

REGIONE MOLISE

***COMMISSIONE PER LA MICROZONAZIONE SISMICA DEI
COMUNI DELLA PROVINCIA DI CAMPOBASSO***

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA
DELL'ABITATO DEL COMUNE DI**

CASALCIPRANO

OTTOBRE 2008

INDICE

1	PREMESSE	3
2	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	4
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE.....	5
4	ANALISI DEL DANNO	9
5	MODELLAZIONE	9
	5.1 Generalità	9
	5.2 Input sismico	9
	5.3 Analisi numeriche monodimensionali: risultati.....	10
	5.4 Spettri di risposta calcolati e fattori di amplificazione.....	15
6	RISULTATI DELLA MICROZONAZIONE	17

1.PREMESSE

Il Commissario Delegato per le attività post-sisma ha affidato, con Convenzione del 14/05/2004, alla Commissione di esperti, costituita attualmente dagli scriventi Proff. Claudio Eva, Marcello Bernabini e Rinaldo Nicolich, “l’incarico per il controllo ed il coordinamento scientifico, nonché per l’elaborazione finale degli studi di microzonazione” dei nuclei abitati dei Comuni della Provincia di Campobasso.

Tra tali Comuni figura quello di CASALCIPRANO, oggetto della presente Relazione.

In appoggio agli studi per detto Comune, il Commissario Delegato ha dato incarico ad una terna di Professionisti, al Geologo Dott. Antonio D’Abramo, all’Ingegnere Vito Cianci ed al Geometra Angelo Sticca, di effettuare i rilievi geologici, litotecnici e geomorfologici e della distribuzione del danno ed ha assegnato al Geologo la direzione operativa e l’assistenza alle nuove indagini programmate. Per quanto si riferisce ai rilievi geologici, litotecnici e geomorfologici essi sono stati effettuati sotto la consulenza ed il controllo dell’Università del Molise-DI.STAT.

Pertanto, la relazione relativa ai risultati di tali studi con gli allegati (carte geologica, litotecnica, geomorfologica e sezioni), redatta dal Geologo incaricato, è acquisita come facente parte del presente rapporto ed allegata ad esso, così come la carta del danno elaborata dai tecnici non geologi.

Inoltre è acquisito e fatto proprio dalla Commissione ed allegato al presente rapporto lo studio redatto dal Prof. Eva e dal Dipartimento Territorio e Risorse dell’Università di Genova (DIPTERIS) relativo all’analisi per la scelta dei terremoti di progetto da utilizzare come input per lo studio modellistico dell’amplificazione sismica del Comune in esame.

I lavori della Commissione hanno riguardato:

- incontri con i Professionisti e con i Consulenti dell’Università del Molise;
- analisi dei risultati dei rilievi geologici, litotecnici e geomorfologici, anche alla luce delle indagini preesistenti;
- validazione dei risultati di rilievi geofisici preesistenti;
- coordinamento scientifico e proposta di nuove indagini geologiche e geofisiche, sulla base delle Linee Guida redatte dalla Commissione;
- validazione dei nuovi risultati ottenuti;
- redazione delle carte di microzonazione sismica.

Le attività indicate sono state effettuate in stretta collaborazione con la Struttura di supporto che la Regione Molise ha affiancato alla Commissione. Tale Struttura, costituita dai tecnici del Servizio Geologico Regionale¹ e da quelli della Struttura del Commissario Delegato², ha coordinato tutti i lavori, ha raccolto i dati relativi alle indagini (esistenti e nuove), ha curato la redazione e la stampa delle carte di Microzonazione sismica, in collaborazione con l'Università del Molise.

Il Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Campania-Molise (già Provveditorato Regionale alle OO.PP. del Molise) della sede coordinata di Campobasso, in qualità di soggetto attuatore, ha curato l'affidamento e la gestione dei lavori per le nuove indagini di microzonazione.

Nel presente rapporto sono state considerate ed inglobate le valutazioni di amplificazione e di modifica degli spettri eseguite mediante modellistica dal Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade dell'Università di Roma "La Sapienza"³.

Si fa presente che per il comune di Casalciprano è stato assunto il valore di **0.250 g**, come valore di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta sismico, in conformità con i valori di accelerazioni di picco con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, indicati nella Delibera del Consiglio Regionale n. 194 del 20/09/2006.

2.GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

L'assetto geologico dell'area, sulla base delle risultanze emerse dal rilevamento di superficie, nonché da quanto evidenziato dalla campagna indagini effettuata sul territorio, risulta definito dall'affioramento di una formazione appartenente all'Unità del Sannio:

- **Unità SAN2a – Flysch di S. Bartolomeo** (*Tortoniano sup. – Messiniano*): arenarie in strati e banchi con intercalazioni di sottili livelli di argille azzurre e verdastre. La porzione bassa della formazione è caratterizzata da un intervallo di argille marnose grigio azzurre con intercalazioni di sabbie ed arenarie. Sono presenti a vari livelli lenti di conglomerati poligenici. Dal punto di vista litologico la parte sommitale arenacea, estesamente affiorante nella zona rilevata, è stata classificata come L3.1 (materiali granulari cementati o molto addensati a basso grado di cementazione).

¹ Dott. Geol. Sergio Baranello, Dott. Geol. Nicola Scapillati, Dott.ssa Olga Giannantonio, Geom. Antonio De Francesco.

² Dott. Geol. Pasquale Pellegrino, Dott.ssa Geol. Odilia Petrone, Dott.ssa Arch. Sivia Di Rienzo, Dott.ssa Arch. Barbara Fiammelli, Dott.ssa Arch. Giovanna Litterio.

³ La modellazione è stata curata dal Dott.Ing. Michele Cercato che ha collaborato anche alla stesura del presente rapporto.

A copertura delle litologie descritte si rilevano localmente:

- **Depositi eluvio-colluviali (ter1-2):** costituiti da terreni essenzialmente fini derivanti dal disfacimento del substrato di spessore, rispettivamente, minore o maggiore di 2 m.
- **Depositi di frana (ce)** a granulometria mista (detrito in matrice fine).

Sono stati riscontrati significativi fenomeni quiescenti di dissesto idrogeologico nella zona ad est ed a sud dell'abitato. Ancora a sud ed a sud ovest dell'abitato sono presenti zone interessate da soliflusso e da creep attivi.

3.INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Con la ricerca di indagini pregresse sono stati reperiti i risultati di 10 sondaggi meccanici, di cui 6 eseguiti nell'intorno del centro abitato e 4 a nord-est del centro, in corrispondenza delle scuole. Nei primi 6, spinti fino a 15 m, sono state effettuate prove Down-Hole, di cui però non si hanno le registrazioni; uno dei restanti 4 sondaggi (S10) è stato utilizzato per una prova Down-Hole spinta fino a 30 m di profondità. Sono anche state effettuate prove penetrometriche e prelevati campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove geotecniche. Sono stati anche reperiti i risultati di 2 sondaggi elettrici eseguiti nella zona delle scuole.

Si riportano qui di seguito i risultati dei primi 6 sondaggi.

Sondaggio S1

Profondità (m)	Litologia	Vs (m/s)	Campioni (m)
0 – 2	Terreno agrario e arenaria alterata	240	
2 – 15	Alternanze di arenarie con sottili livelli marnosi	740	2

Le prove geotecniche sul campione hanno indicato un contenuto d'acqua del 26,3%, un contenuto in sabbia del 73.9% ed in limo del 23,5% (sabbia limosa).

Sondaggio S2

Profondità (m)	Litologia	Vs (m/s)	Campioni (m)
0 – 2	Terreno agrario e limo sabbioso	140	
2 – 15	Alternanze di arenarie con livelli argilloso-marnosi	670	3

Le prove geotecniche sul campione hanno indicato un contenuto d'acqua del 23,1%, un contenuto in sabbia del 28.1% ed una frazione fine (limo ed argilla) del 71.9% che portano a definire il campione come “argilla con sabbia”, un indice di plasticità del 25.5% ed un indice di consistenza di 1.0.

Sondaggio S3

Profondità (m)	Litologia	Vs (m/s)	Campioni (m)
0 – 4	Terreno e sabbia limosa	90	
4 – 8	Alternanze di arenarie con livelli marno-argillosi	130	
8 – 15	Alternanze di arenarie con livelli marno-argillosi	350	8.5

Le prove geotecniche sul campione hanno indicato un contenuto d'acqua del 19.7%, un contenuto in sabbia del 71.5% ed in limo del 28,5% (sabbia limosa).

Sondaggio S4

Profondità (m)	Litologia	Vs (m/s)	Campioni (m)
0 – 2	Terreno agrario e sabbia limosa	170	
2 – 15	Alternanze di arenarie con livelli argilloso-marnosi	800	2

Le prove geotecniche sul campione hanno indicato un contenuto d'acqua del 23%, un contenuto in sabbia del 18.8% ed in argilla e limo dell'81.2% (“argilla limo-sabbiosa”), un indice di plasticità del 23.7% ed un indice di consistenza di 1.12.

Sondaggio S5

Profondità (m)	Litologia	Vs (m/s)	Campioni (m)
0 – 2	Terreno e sabbia limosa	180	
2 – 15	Alternanze di arenarie con livelli argilloso-marnosi	760	

Sondaggio S6

Profondità (m)	Litologia	Vs (m/s)	Campioni (m)
0 – 1	Terreno agrario e sabbia limosa	880	
1 – 10	Arenarie con ciottoli	1070	

I sondaggi, da S7 a S10, sono stati eseguiti nei pressi della scuola materna ed hanno attraversato alternanze di sabbie ed argille, in percentuali in media simili; nei primi tre, spinti a 20 m, sono stati prelevati complessivamente 6 campioni indisturbati, su cui sono state effettuate prove geotecniche. I risultati sono riportati nella seguente.

Sondaggio	Profondità m	Contenuto d'acqua %	Sabbia %	Limo + argilla %	Indice di plasticità	Indice di consistenza	Coesione non drenata
S7	3.0	24.3	28.0	72.0	19.6	1.11	57 kPa
S7	9.4	23.8	15.0	85.0	23.9	1.09	77 kPa
S8	4.0	27.4	22.0	78.0	23.8	0.92	47 kPa
S8	7.4	26.9	53.0	47.0			
S9	4.0	28.7	35.0	65.0	22.4	0.86	59 kPa
S9	13.2	25.0	17.0	83.0	25.6	1.02	103 kPa

Tabella 1 – Risultati delle prove geotecniche sui campioni prelevati dai sondaggi S7, S8 ed S9.

Nella stessa zona sono stati eseguiti anche 2 sondaggi elettrici verticali nei quali sono state misurate resistività apparenti, comprese tra 10 e 20 ohm*m, compatibili con una successione di terreni con un contenuto in argilla di almeno il 50%.

Nel sondaggio S10, spinto fino a 30 m, è stata eseguita una prova Down-Hole di cui si hanno le registrazioni che ne permettono la validazione; se ne riportano qui di seguito i risultati in piccola parte reinterpretati.

Profondità (m)	Litologia	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vs30 (m/s)
0 – 3	Riporto e terreno vegetale	380	120	320
3 – 6	Sabbie con alternanze di argille	630	190	
6 - 15	Alternanze di sabbie ed argille	1400	365	
18 – 22	Argille marnose e marne argillose con livelli arenacei	2060	470	
22 – 30	Argille marnose e marne argillose con livelli arenacei	2060	690	

Tabella 2 – Sondaggio S10.

I risultati della prova Down-Hole del sondaggio S10, l'unica di cui si abbiano le registrazioni, sono in accordo con i risultati della prova Down-Hole del sondaggio S3 (valori di Vs inferiori a 400 m/s per i primi 15 m), mentre contrastano con i risultati delle prove Down-Hole dei sondaggi S1, S2, S4, S5 e S6 che indicano valori di Vs superiori a/o dell'ordine di 700 m/s già a partire di 1 -2 m dal piano campagna. Tali valori appaiono non realistici, date le apparenti condizioni di fratturazione e di alterazione della formazione. Pertanto, si sono considerati rappresentativi della zona in esame i risultati relativi al sondaggio S10.

Si è ritenuto, quindi, sufficiente, data anche la limitata estensione dell'abitato, completare il quadro della zona con l'esecuzione di N. 6 indagini sismiche (NK1 – NK6) finalizzate ai microtrempi (metodo Nakamura).

I risultati di dette indagini, riportati in dettaglio negli elaborati tecnici forniti dall'Impresa Geotecnica S.A.S., vengono qui di seguito sintetizzati.

Le prove Nakamura eseguite hanno fornito le seguenti indicazioni:

- prova NK1 – diagramma piatto;
- prova NK2 – un primo picco netto sui 2-2.5 Hz ed uno secondario sui 4.5 Hz, entrambi fortemente direzionali;
- prova NK3 – diagramma piatto;
- prova NK4 – diagramma piatto;

- prova NK5 – diagramma piatto;
- prova NK6 – diagramma piatto.

Le prove Nakamura indicano una situazione omogenea, poco significativa, tranne che per la prova NK2, effettuata vicino al sondaggio S10.

4.COMMENTI SULLA DISTRIBUZIONE DEL DANNO EDILIZIO

La carta del danno indica una distribuzione abbastanza omogenea di edifici con danno nullo. Gli edifici con danno significativo, grave e gravissimo (questi ultimi in numero piuttosto esiguo) sono per lo più ubicati nel centro storico, lungo le dorsali. Si tratta in generale di abitazioni vetuste che non hanno subito interventi né di ristrutturazione né di recupero funzionale; sui fabbricati più moderni si rileva solo qualche danno significativo.

Pertanto, l'analisi del danno non porta contributi significativi allo studio di microzonazione.

5.MODELLAZIONE

5.1.Generalità

Sulla base della caratterizzazione dei terreni, relativa alle prove Down-Hole, sono state effettuate simulazioni, mediante modelli matematici, della risposta sismica dei terreni superficiali.

Per tali simulazioni occorre iniziare ponendo i terremoti di progetto in corrispondenza del “substrato rigido”, in riferimento del quale i terremoti stessi sono stati valutati (vedi relazione del Prof. Eva allegata). In generale, si considera substrato rigido la formazione o parte della formazione affiorante nell'area avente sufficiente rigidità, comunque, decisamente maggiore di quella delle formazioni sovrastanti. Nella zona in esame si considera substrato rigido la parte dell'Unità del San Bartolomeo laddove la formazione raggiunge valori di velocità delle onde S superiori o uguali a 700 - 800 m/s.

5.2.Input sismico

Ai fini delle analisi della risposta sismica locale è stato adottato, anche in conformità alla recente mappa di pericolosità sismica per il territorio italiano (Gruppo di Lavoro MPS04, 2004), un

valore di a_g di ancoraggio dello spettro di risposta degli accelerogrammi di input (input sismico) pari a **0.25 g**, come indicato dalla Delibera del Consiglio Regionale n. 194 del 20.09.2006.

In Figura 1 è riportato l'andamento dello spettro di risposta, ottenuto dall'input sismico su suolo rigido, a sua volta calcolato come la media di sette accelerogrammi reali selezionati in ottemperanza al vincolo di spettro-compatibilità con lo spettro di risposta probabilistico (o spettro isoprobabile), corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Lo spettro di risposta isoprobabile (Uniform Hazard Spectrum – UHS), anch'esso relativo a suolo rigido, è ancorato al valore di PGA (≈ 0.250 g), calcolato per il sito in esame mediante l'analisi di pericolosità sismica condotta dal DIPTERIS (vedi relazione allegata).

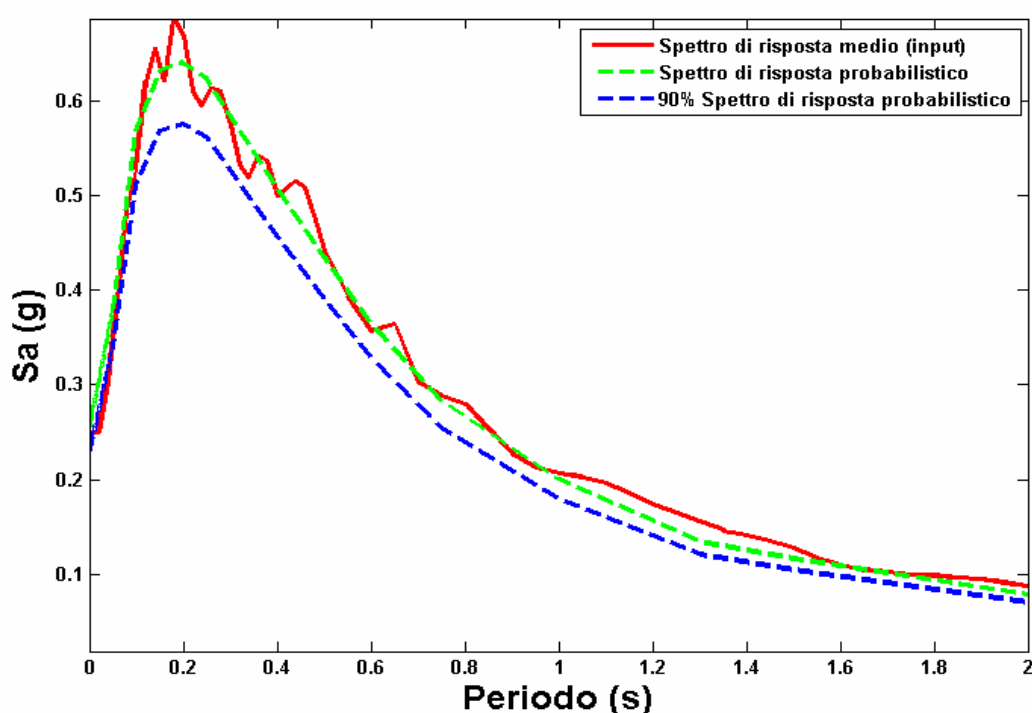


Figura 1 - Confronto tra lo spettro di risposta medio relativo all'input sismico (curva rossa) e lo spettro di risposta probabilistico per un periodo di ritorno di 475 anni (curva verde tratteggiata) ed il 90% dello spettro di risposta probabilistico per un periodo di ritorno di 475 anni (curva blu tratteggiata).

Le forme spettrali si riferiscono ad un coefficiente di smorzamento (*damping*) ξ pari al 5%.

5.3. Analisi numeriche monodimensionali: risultati

Le notizie sulle formazioni geologiche presenti e i dati delle prove Down-Hole sono stati utilizzati per la realizzazione delle colonne sismo-stratigrafiche impiegate nelle simulazioni

numeriche 1D, effettuate utilizzando il codice di calcolo Pro Shake 1.1 (EduPro Civil Systems, Inc.).

Nel Comune di Casalciprano le modellazioni eseguite sono relative al solo sondaggio S10 l'unico che possa essere considerato attendibile e che raggiunge i 30 m di profondità. Il profilo derivante dalla prova Down – Hole è stato integrato con i risultati ottenuti per via indipendente dalle altre indagini, sia preesistenti che eseguite nell'ambito di questo lavoro, anche nei Comuni vicini o in analoghe condizioni. La finalità è quella di uniformare i risultati, con la possibilità di estendere il dato puntuale della modellazione alle circostanti aree.

Dall'interpretazione della prova Down-Hole S10 è stato ricavato il modello sismostratigrafico definito come S10 riportato in Tabella 3.

Profondità (m)	Litologia	Vs (m/s)
1 – 3	Riporto e terreno vegetale	120
3 – 6	Sabbie con alternanze di argille	190
6 - 15	Alternanze di sabbie ed argille	365
15 – 22	Argille marnose e marne argillose con livelli arenacei	470
22 – 40	Argille marnose e marne argillose con livelli arenacei	690
40 - infinito	Arenarie e marne	800

Tabella 3 – Modello sismo-stratigrafico sondaggio S10.

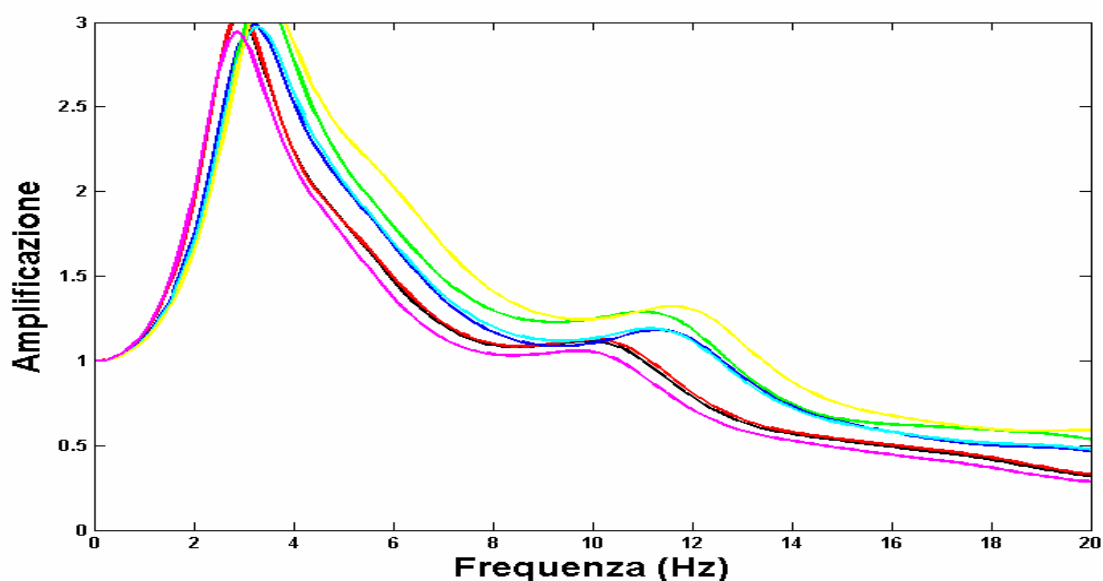


Figura 2 - Funzione di trasferimento relativa al modello sismo-stratigrafico S10 adottato per il sondaggio S10 (Tabella 3). Le diverse curve sono relative ai sette accelerogrammi naturali scelti per l'input al bedrock.

Le funzioni di trasferimento, calcolate a partire da tale modello, utilizzando un input sismico in conformità con quanto descritto al paragrafo precedente, mostrano un marcato picco di amplificazione nell'intorno dei 3 Hz, prossimo alla frequenza di picco riscontrata nella prova Nakamura NK2.

Il sondaggio S10 è stato eseguito in una zona con una copertura di terreno di riporto non presente in quasi tutta l'area investigata. Si è, pertanto, ipotizzato che la situazione generale possa essere meglio rappresentata da un modello S10A, derivato dal modello sismo-stratigrafico S10 eliminando lo strato superficiale di riporto. Tale modello è, pertanto, riportato nella Tabella 4.

Profondità (m)	Litologia	Vs (m/s)
0 – 3	Sabbie con alternanze di argille	190
3 - 12	Alternanze di sabbie ed argille	365
12 – 19	Argille marnose e marne argillose con livelli arenacei	470
19 – 40	Argille marnose e marne argillose con livelli arenacei	690
40 - infinito	Arenarie e marne	800

Tabella 4 – Modello sismo-stratigrafico sondaggio S10A.

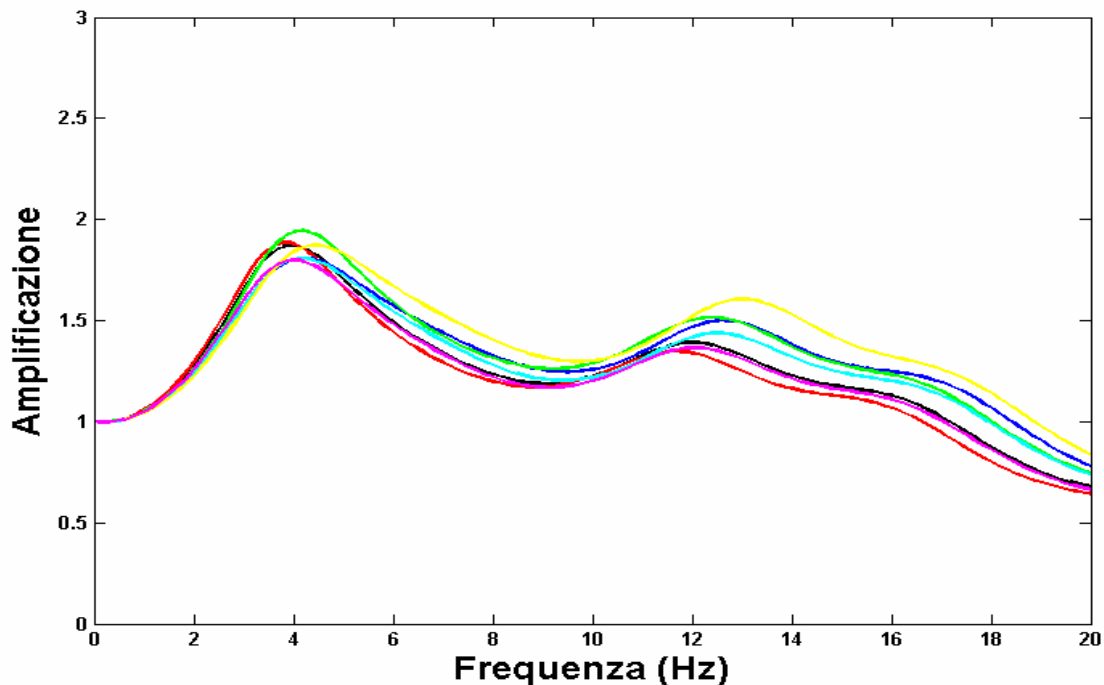


Figura 3 - Funzione di trasferimento relativa al modello sismo-stratigrafico S10A (Tabella 4). Le diverse curve sono relative ai sette accelerogrammi naturali scelti per l'input al bedrock.

Le funzioni di trasferimento, calcolate a partire da tale modello, utilizzando un input sismico in conformità con quanto descritto al paragrafo precedente, mostrano un picco di amplificazione (Fig. 3) nell'intorno dei 4 Hz, meno marcato di quello della Fig. 2.

5.3 Spettri di risposta calcolati e fattori di amplificazione

A partire dalle funzioni di trasferimento, di cui al paragrafo precedente, utilizzando lo spettro di risposta al bedrock, sono stati calcolati gli spettri di risposta in superficie (con smorzamento del 5%).

Nella Figura 3 è riportato il confronto tra gli spettri di risposta, modificati dall'effetto della stratigrafia locale, e lo spettro di risposta, relativo all'input sismico su terreno rigido.

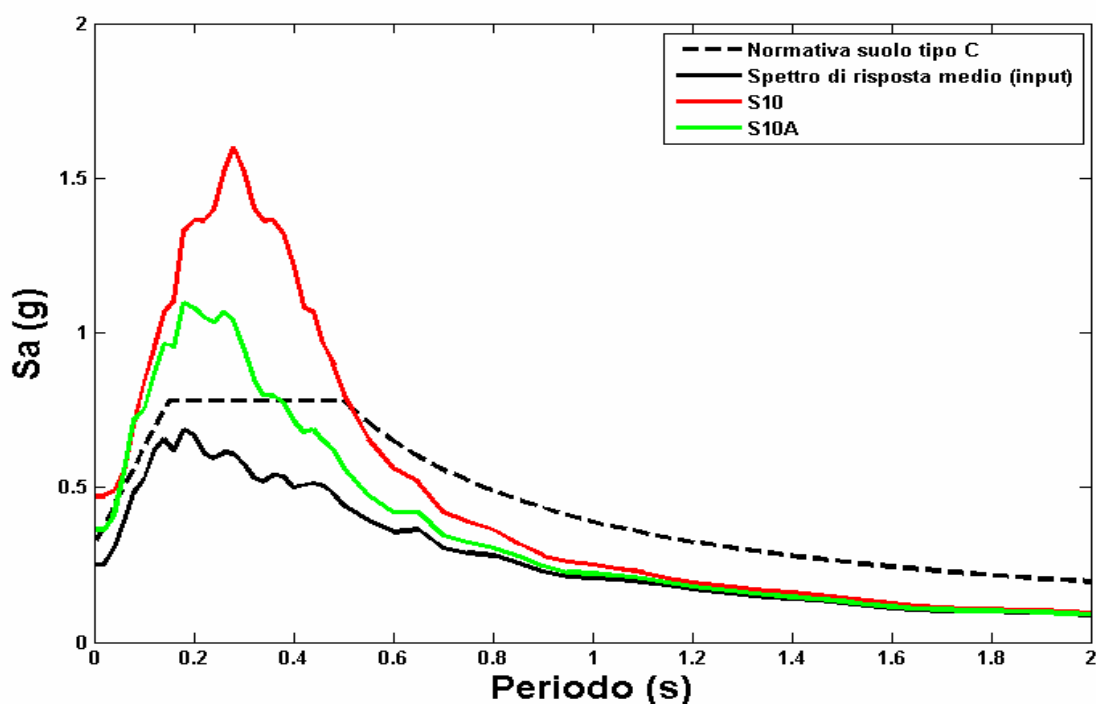


Figura 3 - Confronto tra lo spettro di risposta medio su roccia (curva nera), lo spettro di normativa per terreni di tipo B (curva tratteggiata) e gli spettri calcolati tenendo conto degli effetti di amplificazione stratigrafica per il modello sismo-stratigrafico S10 (curva rossa) e per il modello sismo-stratigrafico S10A (curva verde).

Nella realizzazione delle carte di microzonazione sismica ciascuna forma spettrale, comprensiva degli effetti di amplificazione locale, calcolata sia in termini di accelerazione che di pseudovelocità, assume significato se rapportata al corrispondente spettro su roccia. Questo si

riassume nella valutazione del fattore di amplificazione (Fa_{SI}), i cui valori, riportati in Tabella 5, sono calcolati considerando l'”Intensità di Housner” (SI) per l'intervallo di periodo 0.1-1.0 s.

Come già osservato nelle note esplicative, alla definizione dell'input sismico (vedi relazione generale allegata), considerate le caratteristiche sismotettoniche dell'area, si suggerisce l'impiego del parametro Fa_{SI} per la banda spettrale 0.1 – 1.0 s, rappresentativa del periodo fondamentale proprio della maggior parte degli edifici, in quanto in grado di fornire una stima indicativa della risposta potenziale di tali strutture.

Nella Tabella 5 sono riportati i fattori di amplificazione così calcolati unitamente alla categoria di terreno, derivante dal valore di Vs_{30} per l'area esaminata.

Modello	Vs_{30}	Categoria	Fa_{SI} (0.1-1.0s)
S10	326	C	1.71
S10A	420	B	1.26

Tabella 5 – Fattori di amplificazione.

Il valore del fattore di amplificazione, calcolato per via numerico-sperimentale, è stato confrontato con i valori dedotti dalle Vs_{30} , con i risultati delle prove Nakamura, con i risultati degli altri sondaggi e con le carte di microzonazione ottenute considerando solo gli aspetti litotecnici. I sondaggi dall'S7 all'S10 sono stati eseguiti in una zona ristretta, con una copertura a bassissima velocità, anche la prova Down-Hole del sondaggio S3 è stata eseguita in una zona con maggiore copertura eluviale. I risultati dei sondaggi S1, S2, S4, S5 ed S6 insieme con i relativi valori di velocità delle prove Down-Hole, anche se non certificabili data l'assenza di registrazioni, indicano assenza di forti coltri a bassissima velocità: ciò fa ritenere compatibile, per le zone con bassa copertura, un fattore di amplificazione 1.25, ricavato con il modello S10A, coincidente del resto con il valore di normativa. Per le zone indicate nella carta geologica, come ter2, su cui insistono i sondaggi S3 ed S7-S10, il fattore di amplificazione, ricavato con il modello S10 (1.71), appare eccessivo; considerando il valore di normativa per la categoria C si può considerare per tali zone un fattore di 1.35.

6.RISULTATI DELLA MICROZONAZIONE

Sulla base dei risultati dello studio geologico e geomorfologico, dei risultati delle indagini geofisiche e delle analisi di modellazione sopra viste, l'area del centro abitato di Casalciprano viene

suddivisa in zone cui competono differenti coefficienti S di amplificazione, rappresentate nella allegata carta di microzonazione.

Alla zona caratterizzata da basse coperture (colore rosa) è stato attribuito un fattore di amplificazione $S = 1.25$.

Alla zona caratterizzata dalla presenza di una copertura superiore ai 3 m, a bassissima velocità, (colore verde) è stato attribuito il fattore $S = 1.35$.

Per le zone in frana quiescenti (colore giallo), caratterizzate dalla presenza di sedimenti fini (limi ed argille) e di fenomeni di instabilità, sono necessarie indagini di approfondimento e, nel caso, opere di consolidamento per il versante e/o per le strutture di fondazione. Se non dovessero risultare spessori notevoli di terreno dissestato, si può assumere un valore di S pari a 1.25. In ogni modo sono sconsigliate nuove edificazioni e per gli edifici esistenti sono consentiti solo interventi di manutenzione senza ampliamento.

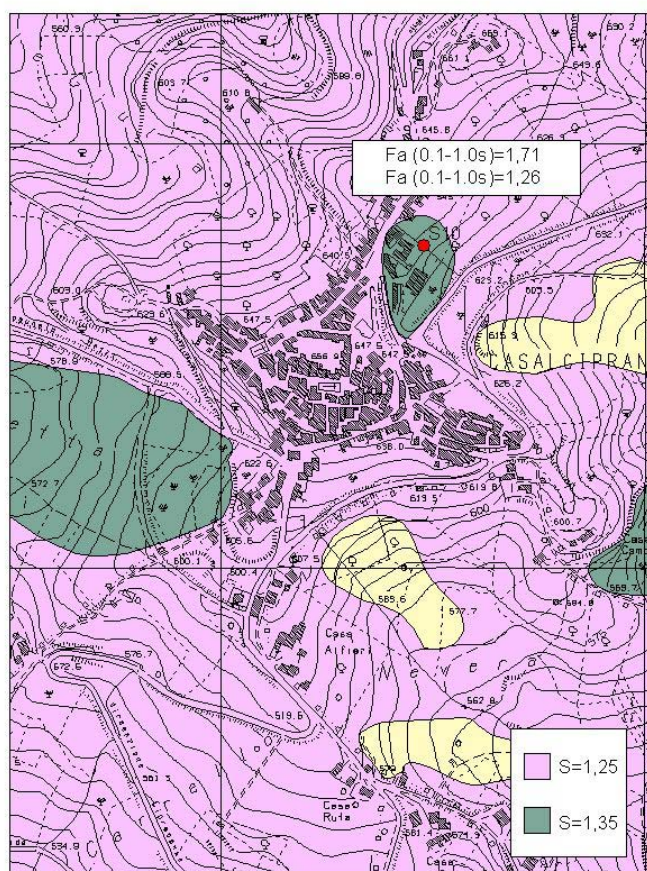


Figura 4 – Carta di microzonazione del centro abitato.