

PROGRAMMA DI MICROZONAZIONE SISMICA IN ITALIA: CONSIDERAZIONI PRELIMINARI SUI DATI RACCOLTI

S. Castenetto¹, F. Brammerini¹, G. Naso¹, P. Imprescia²

¹ *Dipartimento della Protezione Civile, Roma*

² *CNR-IGAG, Roma*

Introduzione. Dopo il terremoto aquilano del 2009, attraverso l'articolo 11 della legge n. 77 del 24 giugno 2009 per la ricostruzione in Abruzzo, lo Stato ha deciso di investire nella prevenzione del rischio sismico finanziando interventi su tutto il territorio nazionale, grazie ad un fondo istituito nello stato di previsione del Ministero dell'economia e delle finanze. L'utilizzo di tali fondi, 965 milioni di euro ripartiti su 7 annualità, è regolamentato da ordinanze del Presidente del Consiglio dei Ministri e, a partire dall'annualità 2012, dopo l'approvazione

della legge 100/12 di riforma della protezione civile, da ordinanze del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.

Gli elementi di novità introdotti dal piano nazionale di prevenzione del rischio sismico riguardano, in particolare, gli strumenti di prevenzione individuati. Tra questi, la microzonazione sismica (MS), che ha visto un significativo sviluppo e diffusione negli ultimi trent'anni.

Dopo l'emanazione della prima ordinanza (OPCM 3907/10), tutte le Regioni hanno legiferato per recepire nella pianificazione urbanistica le indagini di microzonazione sismica, vincolando l'approvazione dei piani alla preventiva realizzazione e valutazione degli studi di MS. Inoltre, tutte le Regioni hanno adottato gli standard per le indagini di MS (il riferimento sono gli "Indirizzi e criteri", predisposti nel 2008 dal Dipartimento della Protezione Civile con le Regioni; Gruppo di Lavoro MS, 2008) e gli standard di archiviazione informatica definiti da una Commissione tecnica interistituzionale appositamente predisposta, garantendo l'omogeneità e la confrontabilità dei risultati sul territorio nazionale (Commissione tecnica MS3907, 2014).

Stato di attuazione del programma. Le ordinanze emanate, ad oggi, sono le seguenti:

- OPCM 3907 del 13.11.2010, per l'annualità 2010;
- OPCM 4007 del 29.02.2012, per l'annualità 2011;
- OCDPC 52 del 20.02.2013, per l'annualità 2012;
- OCDPC 171 del 19.06.2014, per l'annualità 2013.

Le attività previste vengono attuate attraverso programmi delle Regioni, a ciascuna delle quali è stata assegnata un'aliquota del fondo complessivo, proporzionale al rischio sismico dell'ambito territoriale, così come calcolato a partire anche dagli studi dei centri di competenza del Dipartimento della Protezione Civile. Dall'annualità 2012, gli studi di MS devono essere obbligatoriamente accompagnati dall'analisi della condizione limite per l'emergenza (CLE) dell'insediamento urbano, per una maggiore integrazione delle azioni volte a mitigare il rischio sismico e a migliorare la gestione delle attività di emergenza subito dopo un terremoto.

La CLE indica la condizione per cui un insediamento urbano, dopo un terremoto, nonostante i danni subiti interrompano la quasi totalità delle funzioni urbane presenti, compresa la residenza, conserva comunque l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza, la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale (Bramerini *et al.*, 2013). La sua analisi è finalizzata a determinare, dunque, il grado di resilienza dell'insediamento urbano, rispetto a condizioni estreme determinate dalla distruzione prodotta da un forte terremoto.

Il supporto e il monitoraggio, a livello nazionale, per gli studi di MS e per l'analisi della CLE, sono garantiti dalla Commissione tecnica prevista dall'OPCM 3907/10 (art. 5) e istituita con DPCM del 21 aprile 2011. Relativamente allo stato di attuazione delle attività finanziate con le prime tre annualità del fondo (per la quarta annualità non sono ancora disponibili i programmi delle Regioni), sono stati consegnati 406 studi finanziati con i fondi dell'annualità 2010 (OPCM 3907/10). Per l'annualità 2011 (OPCM 4007/12), quasi tutte le Regioni hanno presentato il programma di utilizzo dei fondi e, ad oggi, sono previsti 620 studi, dei quali 445 accompagnati dall'analisi della CLE che, per l'annualità 2011, può essere facoltativamente realizzata dalle Regioni. Infine, molte Regioni hanno già approvato e trasmesso ufficialmente il programma di attività che sarà finanziato con i fondi dell'annualità 2012 (OCDPC 52/13): 638 studi che saranno accompagnati obbligatoriamente, come previsto, dall'analisi della CLE realizzata contestualmente allo studio di microzonazione sismica.

Dopo tre anni di utilizzo dei fondi, dunque, sono stati realizzati o sono in corso di realizzazione 1659 studi di MS (Fig. 1), corrispondenti ad altrettanti comuni, che rappresentano poco meno della metà dei comuni finanziabili (3896 comuni con $ag \geq 0.125$ g).

Ciascuno studio ha previsto la realizzazione dei seguenti elaborati cartografici: la carta delle indagini, la carta geologico tecnica, la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

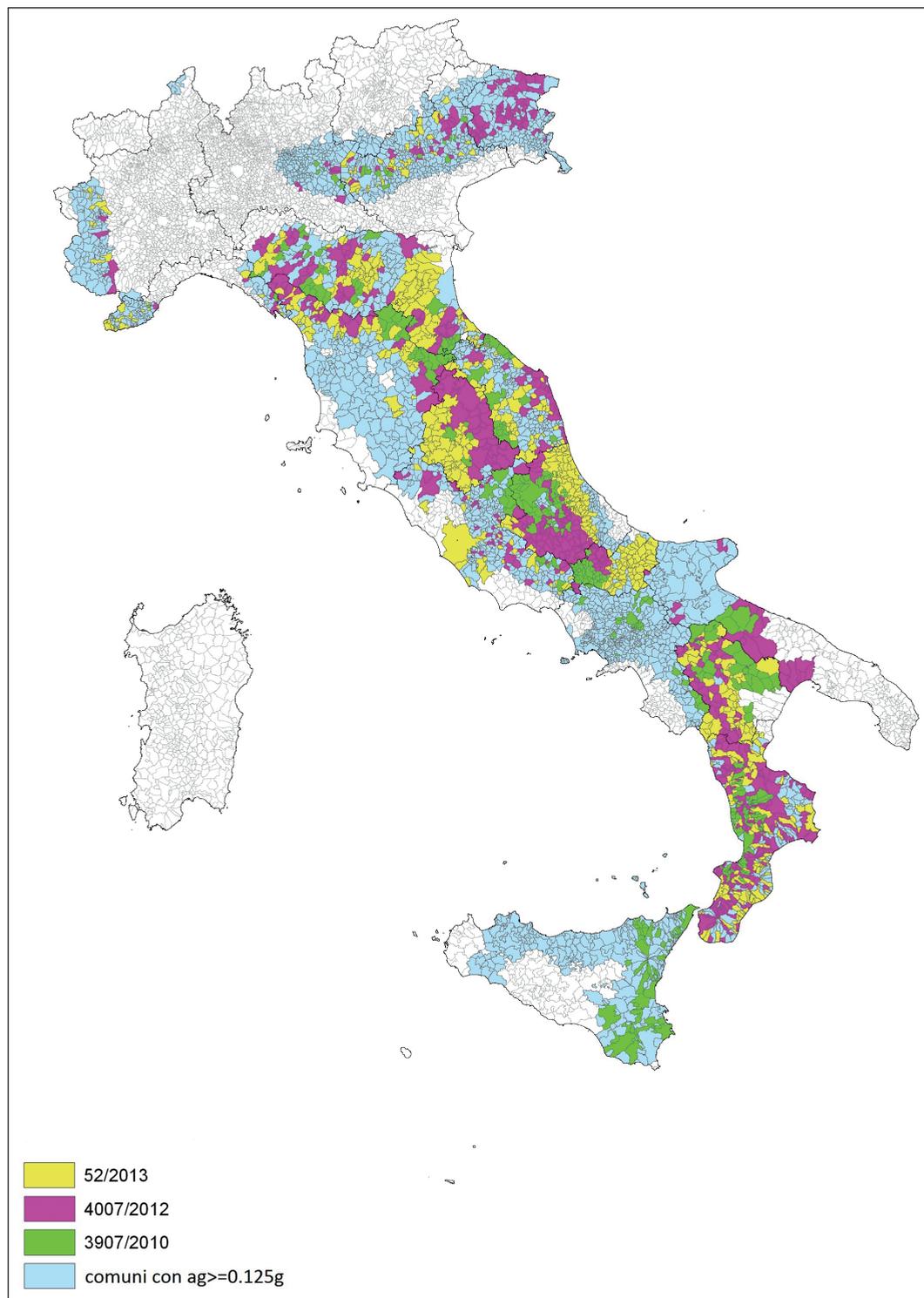


Fig. 1 – Distribuzione dei territori oggetto degli studi di MS finanziati con i fondi dell’art. 11 (L. 77/09) distinti per annualità di finanziamento.

(MOPS) e, per gli studi di livello superiore al primo, le carte di Microzonazione Sismica di livello 2 e/o 3. Alcuni comuni, a corredo degli studi effettuati, hanno prodotto anche la carta delle frequenze fondamentali del terreno che riporta i valori di f_0 ottenuti dalle analisi dei rapporti spettrali H/V acquisiti da misure di rumore sismico (Albarelo e Castellaro, 2011).

Statistiche sui dati raccolti. L'attività istruttoria svolta dalla Commissione Tecnica ha consentito di validare ad oggi circa 460 studi di MS relativi alle prime due annualità. Su un campione di 303 di questi studi sono state elaborate alcune statistiche.

I comuni interessati dai fondi art.11 ($ag \geq 0.125$ g, all. 7 alle OPCM) coprono, in termini di superficie, poco più della metà del territorio nazionale. Gli studi di MS del campione considerato (relativi ai soli centri urbanizzati e non agli interi territori comunali) coprono circa il 7% dell'intera superficie urbanizzata. Se si considerano le aree urbanizzate, gli studi hanno interessato una superficie complessiva di 760,8 km² ed una popolazione di 2.800.533¹ abitanti (Tab. 1).

La maggior parte dei comuni italiani (72%) ha una popolazione inferiore ai 5000 abitanti. L'attività di studio realizzata rispecchia tale caratteristica. Infatti, oltre la metà degli studi riguarda comuni con popolazione inferiore ai 5000 abitanti.

Tab. 1 - Comuni per classi di popolazione e zone sismiche.

Popolazione residente	Numero Comuni	Numero Comuni senza MS	Numero Comuni con MS	Numero Comuni per zone sismiche senza MS				Numero Comuni per zone sismiche con MS			
				Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
Pop≤5000	5.836	5.648	188	397	1.446	2.565	1.240	74	100	14	-
5000<Pop ≤10000	1.153	1.115	38	44	398	531	142	8	22	8	-
Pop>10000	1.112	1.035	77	38	380	490	127	9	54	14	-
Totale	8.101	7.798	303	479	2.224	3.586	1.509	91	176	36	-

Considerando la pericolosità sismica di base (classificazione sismica), il 45% dei comuni ricade in zona 3, il 29% in zona 2 e il 19% in zona 4. In zona 1, a più elevata pericolosità, ricade solo il 7% dei comuni italiani. Da questo punto di vista, nel rispetto dei principi e obiettivi dell'art.11, le indagini di MS che costituiscono il campione analizzato hanno riguardato i comuni a più elevata pericolosità sismica (92%), classificati in zona 1 e 2 (Tab. 2).

Tab. 2 - Comuni per classi di popolazione e zone sismiche.

Popolazione residente	Numero Comuni	Numero Comuni senza MS	Numero Comuni con MS	Numero Comuni per zone sismiche senza MS				Numero Comuni per zone sismiche con MS			
				Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
Pop≤5000	72,0	72,4	62,0	82,9	65,0	71,5	82,2	81,3	56,8	38,9	-
5000<Pop ≤10000	14,2	14,3	12,5	9,2	17,9	14,8	9,4	8,8	12,5	22,2	-
Pop>10000	13,7	13,3	25,4	7,9	17,1	13,7	8,4	9,9	30,7	38,9	-
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-

Oltre metà della popolazione (38 milioni di abitanti circa) vive in comuni con oltre 10.000 abitanti e i restanti 19 milioni circa in comuni con meno di 10.000 abitanti (Tab. 3). La maggioranza della popolazione (85% circa) vive in zone classificate 2 e 3, solo il 5% circa

1 Le elaborazioni sono state effettuate sulla base dei dati disponibili sul sito dell'ISTAT, relativi al censimento dell'anno 2011.

della popolazione vive in zona 1 (Tab. 4). Anche questa lettura avvalorata la scelta strategica di iniziare prioritariamente a finanziare i territori a maggiore pericolosità, dove si concentra circa il 90% della popolazione.

Tab. 3 - Abitanti per classi di popolazione e zone sismiche (in milioni).

Popolazione residente	Abitanti	Abitanti per zone sismiche senza MS				Abitanti per zone sismiche con MS			
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
Pop<=5000	10,59	0,74	2,85	4,65	1,93	0,14	0,24	0,03	-
5000<Pop<=10000	8,04	0,30	2,79	3,68	1,00	0,06	0,15	0,06	-
Pop>10000	38,36	1,41	15,67	15,76	3,30	0,25	1,59	0,38	-
Totale	57,00	2,45	21,32	24,10	6,23	0,45	1,98	0,47	-

Tab. 4 - Abitanti per classi di popolazione e zone sismiche (valori percentuali).

Popolazione residente	Abitanti	Abitanti per zone sismiche senza MS				Abitanti per zone sismiche con MS			
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
Pop<=5000	100,00	6,96	26,93	43,93	18,25	1,37	2,29	0,28	-
5000<Pop <=10000	100,00	3,71	34,74	45,83	12,45	0,70	1,86	0,73	-
Pop>10000	100,00	3,68	40,85	41,08	8,60	0,65	4,14	1,00	-
Totale	100,00	4,29	37,40	42,28	10,94	0,79	3,47	0,83	-

Considerando la pericolosità sismica locale, dall'analisi degli studi pervenuti, è emerso che circa 36 km² su un totale di 760 circa ricadono in zone stabili, ossia meno del 5%. 91 km² ricadono in zona instabile (circa l'11%) e circa 633 km² sono classificati come zone suscettibili di amplificazione, ossia l'83% dell'intero territorio indagato (Tab. 5).

Tab. 5 - Superficie in kmq, con e senza MS, per classi di popolazione.

Popolazione residente	Comuni Istat 2001 (8101 Comuni)		Comuni Allegato 7 (3896 Comuni)		MS (località abitate)			
	Totale	Località abitate	Totale	Località abitate	Totale	Zone stabili	Zone stabili SA	Zone Instabili
Pop<=5000	166.640,2	5.184,1	89.326,0	2.414,8	176,4	20,5	127,7	28,2
5000<Pop <=10000	49.416,6	3.394,1	30.417,0	1.970,9	70,6	2,9	60,4	7,3
Pop>10000	84.659,8	10.616,0	55.010,0	6.587,0	513,9	13,0	445,3	55,6
Totale	300.716,6	19.194,2	174.753,0	10.972,8	760,8	36,3	633,5	91,0

L'analisi del numero e delle dimensioni delle zone evidenzia (Tab. 6):

- le zone instabili sono numericamente le più rappresentate, ma le meno estese (dimensione media inferiore ai 0.05 km²)
- le zone stabili sono numericamente le meno rappresentate, con estensione media che varia tra 0,12 kmq e 0,36 km², nei centri con popolazione superiore a 10.000 abitanti
- le zone stabili suscettibili di amplificazione sono mediamente le più estese, in particolare, come per le altre zone, nei centri abitati più popolosi (circa 0,74 km²).

Tab. 6 - Numero e dimensione delle zone omogenee per classi di popolazione.

Popolazione residente	Zone stabili		Zone stabili SA		Zone instabili	
	Numero zone	Dimensione media (kmq)	Numero zone	Dimensione media (kmq)	Numero zone	Dimensione media (kmq)
Pop<=5000	176	0,12	1224	0,10	2048	0,01
5000<Pop<=10000	26	0,11	296	0,20	368	0,02
Pop>10000	36	0,36	605	0,74	1111	0,05
Totale	238		2125		3527	

La maggiore estensione delle zone nei centri abitati popolosi potrebbe essere spiegata con la maggiore diffusione di tali centri in aree di pianura, dove la minore complessità geologica consente di definire zone omogenee più estese. Interessante anche l'analisi della distribuzione delle tipologie di instabilità (Tab. 7): le instabilità di versante, come naturale, sono le più rappresentate, seguono le liquefazioni, mentre solo il 3% del territorio esaminato e classificato instabile lo è a causa della presenza di faglie attive e capaci

Tab. 7 - Percentuale del territorio interessato dalle diverse tipologie di instabilità.

Instabilità	% territorio interessato
Instabilità di versante	63
Liquefazioni 31	
Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci	3
Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti	2
Cedimenti differenziali	1

Relativamente alle indagini realizzate e/o pregresse (Tab. 8), il maggior numero di indagini sono presenti, come è logico aspettarsi, nei centri più popolosi e, tra le indagini, quelle puntuali risultano di gran lunga le più diffuse (circa l'88% del totale). Di tutte le indagini, inoltre, la maggiore disponibilità caratterizza le zone stabili suscettibili di amplificazione (SA) che, però, sono mediamente le più estese. Le indagini nelle zone SA rappresentano l'82% del totale, mentre le stesse zone numericamente rappresentano il 36% del totale e l'83% della superficie su cui sono stati svolti studi di microzonazione. Queste percentuali evidenziano i maggiori approfondimenti realizzati nelle aree potenzialmente soggette a modificazioni dello scuotimento sismico per caratterizzare quantitativamente l'entità di tale amplificazione dei terreni. Viceversa, il numero di indagini realizzate nelle zone instabili, circa il 13% del totale, a fronte del numero elevato di zone di tale tipo (circa il 60% del totale) evidenzia la difficoltà di realizzare indagini in situazioni geologiche complesse e anche, tenuto conto del livello di approfondimento, la scelta di eseguire ulteriori indagini nei livelli successivi (2 e 3) di MS. Infine, se si va a calcolare il rapporto fra numero di indagini (puntuali e lineari) e superficie microzonata nel complesso (Tab. 9), si nota che mediamente vi è sempre un maggior numero di indagini per le zone instabili. Nel caso dei comuni con popolazione compresa fra 5000 e 10000 abitanti si raggiungono i rapporti maggiori, sfiorando 70 indagini per km².

Tab. 8 - Distribuzione delle indagini per classe di popolazione e tipologia di zona omogenea.

Popolazione residente	Numero di Indagini							
	Totale		Zone stabili		Zone stabili SA		Zone Instabili	
	Indagini puntuali	Indagini lineari	Indagini puntuali	Indagini lineari	Indagini puntuali	Indagini lineari	Indagini puntuali	Indagini lineari
Pop<=5000	5.658	1.079	533	47	3.967	751	1.158	281
5000<Pop<=10000	3.484	346	135	9	2.878	298	471	39
Pop>10000	9.639	1.121	87	27	8.704	984	848	110
Totale	18.781	2.546	755	83	15.549	2.033	2.477	430
Totale generale	21.327		838		17.582		2.907	

Tab. 9 - Rapporto fra numero di indagini (lineari e puntuali) e superficie nel complesso, per tipologia di zona e per classe di popolazione.

Popolazione residente	Zone stabili	Zone stabili SA	Zone Instabili
Pop<=5000	28,3	36,9	51,0
5000<Pop<=10000	49,7	52,6	69,9
Pop>10000	8,8	21,8	17,2
Totale	23,1	27,8	31,9

La quantità di indagini necessarie a definire adeguatamente una zona è funzione, infatti, della complessità geologico tecnica dell'area: un'area complessa necessita di un maggior numero di indagini, in quanto la variabilità e l'eterogeneità del contesto non consentono di estendere i dati relativi ad un'indagine ad un'area sufficientemente ampia del territorio circostante. Analogamente, la distribuzione spaziale delle indagini è funzione del livello di risoluzione e attendibilità del modello di sottosuolo che si vuole ottenere. Dal punto di vista della tipologia di indagini (Tab. 10), distinte per classi tipologiche (geotecnica di laboratorio, geotecnica in sito, geologia, idrogeologia, geofisica), le indagini geotecniche in sito (prevalentemente prove penetrometriche), le indagini geologiche (sondaggi) e le indagini geofisiche rappresentano le tipologie più diffuse. Nelle indagini geofisiche le misure di rumore ambientale sono largamente diffuse, sia per il costo contenuto che per le informazioni desumibili. Penetrometrie e sondaggi rappresentano, poi, le indagini geognostiche classiche che consentono di definire il modello di sottosuolo sia da un punto di vista stratigrafico che di caratterizzazione meccanica, integrando i dati ottenuti attraverso le indagini geofisiche.

Tab. 10 - Numero di indagini per tipologia.

Classe di indagine	Codice classe	GL	GS	GG	IG	GE	GF	?
	Classe	Geotecnica di laboratorio	Geotecnica in sito	Geologia	Idrogeologia	Geolettrica	Geofisica	Non nota
Totale		2764	5357	6172	1215	375	5350	94

Prospettive future. Con la pubblicazione della OCDPC 171 del 19 giugno 2014 siamo giunti oltre la metà del percorso delle attività realizzate con i fondi dell'art.11 (L. 77/09). Le prime tre ordinanze (OPCM3907, OPCM4007, OCDPC52) hanno consentito di realizzare studi di microzonazione sismica su circa il 50% dei comuni italiani per i quali è possibile utilizzare i fondi ($ag \geq 0.125$). Alcune Regioni hanno completato lo studio di livello 1 (livello di base, propedeutico agli approfondimenti successivi) dei comuni finanziabili (Basilicata) o stanno completando l'aggiornamento ai nuovi standard degli studi realizzati in passato (Puglia, Lazio). Altre Regioni hanno avviato studi di livello 2 (Umbria, Emilia Romagna) e la realizzazione di abachi regionali per l'applicazione dei metodi semplificati (Liguria, Puglia). Sono stati anche realizzati studi di livello 3 in situazioni geologiche complesse (Toscana).

Giunti dunque al giro di boa del percorso avviato nel 2009, quali sono le prospettive future degli studi di microzonazione sismica, nel rispetto degli obiettivi definiti dal piano nazionale per la riduzione del rischio sismico?

Innanzitutto il completamento del livello 1 di MS per tutto il territorio a più elevata pericolosità sismica. Quindi, la realizzazione di approfondimenti di livello 3 su aree geologicamente complesse. Infatti, le aree instabili sono potenzialmente quelle che più condizionano i processi pianificatori del territorio. Tali approfondimenti potranno avvalersi delle linee guida predisposte per la gestione del territorio interessato da instabilità cosismiche (faglie attive e capaci, fenomeni di liquefazione, frane sismoindotte; Scionti e Gruppo di lavoro MS, 2013).

Attraverso valutazioni costi benefici potranno essere individuate le tipologie di indagine che meglio si prestano a definire il modello di sottosuolo, predisponendo indirizzi per la realizzazione dei livelli 3 di MS che sono, ad oggi, il livello di studio con le maggiori problematiche legate, da un lato, all'impegno richiesto, economico e di competenze, dall'altro alla scarsa familiarità, soprattutto del mondo professionale, con i metodi di analisi numerica impiegati per la simulazioni.

L'obiettivo futuro è anche quello di ottenere una maggiore integrazione degli studi di MS con la pianificazione dell'emergenza, attraverso l'analisi della CLE e lo studio dell'operatività degli edifici strategici in caso di terremoto.

Infine, l'estensione e la diffusione delle zone SA, come emerge dalle analisi statistiche eseguite sul campione, evidenziano la necessità di approfondimenti per la definizione dei fattori di amplificazione, eseguendo nuove indagini che consentano di fornire utili informazioni anche a supporto degli studi di risposta sismica locale previsti dalla normativa tecnica NTC per la progettazione di nuove opere (NTC, 2008).

Riconoscimenti. Si ringraziano Maria Sole Benigni, Monia Coltella, Chiara Conte, Margherita Giuffrè, Bruno Quadrio e Veronica Scionti per il prezioso lavoro svolto nell'ambito della struttura di supporto alla Commissione tecnica interistituzionale (OPCM 3907/10) e per aver fornito spunti interessanti e utili osservazioni.

Bibliografia

- Albarello D., Castellaro S.; 2011: *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. In "Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica", Ingegneria sismica, a. XXVIII, n. 2
- Bramerini F., Cavinato G.P., Fabietti V. (a cura di); 2013: *Strategie di mitigazione del rischio sismico e pianificazione. CLE: Condizione Limite per l'Emergenza*. Dossier Urbanistica, Urbanistica Informazioni, a. XVII, n. 130, INU edizioni.
- Commissione tecnica MS3907; 2014: *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS vers. 3.0*, http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_3_0_open.pdf
- Gruppo di lavoro MS; 2008: *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province Autonome, 3 vol. e DVD.
- NTC; 2008: *Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 14 gennaio 2008*. Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, www.cslp.it, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Scionti V., Gruppo di lavoro MS; 2013: *Proposte di integrazione degli ICMS (2008): le instabilità cosismiche negli studi di microzonazione sismica*. In Atti del 32° convegno nazionale NGGTS, Trieste.