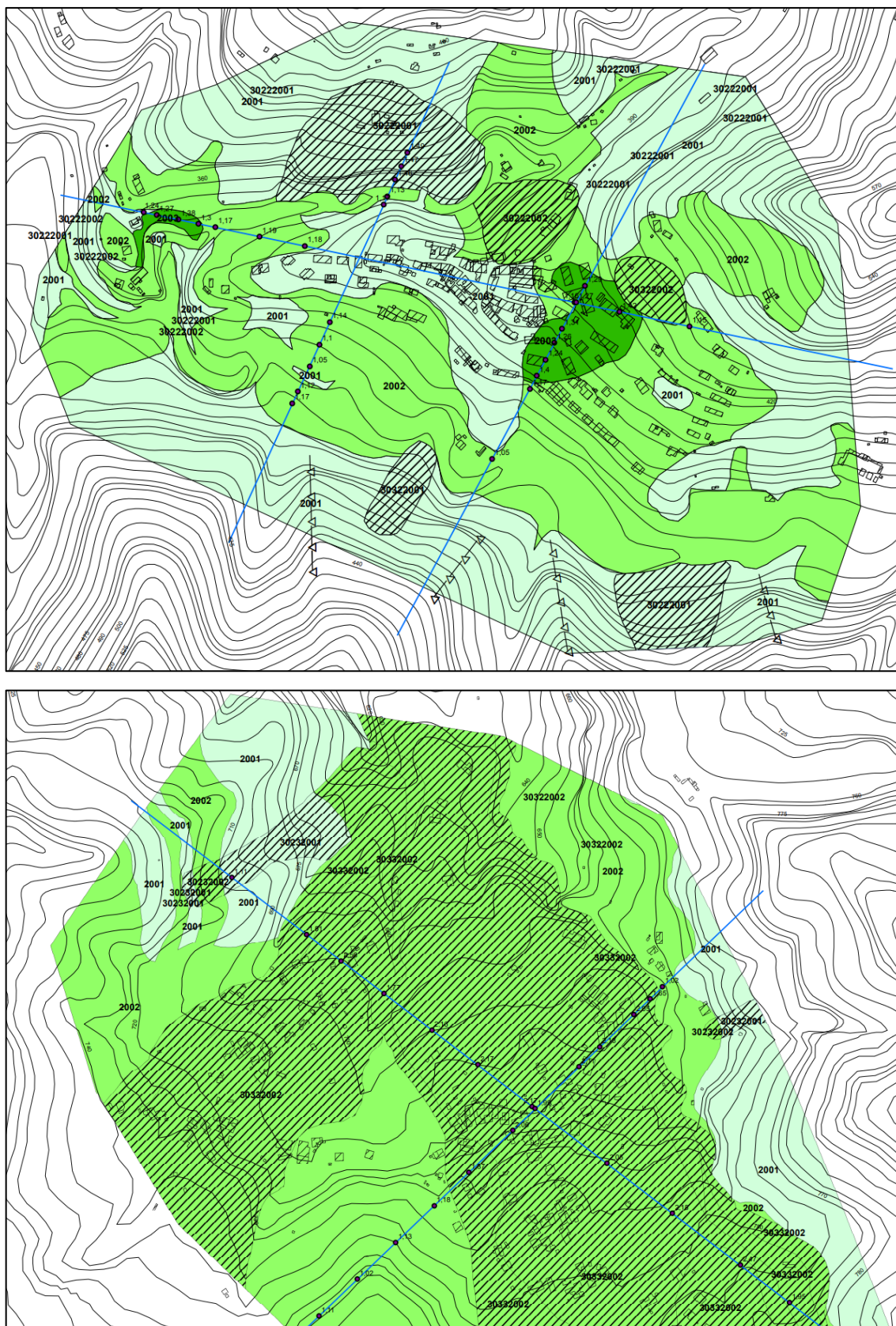


Fig. 14 - Esempio di sovrapposizione dei valori di FA0105 con le MOPS individuate nello studio di MS1 nella frazione di Castagno d'Andrea

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 similari 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.

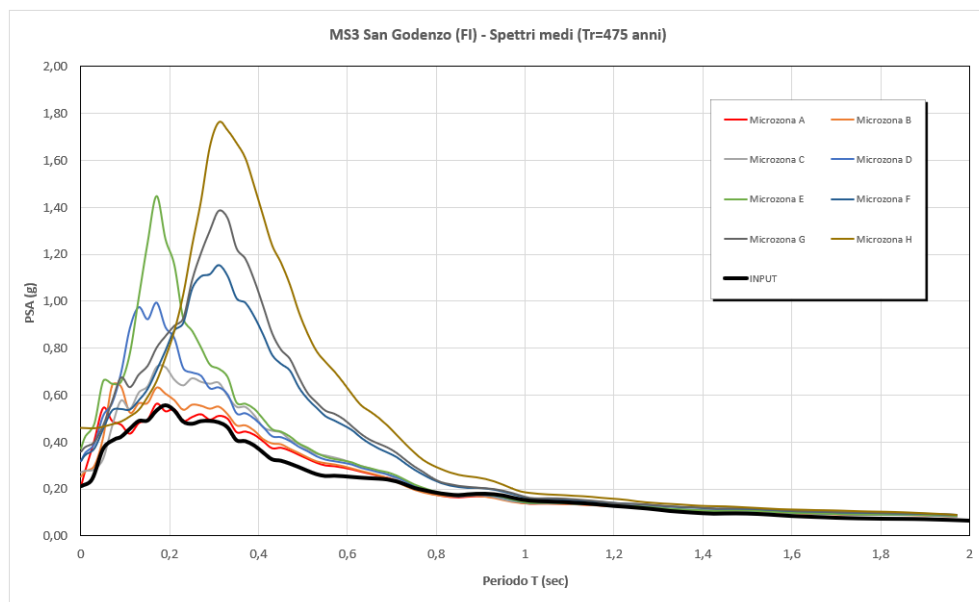


Fig. 15 - Spettri di risposta elastici medi in pseudoaccelerazione relativi alle microzone stabili suscettibili di amplificazione locale individuate nell'ambito della MS3 del Comune di San Godenzo (FI).

2.6 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:

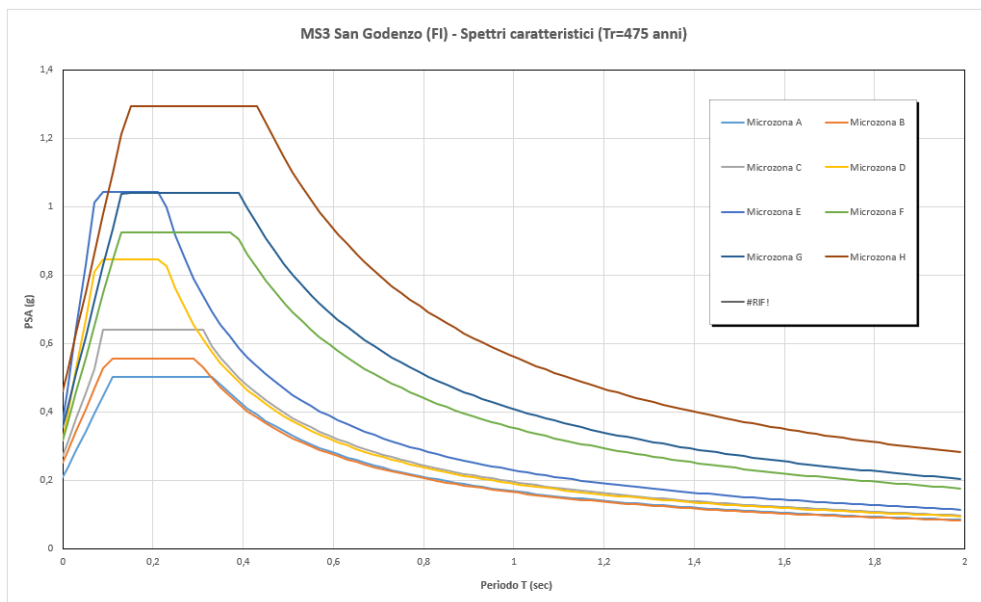
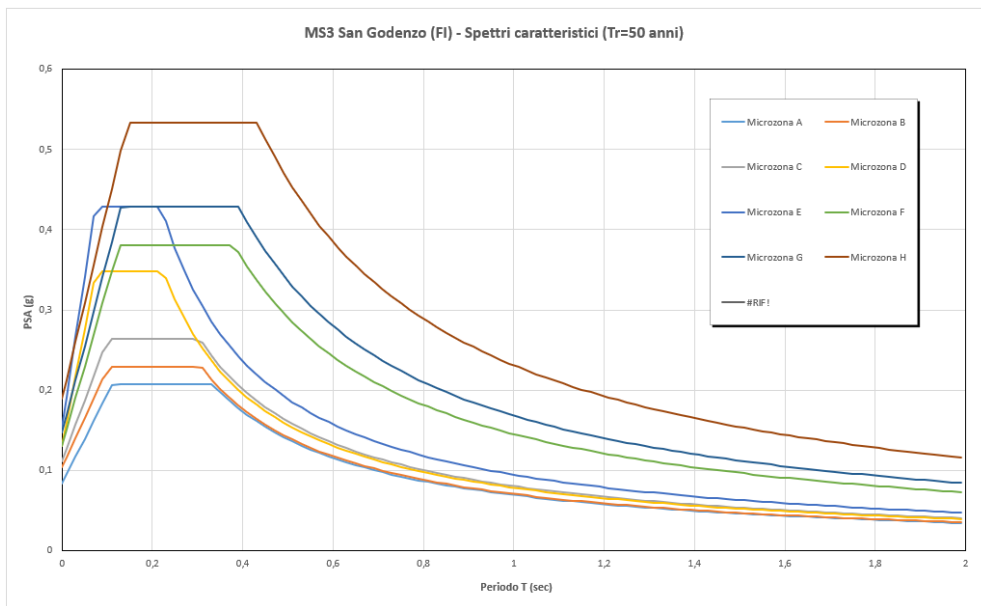
1) Raggruppamento per ogni microzona individuata (caratterizzata da un valore omogeneo del Fattore di amplificazione scelto) di tutti gli spettri di risposta elastici di output ricadenti in essa, ricavandone lo spettro medio (nella fig. 6 sono rappresentati gli spettri medi associati alle 8 microzone omogenee individuate nella MS3);

2) Regolarizzazione 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.

La regolarizzazione dello spettro è stata effettuata secondo le procedure illustrate negli ICMS 2008e 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 **Classed’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 Londa per periodi di ritorno pari a 475 e 50 anni.



Regolarizzati gli spettri è stato possibile produrre i parametri indipendenti e dipendenti desunti a seguito della regolarizzazione dello spettro medio.

San Godenzo (FI)						San Godenzo (FI)					
Microzonazione sismica di 3°livello - SLV (Tr=475 anni)						Microzonazione sismica di 3°livello - SLD (Tr=50 anni)					
Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri						Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri					
ag = 0.209g						ag = 0.086g					
microzona	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	microzona	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	2,411	1,00	0,111	0,334	2,436	A	2,411	1,00	0,111	0,334	1,944
B	2,200	1,21	0,099	0,297	2,611	B	2,200	1,21	0,103	0,308	2,016
C	2,368	1,30	0,101	0,304	2,683	C	2,368	1,30	0,101	0,304	2,046
D	2,633	1,52	0,075	0,225	2,870	D	2,663	1,52	0,075	0,225	2,123
E	2,800	1,78	0,073	0,220	3,089	E	2,800	1,78	0,073	0,220	2,213
F	2,912	1,52	0,127	0,381	2,872	F	2,912	1,52	0,127	0,381	2,123
G	2,916	1,71	0,131	0,392	3,029	G	2,916	1,71	0,131	0,392	2,188
H	2,821	2,20	0,144	0,433	3,436	H	2,821	2,20	0,144	0,433	2,356

Fig. 16 – Parametri dipendenti relativi agli spettri di risposta caratteristici (Tr=475 anni e Tr=50 anni), desunti a seguito del processo di normalizzazione

