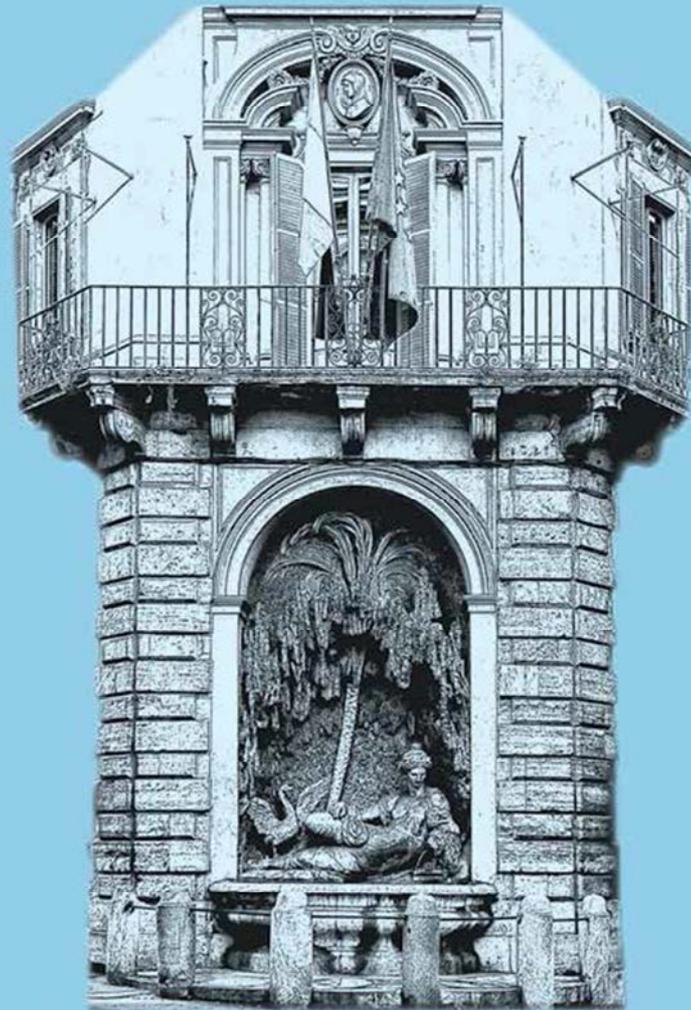


Quaderno n. 13

Calamità naturali e coperture assicurative: valutazione
dei rischi e *policy options* per il caso italiano

Riccardo Cesari, Leandro D'Aurizio



Luglio 2019

La serie Quaderni intende promuovere la diffusione di studi e contributi originali sui temi assicurativi al fine di suscitare commenti critici e suggerimenti.

Le opinioni espresse nei lavori sono attribuibili solo agli autori e non impegnano in alcun modo la responsabilità dell'Istituto.

via del Quirinale 21 – 00187 ROMA
telefono +39 06 42133.1

Tutti i diritti riservati.

È consentita la riproduzione a fini didattici e non commerciali,
a condizione che venga citata la fonte

La serie è disponibile online nel sito www.ivass.it

ISSN 2421-4671 (online)

Calamità naturali e coperture assicurative: valutazione dei rischi e *policy options* per il caso italiano

Riccardo Cesari* e Leandro D'Aurizio*

Sommario

L'Italia è un paese molto esposto al rischio di calamità naturali (*cat-nat*), che possono causare, oltre a terribili perdite umane, seri danni al patrimonio abitativo delle famiglie italiane. Tali danni sono stati finora, almeno in parte, risarciti grazie all'intervento pubblico, mentre le assicurazioni hanno avuto un ruolo marginale. Questa situazione espone la finanza pubblica a gravi rischi e suggerisce una maggiore diffusione dello strumento assicurativo, nato esattamente per questo tipo di esigenze. Il presente lavoro passa in rassegna le principali fonti di rischio naturale per l'Italia (terremoti e alluvioni), proponendo nuove tecniche di misurazione del rischio sismico e illustrando sia le principali questioni discusse in letteratura in tema di assicurazione per le calamità naturali sia gli aspetti salienti dei sistemi di gestione assicurativa dei rischi naturali nei principali paesi. Un esperimento di simulazione consente di quantificare i costi della protezione assicurativa di tutte abitazioni italiane contro i rischi di terremoto ed alluvione. Sono infine analizzate le principali scelte che il *policy-maker* si trova a fronteggiare in Italia per estendere la protezione assicurativa contro i rischi naturali, mettendo in evidenza vantaggi e criticità delle principali opzioni disponibili. Alcune appendici contengono gli sviluppi tecnici e ulteriori dettagli sulle esperienze internazionali di gestione assicurativa del rischio *cat-nat*.

Codici JEL: G22.

Parole chiave: calamità naturali, assicurazione, misurazione del rischio sismico, tariffazione, regolamentazione.

* IVASS, via del Quirinale 21, 00187 Roma, Italia, riccardo.cesari@ivass.it, leandro.daurizio@ivass.it.

Si ringrazia Marco Leotta per la consulenza prestata sugli aspetti di georeferenziazione dei dati e Arturo Valerio per i preziosi suggerimenti, nonché Alessandro Savina e Alex Heidrich di *RMS*, per i dati forniti e le discussioni sulla struttura dei modelli di previsione dei danni degli eventi naturali. Si ringrazia la *SwissRe* per gli utili confronti e per le analisi svolte, in particolare Daniela D'Andrea e Francesca Mancini della sede italiana, nonché Pavel Huerta Uribe e gli altri esperti di modellistica della sede di Zurigo. Un riconoscimento particolare va a Carlo Meletti e Warner Marzocchi dell'INGV e a Alessandro Trigila dell'ISPRA per tutti i chiarimenti forniti sugli aspetti geo-fisici dei rischi naturali. Gli autori restano comunque i soli responsabili di eventuali errori e omissioni presenti nel lavoro.

Sommario

1	Introduzione	4
2	La ricchezza immobiliare degli Italiani.....	4
3	Il rischio da calamità naturali in Italia.....	6
3.1	La scomposizione del rischio naturale.....	6
3.2	Il rischio sismico	8
3.3	Il rischio idrogeologico.....	11
3.4	Popolazione e case esposte al rischio	12
4	Una stima retrospettiva dei danni materiali delle catastrofi naturali.....	14
5	Le coperture assicurative: alcuni confronti internazionali	16
5.1	Aspetti generali.....	16
5.2	Alcune soluzioni adottate	19
5.3	La situazione in Italia	20
6	Valutazione e copertura dei rischi naturali: un approccio simulativo.....	23
6.1	Le misure di intensità e diffusione del rischio sismico	24
6.1.1	Le mappe di rischio sismico per l'Italia dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ...	24
6.1.2	La rappresentazione della probabilità di un evento sismico	25
6.1.3	Rischio sismico e popolazione comunale	30
6.2	La stima dei premi assicurativi contro il rischio sismico.....	30
6.2.1	Caratteristiche della simulazione	30
6.3	Risultati della simulazione	32
6.3.1	Risultati aggregati.....	32
6.3.1.1	Valori medi individuali	34
6.3.1.2	La variabilità territoriale del premio puro per 100.000 euro di capitale.....	37
6.3.1.3	Confronto tra premio simulato e premio effettivo	39
6.3.1.4	Il caso dell'Aquila.....	40
6.4	La protezione contro il rischio alluvionale.....	42
6.5	La protezione multi-rischio.....	44
7	Le scelte per il <i>policy-maker</i>	47
	Appendici.....	51
	Appendice A – Modelli probabilistici per eventi estremi	52
	Caso binomiale	52
	Caso poissoniano.....	53
	Processo stocastico di Poisson a tempo continuo.....	53

Tempo di attesa di un evento sopra soglia: approccio binomiale.....	55
Tempo di attesa di un evento sopra soglia: approccio poissoniano	57
Appendice B – La scomposizione del rischio sismico	59
Analisi della pericolosità (<i>hazard</i>) del rischio sismico	59
Analisi della esposizione.....	59
Analisi della vulnerabilità.....	60
Rappresentazione sintetica del rischio sismico	60
Appendice C – I principali indicatori della portata di un evento sismico	62
Valutazioni dell'intensità macrosismica	62
Valutazioni locali della Magnitudo	62
Valutazioni locali dello scuotimento del terreno	62
Appendice D – Le carte di pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.....	63
Appendice E – Metodo di stima della probabilità di eventi sismici di intensità assegnata.....	68
Appendice F – Gli interventi legislativi di prevenzione delle catastrofi naturali in Italia	75
Appendice G – Domanda di assicurazione: “charity hazard”, aggregazione dei rischi, contratti parametrici	79
Charity hazard.....	79
Aggregazione dei rischi e correlazione	80
Contratti assicurativi di tipo parametrico.....	80
Appendice H – <i>Pooling</i> di rischi eterogenei e benessere sociale	83
Appendice I – Soluzioni assicurative di alcuni paesi per la protezione contro le catastrofi naturali	87
Il sistema francese	87
Il sistema svizzero	88
Il sistema spagnolo	89
Lo schema assicurativo FloodRe di tutela contro i rischi alluvionali nel Regno Unito	90
Uno schema transnazionale tra paesi in via di sviluppo: il Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility - Segregated Portfolio Company	90
Tavola di sintesi dei principali sistemi di protezione assicurativa contro le calamità naturali	92
Bibliografia.....	97

1 Introduzione

Il rischio da catastrofi naturali (*cat-nat*) è un problema di portata mondiale, la cui gestione richiederà, in futuro, maggiori risorse rispetto a quelle attualmente utilizzate. Esso, infatti, è andato crescendo negli anni anche per la stretta correlazione di molte calamità con i drammatici cambiamenti climatici in corso nella biosfera. Una parte di queste maggiori risorse potrà derivare da una più stretta collaborazione tra settore pubblico e settore privato, una volta riconosciuto il convergente interesse dei due settori.

Come noto, l'Italia è ad un tempo molto esposta ai rischi *cat-nat* e assai arretrata nell'elaborazione di risposte adeguate a queste problematiche.

Il presente lavoro esamina gli aspetti principali di questi rischi, concentrandosi sugli effetti per il patrimonio abitativo nazionale. Saranno approfondite le caratteristiche principali del rischio sismico, per la particolare rilevanza che assume nel nostro paese, ma non si trascurerà l'altro grande rischio naturale derivante dalle alluvioni.

Il lavoro è organizzato nel modo che segue.

Il secondo paragrafo presenta i dati fondamentali sulla ricchezza immobiliare delle famiglie italiane. Il terzo passa in rassegna le principali caratteristiche del rischio naturale dell'Italia, mentre il quarto presenta le stime del costo per l'Italia delle maggiori calamità naturali accadute nel paese negli ultimi 50 anni.

Il quinto paragrafo esamina i problemi assicurativi delle catastrofi naturali. Dapprima si passano in rassegna i principali problemi dell'assicurazione contro questi rischi, come evidenziati dalla letteratura internazionale. Infine sono commentati dati aggiornati al 2016 sulla diffusione delle coperture contro il rischio naturale delle abitazioni italiane, che mostrano l'utilizzo molto scarso di queste forme di protezione.

Il sesto paragrafo si sofferma sulla misurazione del rischio sismico del nostro paese, proponendo anche una metodologia di misurazione alternativa a quella normalmente utilizzata in questo ambito. Sono poi presentati i risultati di un esercizio di simulazione che ipotizza la copertura assicurativa integrale del patrimonio abitativo italiano contro i rischi da terremoto e da alluvioni e, infine, le relazioni tra questi due tipi di rischio naturale.

Il settimo e ultimo paragrafo esamina le possibili scelte per il *policy-maker* italiano che voglia estendere la protezione assicurativa contro le calamità naturali.

Le appendici contengono gli sviluppi più tecnici e alcuni temi di approfondimento.

2 La ricchezza immobiliare degli Italiani

Secondo l'Istat, Il patrimonio immobiliare delle famiglie italiane (al netto, quindi, dei cespiti reali delle imprese, che sono valorizzati nel bilancio di queste ultime) ammontava, a fine 2013 (Banca d'Italia, 2015a e Istat, 2019), a 6.583 miliardi di euro, per la quasi totalità costituito da abitazioni (5.510 miliardi), pertinenze varie (750) e terreni (226). In termini relativi, esso rappresentava una quota rilevante della ricchezza complessiva netta, reale e finanziaria delle famiglie: il 69% (il 58% se si

considerano le sole abitazioni, pari a 3,4 volte il PIL italiano dello stesso anno)¹. Il valore delle abitazioni resta notevole anche se si considera il solo valore di ricostruzione delle abitazioni, stimato (Ania e Guy Carpenter, 2011) pari a circa 3.900 miliardi nel 2011 (corrispondente al 70% del valore di mercato per quell'anno). La più recente stima del valore di mercato delle abitazioni, relativa al 2017, è pari a 5.247 miliardi.

Nel 2014 circa il 70% dei 25 milioni famiglie italiane possedevano l'abitazione di residenza, contro il 50% nel 1977 (Banca d'Italia, 2015b). Per queste famiglie, l'incidenza di tale cespite sulla ricchezza netta complessiva è assai più alta della media nazionale. Su tutte queste famiglie la perdita dell'abitazione avrebbe un impatto negativo, sia reddituale sia patrimoniale, di estrema rilevanza.

In Italia sono presenti 34,8 milioni di unità immobiliari, la cui densità per chilometro quadrato risente delle caratteristiche geografiche del territorio e della distribuzione della popolazione (tav. 2.1). Lombardia, Liguria e Campania sono le regioni a più alta densità abitativa.

Tavola 2.1 – Distribuzione delle unità immobiliari localizzate in Italia per regione, 2015

Macroarea	Regione	Numero unità abitative ^(a) (A)	Superficie in Km ² (B)	Densità abitativa (A)/(B)
Nord-Ovest	Liguria	1.166.785	5.416	215,4
	Lombardia	5.507.535	23.864	230,8
	Piemonte	2.771.863	25.387	109,2
	Valle d'Aosta	132.568	3.261	40,7
Totale macro area		9.578.751	57.928	165,4
Nord-Est	Emilia-Romagna	2.515.326	22.453	112,0
	Friuli-Venezia Giulia	721.221	7.862	91,7
	Trentino-Alto Adige	658.055	13.605	48,4
	Veneto	2.615.904	18.407	142,1
Totale macro area		6.510.506	62.328	104,5
Centro	Lazio	3.114.982	17.232	180,8
	Marche	860.274	9.401	91,5
	Toscana	2.107.552	22.987	91,7
	Umbria	495.644	8.464	58,6
Totale macro area		6.578.452	58.085	113,3
Sud	Abruzzo	874.455	10.832	80,7
	Basilicata	360.622	10.073	35,8
	Calabria	1.360.473	15.222	89,4
	Campania	2.834.257	13.671	207,3
	Molise	229.991	4.461	51,6
	Puglia	2.282.092	19.541	116,8
Totale macro area		7.941.890	73.800	107,6
Isole	Sardegna	1.012.698	24.100	42,0
	Sicilia	3.155.734	25.832	122,2
Totale macro area		4.168.432	49.932	83,5
Totale Italia		34.778.031	302.073	115,1

(a) Fonte: Agenzia delle Entrate – Osservatorio del mercato immobiliare (2015).

¹ La crisi economica globale iniziata nel 2008 ha avuto pesanti effetti sulla ricchezza delle famiglie. Tra il 2005 e il 2013 il valore delle attività finanziarie è dapprima sceso e poi risalito ai livelli di inizio periodo, intorno ai 3.840 miliardi di euro, toccando un minimo di 3.556 miliardi nel 2011. Nello stesso periodo le passività finanziarie sono invece cresciute del +34%, da 686 a 922 miliardi.

3 Il rischio da calamità naturali in Italia

3.1 La scomposizione del rischio naturale

La valutazione complessiva del rischio naturale deriva dalla combinazione di tre fattori²:

- 1) la pericolosità (*hazard*), valutabile come probabilità di eventi catastrofici di data intensità o, simmetricamente, come intensità di eventi di data probabilità, in una data area e su un dato orizzonte temporale;
- 2) l'esposizione (*exposure*), intesa come densità di costruzioni e persone presente nelle varie aree;
- 3) la vulnerabilità (*vulnerability*), intesa sia come suscettibilità delle esposizioni alle calamità di generare perdite sia come fragilità/resilienza (età, reddito, attività etc.) del tessuto sociale presente nelle varie aree.

Per data pericolosità, una ridotta esposizione/vulnerabilità riduce il rischio naturale (Crichton, 2008).

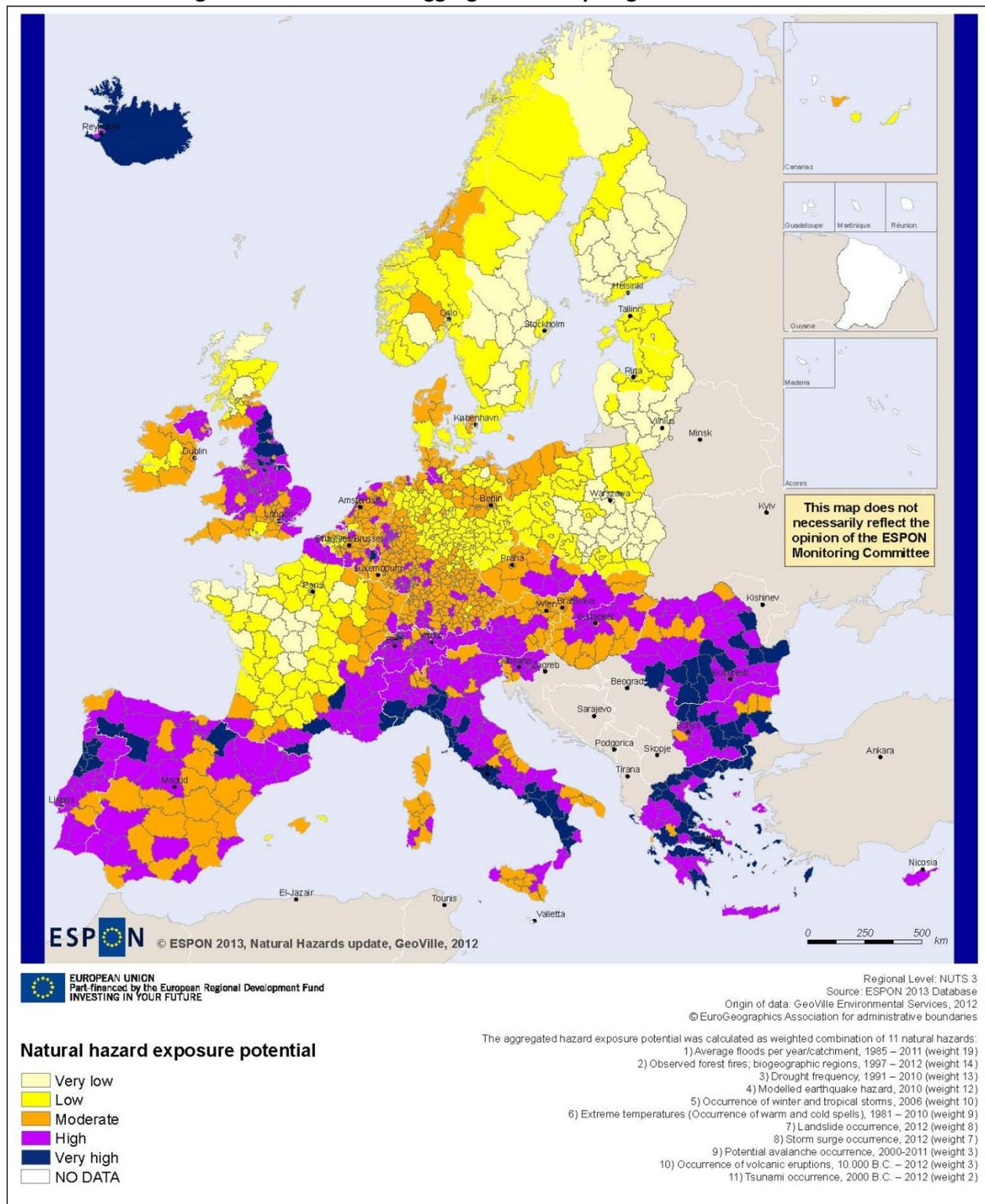
Per ogni *asset*, la relazione tra danno (tra 0 e 100%) e intensità prende il nome di funzione di vulnerabilità. La *coping capacity*, intesa come abilità del sistema a rispondere ex post all'evento catastrofico per mitigarne le perdite è inclusa nella vulnerabilità (Poljanšek *et al.*, 2017, cap. 2).

L'Italia è il quarto paese europeo per dimensione dell'economia e della popolazione. Una gran parte del suo territorio è esposto a qualche forma di rischio naturale (terremoti, alluvioni, eruzioni vulcaniche, frane, etc.). Questi rischi sono diffusi su tutto il territorio, con l'eccezione del rischio vulcanico, concentrato nelle province di Napoli (rischi eruttivi dovuti ai Campi Flegrei e al Vesuvio), Catania (Etna) e nelle isole di Stromboli e Vulcano (INGV, 2019).

I rischi sono alti o molto alti per la maggior parte delle province (fig. 3.1), in misura sensibilmente maggiore della Spagna e in misura simile alla Grecia e ai Paesi dell'Est Europa (Espon, 2013).

² Si veda l'appendice B per un'esposizione più formale di questi concetti.

Figura 3.1 – Hazard risk aggregato di 11 tipologie di rischi naturali



Fonte: Espo (2013).

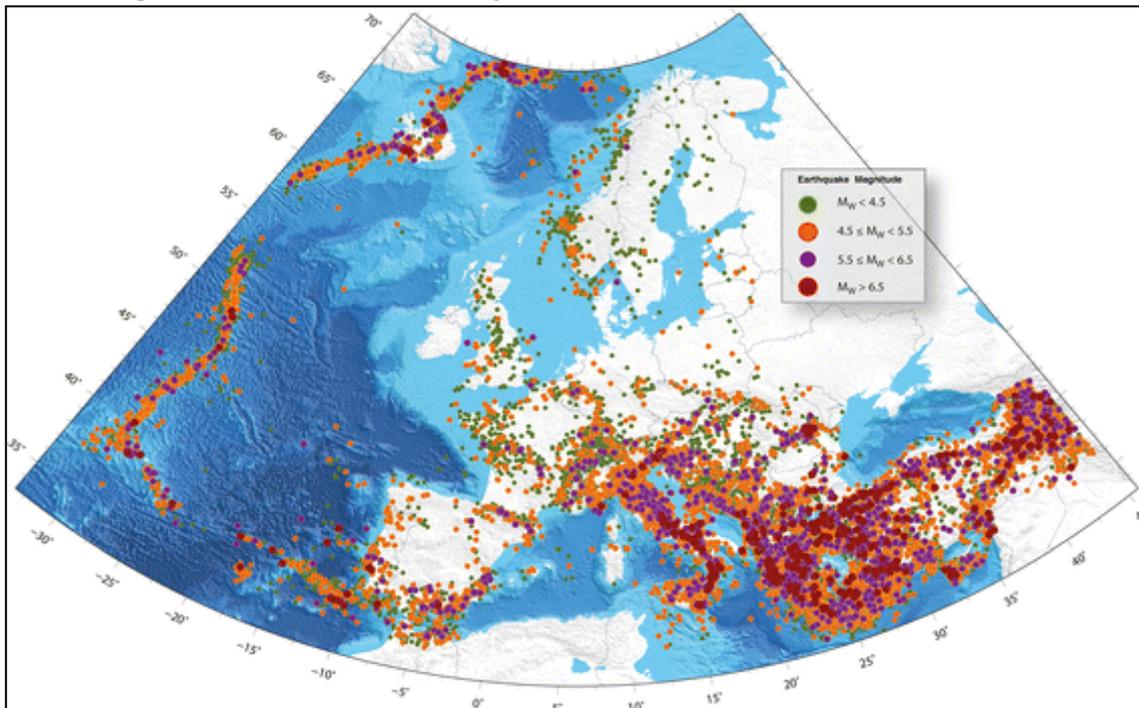
Alla pericolosità del territorio italiano si accompagna l'estrema vulnerabilità delle sue costruzioni, frutto anche di diffusa illegalità sia nella localizzazione sia nei criteri edificatori. Tra il 2004 e il 2016, l'indice di abusivismo edilizio (rapporto tra numero di nuove costruzioni abusive rispetto a quelle nuove legali) è salito dal 13% al 19,6% (Istat, 2017), con punte al Sud superiori al 60% (Molise,

Campania, Calabria). Nel complesso del Mezzogiorno, l'indice ammonta a 48,2% (leggermente cresciuto rispetto al 47,8% del 2015).

3.2 Il rischio sismico³

Il rischio sismico è molto intenso sulla dorsale appenninica, che presenta la maggiore frequenza e intensità di terremoti sia nella prospettiva storica (fig. 3.2 e 3.3) che in quella prospettica, stante l'elevata pericolosità dell'area, geologicamente molto attiva per i continui movimenti delle faglie e la probabile subduzione in atto della placca euroasiatica rispetto a quella africana (Lovett, 2011).

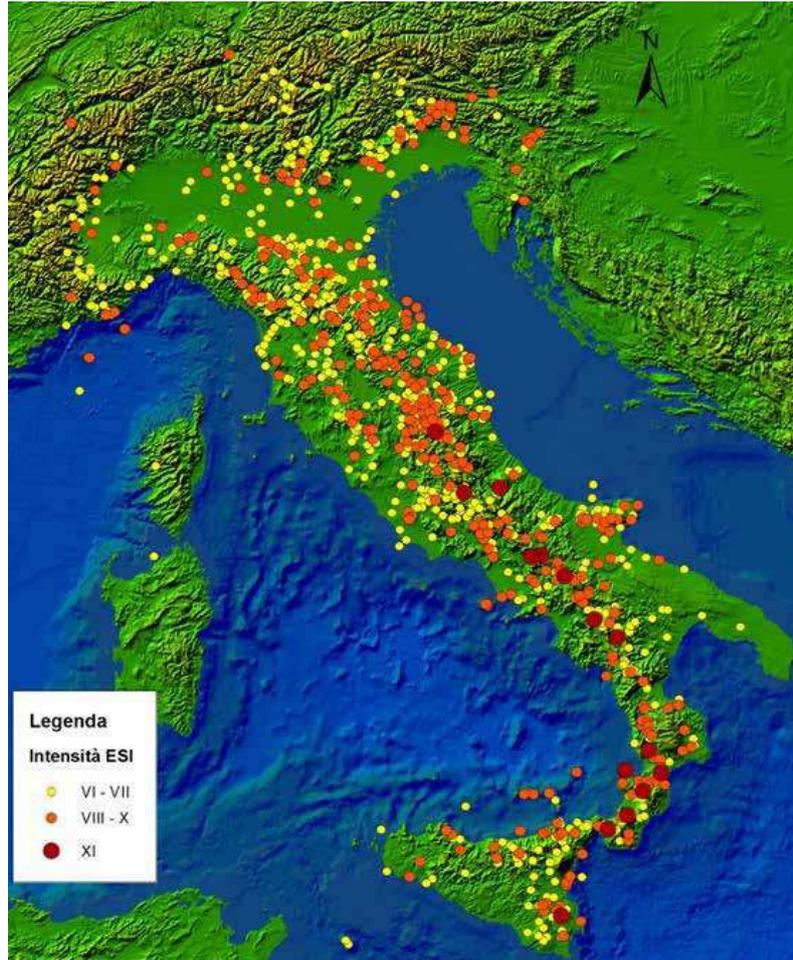
Figura 3.2 – Terremoti in Europa tra il 1000 e il 2006 con M_w tra 1.5 e 8.5



Fonte: Woessner *et al.* (2013).

³ Si rimanda all'appendice C per una sintetica presentazione dei metodi di misurazione del rischio sismico.

Figura 3.3 – Eventi sismici in Italia sopra il VI grado MCS tra il 1000 e il 2015

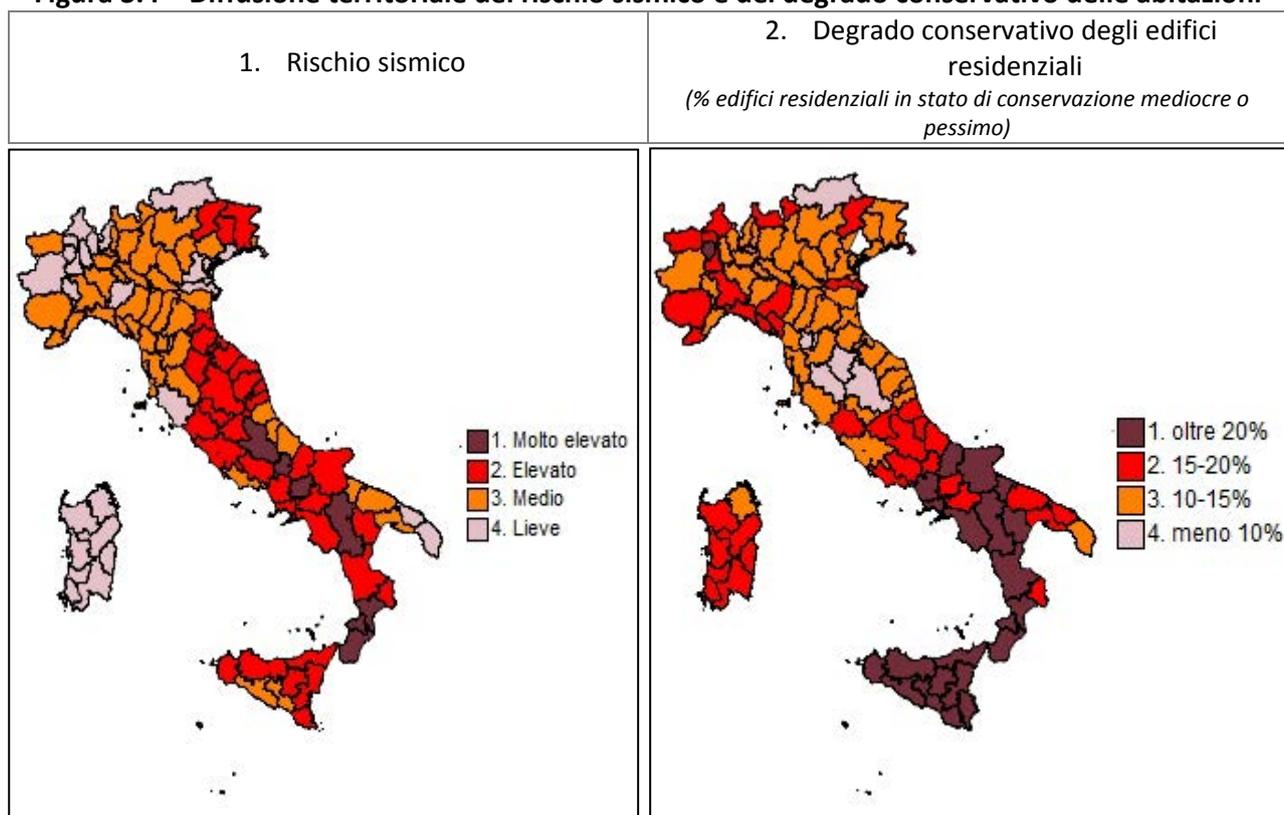


Fonte: ISPRA (2016).

Aggrava il rischio sismico la maggior diffusione del degrado conservativo degli edifici residenziali nelle aree del paese più soggette a tale rischio, in particolare il Meridione e la Sicilia (fig. 3.4).

Da un punto di vista storico, tra il 1950 e il 2017 i terremoti hanno causato oltre 5.000 vittime, di cui il 97% provocato dai 5 maggiori eventi sismici (tav. 3.1).

Figura 3.4 – Diffusione territoriale del rischio sismico e del degrado conservativo delle abitazioni



a) Fonte: Protezione Civile. – (b) Fonte: Istat, Censimento della Popolazione e delle abitazioni 2011.

Tavola 3.1 – Principali terremoti in Italia dal 1950: intensità e vittime⁴

Data	Regione	Intensità Richter (ML)	Intensità Mw	Intensità Mercalli (MCS/MMI)	Morti
1950, settembre	Abruzzo	5,7	5,8	VIII	2
1962, agosto	Campania	6,1	6,1	IX	17
1968, gennaio	Sicilia	6,4	6,6	X	370
1976, maggio	Friuli Venezia Giulia	6,5	6,4	IX-X	989
1978, aprile	Sicilia	6,0	5,7	VIII	5
1979, settembre	Umbria	5,8	5,9	VIII-IX	5
1980, novembre	Campania	6,5	6,8	XI	2914
1984, aprile	Toscana	5,6	5,1	VII	3
1984, maggio	Lazio	5,9	5,7	VIII	7
1990, dicembre	Sicilia	5,6	5,6	VIII	17
1996, ottobre	Emilia Romagna	5,2	5,4	VII	2
1997, settembre	Umbria	6,0	5,9	VIII-IX	11
1998, settembre	Basilicata	5,5	5,0	VI-VII	1
2001, luglio	Trentino Alto Adige	4,8	4,7	V-VI	4
2002, ottobre	Sicilia	4,8	4,3	VIII	2
2002, ottobre	Molise	5,7	5,3	VII-VIII	30
2009, aprile	Abruzzo	6,3	6,2	IX-X	309
2012, maggio	Emilia Romagna	5,9	5,4	VII-VIII	27
2012, ottobre	Calabria	5,3	4,7	VI	1
2013, dicembre	Campania	5,2	5,0	VI-VII	1
2016, agosto	Lazio	6,2	6,0	X	299
2016, ottobre	Marche	5,9	5,9	IX	1
2016, ottobre	Umbria	6,5	6,1	X	2
2017, gennaio	Abruzzo	5,5	4,7	VIII-IX	29
2017, agosto	Campania	3,6	4,0	VIII	2

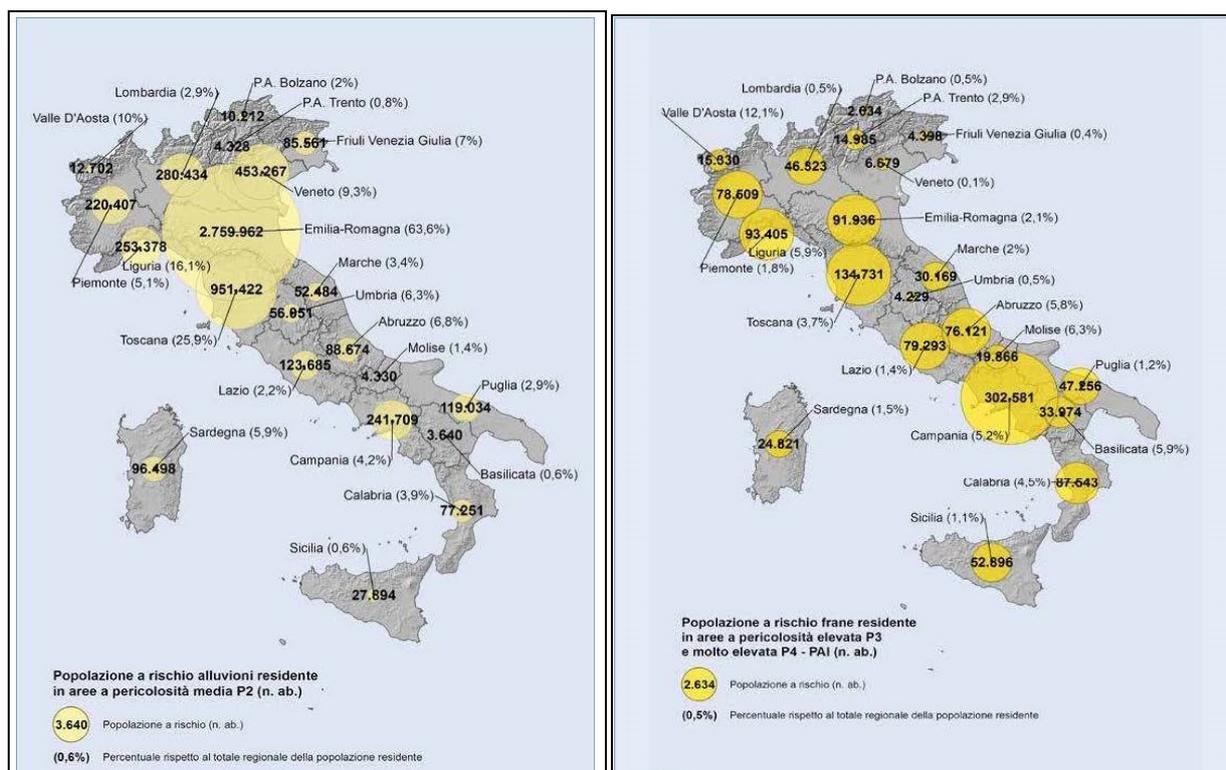
⁴ Si veda l'appendice C per le diverse misurazioni di un evento sismico.

3.3 Il rischio idrogeologico

Alle caratteristiche di base del territorio italiano (geologicamente giovane e con numerosi corsi d'acqua a regime torrentizio) che ne fanno un'area già di per sé ad elevata pericolosità geomorfologica e idraulica (Ispra, 2016) si sono aggiunte negli ultimi decenni alcune aggravanti, sia esogene che endogene (fig. 3.5):

- 1) il fattore esogeno rappresentato dal cambiamento climatico globale, con l'aumento delle precipitazioni invernali e della siccità estiva, sta accrescendo la frequenza delle alluvioni improvvise (*flash floods*) e dei danni meteo-idraulici;
- 2) l'abbandono delle aree montane, della manutenzione dei versanti, dei sistemi di terrazzamento e dei circuiti di drenaggio superficiale e sub-superficiale ha aggravato il rischio dei fenomeni franosi;
- 3) con riferimento ai processi idraulici, si è assistito alla cementificazione diffusa, all'impermeabilizzazione del territorio (*soil sealing*) e all'incontrollata espansione urbana. Ad esempio, il consumo del suolo in Italia è passato dal 2,7% del 1956 al 7% del 2015, valore quasi doppio rispetto alla media europea. Per di più, tale quota è persino superiore (7,2%) nelle aree ad alta pericolosità sismica (Ispra, 2016)⁵.

Figura 3.5 – Popolazione esposta ad alluvioni e frane su base regionale



Fonte: ISPRA (2016).

⁵ Si noti che il consumo del suolo, oltre a interferire nel processo di infiltrazione dell'acqua e nella produzione agricola, ha numerosi altri effetti negativi sulla qualità dell'*habitat*, la regolazione dei microclimi, l'impatto su carbonio, ozono e particolati fino alle alterazioni dell'impollinazione.

Alluvioni e inondazioni rovinose hanno colpito la valle del Po in ripetute occasioni (34 morti nell'ultima alluvione del 2000, tav. 3.2) e la Liguria, dove l'ultima inondazione del 2014 ha causato danni per 332 milioni di euro (SwissRe, 2016a), ma non hanno risparmiato neanche il centro-sud del paese.

Tavola 3.2 – Principali alluvioni in Italia dal 1950 al 2017

Data	Regione	Morti e dispersi
1951, ottobre	Calabria	70
1951, novembre	Veneto	84
1953, ottobre	Calabria	151
1954, ottobre	Campania	318
1966, novembre	Toscana	34
1968, novembre	Piemonte	72
1970, ottobre	Liguria	44
1987, luglio	Lombardia	53
1994, novembre	Piemonte	70
1998, maggio	Campania	159
2000, ottobre	Piemonte	34
2009, ottobre	Sicilia	36
2010, novembre	Veneto	3
2011, marzo	Marche	5
2011, ottobre	Liguria	13
2011, novembre	Liguria	6
2013, novembre	Sardegna	18
2014, ottobre	Liguria	1
2015, settembre	Emilia R.	3
2017, gennaio	Calabria e Sicilia	1
2017, settembre	Toscana	8

3.4 Popolazione e case esposte al rischio

I rischi sismici e alluvionali sono diffusi su tutto il territorio nazionale e riguardano una quota elevata del patrimonio residenziale italiano. I comuni esposti a un rischio sismico di livello medio-elevato sono 5.157, con 36,9 milioni di residenti (tav. 3.3). Per il rischio alluvionale, 237 sono i comuni a rischio medio-elevato, con 2,7 milioni di residenti.

È anche possibile stimare il numero di unità abitative e il relativo valore esposti ai vari livelli di rischio. Le unità abitative italiane sono in totale 34,8 milioni e, secondo una stima della Banca d'Italia, valevano 5.510 miliardi di euro nel 2014. Di queste, il 5,5% (pari a quasi 1,9 milioni) sono esposte a livelli di rischio sismico molto elevato, per un valore a rischio pari a 241 miliardi di euro (tav. 3.4). Il valore degli immobili a un livello di rischio sismico elevato o molto elevato ammonta a invece a 2.024 miliardi di euro (36,8% della ricchezza immobiliare complessiva).

Il valore immobiliare a rischio per danni da alluvione è molto inferiore, perché le unità abitative esposte sono tipicamente quelle situate nei piani terra o nei semi-interrati. Il numero di queste ultime si può stimare pari a 15,6 milioni (circa 45% del totale): tra queste, 0,68 milioni sono a rischio alluvionale medio-elevato, per un valore pari a 22 miliardi.

Tavola 3.3 – Esposizione dei comuni italiani e della popolazione residente ai vari livelli di rischio sismico e alluvionale, 2017

Comuni (unità)^(a)

Livello di rischio sismico ^(b)	Livello di rischio alluvionale ^(c)						Totale	
	Medio-elevato		Lieve		Assente			
		%		%		%		%
Molto elevato	0	0,0	304	3,8	400	5,0	704	8,8
Elevato	31	0,4	994	12,4	1.172	14,6	2.197	27,3
Medio	34	0,4	847	10,5	1.375	17,1	2.256	28,1
Lieve	172	2,1	732	9,1	1.972	24,5	2.876	35,8
Totale	237	3,0	2.877	35,8	4.919	61,2	8.033	100,0

Popolazione residente (unità)^(d)

Livello di rischio sismico ^(b)	Livello di rischio alluvionale ^(c)						Totale	
	Medio-elevato		Lieve		Assente			
		%		%		%		%
Molto elevato	0	0,0	628.299	1,1	2.249.684	3,8	2.877.983	4,9
Elevato	464.176	0,8	5.072.930	8,6	16.037.538	27,0	21.574.644	36,4
Medio	229.736	0,4	2.514.033	4,2	9.689.546	16,3	12.433.315	21,0
Lieve	2.017.685	3,4	2.915.725	4,9	17.477.935	29,5	22.411.345	37,8
Totale	2.711.597	4,6	11.130.987	18,8	45.454.703	76,7	59.297.287	100,0

(a) Fonte: Istat, 2017. – (b) Fonte: Protezione Civile, 2017 – (c) Elaborazione su dati ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2017 – (d) Fonte: Istat (Censimento 2011).

Tavola 3.4 – Unità abitative e valori immobiliari a rischio per vari livelli di rischio sismico e alluvionale, 2017

Livello di rischio	Unità abitative (numero, %) ^(a)		Valore immobiliare a rischio (miliardi di euro, %) ^(b)	
Livello di rischio sismico^(c)	Tutte le unità			
Molto elevato	1.896.765	5,5	241	4,4
Elevato	12.288.518	35,3	1.783	32,4
Medio	7.406.401	21,3	1.243	22,6
Lieve	13.182.919	37,9	2.244	40,7
Totale	34.774.603	100,0	5.510	100,0
Livello di rischio alluvionale^(d)	Unità in parte a a piano terra o in seminterrati			
Medio-elevato	684.240	4,4	22	4,5
Lieve	3.188.714	20,4	108	22,3
Assente	11.767.378	75,2	355	73,2
Totale	15.640.331	100,0	485	100,0

(a) Fonte: Agenzia delle Entrate – Osservatorio del mercato immobiliare. Per il rischio alluvionale: stima del numero di unità abitative poste almeno in parte a piano terra o in seminterrati (dati ISTAT-CRESME). – (b) Elaborazioni su dati IVASS, CRESME e Banca d'Italia. Per il rischio alluvionale si è usato il solo danno stimato per i piani terra e i seminterrati delle unità abitative. – (c) Fonte: Protezione Civile – (d) Elaborazione su dati ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), 2017.

4 Una stima retrospettiva dei danni materiali delle catastrofi naturali

Le catastrofi naturali producono ovunque vittime umane e danni materiali.

Tuttavia è significativo osservare che, a livello mondiale, mentre gli eventi più catastrofici dal punto di vista economico si verificano nei paesi più sviluppati (tav. 4.1), quelli peggiori in termini di vittime umane sono quasi esclusivamente localizzati nei paesi sottosviluppati (tav. 4.2).

Tavola 4.1 – Le 20 peggiori catastrofi del 2016 in termini di perdite assicurate

Insured loss (in USD mn)	Victims	Date (start)	Event	Country/region
4887	137	14.4.2016	Earthquakes	Japan
4000	734	6.10.2016	Hurricane Matthew	US and the Caribbean
3102	13	11.8.2016	Severe storms and flooding in Louisiana	US
2995	–	10.4.2016	Severe hailstorm in San Antonio, TX	US
2886	17	27.5.2016	Storms/floods (low-pressure systems Elvira and Friederike)	Germany, France
2782	–	2.5.2016	Fort McMurray wildfires	Canada
1700- 2400	2	14.11.2016	Earthquake Mw 7.8	New Zealand
1689	–	23.3.2016	North Texas hailstorm, thunderstorms	US
ns	–	28.2.2016	Turret failure at a floating production, storage and offloading (FPSO) vessel	Ghana
1187	6	29.4.2016	Thunderstorms, large hail, tornadoes, flash floods	US
1135	–	28.7.2016	Thunderstorms, severe hail damage in CO, hailstorm in Wyoming	US
1037	8	16.4.2016	Flash flood, river flood in Houston region from torrential rains	US
920	1	17.3.2016	Thunderstorms, large hail in Forth Worth and Arlington in TX	US
919	14	28.11.2016	Chimney Tops 2 Fire spreads to forest areas in dry conditions	US
874	1	21.5.2016	Thunderstorms, tornadoes, hail	US
764	2	7.5.2016	Thunderstorms, hail, tornadoes	US
666	–	11.5.2016	Thunderstorms, hail, tornadoes	US
639	6	25.4.2016	Thunderstorms, hail, tornadoes	US
637	10	22.2.2016	Thunderstorms, 50 tornadoes, hail	US, Canada
ns*	–	31.3.2016	Steam generator falls and causes damage to nuclear power plant	France

Fonte: SwissRe, 2016b.

Tavola 4.2 – Le 20 peggiori catastrofi del 2016 in termini di vittime umane

Victims	(in USD mn)	Date (start)	Event	Country/region
734	4000	28.9.2016	Hurricane Matthew	US and the Caribbean
673	500	16.4.2016	Earthquake Mw 7.8	Ecuador
538	–	29.8.2016	Remnants of Typhoon Lionrock trigger floods along Tumen River	North Korea
358	–	3.6.2016	Boat carrying migrants capsizes	Greece, Mediterranean Sea
300	–	13.4.2016	Heat waves	India
299	69	24.8.2016	Earthquake Mw 6.2	Italy
289	403	30.6.2016	Severe floods along Yangtze River	China
289	187	18.7.2016	Severe floods	China
240	–	3.11.2016	Boat carrying migrants capsizes	Libyan Arab Jamahirya
228	–	15.7.2016	Monsoon floods	India
191	104	15.5.2016	Remnants of Cyclone Roanu bring torrential rains and flooding, Arananayake landslide	Sri Lanka
178	–	21.9.2016	Overcrowded boat carrying migrants capsizes	Egypt
160	–	10.12.2016	Roof of a church collapses during a service	Nigeria
151	–	1.8.2016	Monsoon floods	India
150	–	20.11.2016	14 coaches of a passenger train derail	India
141	–	9.3.2016	River floods, flash floods, landslides	Pakistan
137	4887	14.4.2016	Earthquakes	Japan
122	–	21.7.2016	River floods, landslides	Nepal
117	618	6.2.2016	Earthquake Mw 6.4	Taiwan
112	–	10.4.2016	Explosion and fire at a temple in firework display	India

Fonte: SwissRe, 2016b.

La caratteristica (negativa) dell'Italia è il fatto che col verificarsi di catastrofi naturali (come nel 2016), essa entra nella seconda classifica invece che nella prima poiché il numero delle vittime umane, più che l'ammontare dei danni, raggiunge livelli *record*.

Dal 1950 si stimano in Italia, come si è visto, oltre 5 mila vittime per i terremoti (tav. 3.1) e circa 1.200 tra morti e dispersi per alluvioni (tav. 3.2), un bilancio che può essere contenuto, in prospettiva, solo con la realizzazione di efficaci politiche di prevenzione (Appendice F).

Anche i danni economici sono stati ingenti. Una precisa contabilità non è disponibile poiché essa implicherebbe il computo sia dei costi diretti⁶ (danni a immobili, infrastrutture, beni mobili e artistici) sia dei costi indiretti (rallentamento e blocco delle attività economiche pubbliche e private e loro effetti demoltiplicativi su reddito e occupazione).

Prendendo in esame i 7 eventi sismici più gravi tra il 1968 e il 2012, il Centro Studi del Consiglio Nazionale Ingegneri (su dati dell'Ufficio Studi della Camera dei Deputati) ha elaborato la contabilità dei soli costi a carico dello Stato, vale a dire dei finanziamenti pubblici stanziati per emergenza, ricostruzione, contributi, agevolazioni fiscali etc. I costi complessivi, attualizzati a valori 2014, ammontano a circa 122 miliardi di euro, che su un periodo di attivazione di circa 60 anni (1968-2028) rappresentano un impegno annuo di circa 2 miliardi (tav. 4.3). Prendendo in considerazione tutte le catastrofi naturali del dopoguerra si ottengono, verosimilmente, valori più che doppi.

Tavola 4.3 – Costi attualizzati a carico dello Stato dei principali terremoti in Italia: 1968-2012

Evento	Anno	Periodo attivazione interventi	Importo attualizzato 2014 (milioni di euro)
Valle del Belice(*)	1968	1968-2028	9.179
Friuli V. G. (*)	1976	1976-2006	18.540
Irpinia	1980	1980-2023	52.026
Marche Umbria (*)	1997	1997-2024	13.463
Puglia Molise (*)	2002	2002-2023	1.400
Abruzzo (**)	2009	2009-2029	13.700
Emilia (**)	2012	2012-	13.300
Totale			121.608

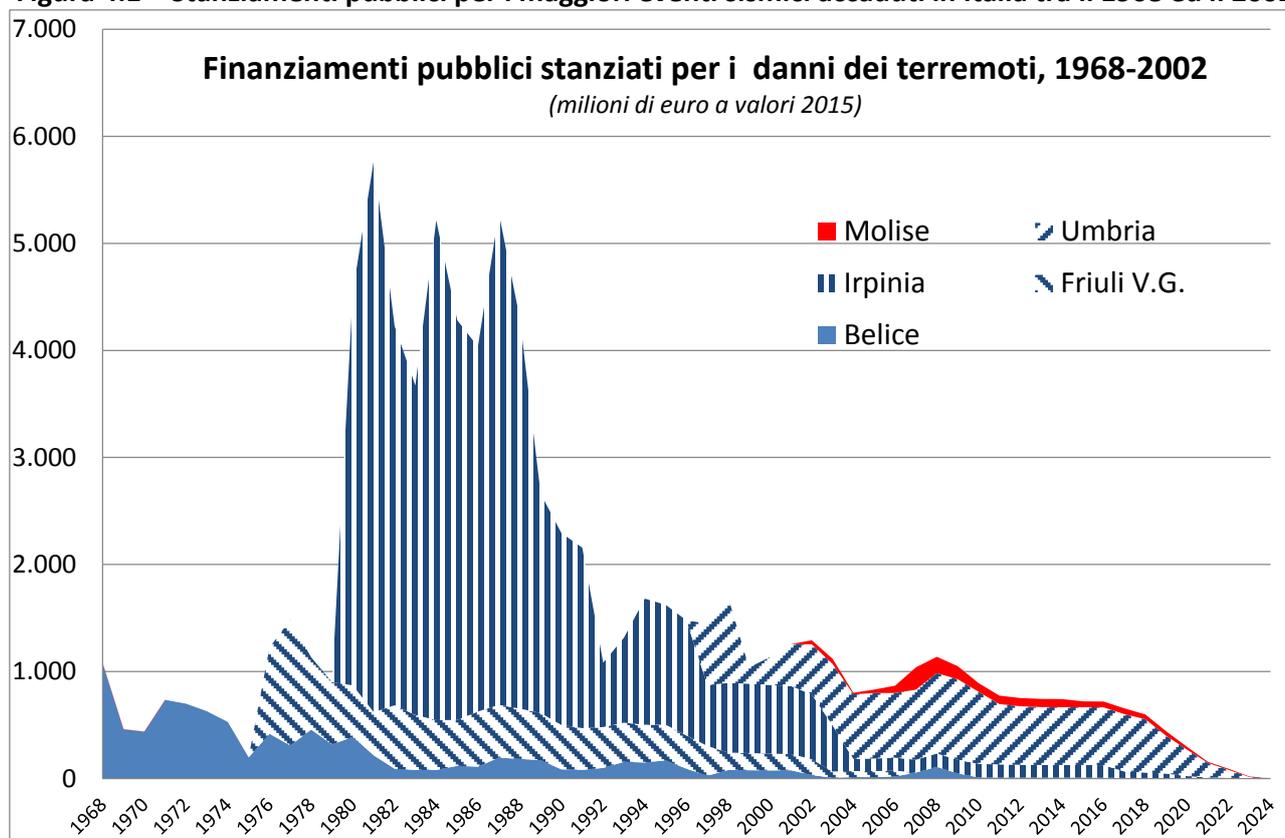
(*) Dati a consuntivo sulle risorse effettivamente stanziare dallo Stato
(**) Previsioni di spesa delle autorità locali preposte alla ricostruzione

Fonte: Centro Studi Consiglio Nazionale degli Ingegneri, 2014.

⁶ La SwissRe stima pari a 108 miliardi di euro (a valori 2018) le perdite economiche dirette causate dai danni dei maggiori terremoti avvenuti in Italia tra il 1988 e il 2018 (SwissRe, 2019).

Lo sviluppo dei finanziamenti e quindi l'onere per lo Stato si protrae anche per molti decenni (40-60 anni) a indicare interventi di sostegno e recupero molto diluiti nel tempo (fig. 4.1)

Figura 4.1 – Stanziamenti pubblici per i maggiori eventi sismici accaduti in Italia tra il 1968 ed il 2002



Fonte: elaborazioni su dati tratti da Centro Studi Consiglio Nazionale degli Ingegneri, 2014.

Da notare che, in base alla tavola 4.3, il costo per lo Stato degli interventi *ex post* di una parte dei terremoti avvenuti negli ultimi 50 anni, tenuto conto della rivalutazione monetaria, ha le dimensioni dell'intero fabbisogno per il piano nazionale di rafforzamento degli edifici (Casa Italia) e di prevenzione del rischio idrogeologico (Italia Sicura) (v. Appendice F).

Di qui l'indicazione, sia per la protezione delle vite umane sia per l'efficiente utilizzo delle risorse finanziarie, della necessità di interventi pubblici di prevenzione e mitigazione dei rischi (Rubino, 2019).

5 Le coperture assicurative: alcuni confronti internazionali

5.1 Aspetti generali

A livello mondiale, i cambiamenti climatici e l'aumento del livello di urbanizzazione della popolazione sono due importanti fattori che hanno aumentato il rischio da calamità naturali. Per quanto riguarda il primo fattore, il riscaldamento globale aumenta la probabilità di eventi estremi quali violente inondazioni e piogge estremamente intense e concentrate (Signorini, 2017a e Charpentier, 2008). Quanto al secondo fattore, la concentrazione di edifici e beni in aree geografiche sempre più ristrette

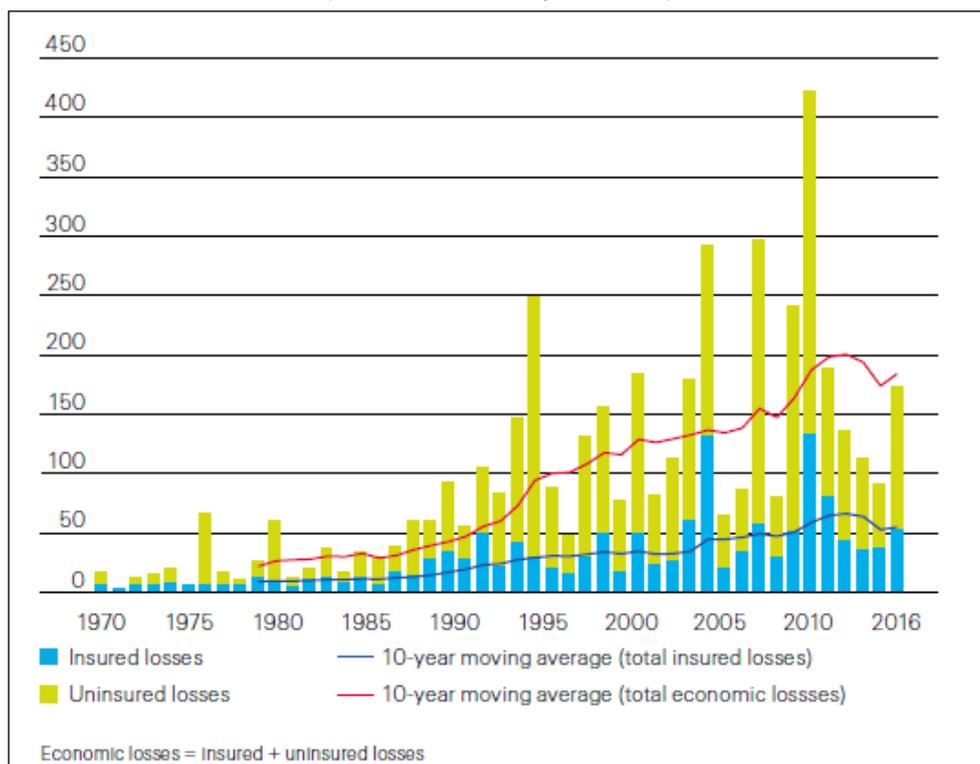
come i grandi centri urbani (Kunreuther and Michel-Kerjan, 2013), aumenta il *value-at-risk* in caso di calamità naturali⁷.

L'impatto delle calamità naturali, sia in termini di vittime sia in termini di danni in rapporto al PIL, è tendenzialmente maggiore nei paesi in via di sviluppo, dotati di minori capacità economiche e organizzative atte a fronteggiare queste emergenze.

Indipendentemente dal grado di sviluppo, la gestione economica delle calamità naturali è complicata da un forte problema di *moral hazard*, dato che le popolazioni danneggiate tendono ad affidarsi all'intervento pubblico *ex-post*, e per questo sono poco propense *ex-ante* sia a misure di prevenzione all'esposizione al rischio naturale sia all'adozione di coperture assicurative⁸.

Infatti, a livello mondiale, mentre le perdite complessive da catastrofi mostrano un *trend* di crescita molto sostenuto, le coperture assicurative vedono una crescita assai più bassa (fig. 5.1). La sproporzione va ad ampliare un *gap* che diventa preoccupante quando le altre forme di protezione (autoassicurazione, autoprotezione, risparmio prudentiale) risultano storicamente insufficienti e persino in calo.

Figura 5.1 – Perdite mondiali da catastrofi: valore totale e componente assicurata
(miliardi di dollari a prezzi 2016)



Fonte: SwissRe, 2016b.

⁷ La quota della popolazione mondiale che vive nelle grandi città è in costante aumento e raggiungerà il 50% nel 2020. Ad esempio, la città di Istanbul è in un'area a forte rischio sismico e la sua popolazione è passata da 1 milione di abitanti nel 1950 a 14,8 milioni nel 2016. Anche la propensione a costruire in aree costiere esposte agli uragani e ai tifoni (è il caso della Florida) ha aumentato il *value-at-risk*, inteso come perdita massima per data probabilità e dato orizzonte temporale (Kunreuther e Michel-Kerjan, 2007).

⁸ L'appendice G presenta un semplice modello economico che mostra il possibile effetto di spiazzamento della domanda di coperture assicurative da parte dell'intervento pubblico (*charity hazard*), che in certe condizioni non garantisce il risarcimento della totalità delle perdite.

Il problema è stato ampiamente analizzato negli Stati Uniti, soprattutto per i danni causati da alluvioni e uragani, evidenziando la tendenza degli agenti economici a sottovalutare rischi a bassa probabilità ed elevato impatto, come quelli da calamità naturali (*optimism bias*). L'ondata emotiva che segue il verificarsi di una calamità naturale può aumentare la propensione ad assicurarsi (Gallagher, 2014), ma l'effetto tende in seguito a svanire. Secondo recenti studi empirici condotti sulle famiglie americane, i contratti con orizzonte pluriennale e le protezioni assicurative multi-rischio potrebbero aumentare tale propensione. Le protezioni multi-rischio sono particolarmente adatte ad alcune aree degli Stati Uniti, soggette contemporaneamente a rischi di tifoni, vento, alluvioni e terremoti, perché aumentano la certezza del risarcimento delle perdite, diminuendo la riluttanza degli agenti verso queste forme di protezione. In questo contesto, sarebbero giustificate forme di intervento pubblico di contenimento del premio per incentivare famiglie e imprese ad adottare forme di assicurazione (Kunreuther and Michel-Kerjan, 2013).

Un altro problema è la selezione avversa degli assicurati, se viene lasciata libertà di assicurarsi o meno contro le calamità naturali. In generale solo gli agenti fortemente esposti al rischio cercheranno una copertura assicurativa. L'industria assicurativa sarà perciò costretta a chiedere premi molto elevati per essere in grado di pagare risarcimenti potenzialmente ingenti. I premi troppo costosi dissuaderanno anche individui fortemente a rischio dall'assicurarsi, con conseguente spirale negativa tra alti premi e bassa qualità della domanda (Akerlof, 1970). Si crea in questo modo una situazione cronica di sotto-assicurazione, tipica di una *market failure*.

L'adozione di premi assicurativi commisurati al rischio, in linea di principio, avrebbe il duplice beneficio di fornire un segnale del rischio e incentivare misure di messa in sicurezza di abitazioni e attività produttive atte a contenere il costo dell'assicurazione. In questo caso sarebbero socialmente desiderabili forme di agevolazioni per gli individui a basso reddito, soprattutto se residenti nelle aree maggiormente esposte. Diminuirebbe, così, il problema della selezione avversa, dato che i residenti nelle aree a rischio potrebbero essere più propensi ad assicurarsi e a mettere in atto misure preventive che limitino l'esposizione al rischio naturale (Hudson *et al.*, 2014) al fine di ottenere una riduzione del premio. In generale, il correttivo della selezione avversa è una qualche forma di obbligatorietà della copertura, in grado di coprire tutta la popolazione e sfruttare la mutualità per rendere sostenibile (*affordable*) il costo.

La riluttanza, riscontrata nel mercato statunitense, ad adottare misure di rafforzamento delle abitazioni che diminuiscano *ex-ante* il rischio di danni da calamità naturali può essere contrastata sia tramite sgravi fiscali sia per mezzo di prestiti agevolati per le opere di messa in sicurezza. I vantaggi per i proprietari degli immobili potrebbero derivare da una riduzione del premio assicurativo pagato e dal mantenimento nel tempo del valore dell'abitazione, superando in questo modo il problema della tipica miopia che caratterizza le decisioni su un orizzonte di medio-lungo periodo⁹.

La copertura assicurativa di mercato ha un ruolo rilevante dal punto di vista macroeconomico. Infatti, la diffusione delle protezioni assicurative diminuirebbe gli effetti negativi delle calamità naturali sulla spesa pubblica e sulla crescita del PIL (Oecd, 2017, pag. 17). Infatti, l'assicurazione compensa rapidamente i danni all'edilizia residenziale e industriale, diminuendo la necessità di stanziare risorse

⁹ L'evidenza sperimentale degli studi di economia comportamentale mostra la naturale tendenza dei consumatori ad adottare in questi contesti una funzione di sconto iperbolica che sottovaluta i benefici di lungo periodo.

pubbliche a tal fine. I benefici derivano anche dalla peculiare gestione finanziaria delle imprese di assicurazione. Queste ultime infatti: 1) incassano premi per accumulare riserve destinate a pagare indennizzi futuri, 2) diversificano la loro esposizione assicurando rischi naturali differenziati per tipo e localizzazione geografica, 3) trasferiscono al mercato una parte dei rischi, tipicamente tramite la riassicurazione¹⁰, oppure, in minor misura, tramite obbligazioni di tipo *cat-bond*¹¹.

Lo strumento assicurativo più diffuso per indennizzare i danni da calamità naturali è la polizza danni, che rende necessaria una stima dei danni subiti dall'assicurato. Uno strumento alternativo meno diffuso è l'assicurazione parametrica (Poljanšek *et al.*, 2017). A prescindere dai danni subiti, quest'ultima concede all'assicurato una somma prestabilita, purché risieda in un'area colpita da una calamità naturale, misurabile secondo un parametro pre-definito oggettivamente e rilevato (nel caso di sisma, il diritto all'indennizzo scatta per intensità delle scosse superiori a una soglia-*trigger*).

L'altro strumento di riduzione dell'impatto delle calamità naturali è l'introduzione di misure di mitigazione *ex-ante* del rischio (Kunreuther and Michel-Kerjan, 2013), in grado di prevenire gravi danni e perdite di vite umane. La loro efficacia è apprezzabile sia per gli eventi relativamente frequenti sia per quelli rari ma devastanti, come si è visto di frequente negli Stati Uniti per i danni causati dagli uragani.

5.2 Alcune soluzioni adottate¹²

Gli schemi di collaborazione tra settore pubblico e privato (*public-private partnerships, PPP*) e l'adozione di sistemi obbligatori o semi-obbligatori per aumentare la diffusione dell'assicurazione contro le calamità naturali sono alcune possibili soluzioni ai problemi evidenziati sopra. Nella collaborazione tra *policy-maker* pubblico e industria assicurativa, il primo fornisce un quadro di regole certe e, in alcuni casi, interviene con proprie risorse per contribuire al funzionamento del mercato (Mysiak e Pérez-Blanco, 2016). Una possibile regola è l'obbligatorietà della copertura (in genere per tutti i proprietari di unità abitative) o la semi-obbligatorietà (ad esempio come un'estensione automatica della copertura contro l'incendio).

Presentiamo le caratteristiche principali di nove importanti casi di PPP, adottati da Francia, Spagna, Regno Unito, Turchia, Giappone, Stati Uniti, Cile e Nuova Zelanda (tav. 5.1). I sistemi possono essere classificati in base a tre fattori: 1) grado di regolamentazione del settore da parte del *policy maker*; 2) livello di obbligatorietà delle coperture assicurative; 3) grado di condivisione (mutualità) dei rischi da

¹⁰ In mancanza di dati esatti sull'ammontare dei premi per i rischi naturali ceduti in riassicurazione, un'evidenza indiretta del forte ricorso alla riassicurazione per questo tipo di rischi è il legame tra impatto macro economico dei sinistri catastrofali e quota di premi ceduti in riassicurazione (OCSE, 2018). Nei paesi ad alto reddito il comparto *property*, che comprende le coperture per i rischi naturali degli immobili, ha avuto tra 2014 e 2016 tassi di riassicurazione (rapporto tra premi ceduti e premi totali) molto variabili, compresi tra 5 e 35% (circa 12% per l'Italia). Il rapporto tende ad aumentare per i paesi in via di sviluppo, probabilmente per la minore capacità di auto-ritenzione del rischio dell'industria assicurativa operante in questi paesi.

¹¹ Si tratta di obbligazioni emesse dalle imprese assicuratrici, che restituiscono alla scadenza capitale e interessi superiori a quelli prevalenti sul mercato monetario, ma in caso di evento catastrofico si estinguono restituendo solo una parte del capitale e/o dell'interesse pattuito. Lo strumento copre il rischio delle imprese che hanno emesso polizze *cat-nat* e può essere gradito agli investitori che desiderino diversificare la rischiosità del loro portafoglio, in quanto il suo rendimento non è correlato a quello dei titoli tradizionali. Lo stock di *cat-bond* emesso fino a fine ottobre 2017 risultava pari a 29,9 miliardi di euro (fonte: <http://www.artemis.bm/>).

¹² L'appendice I presenta maggiori dettagli sulle soluzioni adottate dai paesi in tavola 5.1, nonché le caratteristiche di un'assicurazione parametrica offerta nei paesi caraibici dal consorzio senza fini di lucro CCRIF-SPC.

parte degli assicurati (la mutualità diminuisce se i premi aumentano con il rischio, aumenta in caso contrario).

Tavola 5.1 – Sistemi assicurativi contro le calamità naturali: principali caratteristiche

Paesi	Forte ruolo regolamentare del <i>policy maker</i> pubblico	Obbligatorietà o semi-obbligatorietà della copertura assicurativa	Mutualità dei rischi tra gli assicurati
Francia	✓	✓	✓
Svizzera	✓	✓	✓
Spagna	✓	✓	✓
Regno Unito			
Turchia	✓	✓	
Giappone	✓		
Stati Uniti			
Cile	✓	✓	✓
Nuova Zelanda	✓	✓	✓

In base a questi fattori, i paesi considerati si possono dividere in tre gruppi:

- paesi con un forte ruolo della regolamentazione pubblica, caratterizzati da coperture assicurative in qualche misura obbligatorie (Francia, Svizzera, Spagna, Cile e Nuova Zelanda), con premi definiti per legge e caratterizzati da forte mutualità;
- paesi dove la regolamentazione pubblica è forte, ma nei quali mutualità e obbligatorietà non sono contemporaneamente presenti (Giappone e Turchia);
- paesi con un ruolo più limitato del decisore pubblico, coperture assicurative volontarie (Regno Unito, Stati Uniti) e premi assicurativi commisurati al livello di rischio;

La quota di abitazioni assicurate è significativa, anche se variabile: in Francia, Spagna e Nuova Zelanda sono assicurate quasi tutte le abitazioni, il 30% in Giappone, il 42% in Turchia. In molti casi questo tipo di assicurazione è vincolante per l'accensione di un mutuo ipotecario.

5.3 La situazione in Italia

In questo contesto l'Italia si distingue nel panorama internazionale per una gestione dei danni da calamità naturali affidata quasi esclusivamente all'intervento statale in fase di ricostruzione *ex post*. Questo fattore, insieme alla riluttanza "culturale" degli individui ad acquisire una protezione contro le calamità naturali, spiega la scarsa diffusione delle coperture assicurative per tali eventi, acquisibili come integrazione alle polizze incendio sulle abitazioni. Contribuisce inoltre negativamente la ridotta propensione delle famiglie italiane, rispetto agli altri paesi europei, ad acquistare coperture danni non obbligatorie (IVASS, 2016; p. 86, SwissRe, 2015).

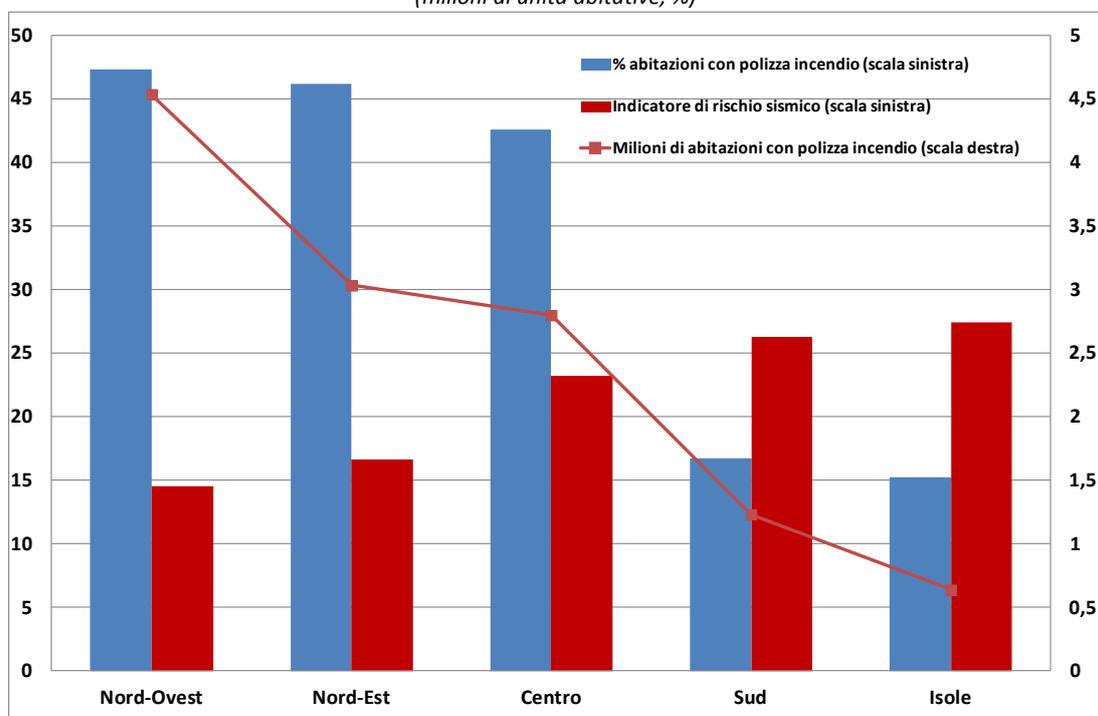
La diffusione dell'assicurazione contro le calamità naturali è superiore per gli edifici industriali e commerciali, ma il suo livello è ancora insoddisfacente. Ad esempio, il terremoto dell'Emilia del 2012 ha causato molti danni al fitto tessuto industriale di imprese dell'area interessata dall'evento. Tuttavia, anche in quella occasione il contributo dei risarcimenti assicurativi ai costi per la ricostruzione è stato

modesto (circa il 10% dei costi totali, Oecd 2017). Mentre in quel caso il rapporto tra danni totali e danni risarciti dalle assicurazioni è stato di 10 a 1, in occasione dell'uragano Katrina del 2005, accaduto negli Stati Uniti, paese ad elevata diffusione delle coperture assicurative contro le calamità naturali, il rapporto era circa pari a 3,5 (Kunreuther e Michel-Kerjan, 2007).

Per disporre di un quadro aggiornato della diffusione dello strumento assicurativo per proteggersi contro i danni da calamità naturali da parte dei possessori di abitazioni, nei primi mesi del 2017 l'IVASS ha condotto un'indagine censuaria presso tutte le compagnie che al 30 settembre 2016 assicuravano contro l'incendio le unità abitative localizzate in Italia. Le imprese hanno segnalato le caratteristiche principali dei singoli contratti, inclusa l'eventuale estensione della copertura ai danni causati da terremoti e alluvioni. Riportiamo sinteticamente le principali evidenze emerse.

La copertura contro gli incendi protegge 12,2 milioni di abitazioni (il 35,4% del totale, fig. 5.2). La percentuale è estremamente ridotta rispetto agli altri paesi della UE.

Figura 5.2 – Diffusione delle polizze incendio per le unità abitative^(a), 2016
(milioni di unità abitative, %)



Fonti: Indagine IVASS (per le polizze), Agenzia delle Entrate – Osservatorio del mercato immobiliare (per le unità abitative). Le elaborazioni relative alle isole comprendono solo la Sicilia.

(a) Indicatore di rischio sismico ottenuto da elaborazioni di dati di fonte Protezione Civile e Istat.

Sono evidenti i forti divari geografici della diffusione della polizza, che interessa oltre il 40% delle abitazioni del Centro-Nord, ma soltanto il 15% di quelle del Sud e Isole. Si noti che le polizze incendio sono meno diffuse ove più forti sono i rischi sismici, un aspetto che rende problematica l'efficacia della semi-obbligatorietà.

L'estensione della garanzia alle calamità naturali è molto limitata: tra le abitazioni assicurate per l'incendio, si registra rispettivamente nel 2,4% dei casi per l'estensione al solo terremoto, nel 2,8% per quella alle sole alluvioni e nel 3,6% per la copertura contro entrambi i rischi. La diffusione aumenta per le polizze collegate a mutui per l'acquisto di abitazioni: una polizza su dieci di questo tipo ha una copertura

integrativa per terremoti e alluvioni, mentre una su venti è assicurata contro il solo rischio di alluvioni e circa una su trenta per il solo rischio terremoto.

Il livello di rischio naturale sembra avere un ruolo limitato nello spiegare la decisione di proteggere un immobile contro tale rischio. Limitandosi infatti alla sola protezione contro il terremoto, una semplice stima *logit* mostra che la decisione di acquisire tale protezione è correlata al livello di pericolosità sismica molto più debolmente rispetto ad altri fattori, quali localizzazione geografica dell'immobile assicurato, tipo di copertura e entità del capitale assicurato.

Da tutto ciò deriva la bassa diffusione delle coperture contro le catastrofi naturali sul patrimonio abitativo italiano, che riguarda solo 836 mila abitazioni, pari al 2,4% del totale, con una diffusione scarsamente correlata al rischio (tav. 5.2). Tra queste, circa 570 mila unità (1,7% del totale) sono protette contro il terremoto, altrettante contro il rischio di alluvioni, circa 300 mila (0,9% del totale) hanno una protezione multi-rischio per entrambe le calamità.

Tavola 5.2 – Coperture contro le calamità naturali delle unità abitative per i diversi livelli di esposizione al rischio, 2016

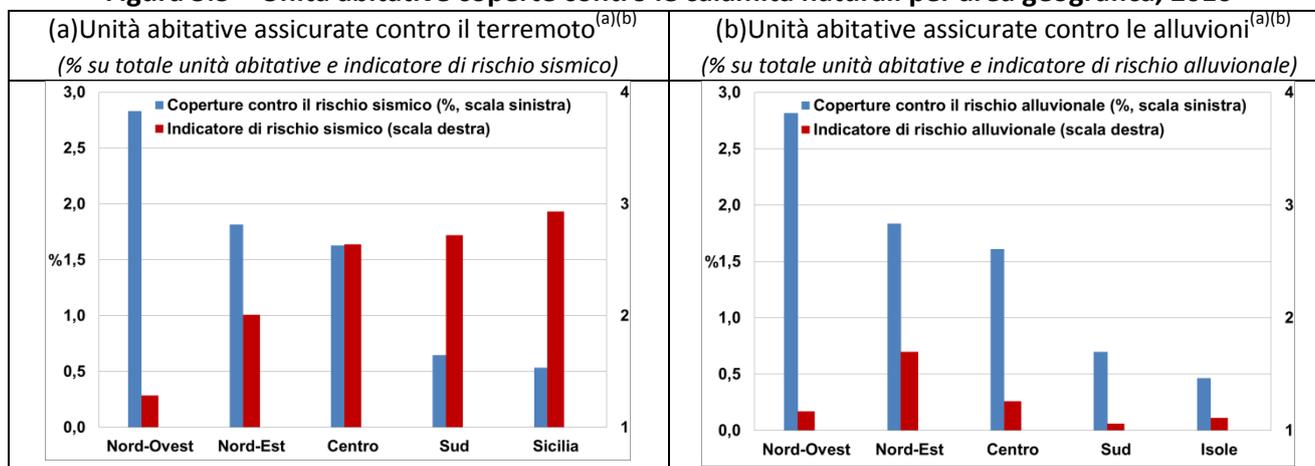
Numero totale di unità abitative (migliaia) ^(a)		Unità abitative coperte per il rischio ^(e)	
Livello di rischio sismico^(b)		Protezione dal solo rischio sismico	
		Numero (<i>migliaia</i>)	% su totale
Molto elevato	1.469	1	0,1
Elevato	12.249	31	0,3
Medio	14.703	185	1,3
Lieve	6.368	50	0,8
Totale	34.788	268	0,8
Livello di rischio alluvionale^(c)		Protezione dal solo rischio alluvionale	
		Numero (<i>migliaia</i>)	% su totale
Elevato	451	3	0,7
Medio	1.064	5	0,5
Lieve	30.718	252	0,8
Assente	2.555	9	0,3
Totale	34.788	269	0,8
Livello di rischio sismico e alluvionale^(d)		Protezione dal rischio sismico e alluvionale	
		Numero (<i>migliaia</i>)	% su totale
A	1.516	12	0,8
B	26.913	232	0,9
C	6.359	55	0,9
Totale	34.788	299	0,9
		Totale abitazioni protette dal rischio da catastrofi naturali	
Totale	34.788	836	2,4

Fonte: (a) per le unità abitative: Agenzia delle Entrate – Osservatorio del mercato immobiliare. – (b) Protezione Civile – (c) Elaborazione su dati ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) (d) A = rischio sismico medio, elevato o molto elevato, rischio alluvionale medio o elevato; B = rischio sismico medio, elevato o molto elevato, rischio alluvionale lieve o assente; C = rischio sismico lieve, rischio alluvionale lieve o assente. (e) Indagine IVASS.

Come per le polizze incendio, di cui sono un'estensione facoltativa, il fattore maggiormente associato alla diffusione delle coperture contro le calamità naturali è quello geografico (fig. 5.3).

La quota di abitazioni protette è più elevata nel Nord ovest rispetto a quella del Nord est e del Centro ed è molto più bassa nel Sud e isole.

Figura 5.3 – Unità abitative coperte contro le calamità naturali per area geografica, 2016



(a) Fonte: Agenzia delle Entrate – Osservatorio del mercato immobiliare (per le unità abitative) e indagine IVASS (per le polizze). Le unità abitative assicurate contro il rischio sismico sono quelle protette dal rischio sismico e eventualmente anche da quello alluvionale. Le unità abitative assicurate contro il rischio alluvionale sono quelle protette dal rischio alluvionale e eventualmente anche da quello sismico. – (b) Indicatori di rischio sismico e alluvionale ottenuti a livello comunale da elaborazioni di dati di fonte Protezione Civile per il rischio sismico e ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) per il rischio alluvionale. L'indicatore per il rischio sismico va da 1 (rischio lieve) a 4 (rischio molto elevato), quello per il rischio alluvionale va da 1 (rischio pressoché assente) a 4 (rischio elevato). Gli indicatori di rischio per macroarea sono ottenuti come medie degli indicatori comunali di rischio, ponderate con la popolazione residente nel comune (fonte: ISTAT). La Sardegna non è considerata nel calcolo dell'indicatore di rischio sismico in quanto priva di tale rischio.

6 Valutazione e copertura dei rischi naturali: un approccio simulativo

Nel corso degli anni sono stati sviluppati vari modelli di simulazione stocastica, basati sulle caratteristiche fisiche delle calamità naturali e su quelle strutturali del patrimonio abitativo, al fine di valutare la distribuzione di probabilità delle perdite arrecate da un evento naturale su un dato portafoglio di unità immobiliari. Secondo un approccio adottato per la prima volta nel 1984 (Friedman, 1984), questi modelli scompongono il contributo delle perdite dovuto a pericolosità, esposizione, vulnerabilità e perdite economiche¹³.

Secondo questi modelli, l'Italia è al primo posto in Europa e all'ottavo nel mondo per la possibile entità dei danni da rischio sismico in rapporto al prodotto interno lordo. Un evento sismico che in media occorre una volta ogni 250 anni arrecherebbe danni al nostro paese pari a circa 3% del PIL del 2016, corrispondenti a 50 miliardi di euro (SwissRe, 2015). I modelli di simulazione del rischio alluvionale (SwissRe, 2016) prevedono perdite pari a 14,2 miliardi di euro (poco meno di un punto percentuale del PIL del 2016) per eventi che si ripresentano mediamente ogni 200 anni.

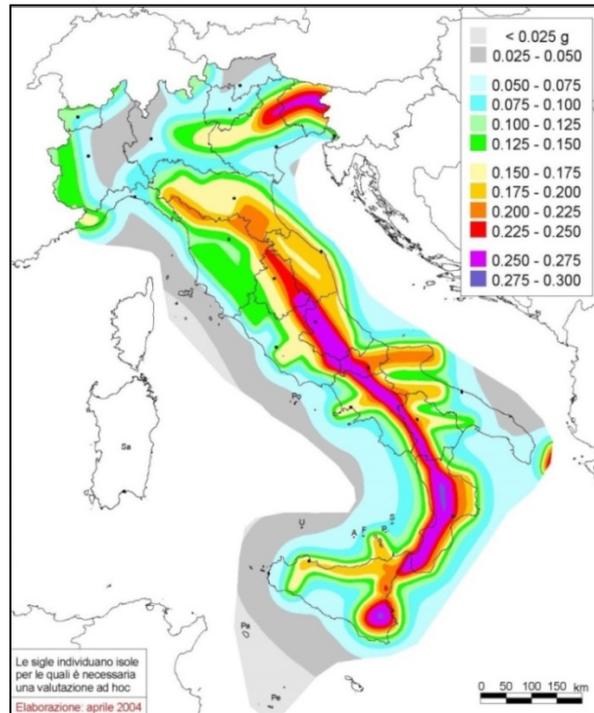
¹³ L'incertezza dei fenomeni da modellare, caratterizzati da elevato grado di interconnessione tra vari fattori, rendono incerte le previsioni di questi modelli, in particolare (Charpentier, 2008; Kunreuther e Michel-Kerjan, 2007; Poljanšek *et al.*, 2017, p. 45) per la previsione degli effetti dei fenomeni naturali legati ai cambiamenti climatici (quali uragani, inondazioni, tempeste di vento).

6.1 Le misure di intensità e diffusione del rischio sismico

6.1.1 Le mappe di rischio sismico per l'Italia dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

La mappa dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è la rappresentazione più diffusa del rischio sismico dell'Italia (fig. 6.1).

Figura 6.1 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale



Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

In essa si rappresenta il rischio sismico mostrando quali sono le aree dove con il 10% di probabilità si può verificare in un arco di 50 anni almeno un sisma di intensità uguale o superiore a un dato livello (appendice A). Tale intensità è misurata in termini di *Peak Ground Acceleration* (indicata con la sigla *PGA*, si veda appendice C).

La mappa evidenzia le aree a maggior rischio, situate sulla dorsale appenninica centro-meridionale e nella parte centrale del Friuli, con un'estensione nella confinante zona del Veneto.

Questa rappresentazione ha soprattutto finalità di ingegneria civile e non è la più idonea a fini assicurativi. Per questi ultimi, è piuttosto preferibile sapere, per una data zona, la probabilità che (ad esempio) in 10 anni si verifichi un sisma di intensità uguale o superiore a un dato livello.

Nel primo caso si ha la distribuzione territoriale dei sismi la cui intensità (minima) g^* si verifica con probabilità del 10% entro 50 anni: $g^*(z, 50, 10\%): prob(N_{z, g^*}(50) \geq 1) = \alpha_{z, 50, g^*} = 10\%$. Nel secondo caso si ha la distribuzione territoriale delle probabilità che entro 50 anni si verifichi un sisma di intensità almeno pari a \bar{g} : $\alpha_{z, 50, \bar{g}}$. Il passaggio tra queste due diverse rappresentazioni del rischio sismico sarà approfondito nell'appendice D.

6.1.2 La rappresentazione della probabilità di un evento sismico¹⁴

L'intensità sismica è misurata tramite la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), che ha la caratteristica di valutare direttamente i danni causati dal sisma alle comunità colpite. Consideriamo i gradi da VI a IX della scala MCS (i gradi inferiori corrispondono a eventi sismici con ridotte conseguenze)¹⁵, di cui riportiamo di seguito sinteticamente il significato.

Grado VI. Scossa forte. Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.

Grado VII. Scossa molto forte. Caduta di fumaioli, lesioni negli edifici.

Grado VIII. Scossa rovinosa. Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.

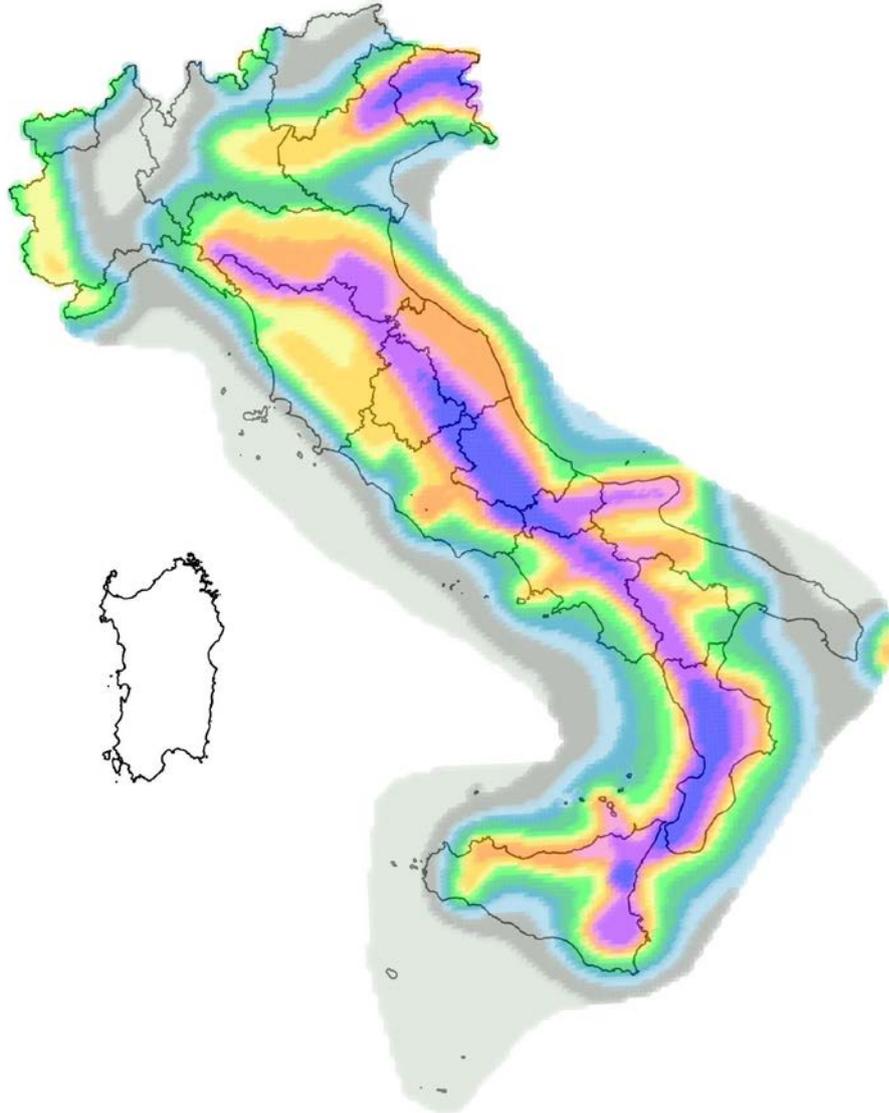
Grado IX. Scossa distruttiva. Rovina totale di alcuni edifici e gravi lesioni in molti altri; vittime umane sparse ma non numerose.

La rappresentazione cartografica su un orizzonte di 10 anni evidenzia che al crescere dei gradi MCS diventano più piccole le aree soggette ai livelli di rischio più elevati. Coerentemente con la mappa di rischio INGV, queste zone sono concentrate in prevalenza sulla dorsale appenninica centro-meridionale, con alcune estensioni nel Friuli Venezia-Giulia (fig. 6.2.a – fig. 6.2.b). Per quel che riguarda la popolazione esposta al rischio, 11,7 milioni di residenti (19,7% del totale) sperimenteranno con probabilità superiore al 30% una scossa di intensità almeno pari al grado VI (fig. 6.2.a): nel caso più favorevole (sisma esattamente di grado VI) si tratta di eventi che possono compromettere soltanto le abitazioni in stato fatiscente. La popolazione esposta al rischio di sismi più pericolosi, di grado almeno pari a VIII con probabilità superiore al 2%, è inferiore, pari a 3,4 milioni (fig. 6.2.c). Soltanto 1,2 milioni di persone sono esposte (con probabilità superiore allo 0,5%) a sismi potenzialmente distruttivi (di intensità almeno IX, fig. 6.2.d).

¹⁴ L'appendice E mostra il procedimento per ottenere questa nuova rappresentazione e il metodo utilizzato per ottenere il rischio sismico a livello di popolazione.

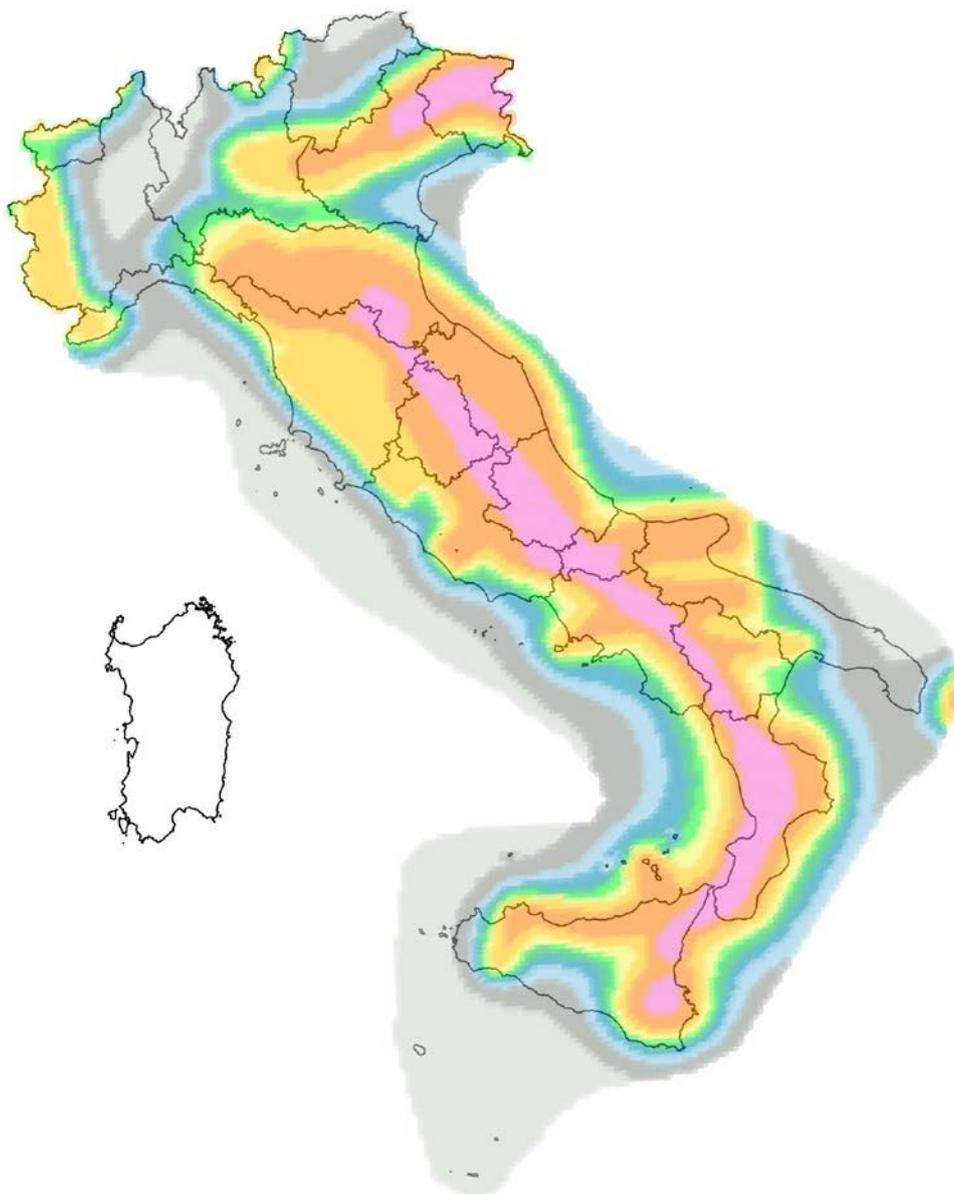
¹⁵ Per maggiori dettagli si rinvia a: http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Scala_MCS.pdf.

Figura 6.2.a – Sisma di intensità almeno pari al grado VI MCS per un tempo di ritorno pari a 10 anni
 Mappa della probabilità e distribuzione della popolazione a rischio



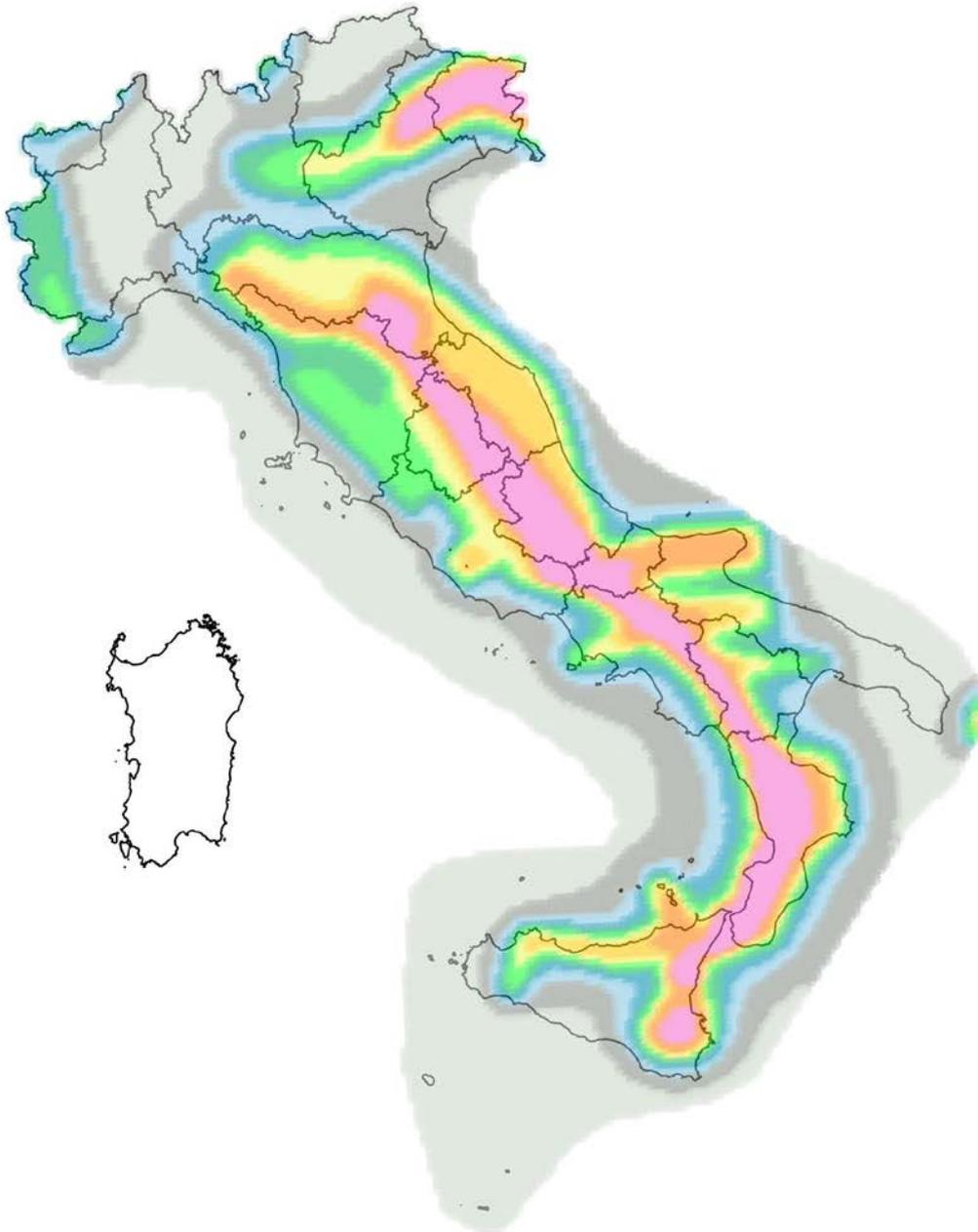
Probabilità	Popolazione a rischio (milioni)	%
● $\alpha \leq 2,5\%$	4,8	8,0%
● $2,5\% < \alpha \leq 5,0\%$	8,2	13,8%
● $5,0\% < \alpha \leq 7,5\%$	7,6	12,9%
● $7,5\% < \alpha \leq 10,0\%$	6,0	10,1%
● $10,0\% < \alpha \leq 15,0\%$	8,6	14,5%
● $15,0\% < \alpha \leq 20,0\%$	4,5	7,5%
● $20,0\% < \alpha \leq 25,0\%$	4,5	7,6%
● $25,0\% < \alpha \leq 30,0\%$	3,5	5,9%
● $30,0\% < \alpha \leq 35,0\%$	4,7	8,0%
● $35,0\% < \alpha \leq 40,0\%$	2,4	4,0%
● $40,0\% < \alpha \leq 50,0\%$	2,9	4,9%
● $\alpha > 50,0\%$	1,7	2,8%

**Figura 6.2.b – Sisma di intensità almeno pari al grado VII MCS per un tempo di ritorno pari a 10 anni
Mappa della probabilità e distribuzione della popolazione a rischio**



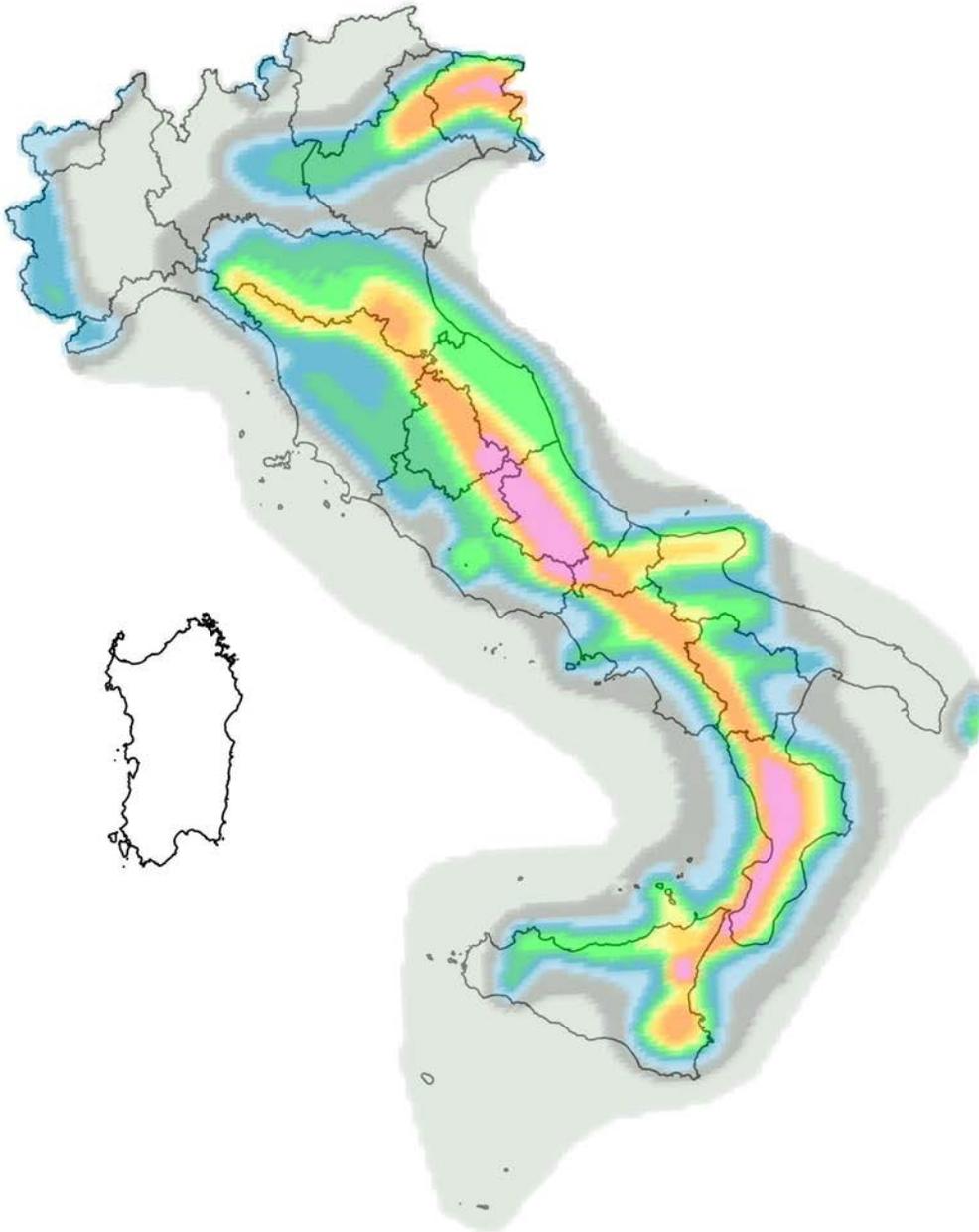
Probabilità	Popolazione a rischio (milioni)	%
● $\alpha \leq 0,5\%$	4,8	8,2%
● $0,5\% < \alpha \leq 1,0\%$	8,5	14,3%
● $1,0\% < \alpha \leq 1,5\%$	7,6	12,8%
● $1,5\% < \alpha \leq 2,0\%$	5,7	9,7%
● $2,0\% < \alpha \leq 2,5\%$	5,6	9,5%
● $2,5\% < \alpha \leq 3,0\%$	2,8	4,7%
● $3,0\% < \alpha \leq 4,0\%$	4,3	7,2%
● $4,0\% < \alpha \leq 6,0\%$	7,7	12,9%
● $6,0\% < \alpha \leq 10,0\%$	8,9	15,0%
● $\alpha > 10,0\%$	3,4	5,8%

**Figura 6.2.c – Sisma di intensità almeno pari al grado VIII MCS per un tempo di ritorno pari a 10 anni
Mappa della probabilità e distribuzione della popolazione a rischio**



Probabilità	Popolazione a rischio (milioni)	%
● $\alpha \leq 0,2\%$	13,7	23,1%
● $0,2\% < \alpha \leq 0,4\%$	13,5	22,7%
● $0,4\% < \alpha \leq 0,6\%$	8,2	13,9%
● $0,6\% < \alpha \leq 0,8\%$	4,3	7,2%
● $0,8\% < \alpha \leq 1,0\%$	3,8	6,4%
● $1,0\% < \alpha \leq 1,2\%$	3,7	6,2%
● $1,2\% < \alpha \leq 1,4\%$	3,0	5,0%
● $1,4\% < \alpha \leq 1,6\%$	3,0	5,0%
● $1,6\% < \alpha \leq 2,0\%$	2,8	4,8%
● $\alpha > 2,0\%$	3,4	5,8%

**Figura 6.2.d – Sisma di intensità almeno pari al grado IX MCS per un tempo di ritorno pari a 10 anni
Mappa della probabilità e distribuzione della popolazione a rischio**



Probabilità	Popolazione a rischio (milioni)	%
● $\alpha \leq 0,05\%$	17,4	29,4%
● $0,05\% < \alpha \leq 0,10\%$	16,0	26,9%
● $0,10\% < \alpha \leq 0,15\%$	6,2	10,4%
● $0,15\% < \alpha \leq 0,20\%$	5,4	9,2%
● $0,20\% < \alpha \leq 0,25\%$	2,9	4,9%
● $0,25\% < \alpha \leq 0,30\%$	4,8	8,2%
● $0,30\% < \alpha \leq 0,35\%$	2,0	3,3%
● $0,35\% < \alpha \leq 0,40\%$	1,5	2,5%
● $0,40\% < \alpha \leq 0,50\%$	1,9	3,2%
● $\alpha > 0,50\%$	1,2	2,1%

6.1.3 Rischio sismico e popolazione comunale

È importante misurare il legame tra rischio sismico e dimensione dei comuni in termini di popolazione residente, dato che al variare di quest'ultima l'impatto degli eventi sismici è diverso, sia in termini di danni al patrimonio abitativo sia in termini di organizzazione dei soccorsi.

In generale il rischio dei grandi comuni con più di mezzo milione di abitanti è molto più contenuto rispetto a quello dei comuni meno popolosi (tav. 6.1). Il risultato è coerente con la localizzazione delle grandi aree metropolitane nelle aree meno rischiose. Per i centri di dimensione inferiore, il rischio è molto simile per i comuni fino a 100.000 abitanti e aumenta leggermente per quelli tra 100.001 e 500.000 abitanti.

Tavola 6.1 – Probabilità media in 10 anni di uno o più eventi sismici di intensità uguale o superiore a una intensità MCS, per dimensione del comune

(%)

Dimensione comunale	Intensità (gradi MCS)			
	VI	VII	VIII	IX
Fino a 15.000 abitanti	17,71	3,90	0,76	0,15
15.001-30.000 abitanti	16,94	3,67	0,72	0,14
30.001-100.000 abitanti	16,87	3,70	0,72	0,14
100.001-250.000 abitanti	20,60	4,54	0,89	0,17
250.001-500.000 abitanti	20,55	4,36	0,85	0,16
Oltre 500.000 abitanti	7,27	1,43	0,27	0,05
Totale	16,52	3,60	0,70	0,13

Fonte: elaborazione da dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, ENEA (per la localizzazione dei comuni italiani) e ISTAT (per la numerosità della popolazione al 2017).

6.2 La stima dei premi assicurativi contro il rischio sismico

La scarsa diffusione della protezione assicurativa delle abitazioni italiane contro i rischi naturali rende oltremodo importante valutare tramite simulazioni le principali caratteristiche di questa copertura, ipotizzando la sua estensione a tutto il patrimonio immobiliare italiano. L'esercizio di simulazione ha riguardato separatamente il rischio sismico e quello alluvionale. Per il rischio sismico l'elaborazione ha utilizzato le soluzioni della società di consulenza *RMS-Risk Management Solutions*. I principali risultati sono confrontati con quelli prodotti dal modello di *SwissRe* e da quello sviluppato dall'IVASS¹⁶.

6.2.1 Caratteristiche della simulazione

Il territorio dell'Italia è stato suddiviso in zone di rischio sismico omogeneo secondo la classificazione CRESTA, correntemente utilizzata dall'industria assicurativa per valutare il rischio derivante dai fenomeni naturali quali terremoti, tempeste e alluvioni¹⁷.

¹⁶ Per le caratteristiche di quest'ultimo modello si veda l'appendice E.

¹⁷ CRESTA (*Catastrophe Risk Evaluation and Standardizing Target Accumulations*) è una ripartizione geografica globale del territorio specifica per i rischi naturali. Essa è stata pensata per l'attività di riassicurazione ed è di utilizzo comune per la determinazione dei premi e la valutazione di rischiosità dei portafogli assicurativi.

La simulazione ha riguardato il totale delle unità abitative italiane (in tutto 34,8 milioni, sulla base dei dati 2015 dell’Agenzia del Territorio), per un valore stimato in 5.510 miliardi di euro (Banca d’Italia, 2015b). La distribuzione geografica del valore delle abitazioni è stata ottenuta combinando i dati dei valori immobiliari assicurati contro il terremoto a fine settembre 2016 (rilevati dall’indagine dell’IVASS) e quelli del totale delle unità abitative presenti nel comune. L’indagine ha consentito di ricavare un valore immobiliare abitativo unitario, dividendo i capitali assicurati per il numero delle unità abitative assicurate per ogni comune. Tale valore è stato successivamente moltiplicato per il totale delle unità abitative del comune, ottenendo una stima comunale del patrimonio immobiliare ad uso abitativo. Per i comuni privi di abitazioni assicurate contro il terremoto, è stato utilizzato il valore unitario provinciale. I valori così ottenuti sono stati riproporzionati uniformemente, per ottenere in totale il valore immobiliare stimato per tutta l’Italia, pari a 5.510 miliardi di euro.

I tre modelli di simulazione che saranno confrontati utilizzano gli stessi dati in *input*.

I differenti scenari di simulazione sono stati ottenuti al variare di due fattori: a) caratteristiche costruttive delle abitazioni, b) livelli di franchigia e massimale (compreso il caso di indennizzo totale delle perdite).

Franchigie e massimali nell’assicurazione dei danni
<p>Sottoassicurazione proporzionale</p> <p>Valore dichiarato V; somma assicurata $M < V$ (massimale); danno D; risarcimento = $D \frac{M}{V}$ (regola proporzionale). M/V è il massimale in termini percentuali.</p>
<p>Primo rischio relativo</p> <p>Valore dichiarato V_0 al tempo 0; somma assicurata $M < V_0$; danno D al tempo t; risarcimento = $\min(M, D) \chi_{V_t \leq V_0} + D \frac{M}{V_0} \chi_{V_t > V_0}$</p>
<p>Primo rischio assoluto</p> <p>Somma assicurata M; danno D; risarcimento = $\min(M, D)$ La franchigia (assoluta) è un valore F o una percentuale f della somma assicurata M che resta a carico dell’assicurato (<i>coinsurance</i>): risarcimento = $\max(0, \min(M, D) - F)$. Lo scoperto è la somma assoluta o la percentuale del danno (quindi conoscibile solo <i>ex post</i>) che resta a carico dell’assicurato (<i>deductible</i>). Per approfondimenti si rinvia a Daboni (1993).</p>

Sul totale dei valori immobiliari, tenuto eventualmente conto di franchigie e massimali, ogni scenario ha generato una distribuzione di perdita corrispondente a eventi sismici che accadono con diversa probabilità. A ogni probabilità si associa un tempo di ritorno, che rappresenta il tempo medio intercorrente tra due eventi sismici di data intensità. La probabilità e il tempo di ritorno sono inversamente correlati, dato che sismi poco probabili (in quanto molto forti) tendono a ripresentarsi con un tempo di ritorno molto lungo (si veda al riguardo l’appendice A).

Per ogni evento sismico che accade con data probabilità, il modello *RiskLink v16* della *RMS* produce:

- il minimo danno atteso da tutti gli eventi sismici che accadono con quella probabilità (*Aggregate Expected Loss, AEL*),

- il minimo danno atteso da un unico evento sismico che accada con quella probabilità (*Occurrence Exceedance Loss, OEL*).

Viene infine prodotto un indicatore sintetico, il danno annuo atteso (*Average Annual Loss, AAL*), calcolabile come perdita media annuale causata da tutti gli eventi. Esso corrisponde al premio puro complessivo annuo. Questo valore è l'ammontare minimo che dovrebbe incassare per non subire perdite patrimoniali significative un'ipotetica compagnia che garantisca i danni di tutte le abitazioni italiane. Ovviamente agli assicurati verranno chiesti premi più alti, dato che la compagnia deve 1) pagare i suoi costi interni, 2) remunerare la rete distributiva esterna, 3) garantirsi un margine di profitto, 4) pagare le imposte sui premi incassati.

6.3 Risultati della simulazione

6.3.1 Risultati aggregati

I modelli *RMS* e *SwissRe* generano 16 scenari di simulazione, per ognuno dei quali si presenta il relativo danno annuo atteso (tav. 6.2). Il modello *SwissRe* considera caratteristiche costruttive degli edifici simili a quelle del modello *RMS*. Si riporta anche il danno annuo atteso stimato dal modello IVASS, sulla base della struttura e dello stato di conservazione esterno del patrimonio abitativo italiano per come rilevati in occasione del censimento 2011. Le righe della tavola relative alle stime *RMS* e *SwissRe* corrispondono a modalità costruttive con caratteristiche di resistenza alle sollecitazioni sismiche man mano crescenti. La prima riga (100% muratura non rinforzata) riguarda prevalentemente abitazioni costruite prima del 1980. Gli altri tipi sono diffusi per le costruzioni di epoca successiva, in quanto prescritti dalle varie normative emesse dal 1974 (appendice F).

Le colonne della tavola considerano alcune modalità di rimborso delle perdite. La prima colonna si riferisce al caso di rimborso totale; la seconda considera il caso di franchigia al 6,2% e la terza a una franchigia al 6,2% e un massimale al 65,3%, corrispondenti ai valori medi stimati dall'indagine IVASS; la quarta colonna (franchigia pari a 10% e massimale pari a 50%) si riferisce a condizioni di rimborso molto parziali dei danni subiti.

Nella simulazione *RMS*, nell'ipotesi più conservativa della prima riga della tavola, il premio puro stimato ammonta a 3.615 milioni di euro, che scende a 2.073 milioni applicando una franchigia del 6,2% e diminuisce ulteriormente a 1.363 milioni con l'aggiunta di un massimale del 65,3%. L'aumento della franchigia al 10% e l'ulteriore riduzione del massimale al 50% porta il valore della AAL a 828 milioni (un quarto del valore iniziale). Il miglioramento della tenuta sismica degli edifici, ipotizzando il 50% delle abitazioni costruite in muratura rinforzata (terza riga), riduce il premio totale da 3.615 a 2.769 milioni, con una diminuzione degli importi da risarcire pari al -23%.

La simulazione *SwissRe* stima un valore della AAL mediamente sempre superiore, che nell'ipotesi di soluzione costruttiva peggiore ammonta a 4.177 milioni di euro. Il miglioramento degli *standard* costruttivi determina una diminuzione di questo valore secondo un *trend* simile a quello delle simulazioni *Rms*, ma la riduzione della AAL derivante dall'introduzione di franchigie e massimali risulta meno pronunciata.

Il modello IVASS, non mostrato nella tavola, valuta pari a 4.681 milioni di euro il danno medio annuale, basandosi su caratteristiche costruttive degli edifici residenziali rilevate in occasione del censimento 2011.

In sintesi, i modelli considerati conducono a valori economicamente confrontabili, anche se in termini relativi le differenze possono essere rilevanti.

Tavola 6.2 – Danno annuo atteso (AAL) per il rischio terremoto sul patrimonio abitativo italiano
(milioni di euro)

Caratteristiche costruttive degli edifici	Franchigie e massimali			
	Indennizzo totale	Franchigia 6,2% Nessun massimale	Franchigia 6,2% Massimale 65,3%	Franchigia 10% Massimale 50%
Modello Rms				
100% muratura non rinforzata	3.615	2.073	1.363	828
50% muratura non rinforzata, 50% calcestruzzo	3.004	1.650	1.085	659
50% muratura non rinforzata, 50% muratura rinforzata	2.769	1.505	990	602
50% muratura non rinforzata, 50% cemento armato	2.562	1.373	902	549
Modello SwissRe				
100% muratura non rinforzata	4.177	3.203	2.727	2.136
50% muratura non rinforzata, 50% cemento di vecchio tipo	3.438	2.517	2.168	1.686
50% muratura non rinforzata, 50% muratura rinforzata	3.563	2.631	2.263	1.763
50% muratura non rinforzata, 50% cemento di nuovo tipo	2.937	2.063	1.783	1.377

Fonte: elaborazione dei risultati dei modelli di simulazione RiskLink v16 della RMS e di quello di SwissRe.

(a) Caratteristiche strutturali e stato di conservazione esterna in base al censimento 2011. Viene utilizzata una funzione di danneggiamento degli edifici fornita da RMS.

I tre modelli possono essere paragonati anche dal punto di vista delle AEL per i vari tempi di ritorno e dei differenti livelli d'incertezza (tav. 6.3) Le AEL dei modelli RMS e SwissRe risultano sempre inferiori a quelle del modello IVASS. All'aumentare dei tempi di ritorno tendono ad aumentare sia lo scarto tra le stime del modello IVASS rispetto a quelle degli altri due modelli sia lo scarto tra i valori del modello SwissRe rispetto a quelli RMS. L'incertezza della previsione centrale dei modelli, disponibile per il modello RMS e per quello IVASS, è elevata, come risulta dagli indicatori di variabilità del modello RMS e, per il modello IVASS, dall'intervallo formato dai valori inferiore e superiore delle stime.

In rapporto al capitale assicurato, interpretando la AAL come premio puro, il modello IVASS propone un valore di 85 euro per 100.000 euro di capitale assicurato (contro i 66 euro del modello *RMS* e i 76 euro del modello *SwissRe*). La protezione contro il terremoto per l'abitazione media comporterebbe un premio puro di 134 euro in base al modello IVASS (contro rispettivamente 104 e 120 euro ottenuti dai modelli *RMS* e *SwissRe*).

**Tavola 6.3 – Stima dei danni causati da eventi sismici al totale del patrimonio abitativo italiano
Confronto tra modello *RMS* (RiskLink v16), modello *SwissRe* e modello IVASS**

		Modello <i>RMS</i> ^{(a)(b)} (<i>RiskLink v16</i>)	Modello <i>SwissRe</i> ^{(a)(b)}	Modello IVASS ^{(a)(c)}		
AEL (milioni di euro)						
Tempo di ritorno				Valore inferiore	Valore centrale	Valore superiore
10.000		119.481	282.012	1.694.333	1.820.502	1.865.961
5.000		101.396	253.611	1.498.488	1.669.998	1.881.523
1.000		66.789	173.569	816.667	1.093.655	1.450.055
500		54.025	137.173	540.847	799.905	1.193.622
250		42.628	102.884	334.262	539.462	910.217
200		39.304	93.271	282.806	468.395	819.133
100		30.038	65.699	162.600	291.270	561.736
50		22.204	40.656	89.182	172.660	362.123
25		15.653	21.994	47.128	97.713	222.523
10		8.796	8.125	19.562	43.136	109.547
5		4.927	3.254	9.910	22.424	60.815
2		1.571	701	3.996	9.198	26.313
AAL						
Media (milioni di euro)		3.615	4.177	2.009	4.681	13.989
Dev. Standard (milioni di euro)		6.354				
Coeff. di variazione		1,7578				
Premio puro per 100.000 euro di capitale assicurato (euro)		65,5	75,8	36,4	84,8	253,5
Premio puro medio per unità abitativa (euro)		103,7	119,8	57,6	134,3	401,4

Fonte: Modelli di simulazione RiskLink v16 della *RMS*, modello *SwissRe* e modello IVASS.

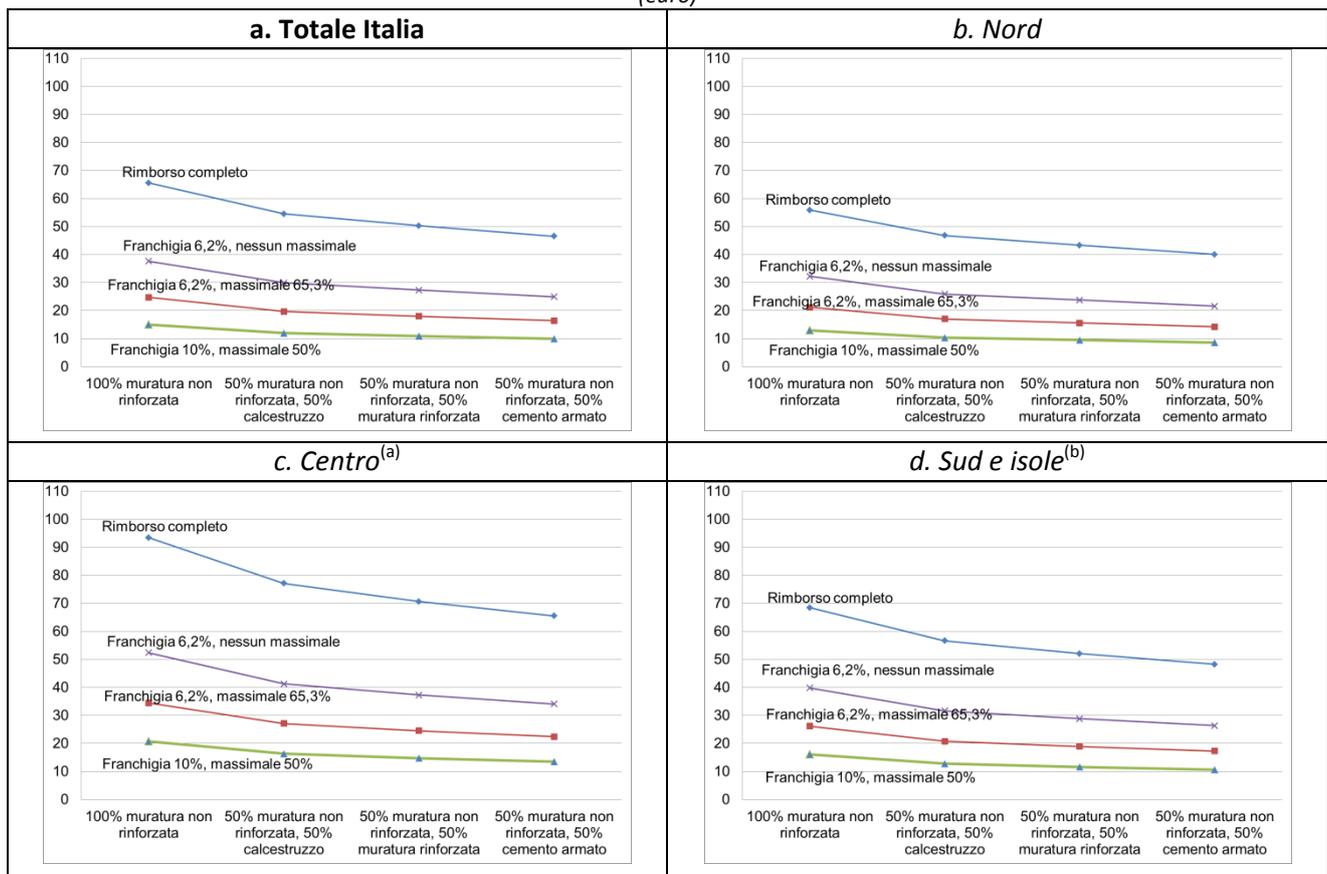
(a) Rimborsamento completo delle perdite subite. (b) Patrimonio abitativo composto solo da edifici al 100% di muratura non rinforzata. – (c) Patrimonio abitativo di composizione mista secondo i dati rilevati dal censimento Istat 2011.

6.3.1.1 Valori medi individuali

I risultati possono essere espressi con riferimento a 100 mila euro di capitale assicurato (fig. 6.3.a per il Nord Italia). È importante analizzare i risultati in riferimento a 100 mila euro di capitale assicurato, dato che si tratta di un valore tipico per una polizza che risarcisce i danni di un'unità immobiliare, verificando la sua variabilità al variare delle caratteristiche costruttive, delle condizioni di polizza e dell'area geografica dove è situato l'immobile. Per ragioni di sintesi si presentano i risultati di questo approfondimento soltanto per la simulazione *RMS*.

Nel caso di rimborso completo, si passa da un premio di 66 euro per 100 mila euro di capitale assicurato nel caso di edifici in muratura non rinforzata a 50 euro in presenza di 50% di edifici in muratura rinforzata (fig. 6.3.a per il complesso dell'Italia). Valori più bassi si ottengono introducendo franchigie e massimali. La variabilità territoriale dei risultati è molto accentuata: i premi puri maggiori sono in corrispondenza della macroarea Centro Italia (comprendente Abruzzo e Molise, fig. 6.3.c), mentre quelli più bassi sono relativi al Nord Italia (fig. 6.3.b).

Figura 6.3 – Premio puro per 100.000 euro di capitale assicurato
(euro)

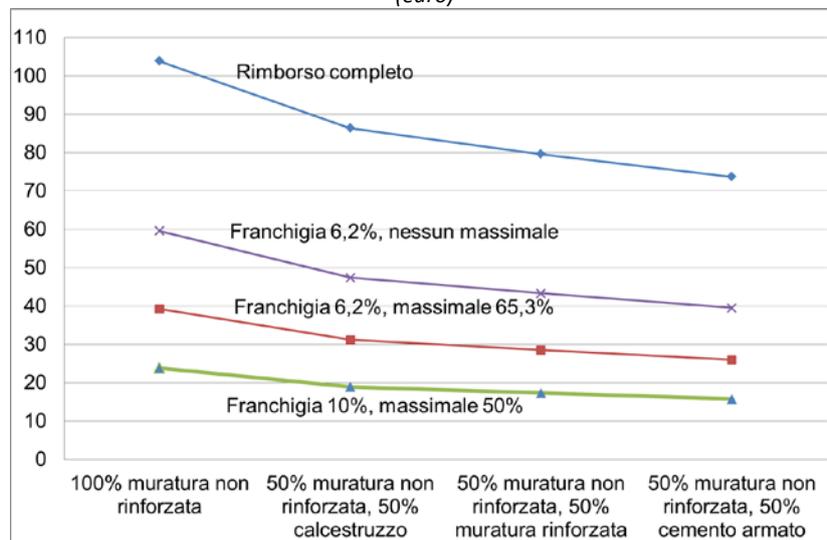


Fonte: elaborazione dei risultati del modello di simulazione RiskLink v16 della RMS.

(a) Comprende Abruzzo e Molise. – (b) Esclusa la Sardegna.

Poiché il valore medio di un'unità abitativa è di quasi 160 mila euro, il premio puro medio per unità abitativa (pari al massimo a 104 euro, fig. 6.4) misura di quanto potrebbe gravare la spesa assicurativa su un nucleo familiare in possesso della sola abitazione di residenza.

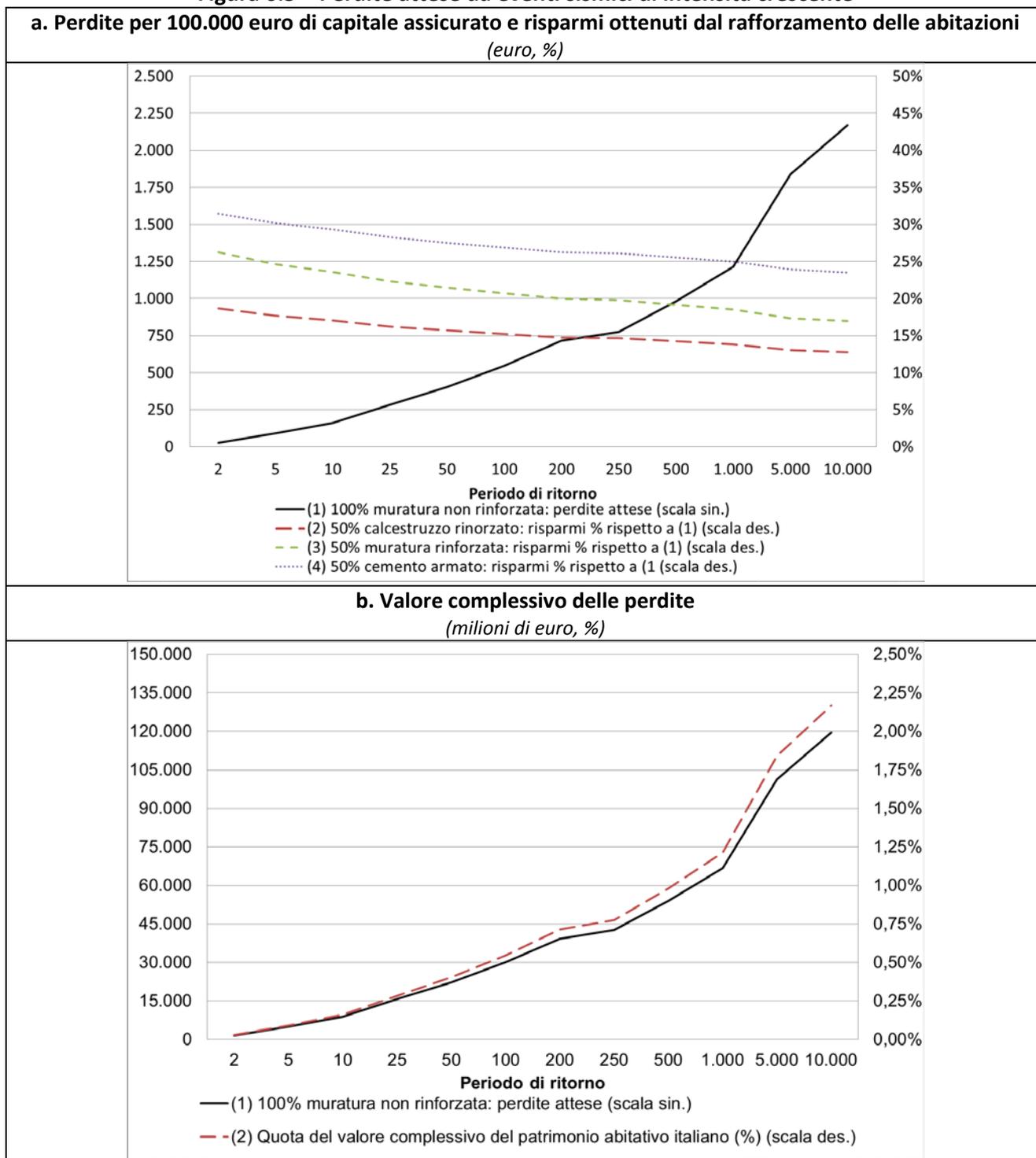
Figura 6.4 – Premio puro per unità abitativa (totale Italia)
(euro)



Fonte: elaborazione dei risultati del modello di simulazione RiskLink v16 della RMS.

È poi possibile valutare il risparmio ottenuto da soluzioni costruttive migliori di quella base, rappresentata da edifici costruiti al 100% da muratura non rinforzata. I risparmi ottenuti varierebbero tra il 17% e il 29%. In accordo con quanto evidenziato per le protezioni contro le alluvioni negli Stati Uniti (Kunreuther and Michel-Kerjan, 2013), i vantaggi di tali soluzioni costruttive resterebbero quasi inalterati per gli eventi sismici di intensità molto elevata (corrispondenti a tempi di ritorno molto lunghi, fig. 6.5.a).

Figura 6.5 – Perdite attese da eventi sismici di intensità crescente



Fonte: elaborazione dei risultati del modello di simulazione RiskLink v16 della RMS.

Il grafico 6.5 si può leggere nel modo che segue.

1. Un terremoto d'intensità medio-alta, che accade mediamente ogni 50 anni, comporta una perdita di 22 miliardi di euro che, ripartita su tutto il patrimonio abitativo, vale 403 euro per ogni 100.000 euro di capitale. In rapporto al valore totale delle abitazioni italiane, pari a 5.510 miliardi di euro, la perdita di 22 miliardi (0,4%, fig. 6.5.b) è, in termini relativi, esigua.
2. Un sisma di intensità molto elevata, che occorre in media ogni 500 anni comporterebbe una perdita di 981 euro per 100.000 euro di capitale, pari nel complesso a 54 miliardi, meno dell'1% del valore totale delle abitazioni.
3. I danni di un sisma distruttivo, che occorre in media ogni 10.000 anni, sono valutati pari a 119 miliardi (2,2% del valore totale): la cifra è molto vicina alla valutazione di 121,6 miliardi (a prezzi 2014) delle perdite complessive degli eventi sismici occorsi in Italia tra il 1968 e il 2012 (vedi par. 4).

Queste percentuali, relativamente esigue in quanto suddivise con piena mutualità su tutto il patrimonio immobiliare, non rendono pienamente l'impatto degli eventi sismici, che manifestano i loro effetti in un'area relativamente esigua dell'Italia, dove alcuni nuclei urbani possono essere integralmente distrutti.

Quante perdite economiche (e soprattutto umane) si eviterebbero in presenza di una migliore resistenza anti-sismica delle abitazioni? Se si combina al 50% la muratura non rinforzata con il cemento armato (la soluzione strutturale più adeguata tra le 4 considerate), il danno medio per 100.000 euro da capitale scenderebbe da 66 a 43 euro (fig. 6.3). Complessivamente si tratta di un risparmio medio di 1,1 miliardi, valutato su tutti i possibili eventi. Ovviamente la media non dà completamente conto della variabilità della grandezza: per terremoti che occorrono in media ogni 10 anni (intensità medio-bassa), il risparmio ammonta a 2,6 miliardi, che sale a 13,8 miliardi (cinque volte tanto) per terremoti che in media accadono ogni 500 anni (molto intensi).

6.3.1.2 La variabilità territoriale del premio puro per 100.000 euro di capitale

I tre modelli di simulazione considerati hanno in comune l'elevata variabilità territoriale dei premi puri e il fatto che quest'ultima possa essere contenuta con l'adozione della stessa tariffa su aree più estese rispetto a quella di partenza (tav. 6.4).

L'elaborazione effettuata con il modello *RMS* mostra che con la classificazione a 2 livelli delle zone CRESTA, i premi medi sono compresi tra un minimo di 15 euro della Puglia (esclusa Foggia) e il massimo di 204 euro dell'Aquila. Con la classificazione aggregata CRESTA ad un unico livello, i premi medi hanno una oscillazione più contenuta (da un minimo di 21 euro per l'area Piemonte-Valle d'Aosta-Liguria ad un massimo di 127 euro per quella formata da Marche, Umbria, Abruzzo e Molise. Infine, considerando le 3 macro aree del Nord, Centro e Sud-Isole, le medie sono contenute nel ristretto intervallo compreso tra 56 e 93 euro. La macro-area maggiormente rischiosa è quella del Centro.

Nel modello *SwissRe* l'area a maggior rischio è quella delle province di Catanzaro e Reggio Calabria. A livello aggregato la macro-area a maggior rischio sismico è quella del Sud e Isole, mentre il modello

IVASS colloca quest'ultima e il Centro a livelli di rischio analoghi, pur con forti divari tra le varie sub-aree che le compongono.

Per tutti i tre modelli considerati, mentre la colonna per la Zona Cresta a 2 livelli ipotizza una tariffazione del rischio estremamente di dettaglio, la seconda e la terza colonna si basano su una tariffazione calcolata su aree geografiche più ampie, con il risultato di contenere il premio a carico dei residenti delle aree a maggior rischio sismico, a costo dell'aumento di quello dei residenti nelle aree meno rischiose. Questa forma di sussidio tra agenti economici esposti a diversi livelli di rischio è nota come "effetto di solidarietà" o effetto mutualistico¹⁸.

Tavola 6.4 – Totale abitazioni italiane^(a)
Premio puro per 100.000 euro di capitale assicurato per il rischio sismico con diversi livelli di
aggregazione territoriale
(euro)

Livello zona	Area geografica	Modello RMS ^{(a)(b)}			Modello SwissRe ^{(a)(b)}			Modello IVASS ^{(a)(c)}		
		Zona CRESTA a 2 livelli ^(c)	Zona CRESTA a 1 livello	Macroaree	Zona CRESTA a 2 livelli ^(c)	Zona CRESTA a 1 livello	Macroaree	Zona CRESTA a 2 livelli ^(c)	Zona CRESTA a 1 livello	Macroaree
1	Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria	17,4	20,6		14,6	14,8		38,7	35,2	
2	Torino	26,0			15,0			29,5		
1	Lombardia, Emilia-Romagna	77,2	71,6		59,1	48,3		62,8	54,5	
2	Milano	25,3			16,3			15,2		
2	Bologna	170,0			90,2			118,8		
1	Veneto, Trentino-A.A., Friuli-V.G.	61,1	65,9		86,4	99,3		71,6	83,2	
2	Udine e Pordenone	97,5			192,6			165,0		
Nord				55,9			51,8	0,0	0,0	56,3
1	Toscana, Lazio	91,5	80,0		45,2	53,0		107,0	98,6	
2	Roma	64,2			63,0			86,9		
1	Marche, Umbria, Abruzzo, Molise	118,5	126,5		83,7	88,8		150,2	160,5	
2	L'Aquila	203,6			147,9			251,8		
Centro				93,5			63,3	0,0	0,0	117,2
1	Puglia	14,5	30,7		57,1	93,1		38,0	57,5	
2	Foggia	130,5						145,7		
1	Campania, Basilicata, Calabria	58,7	62,9		161,2	215,1		144,0	160,4	
2	Napoli	56,6			235,9			122,9		
2	Benevento e Avellino	95,9			243,6			199,1		
2	Potenza	85,7			173,6			185,0		
2	Catanzaro e Reggio Calabria	189,1			281,8			268,0		
1	Sicilia	56,3	80,8		25,7	115,0		76,1	131,7	
2	Messina e Catania	132,6			202,5			217,6		
2	Siracusa e Ragusa	60,0			228,3			135,3		
1	Sardegna ^(d)	---	---		---	---		---	---	
Sud e Isole				61,0			153,9	0,0	0,0	118,6
<i>Range</i> (massimo-minimo)		189	106	38	267	200	102	268	161	62
Coefficiente di variazione		61,9	48,3	29,1	72,2	65,9	62,4	68,0	76,2	36,5
Totale Italia				65,6			78,7			84,8

Fonte: Modelli di simulazione RiskLink v16 della RMS, modello SwissRe e modello IVASS.

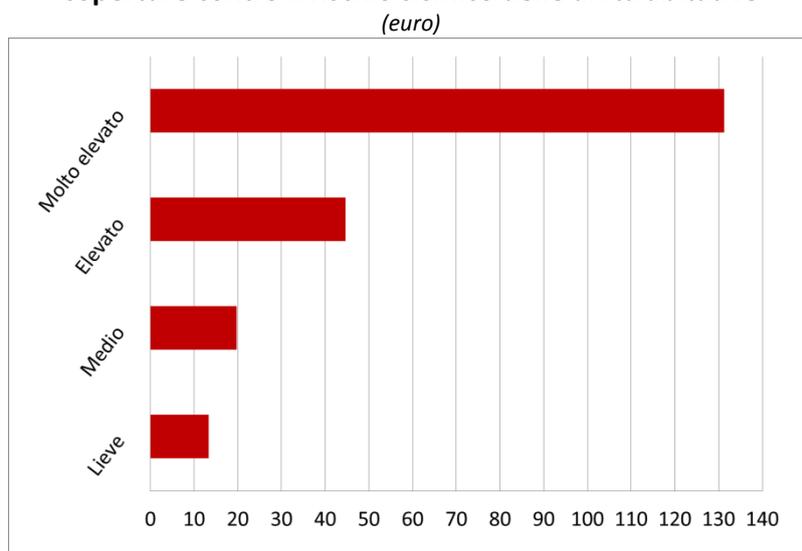
(a) Rimborso completo delle perdite subite. (b) Patrimonio abitativo composto solo da edifici al 100% di muratura non rinforzata. – (c) Patrimonio abitativo di composizione mista secondo i dati rilevati dal censimento Istat 2011. – (c) Le zone CRESTA di primo livello non comprendono quelle di secondo livello. – (d) Valore della Sardegna non considerato perché trascurabile.

¹⁸ Si rinvia all'appendice H per una trattazione formale di questi aspetti.

6.3.1.3 Confronto tra premio simulato e premio effettivo

Dall'indagine dell'IVASS emerge che le imprese assicurative adottano una tariffazione *risk-based* dei premi per le coperture contro il terremoto. Si riscontra infatti una forte crescita del premio effettivo (al netto delle tasse) per 100.000 euro di capitale assicurato all'aumentare del rischio sismico (tra 13 e 131 euro, fig. 6.6).

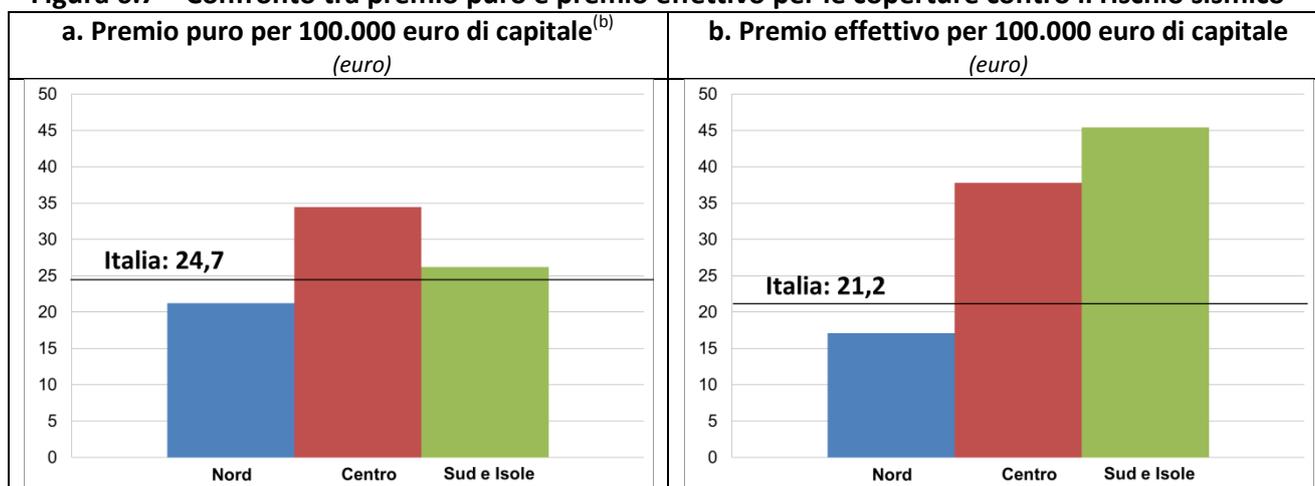
Figura 6.6 – Premio effettivo al netto delle tasse per 100.000 euro di capitale assicurato per le coperture contro il rischio sismico delle unità abitative



Fonte: indagine IVASS.

È anche possibile confrontare i premi puri ottenuti dalla simulazione con quelli effettivi. Limitandosi ai risultati della simulazione *RMS*, consideriamo i premi puri ottenuti con franchigie e massimali medi di mercato (fig. 6.7.a) e paragoniamoli con quelli effettivi (fig. 6.7.b). Occorre tener conto che il premio puro è solo una componente del premio effettivo pagato dall'assicurato, a cui occorre aggiungere i caricamenti per spese e provvigioni, per ottenere il premio di tariffa. Su quest'ultimo, a legislazione vigente, gravano le tasse sul premio, che ammontano al 22,5%.

Figura 6.7 – Confronto tra premio puro e premio effettivo per le coperture contro il rischio sismico^(a)



Fonte: elaborazione dei risultati del modello di simulazione RiskLink v16 della *RMS* per figura 6.7.a, indagine IVASS per figura 6.7.b.

(a) Il centro comprende l'Abruzzo e il Molise. – (b) Valore per la Sardegna non considerato.

Non deve sorprendere che i premi effettivi¹⁹ nel Nord e nel totale siano lievemente inferiori a quelli della simulazione, nonostante che i primi siano dei premi commerciali che tengono conto anche delle spese sostenute dalla compagnia e di un margine di profitto, mentre quelli puri sono basati esclusivamente sul rischio assicurato. Infatti i premi commerciali sono riferiti ad un numero esiguo di unità abitative (268.000, pari a 0,8% del totale), prevalentemente localizzate nelle aree a rischio sismico non elevato, mentre i premi derivati dalla simulazione si basano sull'ipotesi di copertura assicurativa totale delle unità abitative italiane (in totale 34,8 milioni).

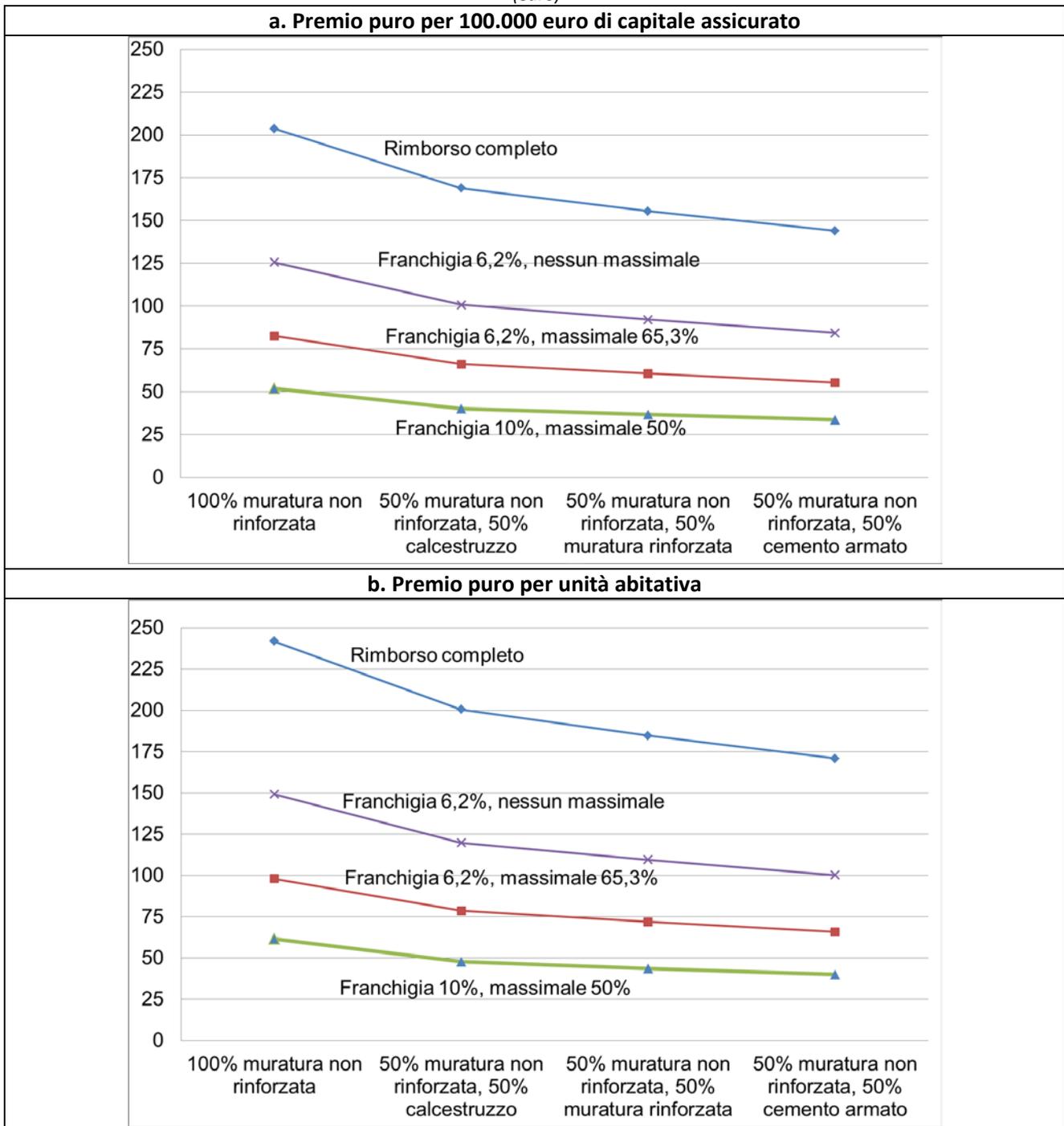
6.3.1.4 Il caso dell'Aquila

La città dell'Aquila e alcune zone della sua provincia sono state colpite nel 2009 da un grave sisma di intensità 6,3 della scala Richter e X° livello della MCS, con 309 morti e danni enormi, che hanno reso necessario un piano di intervento pubblico ventennale (2009-2029) dell'ordine di quasi 14 miliardi di euro. La rilevanza dell'evento giustifica un approfondimento per questa zona, per cui ci si limiterà ad analizzare i risultati della simulazione *RMS*. Secondo quest'ultima, la zona CRESTA della provincia dell'Aquila è in Italia quella a maggiore rischio sismico e quindi con il premio puro stimato più elevato. Nell'ipotesi di abitazioni costruite nel modo meno resistente, una polizza a indennizzo totale richiederebbe un premio di 204 euro per 100 mila euro di valore assicurato (fig. 6.8.a). che diminuirebbe a 126 euro con l'applicazione di una franchigia del 6,2%, scendendo ulteriormente con condizioni di rimborso più restrittive.

Per la singola unità abitativa media, il premio puro ammonterebbe al massimo a 242 euro (fig. 6.8.b).

¹⁹ Se consideriamo il premio puro medio nazionale con massimali e franchigie di mercato, pari a 21,2 euro, applicando un caricamento del 30% si ottiene un premio di tariffa (netto da tasse) di 27,6 euro per ogni 100.000 euro di capitale assicurato.

Figura 6.8 – Abitazioni della provincia dell’Aquila
Premio puro per 100.000 euro di capitale assicurato e per unità abitativa
(euro)



Fonte: elaborazione dei risultati del modello di simulazione RiskLink v16 della RMS.

6.4 La protezione contro il rischio alluvionale

La simulazione per rischio alluvionale ha utilizzato il generatore di scenari alluvionali della RMS. La tecnica utilizzata per produrre i risultati è la stessa del rischio sismico. Viene considerato un unico scenario simulativo, dato che i danni aggregati causati al patrimonio abitativo sono più contenuti di quelli arrecati dagli eventi sismici e pertanto non sono molto variabili con la qualità delle costruzioni (tav. 6.5).

Tavola 6.5 – Totale abitazioni italiane^(a)
Premio puro per 100.000 euro di capitale assicurato per il rischio alluvionale con diversi livelli di
aggregazione territoriale

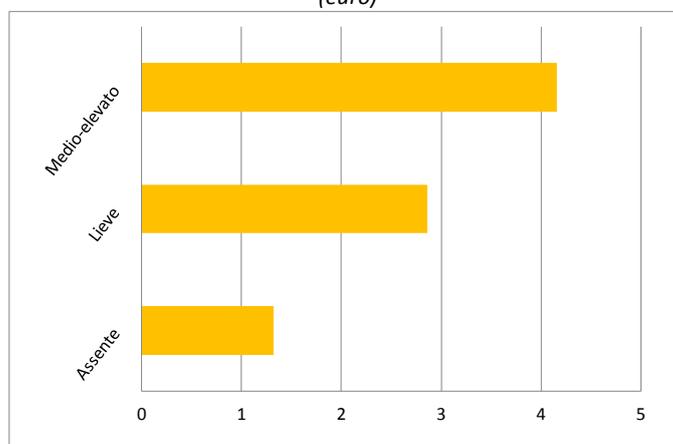
(euro)				
	Area geografica	Zona CRESTA a 2 livelli ^(b)	Zona CRESTA a 1 livello	Macroaree
Livello zona CRESTA				
1	Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria	9,9	7,2	
2	Torino	2,6		
1	Lombardia, Emilia-Romagna	5,0	4,2	
2	Milano	2,0		
2	Bologna	3,4		
1	Veneto, Trentino-A.A., Friuli-V.G.	4,7	4,9	
2	Udine e Pordenone	5,9		
Nord				5,2
1	Toscana, Lazio	8,6	5,6	
2	Roma	1,4		
1	Marche, Umbria, Abruzzo, Molise	3,2	3,2	
2	L'Aquila	3,0		
Centro				4,9
1	Puglia	0,7	0,7	
2	Foggia	0,5		
1	Campania, Basilicata, Calabria	1,0	0,8	
2	Napoli	0,3		
2	Benevento e Avellino	1,7		
2	Potenza	1,1		
2	Catanzaro e Reggio Calabria	0,9		
1	Sicilia	0,3	0,4	
2	Messina e Catania	0,7		
2	Siracusa e Ragusa	0,2		
1	Sardegna	1,5	1,5	
Sud e Isole				0,7
<i>Range</i> (massimo-minimo)		9,7	6,8	0,3
Coefficiente di variazione		100,5	75,5	4,3
Totale Italia				4,0

Fonte: elaborazione dei risultati del modello di simulazione per le alluvioni della RMS.

(a) Ipotesi di rimborso delle perdite subite con massimale e franchigia rispettivamente pari al 73,2% e allo 0,2% del capitale assicurato, stimati dall'indagine IVASS come medie di mercato. (b) CRESTA (Catastrophe Risk Evaluation and Standardizing Target Accumulations) è una ripartizione geografica globale del territorio specifica per i rischi naturali, pensata per l'attività di riassicurazione e di utilizzo comune per la determinazione dei premi e la valutazione di rischiosità dei portafogli assicurativi. Per ciascuna zona CRESTA di primo livello, la stima nella seconda colonna è al netto della zona CRESTA di secondo livello in esso contenuta.

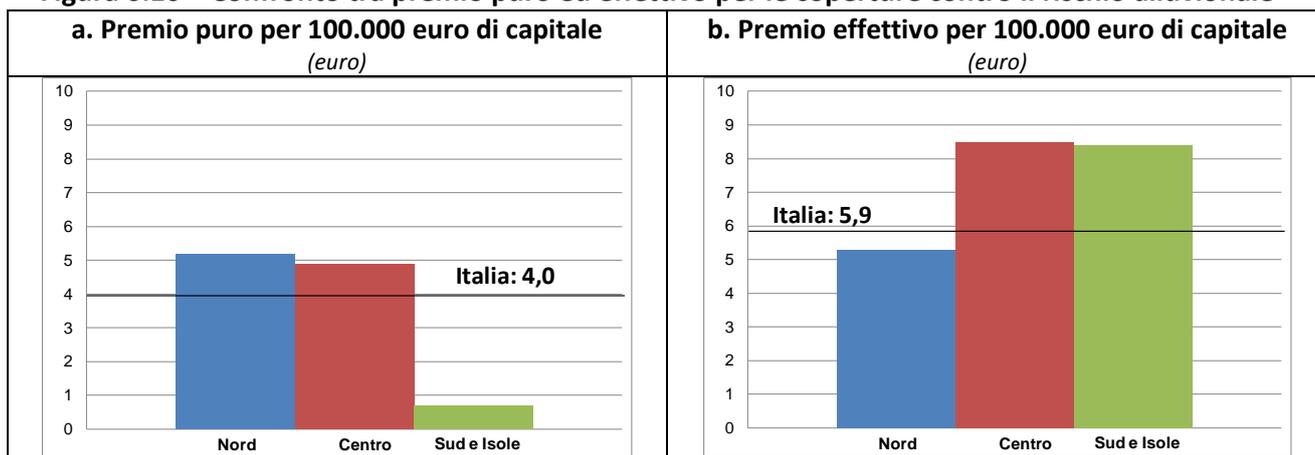
I danni al patrimonio abitativo in caso di alluvione sono inferiori rispetto a quelli in caso di terremoto sia perché un edificio allagato nella grande maggioranza dei casi è ancora utilizzabile in seguito all'evento, dopo i necessari interventi di riparazione, sia perché i danni tendono ad essere limitati ai piani inferiori²⁰. La simulazione ha considerato il caso di risarcimento dei danni con l'applicazione delle franchigie e dei massimali medi praticati dalle compagnie (pari rispettivamente a 0,2% e 73,2%), stimati dall'indagine IVASS. Il premio puro medio da pagare per 100.000 euro di capitale assicurato è estremamente contenuto, pari a soli 4 euro, con punte massime di 8-10 euro per le zone maggiormente soggette a rischio alluvionale e un minimo di meno di un euro per le zone del mezzogiorno meno esposte a questo pericolo²¹. Dall'indagine IVASS emerge che i premi effettivi sono *risk-based* (fig. 6.9) e che in media sono superiori a quelli ottenuti con la simulazione (fig. 6.10.a e 13.b).

Figura 6.9 – Premio effettivo al netto delle tasse per 100.000 euro di capitale assicurato per le coperture contro il rischio alluvionale delle unità abitative
(euro)



Fonte: indagine IVASS.

Figura 6.10 – Confronto tra premio puro ed effettivo per le coperture contro il rischio alluvionale^(a)



Fonte: elaborazione dei risultati del modello di simulazione per le alluvioni della RMS per fig. 6.10.a, indagine IVASS per fig. 6.10.b.

(a) Il centro comprende l'Abruzzo e il Molise.

²⁰ Una parte consistente dei danni delle alluvioni riguarda il contenuto degli edifici. Il presente studio non considera analisi di scenario per stimare il costo di coperture assicurative per questo tipo di rischio, estese a tutte le abitazioni italiane, per la difficoltà di reperire stime affidabili del valore complessivo da assicurare.

²¹ Per gli stessi valori di massimale e franchigia, il modello di simulazione *SwissRe* per il rischio alluvionale ha prodotto valori di *AEL* per tempi di ritorno pari a 100 e 200 anni superiori del 10-15% rispetto a quelli *RMS*.

6.5 La protezione multi-rischio

Come già richiamato nella sotto-sezione 5.1, gli agenti economici esposti a rischi naturali hanno una preferenza ad acquistare protezioni multi-rischio: dal lato della domanda ciò corrisponde a una copertura più ampia mentre dal lato dell'offerta la diversificazione riduce rischi e premi.

Al riguardo, esaminiamo il caso di una protezione di tutte le abitazioni italiane contro i rischi da terremoto e alluvione, sulla base dei risultati finora esposti. Al fine di determinare il premio puro di questo prodotto assicurativo è fondamentale verificare il grado di correlazione tra i due rischi.

Il Dipartimento della protezione civile rende disponibile un database con il livello di rischio sismico dei comuni italiani secondo quattro livelli di rischio (4=molto elevato, 3=elevato, 2=medio, 1=lieve)²².

Per quanto riguarda il rischio alluvionale, l'ISPRA mette a disposizione un database, dove per ogni comune italiano, troviamo dati su popolazione, superficie e su varie categorie di immobili esposti a tre livelli di pericolosità idraulica (alto, medio e basso)²³. Per creare una misura di rischio usiamo gli indicatori di pericolosità per la popolazione. Per il generico comune i sono dati il numero di residenti ai tre livelli di pericolosità, dai quali si può ricavare il numero di residenti esposti a 4 livelli crescenti di rischio: assente ($pop_{i,1}$), basso ($pop_{i,2}$), medio ($pop_{i,3}$) e alto ($pop_{i,4}$). Un indicatore sintetico di rischio alluvionale comunale si ottiene dalla media dei valori $\{1,2,3,4\}$, ciascuno ponderato con la quota di popolazione esposta ai quattro livelli di pericolosità. La media così ottenuta è infine arrotondata al numero intero più vicino. Quest'ultima, indicata come RA_i , si scrive come:

$$RA_i = \left[\sum_{j=1}^4 j pop_{i,j} \right]$$

dove il simbolo $[x]$ indica il numero intero più vicino al numero reale positivo x .

La diversa diffusione territoriale dei due rischi è visualizzata nelle due mappe presentate di seguito (fig. 6.11a e 6.11.b).

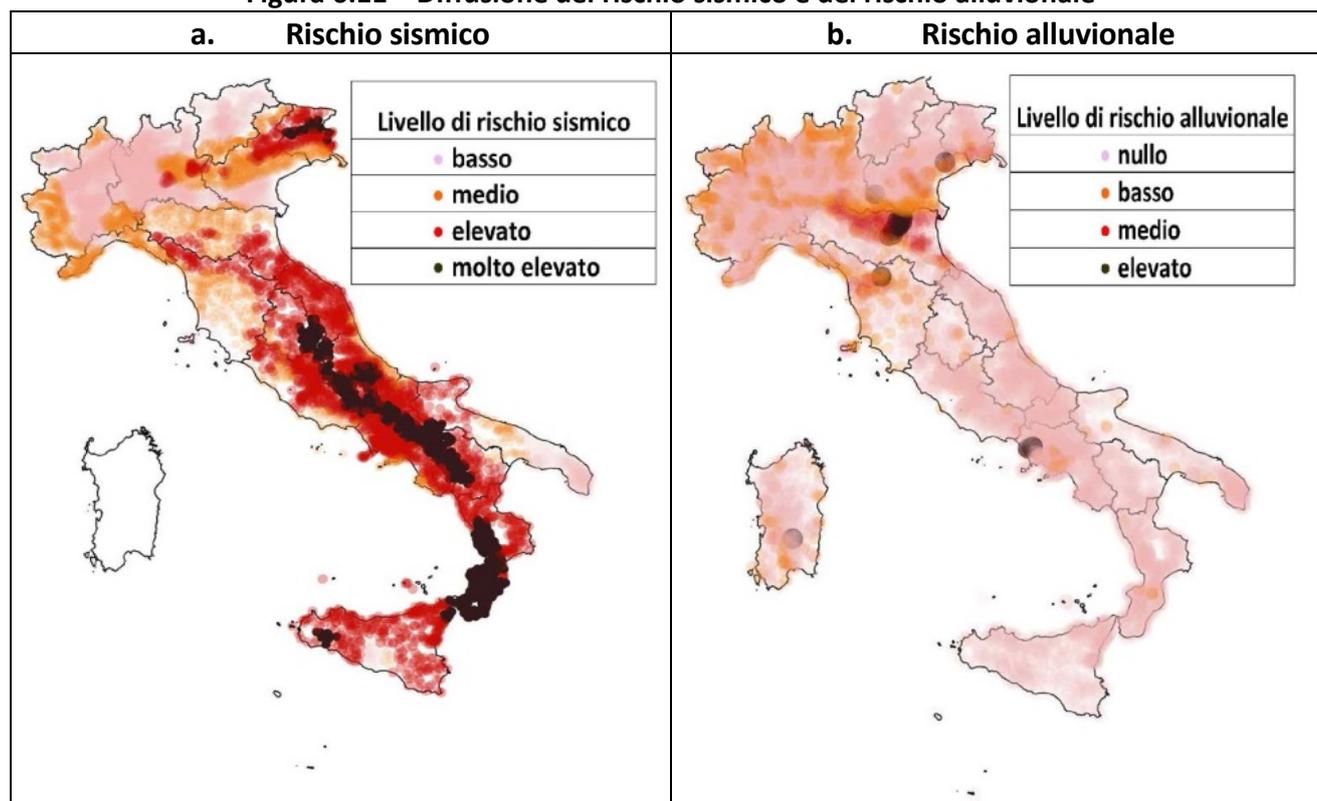
Possiamo misurare la correlazione tra i due indicatori di rischio sismico e alluvionale per i 7.978 comuni italiani esistenti nel 2017 tramite il coefficiente di correlazione lineare e l'indice di Spearman di correlazione tra i ranghi, entrambi variabili tra -1 e $+1$. La correlazione tra i due indicatori è negativa e di dimensioni contenute (la correlazione lineare ammonta a $-0,14$, quella tra i ranghi a $-0,16$, tav. 6.6).

Concludiamo perciò che il premio puro medio di una copertura assicurativa che protegga da entrambi i rischi è approssimato per eccesso dalla somma dei due premi puri medi per le coperture separate (appendice G).

²² <http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Classificazione2015.xlsx>.

²³ http://mappa.italiasicura.gov.it/data/Indicatori_Rischio_Alluvioni_Piattaforma_Italia_Sicura_2016_ISPRA.zip.

Figura 6.11 – Diffusione del rischio sismico e del rischio alluvionale



Fonte: elaborazioni da dati della Protezione Civile per il rischio sismico e ISPRA per quello alluvionale. Sono stati utilizzati dati dell'ENEA per la posizione geografica dei comuni italiani.

Tavola 6.6 – Correlazione tra rischio sismico e alluvionale in Italia

Indicatore di rischio sismico ^(a)		
Media e deviazione standard	2,0579	1,0051
Indicatore di rischio alluvionale ^(b)		
Media e deviazione standard	1,1832	0,4662
Correlazione tra rischio sismico e rischio alluvionale ^(c)		
Coefficiente di correlazione tra i due rischi	-0,1436 ***	
Indice di Spearman della correlazione dei ranghi tra i due rischi	-0,1608 ***	
Numero di osservazioni (numero di comuni italiani al 2017)	7.978	

(a) Fonte: Protezione Civile. – (b) Elaborazione da dati di fonte ISPRA. – (c) ***=p-value inferiore a 0,01; **=p-value compreso tra 0,01 e 0,05, *=p-value compreso tra 0,05 e 0,1.

Una protezione assicurativa per i due maggiori rischi naturali presenti in Italia (quello sismico e quello alluvionale) presenterebbe quindi costi medi dell'ordine di un centinaio di euro per un'abitazione italiana. La tavola 6.7 presenta gli ipotetici premi puri di questa polizza utilizzando i modelli *RMS*. L'ampiezza dell'area geografica riduce la variabilità territoriale dei premi medi per effetto della mutualizzazione dei rischi. L'introduzione di franchigie e massimali può ridurre ulteriormente il livello dei premi.

Tavola 6.7 – Totale abitazioni italiane^(a)
Premio puro per 100.000 euro di capitale assicurato per il rischio sismico e alluvionale con diversi
livelli di aggregazione territoriale

(euro)				
	Area geografica	Zona CRESTA a 2 livelli ^(b)	Zona CRESTA a 1 livello	Macroaree
Livello zona CRESTA				
	Nord			
1	Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria	27,3	27,8	61,1
2	Torino	28,6		
1	Lombardia, Emilia-Romagna	82,2	75,8	
2	Milano	27,3		
2	Bologna	173,4		
1	Veneto, Trentino-A.A., Friuli-V.G.	65,8	70,8	
2	Udine e Pordenone	103,3		
	Centro			
1	Toscana, Lazio	100,1	85,5	98,3
2	Roma	65,6		
1	Marche, Umbria, Abruzzo, Molise	121,7	129,8	
2	L'Aquila	206,6		
	Sud e Isole			
1	Puglia	15,2	31,4	61,7
2	Foggia	131,0		
1	Campania, Basilicata, Calabria	59,8	63,7	
2	Napoli	56,9		
2	Benevento e Avellino	97,6		
2	Potenza	86,8		
2	Catanzaro e Reggio Calabria	189,9		
1	Sicilia	56,5	81,1	
2	Messina e Catania	133,3		
2	Siracusa e Ragusa	60,2		
1	Sardegna ^(c)	1,5	1,5	
	<i>Range (massimo-minimo)</i>	191	102	37
	<i>Coefficiente di variazione</i>	59,8	45,6	33,0
Totale Italia				69,6

Fonte: elaborazione dei risultati dei modelli di simulazione RiskLink v16 per il rischio sismico e di un modello per le alluvioni, entrambi della della RMS.

(a) Per il rischio sismico: patrimonio abitativo composto solo da edifici al 100% di muratura non rinforzata, rimborso completo delle perdite subite. Per rischio alluvionale: rimborso delle perdite subite con massimale e franchigia rispettivamente pari al 73,2% e allo 0,2% del capitale assicurato, stimati dall'indagine IVASS come medie di mercato. (b) CRESTA (Catastrophe Risk Evaluation and Standardizing Target Accumulations) è una ripartizione geografica globale del territorio specifica per i rischi naturali, pensata per l'attività di riassicurazione e di utilizzo comune per la determinazione dei premi e la valutazione di rischiosità dei portafogli assicurativi. Per ciascuna zona CRESTA di primo livello, la stima presente nella seconda colonna è al netto della zona CRESTA di secondo livello in esso contenuta. – (c) Per la Sardegna si considera il solo rischio alluvionale, essendo quello sismico trascurabile.

7 Le scelte per il *policy-maker*

Secondo le linee guida europee (European Commission, 2016) sviluppate all'interno del *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*, tre sono i pilastri fondamentali per un'efficace politica di riduzione dei rischi catastrofici: la comprensione scientifica dei fenomeni, la comunicazione dei rischi e la loro gestione ottimale. Con riferimento a quest'ultima, le quattro fasi della gestione dei rischi catastrofici (*disaster risk management*, DRM) sono individuate in:

- a) mitigazione e prevenzione dei rischi²⁴, per ridurre esposizione e vulnerabilità agli stessi e prevenire che i pericoli naturali (*natural hazards*) non diventino disastri naturali (*natural disasters*), mediante rafforzamenti strutturali, efficacia delle norme tecniche di costruzione, microzonazioni e restrizioni territoriali;
- b) preparazione e pianificazione agli eventi avversi;
- c) risposta efficace sia nell'immediato post-evento sia nel breve-medio periodo;
- d) recupero e ripresa a livello strutturale, economico e sociale²⁵.

Il trasferimento dei rischi, attraverso opportune politiche di assicurazione e cessione, è un'opzione aperta sia per l'operatore pubblico sia per il soggetto privato.

Per entrambi, data la stringenza dei vincoli di bilancio, occorre valutare attentamente il *trade-off* tra riduzione e trasferimento dei rischi, sapendo che la prima è il fattore chiave per la minimizzazione delle perdite umane e il secondo è cruciale per garantire una pronta ripartenza dei territori colpiti²⁶.

Nel caso italiano, i danni dei numerosi eventi calamitosi susseguitisi nel corso degli anni sono stati indennizzati grazie all'intervento pubblico, stante il ricorso estremamente limitato alle coperture assicurative. Il punto di partenza per il nostro paese è quindi la scarsa diffusione della protezione assicurativa delle abitazioni contro i rischi naturali (par. 5.3) e la mancanza di schemi di collaborazione tra operatore pubblico e industria assicurativa, realizzati in molti paesi (par. 5.2) con un'estrema varietà di soluzioni.

Un'estensione della protezione assicurativa delle abitazioni italiane contro i rischi naturali è certamente auspicabile perché diminuirebbe i problemi del bilancio dello stato, continuamente esposto al rischio di spese non previste per interventi *ex-post* di soccorso alle popolazioni colpite da calamità naturali (Poljanšek *et al.* 2017)²⁷.

²⁴ Prevenzione e previsione vanno tenute distinte. In tema di previsione, a partire dal classico lavoro di Marcel Roubault (1970), molto resta ancora da capire. Recentemente, un promettente filone di ricerca ha individuato nella dinamica della composizione chimica delle acque sotterranee un possibile predittore dei movimenti sismici (si veda Barberio *et al.*, 2017).

²⁵ Sul punto, il "modello Friuli", nato dall'esperienza del terremoto del 1976, rappresenta un *benchmark* di efficacia per la ricostruzione, sintetizzabile nei due principi che hanno guidato quell'esperienza: "com'era e dov'era" e "prima le fabbriche, poi le case, poi le chiese".

²⁶ Come è stato osservato, mentre le calamità naturali sono colpa della natura, le vittime umane, oggi, sono colpa dell'uomo.

²⁷ La fiducia degli agenti economici negli interventi dello Stato dopo le calamità naturali non è una caratteristica universalmente diffusa nei paesi democratici, dove i politici sono eletti in elezioni libere e debbono tener conto delle

La simulazione presentata nel lavoro (par. 6) evidenzia che una copertura contro il rischio sismico e alluvionale attiva su tutto il patrimonio abitativo italiano non avrebbe costi eccessivi, in quanto sarebbe in media dell'ordine di un centinaio di euro per unità abitativa, con diminuzioni ottenibili applicando massimali e franchigie che limitino il rimborso all'assicurato in caso di evento (tav. 6.6).

Il meccanismo di solidarietà, che fa sì che i premi delle aree maggiormente a rischio siano finanziati anche dai premi delle aree più sicure, conterrebbe la loro variabilità territoriale. Tale meccanismo avrebbe anche carattere di equità sociale, perché eviterebbe premi eccessivi nelle aree del Sud e della Sicilia a minor reddito pro-capite e più esposte a rischio di terremoti.

Le esperienze internazionali, analizzate da un'estesa letteratura (par. 5), mostrano i vantaggi della cooperazione tra settore pubblico e settore assicurativo, ad esempio affidando al primo la gestione emergenziale e gli interventi sulle infrastrutture e al secondo il finanziamento dei ripristini dell'edilizia privata. Ciò consentirebbe ai rimborsi assicurativi di operare in modo complementare agli interventi pubblici, consentendo l'erogazione del capitale assicurato in tempi rapidi, senza gravare direttamente sulla spesa pubblica. In generale, esistono molteplici soluzioni per la gestione assicurativa delle calamità naturali, con un intervento dell'attore pubblico che può limitarsi alla definizione di regole e al controllo del mercato, ma può anche estendersi alla fornitura di servizi di assicurazione o di riassicurazione veri e propri tramite società a capitale pubblico. Da questo punto di vista sembra interessante l'esperienza svizzera dove i 19 cantoni che hanno adottato uno schema di tipo pubblico mostrano risultati efficienti (von Ungern-Sternberg, 2004). Nessuno degli schemi utilizzati può configurarsi come ottimale in assoluto, in quanto è frutto, in genere, di un determinato contesto economico e istituzionale.

Anche il disegno di dettaglio delle coperture assicurative per le calamità naturali presenta molte possibilità di scelta, nessuna delle quali priva di inconvenienti. Se è vero infatti che le tariffe dei premi proporzionali al rischio attenuano i problemi di selezione avversa e di asimmetria informativa insiti nel rapporto tra impresa di assicurazione e cliente, d'altro canto possono determinare premi eccessivi nelle zone a rischio elevato e richiedere costosi accertamenti dell'esposizione al rischio da parte delle assicurazioni.

Alcune soluzioni intermedie possono attenuare le criticità evidenziate. Ad esempio, l'esperimento di simulazione presentato nel paragrafo 6 mostra come sia possibile, mediante un certo grado di mutualità, differenziare i premi in misura più contenuta rispetto a quanto si farebbe in base al solo rischio, contenendo in questo modo la variabilità della tariffa. Lo stesso paragrafo mostra i notevoli contenimenti in termini di premio realizzabili tramite l'introduzione di franchigie e massimali. Infine, non va trascurato l'azione di contenimento dei premi realizzabile tramite la leva fiscale. Quest'ultima potrebbe agire in modo diretto, con sgravi fiscali sul premio assicurativo pagato²⁸, che ne diminuiscono il costo effettivo, oppure in via indiretta, con agevolazioni fiscali sulla messa in sicurezza

richieste del loro elettorato. Infatti in paesi come Giappone, Germania, Regno Unito, Portogallo, l'intervento pubblico si concentra solo sul ripristino delle infrastrutture ma non comporta il risarcimento dei danni delle abitazioni private (Crichton, 2008).

²⁸ Il legislatore italiano ha recentemente iniziato a utilizzare questa leva. Infatti la legge di bilancio 2018 ha introdotto alcune detrazioni fiscali ai premi per il rischio naturale da terremoto, frane e alluvioni, dato che i contraenti non debbono più pagare l'imposta prevista del 22,5% e possono detrarre l'importo del premio in misura del 19%.

degli edifici, che contribuirebbero ad abbassare il livello di rischio e il relativo premio in caso di tariffe *risk-based*. Un sistema per limitare i premi per i rischi più elevati, particolarmente indicato dove è presente un'industria assicurativa molto sviluppata, è di lasciare al libero mercato la determinazione delle condizioni di offerta per la maggioranza delle coperture, tranne per alcune, per le quali le condizioni di rischio o esigenze di tutela sociale suggeriscono la necessità di correttivi per il contenimento dei premi: il Regno Unito si è dotato di un sistema di questo tipo tramite il consorzio FloodRe²⁹.

Anche le scelte contrapposte della libertà di sottoscrizione delle coperture e della loro obbligatorietà presentano caratteristiche positive e aspetti critici. La libertà di sottoscrizione incoraggerebbe il fenomeno del loro acquisto solo da parte di soggetti più esposti, con problemi di anti-selezione del portafoglio dei rischi. All'estremo opposto, le coperture obbligatorie eviterebbero il problema e offrirebbero il vantaggio di contenere i costi assicurativi individuali e ampliare la popolazione di assicurati, ma potrebbero risultare sgradite ai cittadini, molti dei quali potrebbero percepire il premio come una nuova tassa. Questi inconvenienti possono essere attenuati da soluzioni intermedie. Ad esempio in Francia vige un regime di semi-obbligatorietà delle coperture per i rischi naturali, dato che queste sono un'estensione obbligatoria della polizza incendio, che copre la quasi totalità delle unità abitative francesi. Si tratta di una soluzione adatta ai paesi ad elevata cultura assicurativa, dove esiste una polizza di base molto diffusa, a cui può essere aggiunta una garanzia supplementare contro i rischi naturali. Una scelta analoga per l'Italia comporterebbe l'estensione della copertura contro le calamità naturali soltanto al 35,4% delle unità abitative che risultano coperte da una polizza incendio, peraltro concentrate nelle aree a minor livello di rischio sismico (par. 5.3)³⁰.

La transizione in Italia verso una situazione migliore dell'attuale dal punto di vista della protezione assicurativa delle abitazioni contro le calamità naturali potrebbe attuarsi tramite due percorsi.

Il primo percorso sarebbe graduale, manterrebbe la libertà di scelta individuale e si baserebbe su un'intensa opera di comunicazione pubblica e di educazione assicurativa, oltre che sulle agevolazioni fiscali. Anche il sistema bancario potrebbe avere un ruolo importante, consolidando una prassi già diffusa di offrire la copertura contro le calamità naturali sulle abitazioni gravate da mutuo e educando l'acquirente di un'abitazione a comprendere che queste coperture, collegate a misure di rafforzamento strutturale degli edifici, contribuiscono a conservare nel tempo il valore dell'immobile³¹. Ciò potrebbe aiutare ad orientare le decisioni delle famiglie italiane, data l'elevata diffusione e l'incidenza sulla ricchezza complessiva familiare dell'abitazione di proprietà. Già ora, in molti paesi sia sviluppati sia emergenti, il settore finanziario contribuisce in questo modo ad incentivare la diffusione delle coperture assicurative contro le calamità naturali (Oecd, 2017).

²⁹ Si rinvia all'appendice I per maggiori dettagli.

³⁰ Si consideri anche la difficoltà di prevedere come cambierebbe la propensione degli individui a sottoscrivere una polizza incendio in seguito all'aumento di premio per l'estensione obbligatoria della copertura anche alle calamità naturali.

³¹ L'aumento della collocazione al dettaglio di prodotti assicurativi per i danni da parte degli sportelli bancari potrebbe stimolare l'incentivazione da parte del sistema bancario della diffusione delle protezioni assicurative contro le calamità naturali.

Il secondo percorso ipotizzabile sarebbe più rapido perché si baserebbe sull'obbligatorietà per legge della copertura. In tal caso, una serie di sgravi fiscali, superiori a quelli recentemente adottati dal 2018, dovrebbero essere messi in atto per creare un sufficiente consenso da parte dell'elettorato, accompagnati da un'opera di sensibilizzazione che evidenzia il forte ruolo sociale di questo tipo di coperture³².

Il gradimento da parte degli agenti economici (Crichton, 2008) va verso le coperture che tutelano dai rischi delle maggiori calamità naturali (terremoti e alluvioni), per le quali l'assicurato paga una tariffa che lo copre prima di tutto dal rischio naturale principale del suo territorio e in secondo luogo da altri rischi naturali meno frequenti. Il nostro paese, dove la maggior parte del territorio è interessata da almeno un rischio naturale, presenterebbe caratteristiche adeguate a questo tipo di coperture.

Dal punto di vista dell'assicuratore, il fatto che i due rischi naturali principali che caratterizzano il territorio italiano (terremoti e alluvioni) siano tendenzialmente indipendenti (par. 6.4) crea un forte vantaggio per le polizze multi-rischio.

È da notare che un intervento del legislatore italiano non incontrerebbe vincoli da parte delle normative europee, dato che varie consultazioni hanno sancito che le regole sovranazionali non sono necessarie per il settore, tenuto conto dell'eterogeneità dei rischi ambientali e delle caratteristiche socio-economiche dei paesi europei (Mysiak e Pérez-Blanco, 2016). Da ciò consegue che il livello di coinvolgimento del settore pubblico nell'attività assicurativa per la protezione contro le calamità naturali (ad esempio tramite entità assicurative a parziale o totale partecipazione pubblica) sarebbe una scelta possibile per l'ordinamento nazionale.

L'eventuale estensione della copertura assicurativa contro le calamità naturali renderebbe comunque necessario potenziare il sistema di riassicurazione di questi rischi. In molte esperienze internazionali ciò è avvenuto con il supporto pubblico (appendice I). Tipicamente l'intervento delle finanze pubbliche è limitato ai casi più gravi, diminuendo in questo modo il rischio che il mercato si collochi a un livello sub-ottimale di protezione (Kunreuther e Michel-Kerjan, 2007). Si massimizza in questo modo l'efficacia della collaborazione tra settore pubblico e assicurazioni, dato che il primo utilizzerebbe la sua capacità di mutualizzare i rischi all'interno di tutta la collettività, mentre le assicurazioni si occuperebbero di collocare le polizze, riscuotere i premi e gestire i sinistri, attività che effettuano con elevati rendimenti di scala.

Non va infine trascurato che l'estensione della protezione assicurativa deve procedere di pari passo con le agevolazioni alle opere di rafforzamento e messa in sicurezza degli edifici, presupposto necessario per contenere *ex-ante* il costo dei premi assicurativi e *ex-post* il conto dei danni e delle vittime per calamità naturali³³.

³² L'assicurazione obbligatoria sulle abitazioni risolverebbe il problema della paralisi decisionale nei condomini con diverse posizioni al riguardo da parte dei singoli proprietari.

³³ Alcune misure sono già state adottate dal legislatore italiano (Appendice F). Al riguardo, si veda anche Signorini, 2017b.

Appendici

Appendice A – Modelli probabilistici per eventi estremi³⁴

Caso binomiale

Si consideri una variabile aleatoria (v.a.) **binomiale** B_n che rappresenta “il numero di eventi in n periodi di tempo” ove evento può essere qualunque accadimento opportunamente definito (es. scossa sismica in una data zona di intensità non inferiore a una data soglia).

Tale v.a. è il risultato di n v.a. **bernoulliane** che possono assumere il valore 0 (non evento) o il valore 1 (evento) con probabilità costante $(1-p)$ e p , rispettivamente, in ogni periodo di tempo di lunghezza $\Delta (=1/n)$.

$$X_i = \begin{cases} 0 & 1-p \\ 1 & p \end{cases} \quad i=1, \dots, n$$

Per ipotesi le n v.a. sono indipendenti ed identicamente distribuite (i.i.d.) e si omette di esplicitare la dipendenza p_Δ .

Chiaramente $E(X_i)=p$, $Var(X_i)=p(1-p)$ e si ha:

$$B_n = \sum_{i=1}^n X_i$$

con media e varianza facilmente calcolabili, per la proprietà i.i.d., come:

$$E(B_n) = E\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) = np \quad Var(B_n) = Var\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) = np(1-p)$$

La densità di probabilità (discreta) binomiale è:

$$Prob(B_n = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n$$

ove

$$\binom{n}{k} \equiv \frac{n!}{(n-k)! k!}$$

e per lo sviluppo della potenza di un binomio:

$$\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^k b^{n-k} = (a+b)^n \quad \forall n$$

per cui la somma delle probabilità è unitaria.

Per n grande e $0 < p < 1$ vale l'approssimazione normale:

³⁴ Sui modelli per eventi estremi, un testo di riferimento è Embrechts, *et al.* (2012).

$$\binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi np(1-p)}} e^{-\frac{(k-np)^2}{2np(1-p)}}$$

La probabilità che succedano al più k eventi in n anni è:

$$Prob(B_n \leq k) = \sum_{i=0}^k \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} = (n-k) \binom{n}{k} \int_0^{1-p} t^{n-k-1} (1-t)^k dt \quad k = 0, 1, 2, \dots, n$$

Caso poissoniano

Si consideri il limite per $n \rightarrow \infty$ e Δ e $p_\Delta \rightarrow 0$ in modo che la media np resti costante: $np = \lambda$.

Si noti che i periodi di tempo diventano di lunghezza Δ infinitesima e il loro numero n va a infinito lasciando l'intero periodo, $n\Delta = 1$, costante (unitario). Analogamente va a 0 la probabilità p di un evento in ogni periodo.

La v.a. di interesse P_λ diventa il numero di eventi nell'unità di tempo quando λ è la loro media (v.a. poissoniana).

È facile dimostrare che

$$\binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \xrightarrow{n \rightarrow \infty, p \rightarrow 0} e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}$$

per cui la densità (discreta), detta di Poisson, diventa:

$$Prob(P_\lambda = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

con:

$$\sum_{k=0}^{\infty} e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\lambda^k}{k!} = e^{-\lambda} e^\lambda = 1$$

È facile verificare che la media e la varianza sono pari a λ :

$$E(P_\lambda) = \lambda \quad Var(P_\lambda) = \lambda$$

Si scrive che $P_\lambda \sim \text{Poiss}(\lambda)$.

Vale la proprietà: se $X_i \sim \text{Poiss}(\lambda_i)$, $i=1, \dots, k$ sono v.a. di Poisson indipendenti allora

$$\sum_{i=1}^k X_i \sim \text{Poiss}(\sum_{i=1}^k \lambda_i)$$

Processo stocastico di Poisson a tempo continuo

Il processo di Poisson $N(t)$ omogeneo (i.e. λ costante) rappresenta il numero di eventi tra 0 e t .

Definizione 1. Esso è definito dalle seguenti 3 proprietà:

i) $N(0) = 0$

ii) $N(t)$ ha incrementi (non sovrapposti) indipendenti nel senso che $N(t_2)-N(t_1)$ è indipendente da $N(t_4)-N(t_3)$ per ogni $0 \leq t_1 \leq t_2 \leq t_3 \leq t_4$.

iii) $N(t) \sim \text{Poiss}(\lambda t)$.

Si può dimostrare che $N(t)$ ha incrementi stazionari vale a dire che la distribuzione di $N(t)-N(s)$ dipende solo da $(t-s)$ e in particolare:

$$\text{Prob}(N(t) - N(s) = k) = e^{-\lambda(t-s)} \frac{\lambda^k (t-s)^k}{k!} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Si noti che:

$$\text{Prob}(N(1) > 0) = 1 - \text{Prob}(N(1) = 0) = 1 - e^{-\lambda} \cong \lambda$$

Definizione 2. In una definizione alternativa equivalente (*birth process*) la condizione iii) può essere sostituita da:

iii*) $\text{Prob}(N(t+dt)-N(t)=1) = \lambda dt + o(dt)$ e $\text{Prob}(N(t+dt)-N(t)=0) = 1 - \lambda dt + o(dt)$

Una terza definizione, equivalente alle precedenti, definisce il processo di Poisson a partire dalla distribuzione (della durata) degli intervalli di tempo tra eventi successivi (*interarrival times*).

Sia S_1 il tempo del primo evento, S_2 quello del secondo, ..., S_n il tempo dell' n -esimo evento (con $S_0=0$).

L' n -esimo intervallo (intervallo di arrivo dell' n -esimo evento) è definito da:

$$\tau_n = S_n - S_{n-1} \text{ con } \tau_1 = S_1 \text{ e } S_n = \sum_{k=1}^n \tau_k$$

Definizione 3. Si definisce processo di Poisson $N(t)$ quello in cui:

i) $N(0)=0$

ii**) gli intervalli di arrivo (*interarrival times*) sono i.i.d.

iii**) gli intervalli di arrivo hanno distribuzione esponenziale (negativa) $\tau_i \sim \text{Expo}(\lambda)$ vale a dire:

$$F_{\tau}(t) \equiv \text{Prob}(\tau_i \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

La densità è $f_{\tau}(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ per cui, integrando per parti,

$$E(\tau_i) = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

La durata media degli intervalli tra due eventi successivi è, quindi, $1/\lambda$. Del resto, poiché λ è il numero medio di eventi nell'unità di tempo, $1/\lambda$ rappresenta il tempo di attesa, in media, per ogni evento.

Se la distribuzione della durata degli intervalli è diversa dalla esponenziale si parla di processo *renewal*.

Si noti che $\text{Prob}(\tau > t) = e^{-\lambda t} = \text{Prob}(N(t)=0)$ e $\text{Prob}(\tau \leq t) = 1 - e^{-\lambda t} = \text{Prob}(N(t) \geq 1)$ (probabilità di almeno un evento entro t anni o *exceedance probability in t anni*).

Una proprietà della distribuzione esponenziale è l'assenza di memoria, nel senso che aver già aspettato (o meno) s unità di tempo non cambia la probabilità di aspettare t unità di tempo:

$$Prob(\tau > t + s \mid \tau > s) = \frac{Prob(\tau > t+s, \tau > s)}{Prob(\tau > s)} = \frac{Prob(\tau > t+s)}{Prob(\tau > s)} = \frac{e^{-\lambda(t+s)}}{e^{-\lambda s}} = e^{-\lambda t} = Prob(\tau > t)$$

Si può dimostrare che le tre definizioni sono tra loro equivalenti.

Ad esempio, dalla 1 segue la 2 poiché:

$$Prob(N(dt) = 0) = e^{-\lambda dt} \frac{(\lambda dt)^0}{0!} = e^{-\lambda dt} = 1 - \lambda dt + o(dt)$$

$$Prob(N(dt) = 1) = e^{-\lambda dt} \frac{(\lambda dt)^1}{1!} = \lambda dt e^{-\lambda dt} = \lambda dt(1 - \lambda dt + o(dt)) = \lambda dt + o(dt)$$

Dalla 1 segue la 3 poiché:

$$Prob(\tau_i > t) = Prob(S_i - S_{i-1} > t) = Prob(N(S_{i-1} + t) - N(S_{i-1}) = 0) = e^{-\lambda t} = Expo(\lambda)$$

Dalla 3 segue la 2, poiché:

$$Prob(N(t + dt) - N(t) = 1) = Prob(\tau \leq t + dt \mid \tau > t) = Prob(\tau \leq dt) = 1 - e^{-\lambda dt} = \lambda dt + o(dt)$$

$$Prob(N(t + dt) - N(t) = 0) = Prob(\tau > t + dt \mid \tau > t) = Prob(\tau > dt) = e^{-\lambda dt} = 1 - \lambda dt + o(dt)$$

ove si è sfruttata la proprietà di assenza di memoria della distribuzione esponenziale.

Tempo di attesa di un evento sopra soglia: approccio binomiale

Sia $i=1,2,\dots$ una successione di periodi unitari e X_i $i=1,2,\dots$ una successione di v.a. i.i.d. con distribuzione F (es. X_i = intensità misurata in pga del (peggior) terremoto registrato nel periodo i in una data zona).

La v.a. $I_{\{X_i > u\}}$ è Bernoulliana, con valore 1 se accade l'evento, cioè se X_i eccede una data soglia u (valore 0 in caso contrario) e con probabilità $p(u)=1-F(u)$, detta "exceedance probability nell'unità di tempo". Si noti che al crescere di u , la probabilità $p(u)$ cala.

Per la proprietà di Hoeffding, $E(X) = \int_0^{+\infty} (1 - F(u)) du = \int_0^{+\infty} p(u) du$.

Il tempo del primo evento sopra soglia (tempo della prima eccedenza) è:

$$L(u) = \min(i: X_i > u)$$

con distribuzione di probabilità:

$$Prob(L(u) = k) = (1 - p)^{k-1} p \quad k = 1, 2, \dots$$

Si può dimostrare che $E(L(u))=1/p$. Infatti:

$$E(L(u)) = \sum_{k=1}^{\infty} k(1-p)^{k-1}p = \frac{p}{1-p} \sum_{k=1}^{\infty} k(1-p)^k = \frac{p}{1-p} \frac{1-p}{p^2} = \frac{1}{p}$$

ove la penultima eguaglianza sfrutta la relazione:

$$\frac{1}{q} \sum_{k=1}^n kq^k - \sum_{k=1}^n kq^k = \frac{1-q}{q} \sum_{k=1}^n kq^k = 1 + q + q^2 + \dots + q^{n-1} - nq^n = \frac{1-q^n}{1-q} - nq^n$$

Pertanto $1/p$ è il tempo medio di accadimento (attesa media o tempo di ritorno) della prima eccedenza.

Si noti che se $u \rightarrow \infty$, $p \rightarrow 0$ (al crescere dell'intensità, la probabilità cala) e l'attesa media $E(L(u)) \rightarrow \infty$.

La probabilità di un'eccedenza entro il periodo k è:

$$\begin{aligned} \text{Prob}(L(u) \leq k) &= \sum_{i=1}^k p(1-p)^{i-1} = \frac{p}{1-p} \sum_{i=1}^k (1-p)^i = \frac{p}{1-p} \frac{1-p}{p} (1 - (1-p)^k) \\ &= 1 - (1-p)^k \end{aligned}$$

ove si è utilizzato il risultato:

$$\sum_{i=1}^k q^i = \sum_{i=0}^{\infty} q^i - 1 - \sum_{i=i+1}^{\infty} q^i = \frac{q(1-q^k)}{1-q}$$

Si noti che la probabilità che il tempo della prima eccedenza sia non superiore alla (parte intera della) media è:

$$\text{Prob}\left(L(u) \leq \left\lfloor \frac{1}{p} \right\rfloor\right) = 1 - (1-p)^{\left\lfloor \frac{1}{p} \right\rfloor} > 0.5$$

Pertanto, l'attesa media $1/p$ è maggiore della mediana e la distribuzione del tempo di attesa è asimmetrica verso destra.

La probabilità di un evento sopra soglia u entro n anni è $\text{Prob}(L(u) \leq n) = \alpha = 1 - (1-p)^n$ (c.d. *exceedance probability* in n anni). Pertanto:

$$p(u) = 1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{n}}$$

Ad esempio, per $n=50$ anni e $\alpha=10\%$ si ha:

$$p(u) = 1 - (1 - 0.1)^{\frac{1}{50}} = 0.002105$$

$$\frac{1}{p} = E(L(u)) = 475$$

La soglia $u^*(50,10\%)$ individua gli eventi con attesa media di 475 anni. Se è nota la distribuzione F si ricava $u=F^{-1}(1-p)$ ovvero $u^*=F^{-1}(1-0,002105)$, essendo F^{-1} l'inversa (generalizzata) di F . In altre parole u^* è il $(1-p)$ -quantile della distribuzione F dell'intensità.

Viceversa, se tra due successivi eventi di intensità u^* risulta un intervallo di n anni allora, assumendo la media pari a n , $E(L(u^*))=n$, si ha $p=1/n$ e u^* rappresenta il $(1-1/n)$ -quantile della distribuzione (empirica) F dell'intensità.

Tempo di attesa di un evento sopra soglia: approccio poissoniano

Sia $\lambda(u)$ il numero medio di eventi di magnitudo $>u$ nell'unità di tempo. Ovviamente $\lambda(u)$ cala al crescere di u .

Per ipotesi, il numero di eventi tra 0 e t è un processo di Poisson $N(t) \sim \text{Poiss}(\lambda(u)t)$ e, come già visto, gli intervalli di arrivo hanno distribuzione esponenziale negativa con media $1/\lambda(u)$.

La probabilità di (almeno) un evento sopra soglia u entro n anni (*exceedance probability in n anni*) è:

$$\text{Prob}(N(t+n)-N(t) \geq 1) = \alpha = 1 - e^{-\lambda(u)n}$$

Pertanto:

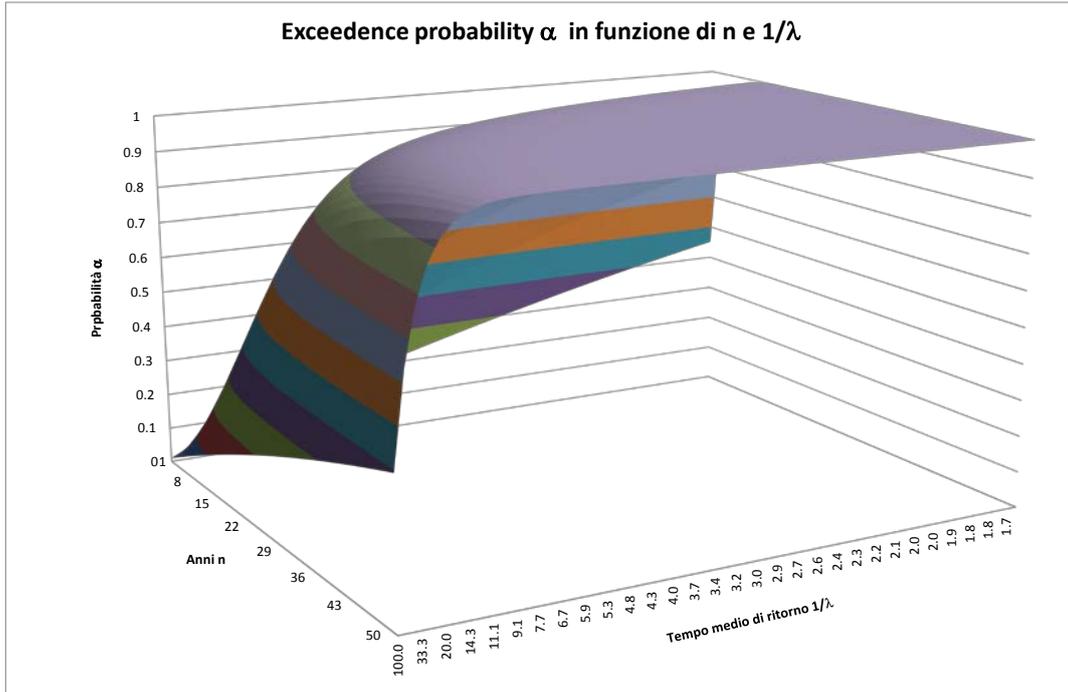
$$\lambda(u) = -\frac{\ln(1 - \alpha)}{n}$$

Ad esempio, per $n=50$ anni e $\alpha=10\%$ si ha $\lambda(u)=0.002107$ e $E(\tau)=1/\lambda(u)=475$ anni; per $n=50$ anni e $\alpha=50\%$ si ha $\lambda(u)=0.01386$ e $E(\tau)=1/\lambda(u)=72$ anni; per $n=10$ e $\alpha=10\%$ si ha $\lambda(u)=0,010536$ e $E(\tau)=1/\lambda(u)=95$ anni.

La probabilità α cresce con n e con λ e quindi cala al crescere di $1/\lambda$, cioè col tempo medio di ritorno. Eventi rari hanno intensità alta (u elevato), λ piccolo e tempo medio di ritorno $1/\lambda$ alto. La loro probabilità è tanto più bassa quanto più basso è l'orizzonte temporale n (fig. A.1).

Si noti che il legame tra i due approcci (binomiale e poissoniano) è $p = 1 - e^{-\lambda} \approx \lambda$.

Figura A.1 – Exceedance probability α in funzione di n e $1/\lambda$



Appendice B – La scomposizione del rischio sismico

Definizione di rischio sismico - Si definisce **rischio sismico** (in generale: rischio da catastrofe naturale) la probabilità che, a causa di un evento sismico, nel corso di un dato periodo temporale, un dato sistema (area geografica, centro urbano, edificio, unità abitativa etc.) subisca danni in termini di perdite umane e/o materiali.

Il rischio sismico è scomponibile in tre fattori: pericolosità (*hazard*), esposizione e vulnerabilità (Poljanšek *et al.*, 2017, cap. 2).

Analisi della pericolosità (*hazard*) del rischio sismico

Utilizziamo i seguenti simboli:

T =intervallo di tempo di interesse

H =massima intensità sismica che si verifica nella zona data (variabile aleatoria con valori $h_g, g=1, \dots, k$)

$$p(h_g) = \Pr\{\text{un evento di intensità} = h_g \text{ in } T\}$$

In base a osservazioni storiche, è definita una distribuzione discreta:

$$\{p(h_g); g = 1, 2, \dots, k, ; \sum_{g=1}^k p(h_g) = 1\}^{35}$$

che rappresenta la distribuzione di probabilità, nell'intervallo T , di un evento di intensità h_g nella zona considerata.

Simulando migliaia di eventi, si calcolano frequenza e intensità riscontrate in una data zona mediante modelli di propagazione/attenuazione dal centro alla periferia dell'evento, tenendo conto anche delle condizioni geomorfologiche dei territori.

Analisi della esposizione

Gli *asset* a rischio in una data zona sono ottenuti da informazioni economico-sociali e demografiche.

In generale, un sisma di entità H causa un danno D al sistema (anch'esso una variabile aleatoria). Se classifichiamo il tipo di danno D usando un numero finito n di classi, per ogni h_g è definita una distribuzione discreta dei possibili danni tramite le probabilità condizionate:

$$\{p(d_i|h_g), i = 1, 2, \dots, n \quad \sum_{i=1}^n p(d_i|h_g) = 1; g = 1, 2, \dots, k\}$$

inseribili in una **matrice di esposizione**, formata da n righe (danni) e k colonne (pericolosità).

Una proprietà di questa matrice è che la somma degli elementi di ogni colonna è pari a 1 e la somma di tutti gli elementi è pari a k (numero delle intensità di sisma considerate).

Tramite le probabilità condizionate si ottiene:

³⁵ Si utilizza $k=7$ se si misura l'intensità del sisma con la Scala Mercalli-Cancani-Sieberg (appendice C). In tal caso, $g=1$ corrisponde ai primi cinque gradi della scala (sisma privo di conseguenze strutturali sugli edifici), $g=2$ è associato al VI grado, $g=3$ al VII, ..., $g=7$ all'XI° e XII°.

$$p(d_i) = \sum_{g=1}^k p(d_i|h_g)p(h_g); \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad \sum_{i=1}^n p(d_i) = 1$$

Analisi della vulnerabilità

Per ogni *asset* a rischio, una funzione di vulnerabilità trasforma l'intensità dell'*hazard* nel rapporto tra costo di riparazione e costo di sostituzione e questo nel valore della perdita *L*.

In particolare, ogni danno aleatorio *D* corrisponde a una perdita *L* (anch'essa una variabile aleatoria). Le perdite sono misurabili o in termini monetari o di vite umane. Come per *D*, anche *L* è classificabile in un numero finito *m* di classi (ad esempio una classe può rappresentare le perdite monetarie comprese tra 10 e 50 milioni di euro, oppure un numero di vittime umane compreso tra 10 e 50).

Applicando le probabilità composte, ricaviamo la probabilità del danno *l_j* come:

$$p(l_j) = \sum_{h=1}^n p(l_j|d_i)p(d_i) = \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^k p(l_j|d_i)p(d_i|h_g)p(h_g) \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^m p(l_j|d_i) = 1; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

È definibile una **matrice di vulnerabilità** di *m* righe (perdite) e *n* colonne (danni), formata dalle probabilità condizionate:

$$\{ p(l_j|d_i), \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad i = 1, 2, \dots, n \}$$

Una proprietà di questa matrice è che la somma degli elementi di ogni colonna è pari a 1 e la somma di tutti gli elementi è pari a *n* (numero dei tipi di danno considerati).

Ovviamente risulta per costruzione:

$$\sum_{j=1}^m p(l_j) = 1$$

ove *p(l_j)* è definito **rischio sismico (R)**, da contenersi al di sotto di un limite accettabile.

Rappresentazione sintetica del rischio sismico

In termini intuitivi si scrive:

$$R=H \times D \times L$$

L'espressione indica sinteticamente che il rischio sismico deriva dalla composizione di pericolosità (*H*), esposizione (*D*) e vulnerabilità (*L*) e che quindi può essere contenuto agendo separatamente sui tre fattori (Crichton, 2008).

Riduzione della pericolosità H. È la più difficile e costosa da realizzare, ad esempio tramite opere di consolidamento del suolo o mediante l'abbandono delle zone più pericolose a vantaggio di quelle più sicure.

Riduzione dell'esposizione D. Realizzabile ad esempio tramite cambi di destinazione d'uso degli edifici o declassamenti. Comporta in genere la rinuncia all'utilizzo originario dell'edificio.

Riduzione della vulnerabilità L. Realizzabile ad esempio tramite adeguamenti anti-sismici degli edifici. È raccomandabile nelle nuove costruzioni, mentre può essere difficile e costosa per quelle già esistenti.

Appendice C – I principali indicatori della portata di un evento sismico

Valutazioni dell'intensità macrosismica

La prima misurazione utilizzata degli eventi sismici è stata una valutazione empirica globale dei danni su popolazioni e edifici tramite una scala ordinale, nota come Scala Mercalli (1908), con undici livelli crescenti, indicati da I a XI. La scala oggi più in uso è quella a dodici livelli crescenti (indicati da I a XII) modificata da Cancani e Sieberg (indicata con la sigla *MCS* in Europa). Una versione molto simile viene utilizzata nei paesi di lingua inglese e viene indicata con la sigla *MMI* (*Modified Mercalli Intensity*). Una caratteristica di questa scala è che può misurare lo stesso terremoto in modo differente, al variare della posizione dei centri abitati colpiti.

Valutazioni locali della Magnitudo

La seconda misura in ordine temporale, sviluppata nel 1935 da C. Richter, è la Magnitudo Richter (ML o Magnitudo Locale), misurazione strumentale, in valori logaritmici a base 10, dell'ampiezza delle onde orizzontali generate dal sisma (un punto di magnitudo in più significa onde sismiche 10 volte più ampie³⁶). Una modificazione di questa misura, introdotta da Kanamori negli anni '70, è la misurazione Magnitudo Momento (Mw o *Mechanical work*), che tiene conto anche delle aree di faglia, nonché della dislocazione e della resilienza del terreno.

Valutazioni locali dello scuotimento del terreno

Successivamente sono state introdotte delle misurazioni relative allo scuotimento del terreno in differenti microzone. La misura più utilizzata è l'accelerazione orizzontale di picco (*peak ground acceleration*, PGA), a cui spesso è affiancata la velocità orizzontale di picco (*peak ground velocity*, PGV). La PGA si misura in frazioni di g (accelerazione di gravità, pari a 9,81 metri al secondo per secondo, m/s²), mentre la PGV si misura in metri al secondo). Le due misure sono tra loro fortemente correlate, ma entrambe possono essere debolmente correlate con le misurazioni di intensità macrosismica.

Per ogni evento sismico, nel giro di qualche ora l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) rende disponibili delle *ShakeMap*³⁷. Si tratta di una collezione di informazioni che comprende la misura della ML, una cartina con l'intensità macrosismica misurata in *MCS/MMI* e un database con le misurazioni della PGA e della PGV per tutti i punti della griglia di rilevazione INGV. Per ogni punto si riporta anche il corrispondente valore della *MCS/MMI*, ottenuto da un modello che sarà descritto in appendice E.

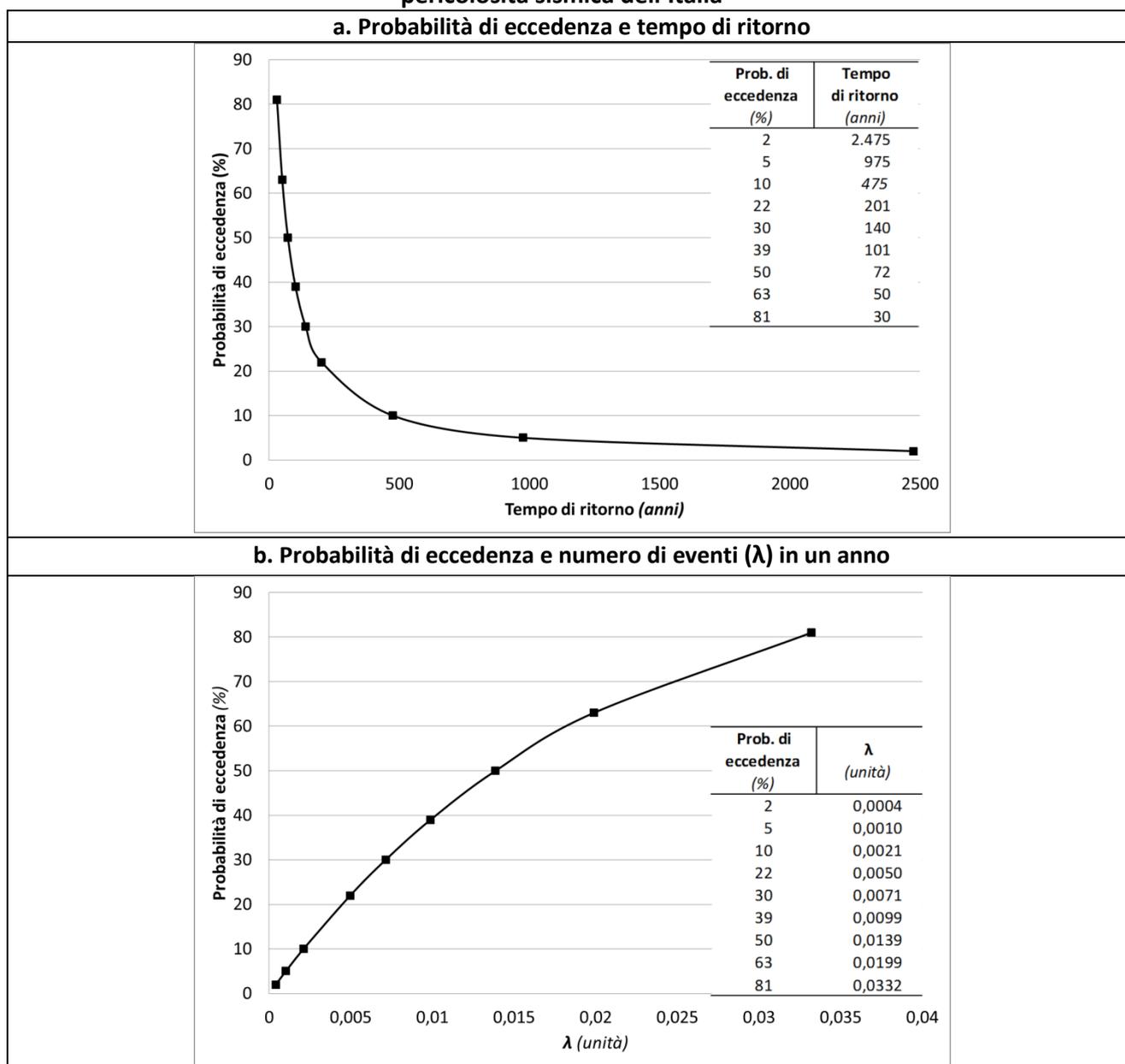
³⁶ In termini di energia rilasciata, un punto di magnitudo Richter in più accresce l'energia di $10^{3/2} = 31.6$ volte; due punti in più di $10^3 = 1000$ volte. Un aumento di 0.3 Richter raddoppia l'energia rilasciata. Si noti che una magnitudo 6 sprigiona un'energia pari a 15 mila tonnellate di tritolo, equivalenti alla potenza della bomba atomica esplosa su Hiroshima.

³⁷ Disponibili all'indirizzo: <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/archive/>.

Appendice D – Le carte di pericolosità sismica dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

L’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) suddivide il territorio dell’Italia in zone di *hazard* uniforme, tramite la creazione di una griglia di passo costante 0,02 gradi di longitudine e latitudine, ottenuta con 16.852 punti. L’evento sismico è stimato localmente in termini di *PGA* (appendice C). Sono definite 9 probabilità di superamento in 50 anni, con i corrispondenti tempi di ritorno e il corrispondente numero medio di eventi (λ) in un anno (appendice A e fig. D.1).

Figura D.1 – Probabilità di eccedenza in 50 anni e tempo di ritorno utilizzati per le carte di pericolosità sismica dell’Italia³⁸



La relazione di riferimento è $\lambda_{50} = -\frac{\ln(1-\alpha_{50})}{50}$

³⁸ I tempi di ritorno associati alle probabilità di superamento del 2% e 5% sono in genere arrotondati a 2.500 e 1.000 anni.

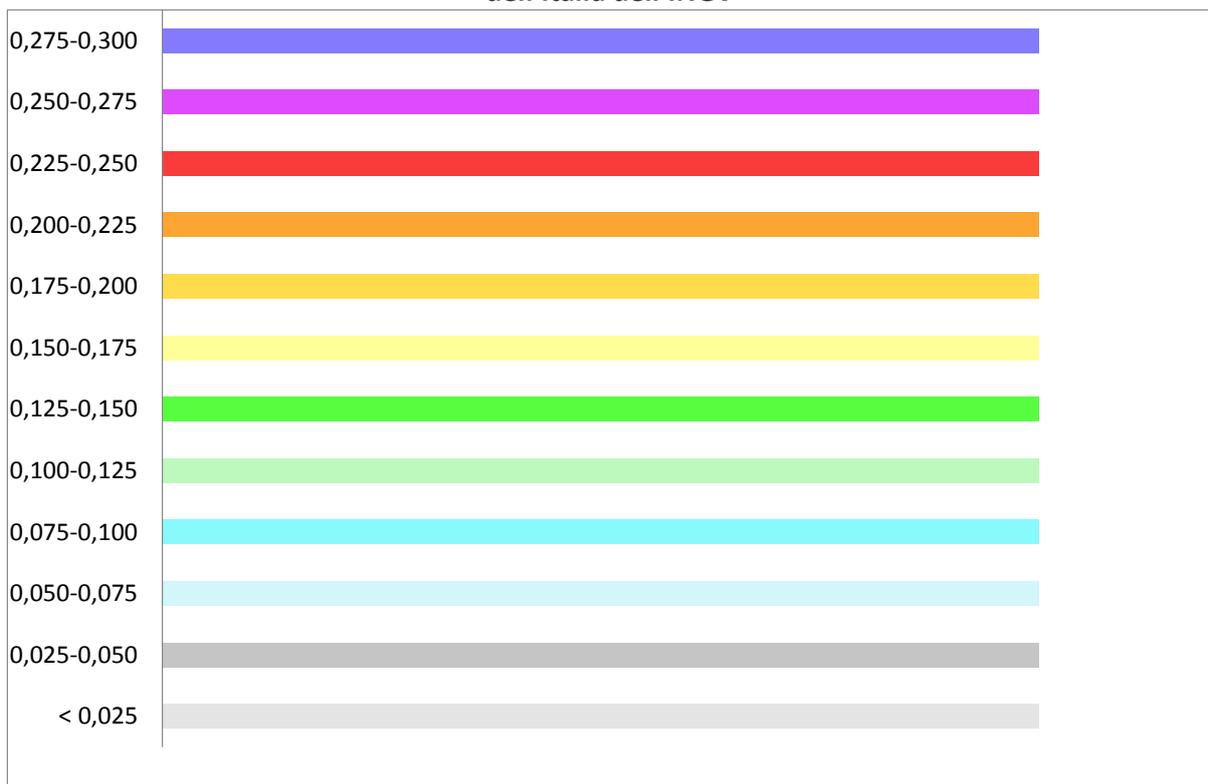
Per ogni punto della griglia territoriale e per ogni probabilità di superamento in 50 anni sono stimati 16 valori della distribuzione dei PGA e individuati 3 percentili: 16°, 50° (mediana), 84°. In questo modo si rappresenta l'incertezza dell'indicatore di rischio, fornendo, dal punto di vista dell'*hazard*, una valutazione ottimistica (16° percentile), centrale (mediana) e pessimistica (84° percentile).

Indicando per ogni zona z e anno t con $I_{PGA_{z,t} > K}$ una variabile *dummy* (che assume valore 1 se si verifica l'evento $PGA_{z,t} > K$, 0 altrimenti), si ottiene un valore di PGA di zona che esprime l'*hazard* della zona (es. al 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni):

$$PGA_{z,50,10\%} = \max \left(PGA_z : \text{Prob} \left(\left[\sum_{t=1}^{50} I_{PGA_{z,t} > PGA_z} \right] \geq 1 \right) = 10\% \right) \quad [D.1]$$

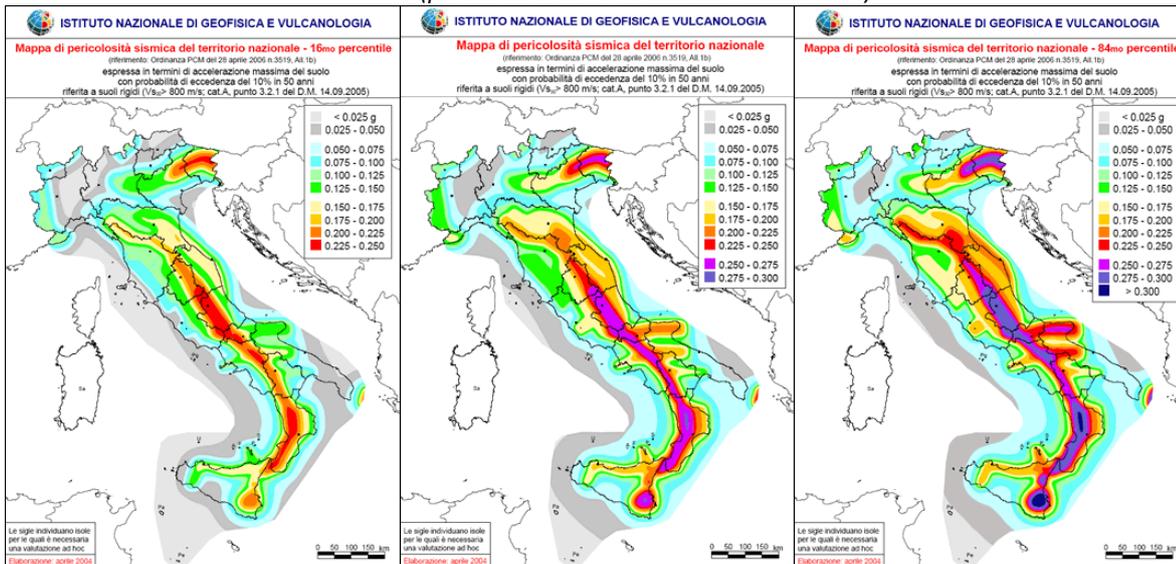
Ai fini della rappresentazione cartografica della formula D.1, la PGA viene discretizzata in 12 classi, ad ognuna delle quali si associa una colorazione di intensità crescente al crescere della PGA stessa (fig. D.2).

Figura D.2 – Classificazione della PGA e scala cromatica utilizzate per le carte di pericolosità sismica dell'Italia dell'INGV



Per la probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, l'INGV rende disponibili 3 mappe di rischio, relative ai 3 percentili prefissati (fig. D.3).

**Figura D.3 – Mappe di pericolosità sismica dell'INGV dell'Italia al 16°, 50° e 84° percentile
(probabilità di eccedenza in 50 anni: 10%)**



Per la probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, l'INGV rende disponibili 3 mappe di rischio, relative ai 3 percentili prefissati (fig. D.3).

Si noti che una rappresentazione alternativa a quella INGV si ottiene fissando una data $PGA = \bar{g}$ e ricavando la probabilità di eccedenza della zona in 50 anni:

$$\alpha_{z,50,\bar{g}} = Prob \left(\left[\sum_{t=1}^{50} I_{PGA_z,t} > \bar{g} \right] \geq 1 \right) \quad [D.2]$$

La successiva appendice E illustrerà il metodo adottato in questo lavoro per stimare le probabilità $\alpha_{z,50,\bar{g}}$, in generale, $\alpha_{z,n,\bar{g}}$.

Da un punto di vista legislativo, a partire dall'Ordinanza PCM n. 3274 del 20 marzo 2003 (v. Appendice F), sono state definite 4 zone sismiche (macroclassi) così specificate (fig. D.4):

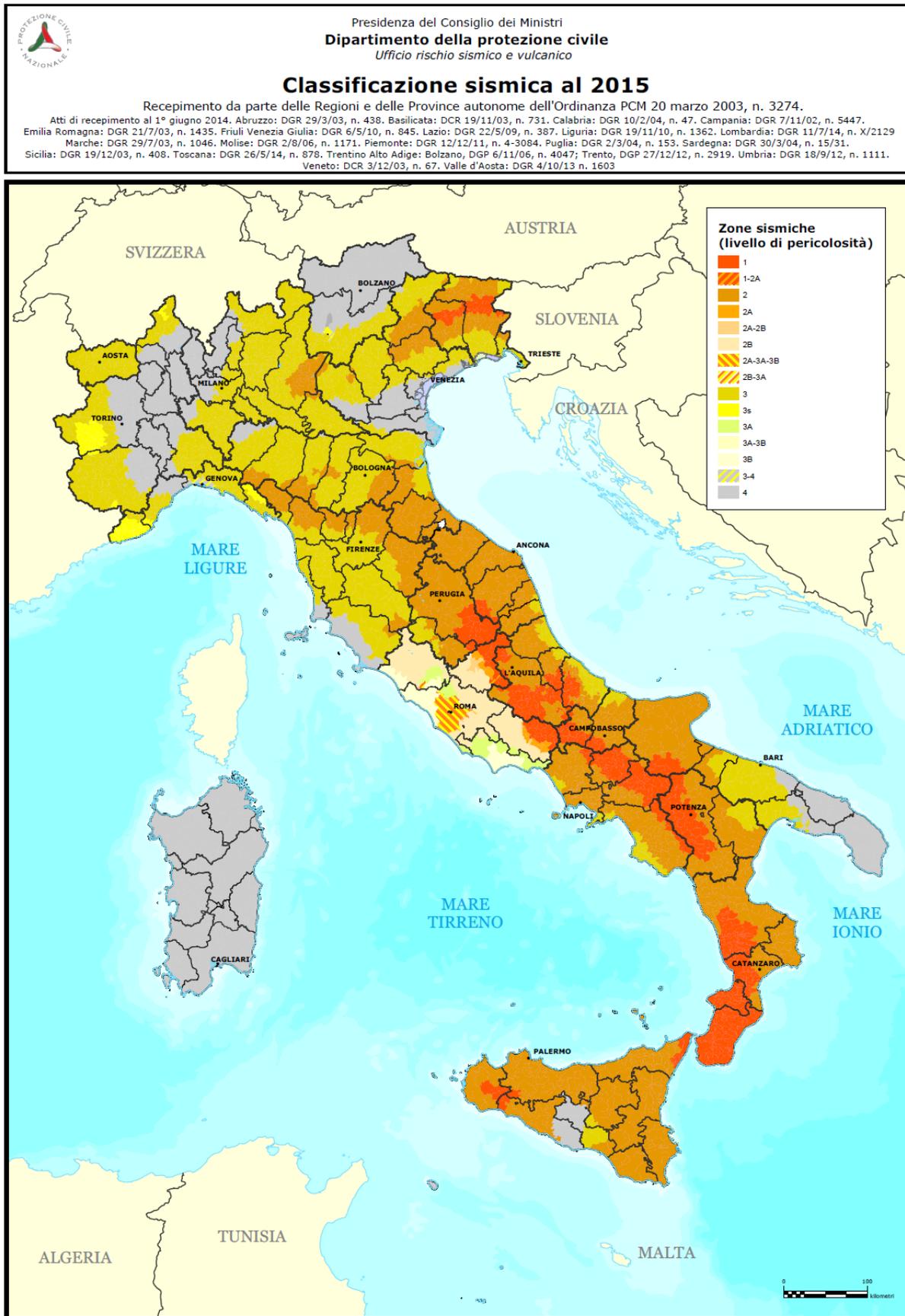
zona 4: 10% di probabilità di superamento in 50 anni di una $PGA \leq 0,05g$;

zona 3: 10% di probabilità di superamento in 50 anni di una PGA contenuta in $0,05g < PGA \leq 0,15g$;

zona 2: 10% di probabilità di superamento in 50 anni di una PGA contenuta in $0,15g < PGA \leq 0,25g$;

zona 1: 10% di probabilità di superamento in 50 anni di una $PGA > 0,25g$.

Figura D.4 – Zone sismiche secondo l'Ordinanza PCM



FB 2015 ..

In ingegneria strutturale, la probabilità di eccedenza è connessa ai cosiddetti stati-limite di un edificio: per ogni costruzione si calcola il periodo di riferimento n come prodotto tra durata normale e coefficiente d'uso. Quindi si determinano gli stati-limite in funzione delle probabilità di eccedenza: $\alpha=81\%$ stato limite di esercizio-operatività, SLO (la costruzione non subisce danni e interruzioni d'uso significativi); $\alpha=63\%$ stato limite di esercizio-danno, SLD (la costruzione subisce interruzioni d'uso ma non danni tali da compromettere la resistenza ad azioni verticali e orizzontali); $\alpha=10\%$ stato limite ultimo di salvaguardia della vita, SLV (la costruzione subisce rotture e crolli non strutturali conservando un margine di rigidità verticale e di sicurezza); $\alpha=5\%$ stato limite ultimo di collasso, SLC (la costruzione conserva un margine di sicurezza per azioni verticali ma è al limite del collasso per azioni orizzontali)³⁹.

³⁹ Si veda anche la definizione di indici di rischio (di collasso e di inagibilità) introdotta nell'Ordinanza della PCM n. 3362 dell'8.7.2004 e ripresa nel Decreto MIT n. 58 del 28.2.2017 come modificato dal Decreto MIT n. 65 del 7.3.2017 (cfr. Appendice F).

Appendice E – Metodo di stima della probabilità di eventi sismici di intensità assegnata

Descriviamo un metodo per derivare la probabilità di avere, in un tempo di ritorno n qualsiasi, almeno un evento sismico di intensità superiore o uguale a una assegnata intensità, fissando $MCS = \overline{MCS}$, partendo dalle misurazioni in PGA rese disponibili dall'INGV (appendice D).

Applichiamo a tal fine il modello utilizzato dall'INGV per derivare la MCS a partire dalle misurazioni di un evento sismico in termini di PGA e PGV (Faenza e Michelini, 2010).

Dapprima stimiamo la PGV in funzione di PGA. Il legame lineare tra PGA e PGV è stimato tramite un semplice modello OLS su una collezione di eventi sismici succedutisi dal 2009 al 2017, per i quali sono disponibili entrambe le misurazioni. I dati sono tratti dalle *ShakeMap* disponibili sul sito dell'INGV⁴⁰. Gli eventi utilizzati includono tutti i maggiori sismi succedutisi dal 2009 alla fine del 2017 ed alcune scosse minori, inserite per aumentare la variabilità degli episodi modellati e attenuare la possibile influenza dei sismi più forti sulla relazione da stimare.

Il modello ha la seguente struttura:

$$\log(PGV_k) = \gamma_0 + \gamma_1 \log(PGA_k) + \varepsilon_k \quad [E. 1]$$

ed è stimato su 907.515 osservazioni. Le due grandezze fisiche sono tra loro fortemente correlate, come mostra l'elevato valore dello *r-square* del modello (0,9291) e il valore stimato del coefficiente γ_1 prossimo all'unità (0,9956). L'intercetta γ_0 stimata è pari a -0,2550.

Viene poi calcolato un fattore di correzione c , dato dal rapporto tra la media delle PGV e la media dell'esponenziale dei *predicted* del modello (si indica con n il numero totale delle osservazioni):

$$c = \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n PGV_k}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n e^{\gamma_0 + \gamma_1 \log(PGA_k)}} \quad [E. 2]$$

Gli esponenziali dei *predicted* del modello vanno moltiplicati per questo valore, per far sì che la loro media resti pari a quella dei PGV usati nella stima. Si calcola infine la stima $se(\varepsilon)$ dell'errore standard del modello.

I quattro valori $\{\gamma_0, \gamma_1, c, se(\varepsilon)\}$ sono utilizzati sui 16.852 punti delle mappe di rischio INGV per stimare le PGV corrispondenti alle 9 PGA disponibili (una per ogni probabilità di eccedenza considerata), tramite la seguente formula (l'indice z indica il punto geografico, j la probabilità di eccedenza in 50 anni):

$$\widehat{PGV}_{z,j} = c e^{\gamma_0 + \gamma_1 \log(PGA_{z,j}) + nor(0, se(\varepsilon))} \quad [E. 3]$$

dove $nor(0, se(\varepsilon))$ è un'estrazione casuale da una normale a media zero e deviazione standard pari a $se(\varepsilon)$.

⁴⁰ Scaricabili dall'indirizzo <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/archive/>.

A questo punto si applicano i parametri del modello proposto da Faenza e Michelini (2010), che utilizzano la regressione ortogonale per modellare il legame $MCS = f(PGA, PGV)$ tramite la seguente coppia di equazioni:

$$\begin{aligned} MCS &= 1,68 \pm 0,22 + 2,58 \pm 0,14 \log_{10}(PGA), & \sigma &= 0,35 \\ MCS &= 5,11 \pm 0,07 + 2,35 \pm 0,09 \log_{10}(PGV), & \sigma &= 0,26 \end{aligned} \quad [E. 4]$$

I parametri consentono di ricavare un *range* di possibili MCS , in corrispondenza di ogni coppia $\{PGA, PGV\}$. Consideriamo tre vettori di valori stimati di MCS , corrispondenti (per ogni punto della griglia INGV) al limite inferiore, al valore centrale e al limite superiore dell'intervallo ottenuto. Ogni vettore è composto da $16.852 \times 9 = 151.668$ elementi $MCS_{z,j}$ corrispondenti ai singoli punti, ciascuno preso per le 9 probabilità di eccedenza considerate $\{2,5,10,22,30,39,50,63,81\}$ su 50 anni.

Queste probabilità (appendice A) sono legate a λ in base al modello di Poisson come:

$$\alpha = Prob(N(50) > 0) = 1 - Prob(N(50) = 0) = 1 - e^{-50\lambda}$$

da cui:

$$\lambda_j = -\frac{\log(1 - \alpha_j)}{50}$$

Si stima ora il legame funzionale tra probabilità di eccedenza α e MCS via λ , usando $\lambda_{z,j} = \lambda_j$ per ogni z .

Il modello migliore tra quelli testati è di tipo lineare, con una *dummy* per ogni singolo punto, avente per dipendente il logaritmo di λ e come covariata il valore di MCS :

$$\log(\lambda_{z,j}) = \beta_0 + \beta_{1,z} + \beta_2 MCS_{z,j} + \varepsilon_{z,j} \quad [E. 5]$$

Il procedimento equivale a stimare simultaneamente il legame lineare tra dipendente e covariata per ogni punto z usando lo stesso coefficiente β_2 e un'intercetta $\beta_0 + \beta_{1,z}$, diversa per i singoli punti.

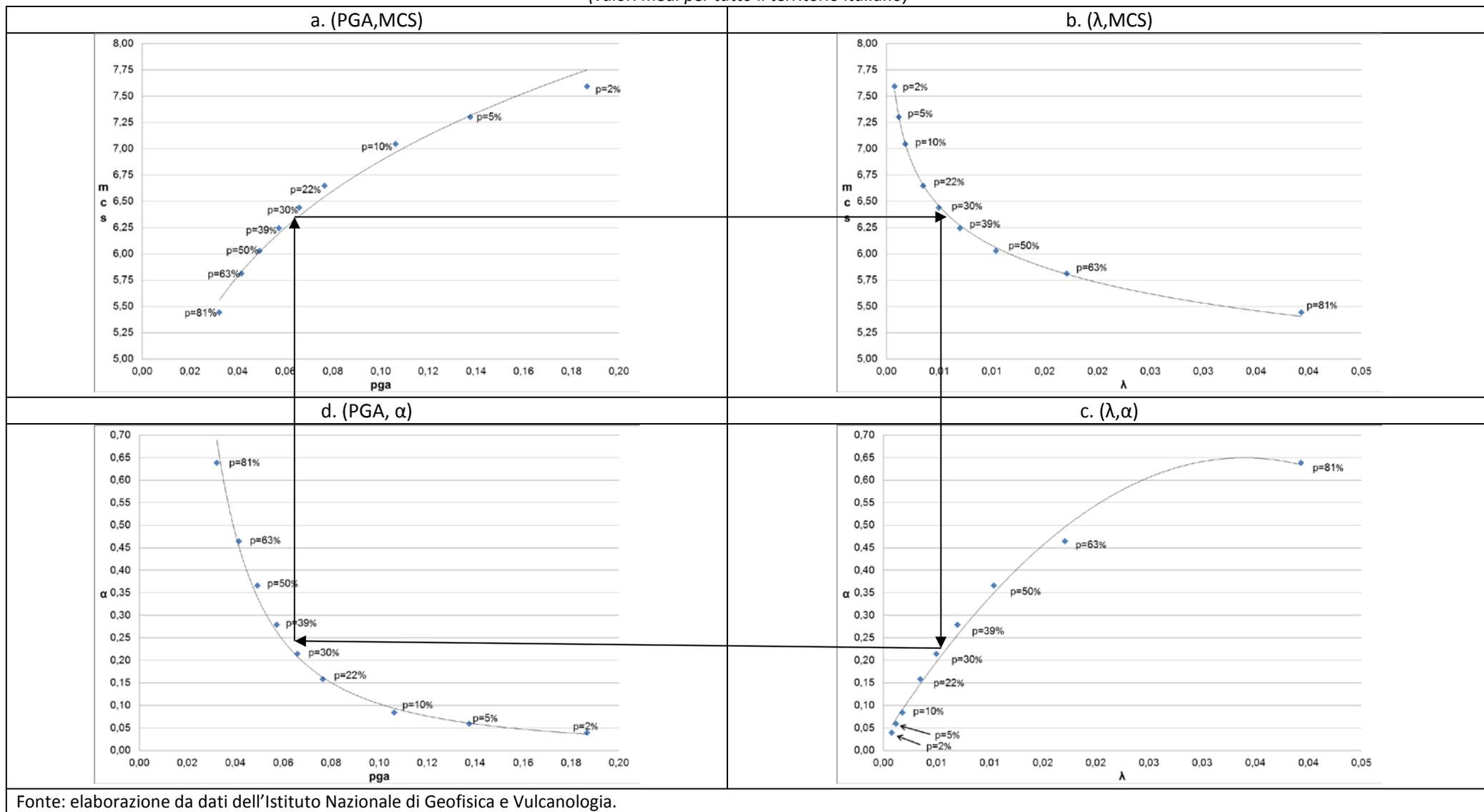
Se ora si fissa un valore MCS di interesse, pari a \overline{MCS} , e un tempo di ritorno n , dall'equazione precedente si ricava la corrispondente probabilità di eccedenza come:

$$\alpha_{z,n}(\overline{MCS}) = \left(1 - e^{-n(f e^{\beta_0 + \beta_{1,z} + \beta_2 \overline{MCS}})}\right) \quad [E. 6]$$

dove f è un fattore di correzione moltiplicativo che consente di avere i *predicted* di λ dall'equazione log-lineare E.5 con media pari ai λ usati per la stima.

I legami tra le medie delle grandezze considerate su tutto il territorio italiano per le 9 probabilità di eccedenza utilizzate e per un tempo di ritorno $n=50$ anni, sono coerenti (fig. E.1, che mostra per brevità le elaborazioni soltanto per il valore centrale di MCS).

Figura E.1 – Relazione tra parametri fisici e grandezze probabilistiche per il rischio sismico su un tempo di ritorno di 50 anni
(valori medi per tutto il territorio italiano)



Fonte: elaborazione da dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

L'ENEA rende disponibile un database con le coordinate del centroide dei comuni italiani⁴¹. Tramite la distanza euclidea, ognuno di questi punti è stato accoppiato al punto più vicino tra i 16.852 punti della griglia INGV usata per la costruzione delle mappe di rischio. Si associa in questo modo a ogni comune e alla sua popolazione residente di fonte Istat il relativo rischio sismico.

Nel paragrafo 6 sono riportate quattro mappe con le probabilità $\alpha_z(\overline{MCS})$ discretizzate, per $n=10$ anni e \overline{MCS} che assume valori {6,7,8,9}. La tabella sotto ogni mappa riporta la distribuzione della popolazione per le varie probabilità di rischio, ottenuta dall'accoppiamento del centroide comunale con il punto più prossimo della griglia INGV.

I grafici in fig. E.2 e E.3 mostrano la variabilità delle stime che si ottiene considerando i tre valori inferiore, centrale e superiore della MCS , stimati dalla coppia di equazioni E.4.

Come illustrato in Appendice B, il rischio sismico è misurato dalla combinazione di probabilità (hazard) e esposizione (danno)-vulnerabilità (perdita).

Informazioni utili per questi ultimi fattori sono ricavabili dai dati Istat. Infatti, per ogni comune, il censimento del 2011 consente di classificare le abitazioni per tipo di struttura portante (muratura portante, calcestruzzo armato, altro) e per stato di conservazione (ottimo, mediocre, buono, pessimo). Tramite opportune funzioni di vulnerabilità (di fonte RMS) relative agli edifici residenziali, al variare di queste due caratteristiche e dell'intensità di un sisma (applicate al punto geografico corrispondente al centroide del comune) è possibile calcolare la *Aggregate Expected Loss-AEL* (perdita minima attesa ai vari tempi di ritorno), nonché la *Average Annual Loss-AAL* (perdita media annuale).

Formalmente, per il generico comune c possiamo approssimare la probabilità $\alpha_{c,n}^*(\overline{MCS})$ di almeno un evento sismico di intensità pari a \overline{MCS} nel tempo di ritorno n tramite l'espressione:

$$\alpha_{c,n}^{\circ}(\overline{MCS}) = \alpha_{c,n}(\overline{MCS}) - \alpha_{c,n}(\overline{MCS} + 1)$$

Dalla funzione di vulnerabilità otteniamo il coefficiente $d_{\overline{MCS},l,m} \in [0,1]$, rappresentante, come frazione del valore complessivo, il danno economico di un edificio che subisce un sisma di intensità \overline{MCS} , avente:

struttura portante $l \in \{\text{muratura portante, calcestruzzo armato, altro}\}$,

stato di conservazione $m \in \{\text{ottimo, mediocre, buono, pessimo}\}$.

Se indichiamo con $v_{c,l,m}$ il valore del patrimonio residenziale del comune c per gli edifici residenziali con struttura portante l e stato di conservazione m , la AEL complessiva per il tempo di ritorno n si ottiene come:

$$AEL(n) = \sum_c \sum_{\overline{MCS}} \sum_l \sum_m v_{c,l,m} d_{\overline{MCS},l,m} \alpha_{c,n}^{\circ}(\overline{MCS}) \quad [E. 7]$$

⁴¹ <http://clisun.casaccia.enea.it/Comuni/Comuni.xls>.

Per $n=1$ si ha l'Average Annual Loss⁴²:

$$AAL = \sum_c \sum_{\overline{MCS}} \sum_l \sum_m v_{c,l,m} d_{\overline{MCS},l,m} \alpha_{c,1}^{\circ}(\overline{MCS}) \quad [E.8]$$

Si noti che la stima di α da MCS in base all'equazione E.6, in corrispondenza dei valori inferiori e superiori della MCS ricavati dalle due equazioni E.4, consente di ottenere un intervallo di incertezza per i valori di AEL e AAL .

⁴² Si noti che $\alpha_{c,1} = 1 - e^{-\lambda_c} \cong \lambda_c$ (appendice A).

Figura E.2 – Relazione tra intensità del sisma (MCS) e probabilità di almeno un sisma superiore a tale intensità (α), per vari tempi di ritorno (n)
(valori medi per tutto il territorio italiano)

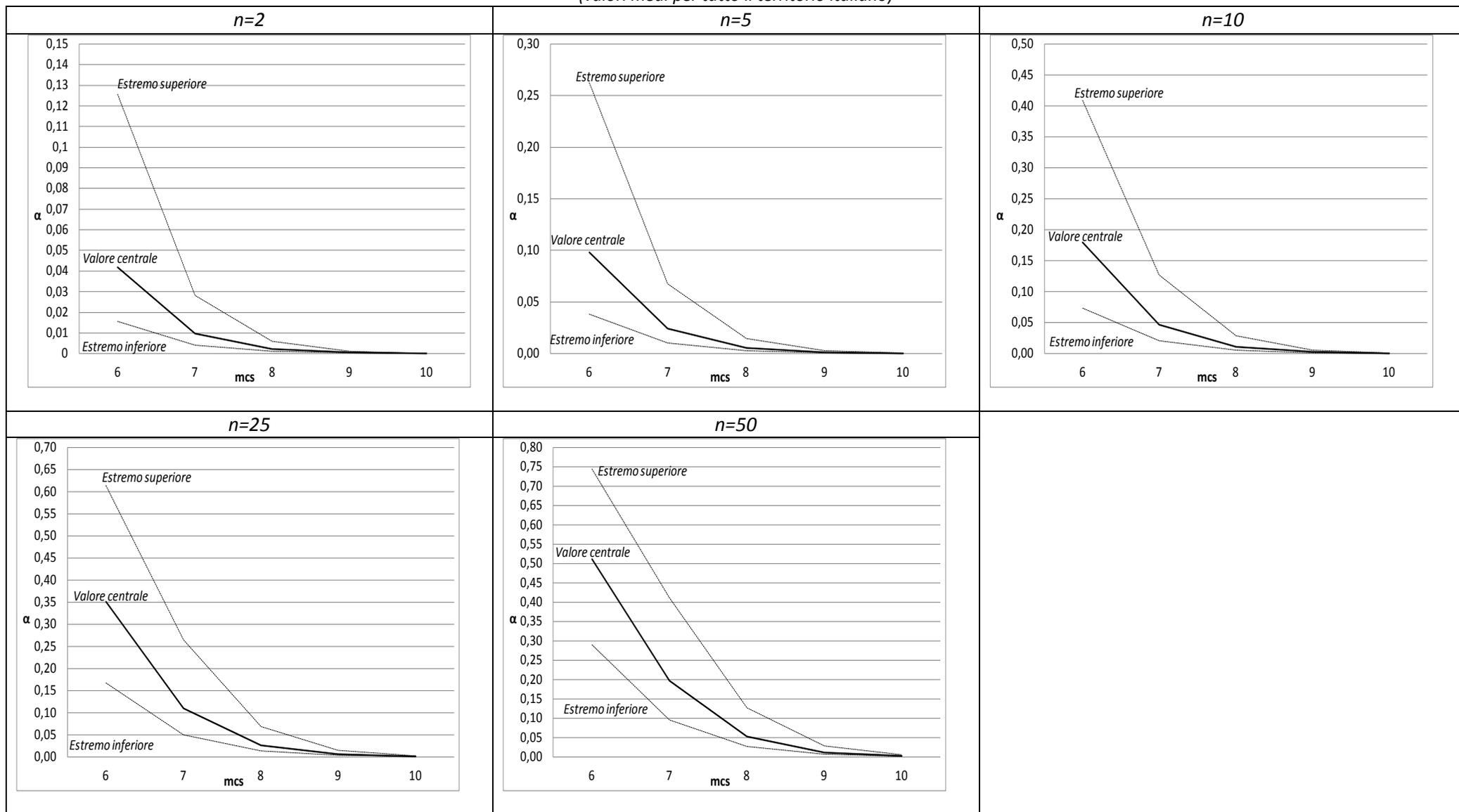
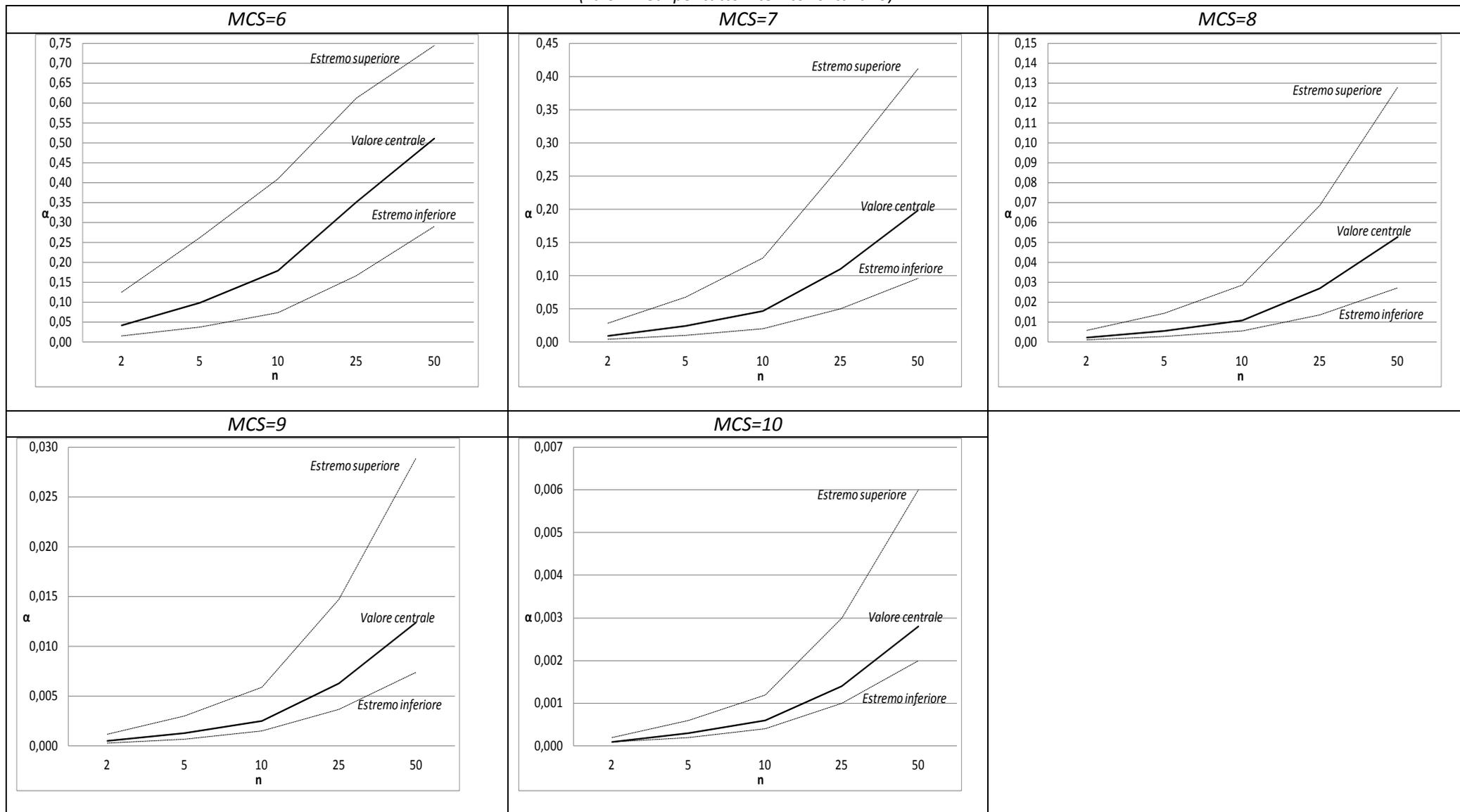


Figura E.3 – Relazione tra tempo di ritorno (n) e probabilità di almeno un sisma superiore a una data intensità (α), per varie intensità (MCS)
 (valori medi per tutto il territorio italiano)



Appendice F – Gli interventi legislativi di prevenzione delle catastrofi naturali in Italia

Solo dal 1974⁴³ l'Italia ha iniziato a dotarsi di una normativa volta alla promozione dei presidi antisismici, adattata nel corso del tempo con l'evoluzione delle tecniche costruttive. Il principale problema di queste norme è che sono state progressivamente applicate soltanto agli immobili di nuova costruzione, mentre il 56,7% degli edifici residenziali italiani risulta costruito prima del 1971 (la quota sale a 60,2 nelle aree a rischio sismico molto elevato, tav. F.1).

Tavola F.1 – Edifici residenziali italiani per livello di rischio sismico e anno di costruzione

Anno di costruzione	Livello di rischio sismico								Totale	
	Molto elevato		Elevato		Medio		Debole		Numero	%
	Numero	%	Numero	%	Numero	%	Numero	%		
Fino al 1918	103.974	15,1	537.124	12,5	827.842	17,7	363.564	14,5	1.832.504	15,0
1919-1945	104.642	15,2	450.554	10,5	514.216	11,0	257.595	10,2	1.327.007	10,9
1946-1960	102.991	15,0	609.454	14,2	642.206	13,7	346.185	13,8	1.700.836	14,0
1961-1970	101.934	14,8	730.960	17,0	787.055	16,8	430.884	17,1	2.050.833	16,8
1971-1980	103.391	15,0	803.462	18,7	776.215	16,6	434.583	17,3	2.117.651	17,4
1981-1990	89.729	13,0	598.087	13,9	481.625	10,3	293.326	11,7	1.462.767	12,0
1991-2000	44.935	6,5	310.232	7,2	319.546	6,8	196.304	7,8	871.017	7,1
2001-2005	20.975	3,0	153.935	3,6	181.898	3,9	108.296	4,3	465.104	3,8
dal 2006	15.710	2,3	110.488	2,6	148.538	3,2	85.243	3,4	359.979	3,0
Totale	688.281	5,6	4.304.296	35,3	4.679.141	38,4	2.515.980	20,6	12.187.698	100,0

Fonte: Protezione Civile per il rischio sismico, Istat (Censimento 2011) per il numero e le caratteristiche delle abitazioni.

La normativa ha iniziato a prevedere verifiche di sicurezza per le costruzioni esistenti soltanto a partire dal 2008⁴⁴. Tuttavia, la messa in sicurezza del patrimonio abitativo esistente è fortemente ostacolata dai costi di messa in opera, in generale superiori rispetto alle nuove costruzioni (Dolce, 2012), nonché dalle difficoltà tecniche connesse all'intervento su edifici esistenti ed in uso.

I costi per l'adeguamento antisismico del patrimonio abitativo italiano sono stati stimati pari a 93,7 miliardi di euro (Ordine degli Ingegneri, 2013)⁴⁵, di cui circa 30 per gli edifici nelle zone a rischio sismico elevato o molto elevato. Le spese per la messa in sicurezza degli edifici pubblici ammonterebbero invece a 50 miliardi (Protezione Civile, 2016)⁴⁶.

L'attenzione alla prevenzione è aumentata dopo il terremoto dell'Aquila del 2009, in seguito al quale è stato stanziato un fondo nazionale per la prevenzione sismica, gestito dalla Protezione Civile. Il fondo ammontava a un miliardo di euro, da erogare nel 2010-2016. La limitatezza delle risorse disponibili ha reso necessario focalizzarsi su due obiettivi-chiave, realizzabili anche tramite co-finanziamenti delle amministrazioni locali e dei privati:

⁴³ Legge n. 64 del 2 febbraio 1974. Più di recente, l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 ha stabilito la classificazione dell'Italia in 4 zone di rischio sismico (molto elevato, elevato, medio, debole). L'ultimo aggiornamento è nell'OPCM n.3519 del 28 aprile 2006.

⁴⁴ Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 (NTC, Norme Tecniche per le Costruzioni), che ha aggiornato il primo testo unico in materia (DM 14 settembre 2005) introducendo l'obbligatorietà delle verifiche sismiche su tutto il territorio nazionale e l'obbligo della verifica strutturale col metodo degli "stati limite" (appendice D). Le NTC del 2008 sono state recentemente innovate dal DM 17 gennaio 2018, che ha posto particolare attenzione alle regole per la messa in sicurezza degli edifici esistenti.

⁴⁵ <http://www.ilpost.it/2016/08/27/costi-mettere-sicurezza-terremoti-edifici/>.

⁴⁶ http://www.infodata.ilsole24ore.com/2016/08/26/16912/?refresh_ce=1.

- prevenzione delle perdite umane e non di quelle economiche,
- sensibilizzazione degli operatori pubblici e privati ai vari aspetti del rischio sismico.

Nel settembre 2016, subito dopo gli eventi sismici che hanno colpito l'Italia centrale, il Governo italiano ha predisposto un piano a lungo termine per la messa in sicurezza del territorio nazionale e la cura e valorizzazione del patrimonio abitativo (Piano "Casa Italia") mediante:

- la messa in sicurezza delle infrastrutture (47,3 miliardi fino al 2032),
- incentivi per l'efficienza energetica e la sicurezza anti-sismica (11,6 miliardi fino al 2032),
- aiuti alla ricostruzione delle zone danneggiate dal terremoto del 2016 (7 miliardi dal 2017),
- la lotta al dissesto idro-geologico ("Italia Sicura", 9,9 miliardi fino al 2023),
- il miglioramento dell'edilizia scolastica (6,8 miliardi fino al 2017).

La struttura di missione cui era stato affidato il progetto (DPCM del 23 settembre 2016) è stata successivamente trasformata in Dipartimento (DPCM del 3.7.2017)⁴⁷.

Gli incentivi per la sicurezza anti-sismica (Sisma-Bonus) sono stati inseriti nella legge di bilancio per il 2017. Essi prevedono la detrazione dell'85% delle spese sostenute fino al 2021 per la riduzione del rischio sismico di condomini o appartamenti o anche per la semplice verifica sismica, con il recupero in soli 5 anni delle somme spese. Sono interessati dall'incentivo tutti i comuni situati in una zona a rischio sismico almeno medio⁴⁸. Il tetto di spesa recuperabile è di 96.000 euro. Per incoraggiare la fruizione dell'incentivo anche ai soggetti a basso reddito, sarà possibile cedere il credito a soggetti terzi o all'impresa che effettua le ristrutturazioni. Il Decreto MIT n. 58 del 28.2.2017 ha introdotto le Linee Guida⁴⁹ per la classificazione del rischio sismico degli edifici e per l'attestazione degli interventi di miglioramento, valida anche per il riconoscimento dei benefici fiscali previsti. In questo modo, sia pure su base volontaria e fiscalmente incentivata, viene introdotto uno strumento, simile all'"attestato di prestazione energetica", importante sia per la politica antisismica che per la diffusione della copertura assicurativa contro i terremoti.

La classificazione del rischio sismico di una costruzione si basa sul peggiore tra la classe di rischio economico (perdita annua media PAM, average annual loss AAL) e la classe di rischio vitale (IS-V). La prima si ottiene a partire dagli stati limite di ricostruzione (SLR), collasso (SLC), salvaguardia della vita (SLV), di danno (SLD), di operatività (SLO) e di inizio danno (SLID), il cui danno economico D, in percentuale del costo di ricostruzione, è tipicamente fissato in (rispettivamente) 100%, 80%, 50%, 15%, 7%, 0%. Ad essi viene associata la corrispondente PGA della costruzione (PGA_c) e il relativo periodo di ritorno T di terremoti con tali PGA, calcolando la frequenza media come reciproco $\lambda=1/T$. L'integrale della curva di perdita $D(\lambda)$ (Fig. F.1) è la perdita annua media (PAM) il cui valore consente di identificare una classe di rischio economico dell'edificio in base ai valori di tav. F.2. Per il caso tipico illustrato in Fig. F.1 il valore di PAM è 1,13% e la classe di rischio economico è B. La classe di rischio vitale si ottiene da un'analogha tabella che classifica l'indice di sicurezza, inteso come rapporto tra PGA_c dell'edificio per lo stato limite SLV e PGA della zona dell'edificio (PGA_o) per il medesimo stato limite (tav. F.3).

http://presidenza.governo.it/AmministrazioneTrasparente/Organizzazione/ArticolazioneUffici/Dipartimenti/casa_It.html e <http://www.casaitalia.governo.it/it/normativa/>

⁴⁸ Secondo una stima ufficiale (Rubino, 2019), la rinuncia di 200 milioni di gettito fiscale attiverebbe interventi di riqualificazione degli edifici pari a 360 milioni di euro in un arco di tre anni, nell'ipotesi di estensione dell'agevolazione anche ad aree a rischio sismico medio.

⁴⁹ <http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-58-del-28022017>

Figura F.1 – Curva di perdita economica (in percentuale del costo di ricostruzione) di un edificio residenziale (classe d'uso II) di durata nominale 50 anni

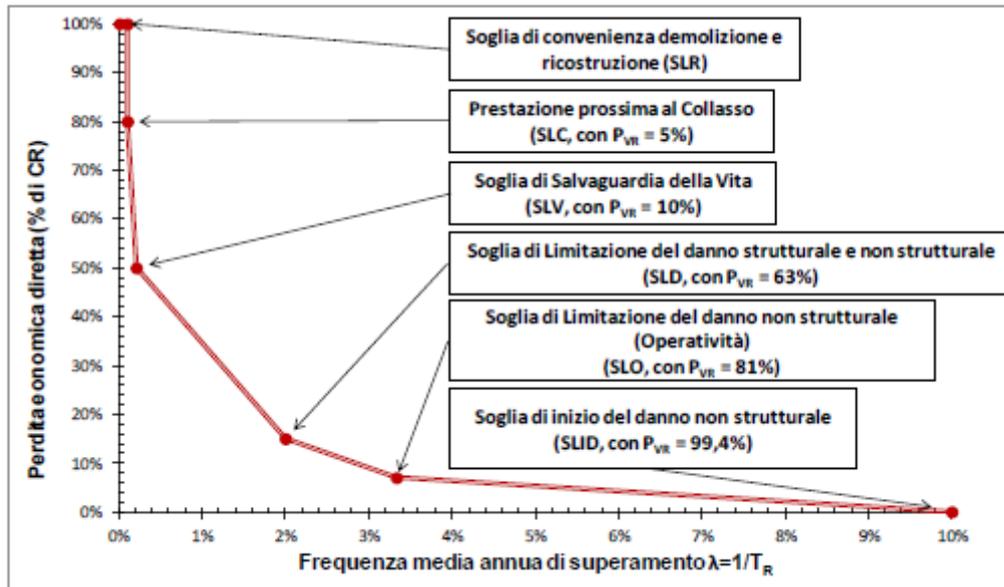


Tavola F.2 – Classi di rischio economico di un edificio in funzione della PAM

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

Tavola F.3 – Classi di rischio vitale in funzione dell'indice di sicurezza

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
100% < IS-V	A ⁺ _{IS-V}
100% ≤ IS-V < 80%	A _{IS-V}
80% ≤ IS-V < 60%	B _{IS-V}
60% ≤ IS-V < 45%	C _{IS-V}
45% ≤ IS-V < 30%	D _{IS-V}
30% ≤ IS-V < 15%	E _{IS-V}
IS-V ≤ 15%	F _{IS-V}

Per agire contro il dissesto idrogeologico, nel maggio 2014 è stata creata la struttura di missione “Italia Sicura”, per la programmazione e realizzazione degli interventi sia di prevenzione sia di ripristino (DPCM 27 maggio 2014). Due anni dopo è stato presentato un primo rendiconto e il piano nazionale: a inizio 2017 erano stati conclusi interventi per 740 milioni e attivati cantieri per circa 1,4 miliardi. L’insieme degli interventi richiesti (9.400 cantieri) ammonta a 26,5 miliardi, di cui 1,7 già progettati, 4,1 in fase di progettazione e 20,7 in fase di studio preliminare. Il piano finanziario 2015-2023 ha una capienza di 9,9 miliardi. Nel luglio 2018 (art. 2 D.L. 86/2018) la struttura “Italia Sicura” è stata soppressa e le competenze sono passate al Ministero dell’Ambiente. A marzo 2019 è stato presentato un nuovo piano contro il rischio idrogeologico, “ProteggItalia” (National Territorial Safety Plan), relativo al triennio 2019-2021, con una dotazione di 10,9 miliardi di euro e una missione simile al precedente⁵⁰: emergenza, prevenzione, manutenzione, semplificazione-rafforzamento della governance. Al piano partecipano il Dipartimento della Protezione Civile (3,1 miliardi), Il Ministero dell’Ambiente (4 miliardi), Il Ministero delle politiche agricole (2,4 miliardi), il Ministero dell’Interno (1,1 miliardi), la Presidenza del Consiglio (230 milioni) e il Ministero della Difesa (40 milioni).

⁵⁰ <http://www.governo.it/it/approfondimento/piano-nazionale-la-sicurezza-del-territorio-proteggitalia/11036>

Appendice G – Domanda di assicurazione: “charity hazard”, aggregazione dei rischi, contratti parametrici

Charity hazard

Caso 1. Secondo l’approccio classico, avviato da Kenneth Arrow e Karl Borch negli anni ’60 e in seguito sviluppato nel campo dell’intervento pubblico in seguito a catastrofi naturali (Raschky e Weck-Hannemann, 2007), un individuo avverso al rischio con utilità U , ricchezza corrente W_0 , perdita monetaria D se si verifica un dato evento di probabilità p , sceglierà la quota ottima di assicurazione α della perdita (pagando il premio $\Pi(\alpha)$) in base alla risoluzione del problema di massimizzazione dell’utilità attesa:

$$\max_{\alpha} (1-p)U(W_0 - \Pi(\alpha)) + pU(W_0 - \Pi(\alpha) - D + \alpha D)$$

La condizione del primo ordine dà:

$$(1-p)U'(W_0 - \Pi)(-\Pi') + pU'(W_0 - \Pi - (1-\alpha)D)(-\Pi' + D) = 0$$

che, in caso di perfetta concorrenza dal lato dell’offerta (profitti nulli), essendo in tal caso il premio Π pari al premio puro $p\alpha D$, si semplifica in:

$$U'(W_0 - \Pi) = U'(W_0 - \Pi - (1-\alpha)D)$$

con soluzione ottima $\alpha=1$ (copertura piena). Si noti che l’avversione al rischio ($U'' < 0$) soddisfa la condizione del secondo ordine per un massimo.

Caso 2. Si supponga che il Governo copra una quota $0 < \theta < 1$ del danno totale D , con $0 \leq \alpha + \theta \leq 1$, finanziando la spesa con un prelievo fiscale F tale da coprire l’esborso atteso.

Il problema di massimizzazione diviene ora:

$$\max_{\alpha} (1-p)U(W_0 - \Pi(\alpha) - F) + pU(W_0 - \Pi(\alpha) - F - D + \alpha D + \theta D)$$

con condizione di pareggio del bilancio pubblico:

$$(1-p)F + p(F - \theta D) = 0, \text{ ovvero } F = p\theta D$$

Dalla condizione del primo ordine si ottiene che in tal caso si ha spiazzamento completo della domanda privata di assicurazione (*Charity Hazard*): $\alpha=1-\theta$.

Una soluzione di sotto-assicurazione si ha nel caso di prelievo fiscale solo in assenza di calamità naturali.

$$(1-p)F + p\theta D = 0$$

da cui $F = \frac{p\theta D}{1-p}$ e $\alpha = 1 - \frac{\theta}{1-p}$.

Aggregazione dei rischi e correlazione

Il noto risultato di Arrow (1970) e Pratt (1964) scompone il premio al rischio nelle componenti della varianza e dell'avversione al rischio (Cesari, 2012, cap. 1).

In particolare, se Y è una variabile aleatoria (rischio) di media μ_y e varianza σ_y^2 , un soggetto avverso al rischio è disposto a pagare un certo ammontare π_y per evitare tale rischio (*risk selling*).

In particolare, se la variabile aleatoria ha media negativa ($\mu_y < 0$) o addirittura è una perdita aleatoria ($Y \leq 0$), il premio π_y è il massimo prezzo che l'individuo con ricchezza corrente W_0 e utilità concava $U(W)$ è disposto a pagare per assicurarsi contro l'evento aleatorio, nel senso che⁵¹:

$$U(W_0 - \pi_y) \geq E(U(W_0 + Y))$$

Dal teorema di Arrow-Pratt vale l'approssimazione:

$$\pi_y \approx -\mu_y + \frac{1}{2} \sigma_y^2 \left(\frac{-U''(W_0 + \mu_y)}{U'(W_0 + \mu_y)} \right)$$

Se $Y = X_1 + X_2$ è facile dimostrare che $\sigma_y^2 = \sigma_{X_1}^2 + \sigma_{X_2}^2 + 2\rho_{X_1, X_2} \sigma_{X_1} \sigma_{X_2}$ e che:

$$\pi_y \approx \pi_{X_1} + \pi_{X_2} + \rho_{X_1, X_2} \sigma_{X_1} \sigma_{X_2} \left(\frac{-U''(W_0 + \mu_y)}{U'(W_0 + \mu_y)} \right)$$

per cui il premio assicurativo per il rischio somma Y è inferiore alla somma dei premi per i singoli rischi X_1 e X_2 (con l'altro fissato al valor medio) ogni volta che la correlazione ρ_{X_1, X_2} è negativa.

Contratti assicurativi di tipo parametrico

Caso 1. Si consideri il caso di un evento catastrofe di intensità aleatoria continua $g \geq 0$, che genera un danno $D(g) \geq 0, D(0) = 0, D'(g) \geq 0, D(\infty) = D^0$.

La probabilità di $g = 0$ è p mentre la distribuzione di probabilità (condizionata a $g > 0$) è $F(g)$, con densità f_g .

Il problema della copertura assicurativa è:

$$\max_{\alpha} (1-p)U(W_0 - \Pi) + p \int_0^{\infty} U(W_0 - \Pi - D + \alpha D) f_g dg$$

Il premio di equilibrio contabile è:

$$(1-p)\Pi + p \int_0^{\infty} (\Pi - \alpha D) f_g dg = 0$$

che dà $\Pi = p\alpha E(D)$.

La FOC dà:

⁵¹ La dimostrazione del teorema di Arrow-Pratt si ottiene approssimando la funzione di utilità con la formula dei polinomi di Taylor (rispettivamente al primo e al secondo ordine) nell'intorno di $W_0 + \mu_y$.

$$(1-p)U'(W_0 - \Pi)(-pE(D)) + p \int_0^{\infty} U'(W_0 - \Pi - D + \alpha D)(-pE(D) + D)f_g dg = 0$$

che si può scrivere:

$$-p(1-p)E(D)U'(W_0 - \Pi) + p \int_0^{\infty} U'(W_0 - \Pi - D + \alpha D)(-pE(D) + E(D) + D - E(D))f_g dg = 0$$

ovvero:

$$\begin{aligned} -p(1-p)E(D)U'(W_0 - \Pi) + p(1-p)E(D) \int_0^{\infty} U'(W_0 - \Pi - D + \alpha D)f_g dg \\ + p \int_0^{\infty} U'(W_0 - \Pi - D + \alpha D)(D - E(D))f_g dg = 0 \end{aligned}$$

La FOC è chiaramente soddisfatta per $\alpha=1$.

Caso 2. Si consideri un'assicurazione "parametrica" che paga il danno solo se l'intensità è $g \geq g_0$ (parametro contrattuale). La massimizzazione in questo caso diventa:

$$\max_{\alpha} (1-p)U(W_0 - \Pi) + p \left[\int_0^{g_0} U(W_0 - \Pi - D)f_g dg + \int_{g_0}^{\infty} U(W_0 - \Pi - D + \alpha D)f_g dg \right]$$

Il premio di equilibrio è dato da:

$$(1-p)\Pi + p \left[\int_0^{g_0} \Pi f_g dg + \int_{g_0}^{\infty} (\Pi - \alpha D)f_g dg \right] = 0$$

da cui:

$$(1-p)\Pi + p\Pi F(g_0) + p\Pi(1 - F(g_0)) - p\alpha \int_{g_0}^{\infty} Df_g dg = 0$$

ovvero:

$$\Pi = p\alpha \int_{g_0}^{\infty} Df_g dg \equiv p\alpha E(S) < p\alpha E(D), \text{ avendo posto: } \int_{g_0}^{\infty} Df_g dg \equiv E(S)$$

La condizione FOC è:

$$(1-p)U'(W_0 - \Pi)(-pE(S)) + p \int_{g_0}^{\infty} U'(W_0 - \Pi - D + \alpha D)(-pE(S) + D)f_g dg = 0$$

ovvero:

$$-p(1-p)E(S)U'(W_0 - \Pi) - p^2 E(S) \int_{g_0}^{\infty} U'(W_0 - \Pi - D + \alpha D) f_g dg + p \int_{g_0}^{\infty} U'(W_0 - \Pi - D + \alpha D) D f_g dg = 0$$

Si noti che la soluzione $\alpha=1$ è sub-ottimale essendo la FOC in quel punto:

$$-p(1-p)E(S)U'(W_0 - \Pi) - p^2 E(S)U'(W_0 - \Pi)(1 - F(g_0)) + pU'(W_0 - \Pi)E(S) = p^2 E(S)U'(W_0 - \Pi)F(g_0) > 0$$

Poiché la polizza ha una copertura contrattuale limitata (solo per $g \geq g_0$), essa indurrebbe, se fosse possibile, una sovra-assicurazione ($\alpha^* > 1$).

In condizioni non concorrenziali, pertanto, si potrebbe determinare un premio non equo $\Pi = hp\alpha E(S)$, con $h > 1$.

La soluzione ottima di copertura totale $\alpha^* = 1$ si ottiene con:

$$h = \frac{1}{1 - pF(g_0)} > 1$$

Caso 3. La polizza parametrica può essere del tipo a capitale assicurato fisso M . In tal caso si ha:

$$\max_{\alpha} \left[(1-p)U(W_0 - \Pi) + p \left[\int_0^{g_0} U(W_0 - \Pi - D) f_g dg + \int_{g_0}^{\infty} U(W_0 - \Pi - D + \alpha M) f_g dg \right] \right]$$

Il premio di equilibrio è dato da:

$$\Pi = \frac{p\alpha M(1 - F(g_0))}{1 - pF(g_0)}$$

e la FOC diventa:

$$-p \frac{(1-p)}{1 - pF(g_0)} (1 - F(g_0)) U'(W_0 - \Pi) + p \frac{(1-p)}{1 - pF(g_0)} \int_{g_0}^{\infty} U'(W_0 - \Pi - D + \alpha M) f_g dg = 0$$

Per il teorema generalizzato del valor medio integrale, esiste un valore $D^{\circ\circ}(\alpha, M) > D(g_0)$ tale che la FOC si può scrivere:

$$U'(W_0 - \Pi) = U'(W_0 - \Pi - D^{\circ\circ} + \alpha M)$$

e la soluzione di ottimo è rappresentabile come $\alpha = \frac{D^{\circ\circ}}{M}$. Si noti che se $M \leq D(g_0)$, il vincolo contrattuale $\alpha \leq 1$ è stringente e la domanda di copertura è limitata a $\alpha = 1$. Ne consegue che se prevalgono sul mercato condizioni non concorrenziali, il premio di mercato può essere posto su livelli superiori al premio equo Π .

Appendice H – Pooling di rischi eterogenei e benessere sociale

Si considerino due gruppi di soggetti, L e H , di numerosità n_L e n_H rispettivamente, identici in tutto tranne che per una diversa esposizione al rischio *cat-nat*. I due eventi, quello per L , di probabilità p_L e quello per H , di probabilità p_H , sono assunti indipendenti, con $0 \leq p_L < p_H < 1$. Per ogni soggetto, il possibile danno è D e la ricchezza iniziale è W_0 .

L'analisi *standard* sviluppata nell'appendice G, separatamente per i due gruppi, porta a risolvere separatamente due distinti problemi di ottimo per i due gruppi L e H :

$$\max_{\alpha} (1 - p_L)U(W_0 - \Pi_L(\alpha)) + p_L U(W_0 - \Pi_L(\alpha) - D + \alpha D), \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

$$\max_{\alpha} (1 - p_H)U(W_0 - \Pi_H(\alpha)) + p_H U(W_0 - \Pi_H(\alpha) - D + \alpha D), \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

e alle due soluzioni (*separating equilibrium*) per il premio Π e la copertura individuale α :

$$\Pi_L = p_L \alpha_L D < \Pi_H = p_H \alpha_H D, \quad \alpha_L = \alpha_H = 1 \quad [\text{H. 1}]$$

in cui i premi (*risk-based*) riflettono i due diversi rischi e le coperture ottimali sono piene.

Se tuttavia Π_H non è economicamente sostenibile per i soggetti del gruppo H (rispetto alla ricchezza W_0), si può pensare a un equilibrio mutualistico (*pooling equilibrium*) in cui, per pareggio del conto economico assicurativo, viene stabilito un unico premio "medio" (prezzo amministrato) π_M per unità di copertura:

$$\begin{aligned} (1 - p_L)(1 - p_H)(n_L \pi_M \alpha_L D + n_H \pi_M \alpha_H D) + (1 - p_L)p_H(n_L \pi_M \alpha_L D + n_H(\pi_M \alpha_H D - \alpha_H D)) \\ + p_L(1 - p_H)(n_L(\pi_M \alpha_L D - \alpha_L D) + n_H \pi_M \alpha_H D) \\ + p_L p_H(n_L(\pi_M \alpha_L D - \alpha_L D) + n_H(\pi_M \alpha_H D - \alpha_H D)) = 1 \end{aligned} \quad [\text{H. 2}]$$

cioè:

$$(n_L \alpha_L + n_H \alpha_H) D \pi_M - p_L n_L \alpha_L D - p_H n_H \alpha_H D = 0 \quad [\text{H. 3}]$$

Ovvero:

$$\pi_M = \frac{p_L n_L \alpha_L + p_H n_H \alpha_H}{n_L \alpha_L + n_H \alpha_H} \quad [\text{H. 4}]$$

Se α è il medesimo nei due gruppi si ha $\pi_M = p_M$ indipendentemente dalla copertura α con p_M esprimibile come:

$$p_M = \frac{p_L n_L + p_H n_H}{n_L + n_H} \quad [\text{H. 5}]$$

con p_M probabilità media (ponderata), interpretabile come prezzo unitario ("prezzo politico") per euro di copertura.

Caso 1. Imponendo ai due gruppi copertura uniforme e piena $\alpha_L = \alpha_H = 1$ (obbligatorietà piena) si ha che al prezzo unitario medio p_M la gestione assicurativa del gruppo H è in perdita ($p_M < p_H$), sussidiata dall'avanzo proveniente dal gruppo L ($p_M > p_L$).⁵²

Inoltre, a tale prezzo, mentre per H il vincolo $\alpha_H \leq 1$ è stringente (l'ottimo sarebbe sopra 1), viceversa il gruppo L deve acquistare più copertura di quella ottimale. Questa si ricava dalla *First Order Condition* (FOC) di ottimo (al prezzo $\Pi_L^* = p_M \alpha_L D < \Pi_H$):

$$U'(W_0 - p_M \alpha_L D) = \left[\frac{(1 - p_M)}{p_M} \right] \frac{U'(W_0 - p_M \alpha_L D - (1 - \alpha_L)D)}{\frac{(1 - p_L)}{p_L}} \quad [\text{H. 6}]$$

Poiché $p_M > p_L$, il fattore in parentesi quadra è inferiore a 1 e la FOC è soddisfatta (essendo U' decrescente) per un valore $\alpha_L^* < 1$. L'imposizione $\alpha_L = 1$ determina una perdita di benessere.

Caso 2. In alternativa, imponendo una medesima aliquota di copertura $\alpha_H = \alpha_L = \alpha_M < 1$ ai due gruppi si ottiene sempre un unico prezzo unitario "medio" p_M .

Fissando il livello $\alpha_M = \alpha_L^*$ si ha una copertura ottima per il gruppo L e una più marcata sottoassicurazione per H .

Caso 3. Si supponga che venga fissato il prezzo "politico" p_M (mercato regolamentato) e che i danni non coperti da assicurazione siano ripagati dallo Stato con una tassa di scopo di ammontare complessivo F . Per il pareggio di bilancio deve aversi:

$$n_L p_L (1 - \alpha_L) D + n_H p_H (1 - \alpha_H) D = F \quad [\text{H. 7}]$$

e per il pareggio assicurativo: $\alpha_H = \alpha_L$ da cui:

$$(n_L p_L + n_H p_H) (1 - \alpha_L) D = F \quad [\text{H. 8}]$$

e

$$\frac{F}{n_L + n_H} = \frac{(n_L p_L + n_H p_H)}{n_L + n_H} (1 - \alpha_L) D = p_M (1 - \alpha_L) \quad [\text{H. 9}]$$

Lasciando libertà nella scelta della copertura del gruppo L , il problema di ottimo è:

$$\max_{\alpha} (1 - p_L) U \left(W_0 - p_M \alpha D - \frac{F(\alpha)}{n_L + n_H} \right) + p_L U \left(W_0 - p_M \alpha D - \frac{F(\alpha)}{n_L + n_H} - D + \alpha D \right) \quad [\text{H. 10}]$$

che si semplifica in:

$$\max_{\alpha} (1 - p_L) U(W_0 - p_M D) + p_L U(W_0 - p_M D - D + \alpha D)$$

⁵² L'ipotesi di *cross-subsidization* è esplicitamente esclusa in Rothschild and Stiglitz (1976), imponendo a ogni compagnia la sottoscrizione di un'unica tipologia di polizza. Essi considerano il caso in cui le probabilità non sono note all'assicuratore (*asymmetric information*) ottenendo famoso risultato per cui il *pooling* dei rischi, in condizioni di libera concorrenza, non è mai di equilibrio.

con massimo in $\alpha_L = 1 (= \alpha_H)$. Questo annulla la necessità della copertura pubblica.

Caso 4. La soluzione precedente (prezzo politico dell'assicurazione e danni non coperti ripagati dallo Stato) è equivalente, almeno in linea di principio, alla situazione di assenza di assicurazione e intervento riparatore tutto a carico dello Stato (e del contribuente).

In tal caso l'impegno pubblico da finanziare è:

$$n_L p_L D + n_H p_H D = F \quad [\text{H. 11}]$$

per un ammontare pro-capite di:

$$\frac{F}{n_L + n_H} = p_M D \quad [\text{H. 12}]$$

L'utilità attesa è, come sopra:

$$(1 - p_L)U(W_0 - p_M D) + p_L U(W_0 - p_M D - D + \alpha D)$$

Considerazioni di opportunità, di controllo, di decentramento, di efficienza, potrebbero far ritenere preferibile la soluzione assicurativa di mercato regolamentato a quella statale. Modelli più articolati potrebbero portare a soluzioni intermedie.

Caso 5. Si consideri una copertura piena per il gruppo H ($\alpha_H = 1$) e una copertura libera per il gruppo L .

$$\pi_L = \frac{p_L n_L \alpha_L + p_H n_H}{n_L \alpha_L + n_H} \quad [\text{H. 13}]$$

e l'ottimizzazione per il gruppo L è:

$$\max_{\alpha} (1 - p_L)U(W_0 - \pi_L \alpha D) + p_L U(W_0 - \pi_L \alpha D - D + \alpha D)$$

con FOC data da:

$$U'(W_0 - \pi_L \alpha_L D) = \left[\frac{(1 - \pi_L - \pi'_L \alpha_L)}{\pi_L + \pi'_L \alpha_L} \right] \frac{(1 - p_L)}{p_L} U'(W_0 - \pi_L \alpha_L D - (1 - \alpha_L)D) \quad [\text{H. 14}]$$

dove:

$$\pi'_L = \frac{(p_L - p_H)n_L n_H}{(n_L \alpha_L + n_H)^2} < 0 \quad [\text{H. 15}]$$

Poiché il fattore in parentesi quadra è inferiore a 1, ne segue (per la concavità di U) che il punto di ottimo è $\alpha_L^{**} < 1$.

Si noti che per $0 < \alpha_L^{**} < \frac{\sqrt{n_H}(\sqrt{n_L + n_H} - \sqrt{n_H})}{n_L}$ si ha che $\pi_L + \pi'_L \alpha_L > p_M$ e quindi $\alpha_L^{**} < \alpha_L^* < 1$. Ciò significa che per valori sufficientemente bassi di α_L^{**} (ad esempio inferiori a 41,4% per numerosità

simili, $n_L \cong n_H$ il livello ottimale di copertura per L , a fronte di copertura piena di H , è inferiore a quello che si otterrebbe per pari coperture tra i due gruppi (Caso 2). Accade il viceversa per valori sufficientemente alti di α_L^{**} .

Appendice I – Soluzioni assicurative di alcuni paesi per la protezione contro le catastrofi naturali

Questa appendice descrive sinteticamente i più importanti sistemi europei di protezione assicurativa contro le calamità naturali e un esempio di schema transnazionale tra paesi in via di sviluppo particolarmente esposti al rischio di tifoni e uragani. Una tavola finale riporta in forma schematica i sistemi europei e le soluzioni adottate da alcuni paesi extra-europei fortemente esposti al rischio naturale.

Il sistema francese

In attuazione di un principio costituzionale, la Francia si è dotata di un sistema solidaristico di gestione delle calamità naturali (inclusi i terremoti). L'attuale sistema, introdotto con una legge del 13 luglio 1982, si configura come un esempio di partenariato pubblico-privato e si basa su tre pilastri:

- 1) la diffusione più ampia possibile dell'assicurazione diretta da parte degli esposti al rischio;
- 2) il ruolo del settore pubblico nel sopportare i costi delle coperture assicurative, tramite una società (la *Caisse Centrale de Réassurance*, CCR) a partecipazione pubblica, che funge da riassicuratore con una garanzia statale illimitata;
- 3) un sistema di prevenzione delle calamità naturali, che incentiva un ruolo attivo delle amministrazioni locali.

Dà diritto ai risarcimenti assicurativi la proclamazione dello stato di calamità naturale, dichiarato da una commissione interministeriale che decide in base alla gravità dell'accaduto.

Tutte le polizze assicurative per i rischi di incendio ubicati sul territorio francese devono comprendere la garanzia accessoria per le calamità naturali (c.d. semi-obbligatorietà). Il premio di tariffa è fissato per legge ed è lo stesso per tutte le polizze. Esso è espresso in percentuale del premio per la copertura di base (12% per danni alle abitazioni o perdite da interruzione dell'attività produttiva, 6% furto e incendio, 0,5% per altri danni). L'assicurato è responsabilizzato tramite franchigie obbligatorie, fissate per legge, mentre le altre clausole contrattuali sono fissate dalle compagnie di assicurazioni in autonomia.

Per responsabilizzare anche l'operatore pubblico, le compagnie possono aumentare le franchigie dei contratti a copertura di immobili siti in comuni privi di piani di prevenzione delle calamità naturali e, in casi estremi, rifiutare la copertura⁵³.

La CCR può fornire una copertura di riassicurazione illimitata agli assicuratori che ne fanno richiesta, avvalendosi della garanzia illimitata dello stato francese, ma non opera in regime di monopolio.

Nel corso del 2014 risultavano attive 38,9 milioni di coperture assicurative multirischio, comprensive della copertura per calamità naturali per abitazioni. I premi incassati nello stesso anno ammontavano a

⁵³ Secondo Poussin *et al.* (2013), il sistema presenta margini di miglioramento per incentivare maggiormente i comuni ad adottare tali piani e a metterli in atto. Il sistema di tariffazione e di massimali potrebbe essere adeguato per responsabilizzare maggiormente gli assicurati e le comunità locali.

9,1 miliardi di euro. Risultava assicurata contro questi rischi la quasi totalità del patrimonio immobiliare francese ad uso abitativo. I premi complessivi per le calamità naturali nel 2014 sono stati 1,555 miliardi (saliti a 1,580 nel 2015), comprensivi anche di quelli per le coperture di autoveicoli e attività produttive. Nel 2014 gli indennizzi per calamità naturali sono ammontati a 2,2 miliardi di euro. Nel ventennio 1995-2014 gli indennizzi pagati complessivamente sono stati pari a 30 miliardi.

Il sistema rappresenta una forma di partenariato pubblico-privato, in cui le imprese di assicurazione sono in grado di sostenere l'onere dei risarcimenti per eventi di gravità medio-lieve, con l'eventuale supporto del riassicuratore sostenuto dallo Stato. Soltanto eventi estremamente critici richiederebbero l'intervento diretto delle finanze pubbliche.

Il sistema svizzero

Il territorio svizzero è principalmente esposto a rischi alluvionali e di smottamento e in minor misura a quelli sismici. Dal 2005 le polizze incendio sulle costruzioni debbono anche coprire dal rischio alluvionale e da altri rischi naturali quali frane, valanghe e caduta di rocce (Consorzio de Compensación de Seguros, 2008). Non è tuttavia obbligatoria la copertura per il rischio sismico, relativamente poco diffusa. La regolamentazione è a livello cantonale. Dei 26 cantoni, 19 hanno istituito un assicuratore pubblico che opera in regime di monopolio, mentre nei restanti 7 queste coperture sono offerte da assicuratori privati in regime di concorrenza⁵⁴.

Gli assicuratori pubblici nei 19 cantoni praticano tariffe fisse indipendenti dal livello di rischio naturale, con fissati livelli di franchigia (in genere tra il 10% e il 15% del danno). Il livello delle tariffe è fissato con l'obiettivo di non avere perdite sul complesso delle coperture offerte. Un consorzio riassicurativo fornisce una garanzia *stop-loss* per i rischi naturali (eccetto quelli sismici), che gli assicuratori cantonali possono acquistare liberamente. Il consorzio a sua volta si riassicura sul mercato internazionale. Dal 1996 uno schema solidaristico tra consorzio e assicuratori pubblici interviene in caso di catastrofi naturali di rilevante entità, con riserve create allo scopo tramite contribuzioni definite da parte dei partecipanti allo schema⁵⁵.

La copertura *cat-nat* in regime di libero mercato (in 7 cantoni) è fornita da un *pool* assicurativo, nonostante sia solo una integrazione alla copertura contro l'incendio che invece è fornita dai singoli partecipanti al *pool*. La partecipazione al *pool* dipende dalla quota di mercato in termini di capitali assicurati. Le compagnie provvedono al risarcimento del 20% del valore dei sinistri e il restante 80% è a carico del *pool*, senza che ciò comporti un trasferimento di premi. Anche le tariffe del libero mercato sono fisse su tutto il territorio svizzero e sono determinate in percentuale del valore assicurato. Lo stesso *pool* provvede alla riassicurazione di tipo *stop-loss*, tramite un sistema che combina acquisto di quote di rischio da parte dei partecipanti in misura sia volontaria sia obbligatoria. La doppia natura, in parte pubblica e in parte privata, del sistema svizzero sembra utile per un confronto diretto. In proposito, sono particolarmente nette le risultanze dell'analisi di von Ungern-Sternberg (2004), che, su

⁵⁴ Per quanto riguarda il contenuto delle abitazioni, l'assicurazione è offerta dalle assicurazioni private, ad eccezione di alcuni cantoni dove è disponibile la copertura dell'assicuratore cantonale.

⁵⁵ Lo schema è entrato in funzione nel 1999 e nel 2005 in occasione di alluvioni e tempeste di neve che hanno flagellato l'Europa centrale.

dati aggiornati a fine anni '90, mostra maggiore efficienza e contenimento dei prezzi nel sistema svizzero pubblico rispetto a quello privato.

Il sistema spagnolo

Lo stato spagnolo gestisce le coperture contro le calamità naturali tramite un assicuratore a capitale pubblico, il Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), istituito nel 1941 e operante anche in altri rami assicurativi (Consorcio de Compensación de Seguros, 2016). Il CCS garantisce i rischi straordinari alle persone e ai beni, che comprendono sia molti rischi naturali (terremoti e maremoti, inondazioni, eruzioni vulcaniche, etc.) sia i rischi derivanti da azioni umane (terrorismo, rivolte, etc.).

La garanzia opera come estensione automatica delle normali garanzie su persone e beni concesse dall'industria assicurativa e si attiva se non già presente nel contratto-base, oppure, se presente, in caso di insolvenza della compagnia che lo emette. Si tratta quindi anche qui di una forma di sistema semi-obbligatorio. La gamma delle garanzie interessate dall'estensione è ampia: dagli infortuni alle persone alle coperture incendio sugli immobili, ma anche le perdite pecuniarie e la r.c. auto.

Il capitale coperto dalla garanzia accessoria è lo stesso del contratto-base, con una franchigia del 7% sui beni.

Non è necessaria una dichiarazione ufficiale di catastrofe per avere diritto ai risarcimenti. È sufficiente una semplice denuncia dell'assicurato, a cui segue una indispensabile verifica dei danni da parte dei liquidatori del CCS. Il processo di verifica dei danni non è quindi delegato alle imprese che offrono le garanzie di base.

Il CCS opera sui rischi straordinari in base a tre principi:

- uniformità geografica di trattamento dei rischi, senza tener conto del diverso grado di esposizione,
- gestione di lungo termine dei fondi, in modo che quelli accumulati in anni a bassa sinistralità, possano finanziare i periodi con più elevate richieste di risarcimenti,
- piena cooperazione con l'industria assicurativa.

Il CCS si finanzia con una maggiorazione dei premi, calcolati in percentuale del capitale assicurato dalla polizza-base. Le percentuali sono le stesse su tutto il territorio spagnolo.

Ad esempio il premio annuale per le unità abitative è calcolato in misura dello 0,08 per mille del capitale assicurato (0,12 per mille per gli uffici, 0,21 per mille per le attività industriali, 0,005 per mille per le coperture contro gli infortuni).

Le compagnie che emettono la polizza-base riscuotono la maggiorazione e la riversano ogni mese alla CCS, riscuotendo il 5% come compenso provvigionale. Un'apposita riserva di equalizzazione, che gode di un trattamento fiscale favorevole, gestisce le risorse finanziarie per i risarcimenti, che hanno un andamento molto erratico nel corso degli anni. È prevista la possibilità di un intervento finanziario dello stato per mantenere un adeguato equilibrio tecnico e finanziario del sistema, tenuto conto delle particolari caratteristiche dei rischi coperti e della natura pubblicistica del CCS.

Lo schema assicurativo FloodRe di tutela contro i rischi alluvionali nel Regno Unito

L'assicurazione del rischio di alluvione nel Regno Unito è volontaria. Lo schema assicurativo a lungo termine *Flood Re* è il risultato di un accordo tra Governo e compagnie di assicurazione operativo dal 2016. Esso copre gli immobili costruiti prima del 2009 e destinati ad utilizzi esclusivamente abitativi, posti in zone a rischio alluvionale molto elevato. Sono coperti fino a un massimo del 2% del totale degli immobili, pari a circa 0,5 milioni di unità abitative. Sono esclusi gli immobili di costruzione più recente, per evitare di incentivare lo sviluppo immobiliare nelle aree a maggior rischio tutelate dal consorzio (Surminski e Eltridge, 2015).

Il fondo funziona come un riassicuratore ed è alimentato da una dotazione iniziale di 10 milioni di sterline pagata dalle compagnie, nonché da prelievi effettuati su tutte le polizze alluvioni (in media 10,5 sterline a polizza) e sulle imprese di assicurazione in proporzione alla loro quota di mercato. Il consorzio si riassicura a sua volta sul mercato e detiene capitale e riserve per garantire la copertura delle alluvioni con un tempo di ritorno di 200 anni (la massima esposizione è di 2,9 miliardi di euro).

Le famiglie tutelate dallo schema *FloodRe* pagano un premio funzione della aliquota di tassazione locale sugli immobili, che non tiene conto del rischio alluvionale (a differenza di quelle situate al di fuori di queste aree ad elevato rischio). Le imprese che aderiscono allo schema sono vincolate a offrire queste tariffe e provvedono ai risarcimenti dei rischi coperti dallo schema, poi in parte risarciti dal fondo.

L'obiettivo dello schema è evitare sotto-assicurazione nelle aree a maggior rischio e al contempo garantire coperture a prezzi accettabili (*affordable*) alle famiglie a basso reddito (European Commission, 2015). Le possibili distorsioni del mercato sono attenuate consentendo a tutte le imprese autorizzate di beneficiare dello schema. Nelle intenzioni iniziali del legislatore, lo schema dovrebbe avere la durata di 20-25 anni. In questo lasso di tempo dovrebbe avvenire una transizione graduale a tariffe basate sul rischio, incentivata da opere di messa in sicurezza delle aree più a rischio, nonché da adeguati piani regolatori.

Alla fine del 2016 lo schema risultava assicurare 130.000 unità abitative.

In sintesi, *FloodRe* rappresenta una forma di partenariato pubblico-privato, in cui il settore privato consente a chi risiede in aree a forte rischio alluvione di poter assicurare la propria abitazione a prezzi sostenibili, con il sostegno di un fondo di riassicurazione *non-profit* di tipo pubblicitario.

Uno schema transnazionale tra paesi in via di sviluppo: il Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility - Segregated Portfolio Company

CCRIF-SPC è una *non-profit risk pooling facility* per i paesi caraibici (Caricom, Caribbean Community) nata nel 2007, con supporto della World Bank, a seguito degli eventi catastrofici del tornado Ivan del 2004 (v. <http://www.ccrif.org/>)

Essa offre una forma di assicurazione parametrica a favore dei Governi contro il rischio di cicloni, terremoti e precipitazioni estreme (dal 2013) nonché coperture per il portafoglio di istituzioni finanziarie i cui prestiti risultano concessi a soggetti esposti a calamità naturali.

CCRIF opera come una mutua assicurazione in cui i 16 paesi partecipanti pagano un premio annuo in funzione del rischio trasferito acquistando una copertura fino a un massimo di circa 100 mil di \$ per rischio assicurato. Il *pooling* dei rischi comporta una riduzione stimata del premio del 50%. In tal modo l'assicurazione fornisce in modo *cost-effective* le disponibilità finanziarie necessarie a fronteggiare eventi catastrofici nel periodo intermedio tra la fase emergenziale e il recupero economico di medio-lungo termine. In genere la copertura assicurativa copre circa un quarto dell'esposizione complessiva del Governo al rischio di catastrofe.

I rischi sono segregati in altrettanti portafogli ma ciò non impedisce l'accesso congiunto sul mercato dei capitali e della riassicurazione, con benefici per tutti i partecipanti.

CCRIF è stata capitalizzata con un fondo cui hanno partecipato, oltre a Caricom, Canada, EU, World Bank, UK, Francia, Irlanda e Bermuda.

Nel 2016, a fronte di 168 milioni di dollari di impegni, il CCRIF ne ha trattenuti 30, trasferiti 108 su polizze di riassicurazione e 30 su Cat bond venduti sul mercato internazionale dei capitali. La sua solvibilità calcolata arriva a coprire eventi fino a 1 su 1000 (99,9%).

L'assicurazione parametrica implica un indennizzo prefissato in presenza di un evento catastrofico con un'intensità non inferiore a un dato livello. L'indennizzo tra l'intensità minima (*attachment point*) e la massima (*exhaustion point*) può essere modulato. Si noti che l'intensità minima, tradotta in perdite monetarie, implica uno scoperto (*deductible*) mentre quella massima rappresenta un massimale assicurato. Entrambe sono spesso indicate in termini di tempi medi di ritorno (es. *attachment* "1 su 20"; *exhaustion* "1 su 200"). Un terzo parametro è la percentuale di cessione del rischio (tra 0 e 100) dall'assicurato all'assicuratore.

Sia la valutazione del rischio (che, con i parametri di polizza, determina il *pricing*) sia l'attivazione (*trigger*) sia il calcolo degli indennizzi sono fatti su basi esclusivamente oggettive.

In particolare, il calcolo delle perdite (e quindi degli indennizzi) dipende da prefissati parametri: posizione e intensità dell'evento, *exposure* e *vulnerability* degli *asset* nelle diverse aree.

Per tali caratteristiche, l'assicurazione parametrica consente una pronta liquidazione (entro 2 settimane dall'evento) e risparmi di spese (accertamento dei danni, valutazione delle perdite etc.) con significativi effetti sul livello del premio rispetto alle assicurazioni tradizionali⁵⁶.

Inoltre, dopo la sottoscrizione del contratto, ogni sforzo di riduzione del rischio (in termini di *exposure* e *vulnerability*) non incide sull'importo della liquidazione concordata in caso di catastrofe.

In 8 anni di attività (2007-2014) CCRIF ha liquidato indennizzi per circa 36 milioni di dollari.

⁵⁶ L'assicurato (Governo) resta esposto al *basis risk*, vale a dire al rischio di differenza negativa tra ammontare liquidato e effettivo danno subito.

Tavola di sintesi dei principali sistemi di protezione assicurativa contro le calamità naturali

Francia	
Eventi coperti	Alluvioni, terremoti, eruzioni vulcaniche, <i>tsunami</i> , spostamento dei ghiacciai
Beni assicurabili	Immobili e contenuto, locali commerciali/industriali, veicoli terrestri
Tipologia di polizza	Obbligatoriamente accessoria alla polizza incendio
Determinazione del premio	In % del premio base, con tariffa unica senza specifiche classi di rischio
Franchigie/Massimali	Bassi livelli iniziali, aumentabili per: 1) rischi frequenti 2) per incentivare comportamenti attivi delle amministrazioni locali nelle opere di prevenzione
Livello di obbligatorietà del sistema	Sistema non obbligatorio, ma assicurazione collegata obbligatoriamente a una copertura-base contro gli incendi molto diffusa
<i>Governance</i> del sistema e ruolo dello Stato	Forte ruolo regolatore dello Stato, garanzia statale illimitata per il riassicuratore principale. Previsto specifico organo pubblico, che decide, su richiesta di una delle parti interessate, sulle controversie assicurative
Ruolo delle imprese assicurative	Offerta delle coperture, gestione dei risarcimenti, costituzione di riserve dedicate in bilancio
Riassicurazione	Previsto un riassicuratore garantito dallo Stato, con libertà di operare per altri soggetti
Diffusione delle coperture assicurative	La quasi totalità degli edifici sono assicurati per questi rischi
Svizzera	
Eventi coperti	Alluvioni, frane, smottamenti cadute di roccia, terremoti
Beni assicurabili	Immobili e contenuto
Tipologia di polizza	Obbligatoriamente accessoria alla polizza incendio (tranne la garanzia per il terremoto)
Determinazione del premio	Sulla base dei costi per l'offerta dell'assicuratore locale in regime di monopolio pubblico, in base a tariffe in percentuale dei valori assicurati per l'offerta delle assicurazioni private. I premi non dipendono dal rischio
Franchigie/Massimali	Applicati.
Livello di obbligatorietà del sistema	Sistema non obbligatorio, ma assicurazione per molti rischi naturali diversi dal terremoto collegata obbligatoriamente a una copertura-base contro gli incendi molto diffusa
<i>Governance</i> del sistema e ruolo dello Stato	Forte ruolo regolatore delle autorità locali cantonali. Nella maggioranza dei cantoni l'assicurazione è offerta da una compagnia a capitale pubblico.
Ruolo delle imprese assicurative	Il sistema assicurativo offre coperture e gestisce risarcimenti, in forma di monopolio pubblico o in regime di libera concorrenza
Riassicurazione	Fornita da sistemi consortili che associano separatamente gli assicuratori pubblici e quelli privati
Diffusione delle coperture assicurative	La quasi totalità degli edifici sono assicurati per i maggiori rischi naturali diversi dal terremoto

Spagna	
Eventi coperti	Alluvioni, terremoti, eruzioni, ma anche danni causati da atti terroristici
Beni assicurabili	Proprietà immobiliare e autoveicoli
Tipologia di polizza	Obbligatoriamente accessoria alla polizza incendio delle abitazioni, ma anche ad altre garanzie danni
Determinazione del premio	In % del premio base, con tariffa unica senza specifiche classi di rischio
Franchigie/Massimali	Garantito lo stesso capitale del contratto base, con franchigia del 7% sui beni.
Livello di obbligatorietà del sistema	Come per la Francia, sistema non obbligatorio, ma assicurazione collegata obbligatoriamente a una copertura-base contro gli incendi molto diffusa
<i>Governance</i> del sistema e ruolo dello Stato	Forte ruolo regolatore dello Stato. Un organismo pubblico (CCS) garantisce per i danni da calamità e gestisce i risarcimenti. Per i risarcimenti CCS gestisce una riserva in ottica di lungo termine, con la possibilità di un rifinanziamento pubblico in casi di squilibrio finanziario
Ruolo delle imprese assicurative	Le compagnie riscuotono la maggiorazione del premio di base e la riversano al CCS prelevando una percentuale del 5% come compenso per il servizio di intermediazione.
Riassicurazione	Il sistema non prevede l'utilizzo della riassicurazione
Diffusione delle coperture assicurative	Coperture in generale molto diffuse
Regno Unito	
Eventi coperti	Terremoti, tempeste e bufere, inondazioni
Beni assicurabili	Immobili e loro contenuto
Tipologia di polizza	Coperture in generale incluse nell'assicurazione per la casa
Determinazione del premio	Tariffe <i>risk-based</i> per le calamità naturali diverse dal terremoto, il consorzio Flood RE riduce i costi dei premi nelle aree a elevato rischio alluvionale Tariffa unica per le coperture contro il terremoto (evento molto raro nel Regno Unito)
Franchigie/Massimali	Previste franchigie predefinite in relazione al rischio
Livello di obbligatorietà del sistema	Sistema non obbligatorio. Assicurazione opzionale collegata a coperture di base relativamente diffuse, in genere previste in caso di mutui
<i>Governance</i> del sistema e ruolo dello Stato	Nessun intervento regolatore da parte dello Stato. Nessun risarcimento pubblico previsto in caso di calamità naturale
Ruolo delle imprese assicurative	Offerta delle coperture, gestione dei risarcimenti, costituzione di riserve dedicate in bilancio, che godono di agevolazioni fiscali
Riassicurazione	Le imprese si riassicurano sul mercato
Diffusione delle coperture assicurative	Coperture in generale richieste per la costituzione di mutui ipotecari

Turchia	
Eventi coperti	Terremoti
Beni assicurabili	Immobili a uso residenziale
Tipologia di polizza	Polizza specifica per il rischio sismico. Condizioni contrattuali definite a livello centrale e non variabili
Determinazione del premio	Tariffe <i>risk-based</i> . Premio definito in base a coefficienti unici a livello nazionale
Franchigie/Massimali	Previsto un massimale di 45 mila euro
Livello di obbligatorietà del sistema	Obbligatoria per tutti gli immobili residenziali (eccetto quelli nei piccoli centri). Assicurazione obbligatoria per alcuni contratti, ma senza un efficace sistema di verifica
<i>Governance</i> del sistema e ruolo dello Stato	Forte ruolo regolatore dello Stato, ma gestione lasciata ai privati. Incentivi fiscali per messa in sicurezza delle abitazioni e per la ricostruzione di edifici a rischio sismico
Ruolo delle imprese assicurative	Un'unica compagnia origina i contratti, provvede alla loro riassicurazione e gestisce i risarcimenti. Le altre imprese sono obbligate a collocare queste polizze sul mercato
Riassicurazione	Riassicurazione effettuata sui mercati internazionali, con lo Stato che sottoscrive una parte dei rischi
Diffusione delle coperture assicurative	Coperte 42% delle abitazioni
Giappone	
Eventi coperti	Terremoti
Beni assicurabili	Fabbricati residenziali e contenuto: schema di assicurazione basato su una legge del 1996. Per le coperture a fabbricati non residenziali, l'assicurazione è lasciata al libero mercato
Tipologia di polizza	Garanzia non obbligatoria accessoria alla polizza incendio.
Determinazione del premio	Tariffe <i>risk-based</i> . Premio definito in base a coefficienti unici a livello nazionale. Sconti su tariffa base incentivano la messa in sicurezza degli edifici
Franchigie/Massimali	Limite al capitale assicurabile: 30-50% di quello assicurato con la garanzia incendio, fino a un massimale di 435 mila euro per l'immobile
Livello di obbligatorietà del sistema	Sistema non obbligatorio. Assicurazione collegata a una copertura-base (contro incendi), molto diffusa
<i>Governance</i> del sistema e ruolo dello Stato	Forte ruolo dello Stato, che riceve in riassicurazione una parte del portafoglio premi, gestiti in un fondo separato. Il fondo alimenta i risarcimenti a carico dello Stato. Deduzioni fiscali incentivano sia ad assicurarsi sia a migliorare le caratteristiche antisismiche degli edifici
Ruolo delle imprese assicurative	Offerta delle coperture, gestione dei risarcimenti, costituzione di riserve dedicate in bilancio
Riassicurazione	Tutto il portafoglio è riassicurato obbligatoriamente presso un unico riassicuratore monopolista (JER). JER a sua volta retrocede il portafoglio al settore assicurativo e allo Stato. In caso di sisma, lo Stato paga i danni superiori a un dato ammontare complessivo
Diffusione delle coperture assicurative	Attive nel 2015 16 milioni di polizze (2,1 miliardi di euro di premi nello stesso anno). 30% delle abitazioni giapponesi sono assicurate. Mercato in crescita

Stati Uniti	
Eventi coperti	Polizze specifiche per uragani, bufere, altre polizze specifiche per alluvioni e terremoti. Coperture contro alluvioni: obbligatorie per mutui, con programma assicurativo federale (partenariato pubblico-privato) California: partenariato pubblico-privato per coperture terremoti non obbligatorie. Alluvioni: tariffe <i>risk-based</i> centralizzate, polizze distribuite anche dalle compagnie private devolute a un fondo (NFIP) che gestisce i risarcimenti
Beni assicurabili	Assicurato anche il contenuto per le coperture alluvione
Tipologia di polizza	Specifiche polizze previste per i rischi alluvionali e per quelli sismici. Rischio sismico: offerta sia come estensione della polizza sulla casa sia come polizza separata
Determinazione del premio	Alluvioni: tariffe <i>risk-based</i> centralizzate. Previste agevolazioni Rischio sismico: tariffe <i>risk based</i> libere. Premi elevati per il rischio sismico
Franchigie/Massimali	Alluvioni: Massimali 0,25 mil. \$ per l'edificio, 0,10 mil. \$ per il contenuto (237 mila e 95 mila euro). Previste franchigie per rischio sismico
Livello di obbligatorietà del sistema	Alluvioni: copertura obbligatoria in aree a rischio alluvionale e per edifici coperti da mutuo. Terremoto: copertura non obbligatoria
<i>Governance</i> del sistema e ruolo dello Stato	Alluvioni: ruolo del governo federale nella determinazione del rischio e delle tariffe. Il fondo concede polizze agevolate. Terremoto: Partenariato in California col Fondo CEA che gode di benefici fiscali e concede polizze agevolate
Ruolo delle imprese assicurative	Offrono polizze in collaborazione con le varie forme di partenariato, ove previste
Riassicurazione	Libero mercato della riassicurazione, emessi anche <i>cat bonds</i> dal fondo CEA
Diffusione delle coperture assicurative	Rischi da alluvione: coperte 12% delle abitazioni. Rischi sismici: 900 mila polizze in California vendute dalla CEA
Cile	
Eventi coperti	Alluvioni, terremoti, <i>tsunami</i>
Beni assicurabili	Immobili e loro contenuto, locali commerciali/industriali
Tipologia di polizza	Formalmente opzionale, ma richiesta per le proprietà con un mutuo
Determinazione del premio	Premio uniforme (% del costo di ricostruzione)
Franchigie/Massimali	Sono previste franchigie per: rischi degli immobili residenziali: 1% del valore totale assicurato con un minimo di 1.000 \$; per i rischi degli edifici commerciali: 2% del valore totale assicurato con un minimo di 2.000 \$.
Livello di obbligatorietà del sistema	Sistema non obbligatorio, ma richiesto dagli Istituti di credito per gli immobili gravati da ipoteca
<i>Governance</i> del sistema e ruolo dello Stato	Forte ruolo regolatore dello Stato
Ruolo delle imprese assicurative	Offerta delle coperture, gestione dei risarcimenti, costituzione di riserve dedicate in bilancio
Riassicurazione	Previsto un meccanismo di riassicurazione sul mercato internazionale
Diffusione delle coperture assicurative	Alta diffusione fra gli edifici commerciali e gli immobili residenziali e bassa diffusione fra gli edifici pubblici

Nuova Zelanda	
Eventi coperti	Terremoti, eruzioni vulcaniche, <i>tsunami</i>
Beni assicurabili	Immobili e contenuto, locali commerciali/industriali, veicoli terrestri
Tipologia di polizza	Obbligatoriamente accessoria alla polizza incendio
Determinazione del premio	In % del premio base, con tariffa unica senza specifiche classi di rischio
Franchigie/Massimali	Massimale di 100 mila NZ\$ per gli immobili, 20 mila per il contenuto (66 mila e 13 mila euro).
Livello di obbligatorietà del sistema	Sistema non obbligatorio, ma assicurazione collegata obbligatoriamente a copertura incendio molto diffusa
<i>Governance</i> del sistema e ruolo dello Stato	Forte ruolo regolatore dello Stato che, tramite una commissione (EQC), gestisce il <i>Natural Disaster Fund</i> , alimentato da prelievi sui premi versati. Garanzia statale illimitata sui danni eccedenti le coperture riassicurative
Ruolo delle imprese assicurative	Offerta delle coperture, costituzione di riserve dedicate in bilancio Un'unica compagnia assicurativa a controllo pubblico (<i>Southern Response LTD</i>) liquida tutti i sinistri catastrofali senza raccogliere premi
Riassicurazione	La EQC stipula polizze di riassicurazione al fine di mantenere il valore del <i>Natural Disaster Fund</i> . In caso di insufficienza delle garanzie riassicurative, lo Stato interviene per la copertura delle perdite generate dal Fondo
Diffusione delle coperture assicurative	90% degli edifici assicurati per questi rischi

Bibliografia

Akerlof, G.A. (1970) The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *Quarterly Journal of Economics*, vol. 84(3), Pages: 488-500.

Ania, Guy Carpenter (2011). *Danni da eventi sismici e alluvionali al patrimonio abitativo italiano: studio quantitativo e possibili schemi assicurativi*.

<http://www.ania.it/export/sites/default/it/pubblicazioni/monografie-e-interventi/Danni/Danni-da-eventi-sismici-e-alluvionali.pdf>

Arrow K. (1970). *Essays in the theory of risk bearing*. Amsterdam, North Holland.

Banca d'Italia (2015a). *I bilanci delle famiglie italiane nell'anno 2014*. Supplementi al Bollettino Statistico, Indagini campionarie, Anno XXIV, 3 dicembre 2015.

http://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/indagine-famiglie/bil-fam2014/suppl_64_15.pdf

Banca d'Italia (2015b). *La ricchezza delle Famiglie Italiane 2014*. Supplementi al Bollettino Statistico, Indicatori monetari e finanziari, Anno XXIV, 16 dicembre 2015.

http://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/ricchezza-famiglie-italiane/2015-ricchezza-famiglie/suppl_69_15.pdf

Barberio M.D., Barbieri M., Billi A., Doglioni C., Petitta M. (2017). Hydrogeochemical changes before and during the 2016 Amatrice-Norcia seismic sequence (central Italy). *Scientific Reports*, Volume 7, n. 11735.

<https://www.nature.com/articles/s41598-017-11990-8>

Centro Studi Consiglio Nazionale Ingegneri (2014). *I costi dei terremoti in Italia*.

https://cache.b.centrostudicni.it/images/pubblicazioni/ricerche/cr470_costi_terremoto_59a5d.pdf

Cesari R. (2012), *Introduzione alla finanza matematica. Mercati azionari, rischi e portafogli*. McGraw-Hill.

Charpentier, A. (2008). Insurability of climate risks. *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, Issue 33, Pages: 91-109.

<https://doi.org/10.1057/palgrave.gpp.2510155>

Consorcio de Compensación de Seguros (2008). *Natural catastrophes insurance cover. A diversity of systems*.

https://www.conorseguros.es/web/documents/10184/48069/CCS_Natural_Catastrophes_Insurance_Cover.pdf/d7cf67cc-9591-476b-87d9-728e6a57ca60

Consorcio de Compensación de Seguros (2016). *An overview*.

https://www.conorseguros.es/web/documents/10184/48069/CCS2016_EN.pdf/b7ed4f5e-6400-41f5-a1fb-d98e5f6a3778

Crichton, D. (2008). Role of insurance in reducing flood risk. *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, Issue 33, Pages: 117-132.

<https://doi.org/10.1057/palgrave.gpp.2510151>

Daboni L. (1993). *Lezioni di tecnica attuariale delle assicurazioni contro i danni*. Trieste, Lint.

Dolce M. (2012). *The Italian National Seismic Prevention Program*. Proceedings of the 15th world conference on Earthquake Engineering, Lisbona, 24-28 settembre 2012.

<http://toc.proceedings.com/24574webtoc.pdf>

Embrechts P., Klüppelberg C., Mikosch T. (2013). *Modelling extremal events: for insurance and finance*. Springer Science & Business Media, 2013.

Espon (2013) *Territorial Dynamics in Europe: Natural Hazards and Climate Change in European Regions*.

<https://www.espon.eu/topics-policy/publications/territorial-observations/territorial-dynamics-europe-natural-hazards-and>

European Commission (2015). *State support to the flood reinsurance scheme – United Kingdom*.

http://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/255394/255394_1632972_115_2.pdf

European Commission (2016). *Action Plan on the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. A disaster risk-informed approach for all EU policies*.

https://ec.europa.eu/echo/sites/echo-site/files/1_en_document_travail_service_part1_v2.pdf

Faenza L., Michelini A. (2010). Regression analysis of MCS intensity and ground motion parameters in Italy and its application in ShakeMap. *Geophysical Journal International*, Volume 180, Issue 3, 1 March 2010, Pages: 1138–1152.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05125.x>.

Friedman, D. G. (1984). Natural hazard risk assessment for an insurance programme. *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, Volume 9, Issue 3, Pages: 57-128.

Gallagher J. (2014). Learning about an infrequent event: evidence from flood insurance take-up in the United States. *American Economic Journal: Applied Economics*, Volume 6, Issue 3, Pages: 206-233.

http://faculty.weatherhead.case.edu/jpg75/pdfs/flood_insurance_aeja.pdf

Hudson P., Botzen W. J. W., J. Czajkowski, Kreibich, H. (2014). Risk selection and moral hazard in natural disaster insurance markets: empirical evidence from Germany and the United States. *Risk Management and Decision Processes Center (The Wharton School, University of Pennsylvania) Working Paper*, (2014-07).

https://www.researchgate.net/profile/Paul_Hudson5/publication/268630377_Risk_Selection_and_Moral_Hazard_in_Natural_Disaster_Insurance_Markets_Empirical_evidence_from_Germany_and_the_United_States

INGV (2019). Vulcani attivi e vulcani monitorati.

<http://vulcani.ingv.it/>

Istat (2017). *Rapporto BES 2016: il benessere equo e sostenibile in Italia*.

http://www.istat.it/it/files/2017/12/Bes_2017.pdf

Istat (2019). *La ricchezza non finanziaria in Italia – Anni 2001-2017*.

<https://www.istat.it/it/files//2019/02/La-ricchezza-non-finanziaria-in-Italia-Anno-2017.pdf>

Ispra (2016). *Consumo del suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*.

<http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/Rapporto consumo suolo 20162.pdf>

Ivass (2016). Relazione sull'attività svolta dall'istituto nel 2015.

https://www.ivass.it/pubblicazioni-e-statistiche/pubblicazioni/relazione-annuale/2016/Relazione_IVASS_2015.pdf

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04467>

Kunreuther H. C., Michel-Kerjan E. O. (2007). Climate change, insurability of large-scale disasters and the emerging liability challenge. National Bureau of Economic Research, Working Paper n. 12821.

<http://www.nber.org/papers/w12821.pdf>

Kunreuther H. C., Michel-Kerjan E. O. (2013). Managing Catastrophic Risk Through Redesigned Insurance: Challenges and Opportunities in Dionne G. (ed.). *Handbook of insurance*. Springer Science + Business Media, New York.

<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0155-1>

Lovett, R. A. (2011). Se l'Europa sprofonda sotto l'Africa. National Geographic, aprile.

http://www.nationalgeographic.it/scienza/2011/04/20/news/se_l_europa_sprofonda_sotto_l_africa-299038/

Mysiak J., Pérez-Blanco C.D. (2016). Partnerships for disaster risk insurance in the EU. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Volume 16, Pages 2403-2419.

<https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/16/2403/2016/nhess-16-2403-2016.pdf>

Oecd (2017), Revised report on the financial management of earthquake risk, 22 November.

Oecd (2018), The contribution of reinsurance markets to managing catastrophe risks.

<http://www.oecd.org/daf/fin/insurance/the-contribution-of-reinsurance-markets-to-managing-catastrophe-risk.htm>

Poljanšek, K., Marín Ferrer, M., De Groeve, T., Clark, I. (eds.) (2017). *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-60679-3, JRC102482.

DOI: <https://doi.org/10.2788/842809>

Poussin J., Botzen J. K., Wouter W.J., J. Aerts, C. J. H. Jeroen (2013). Stimulating flood damage mitigation through insurance: an assessment of the French CatNat system. *Environmental Hazards*, Volume 12, Issue 3-4, Pages: 258-277.

Pratt J. (1964). Risk aversion in the small and in the large. *Econometrica*, Issue 32, Pages: 143-154.

Raschky, P. A., Weck-Hannemann, H. (2007). Charity hazard—A real hazard to natural disaster insurance?. *Environmental Hazards*, Volume 7, Issue 4: Pages: 321-329.

<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/71937/1/741509377.pdf>

Rothschild, M., Stiglitz, J. E. (1976). Equilibrium in competitive insurance markets: an essay on the economics of imperfect information. *Quarterly Journal of Economics*, Volume 4, Issue 90, Pages: 629-649.

Roubault M. (1970). *Peut-on prévoir les catastrophes naturelles?*. Presses universitaires de France.

Rubino, P. (2019). La mitigazione del rischio sismico in Italia: obiettivi e strumenti. *Argomenti*, n. 12/2019 (gennaio-aprile), Page: 37-60.

<http://ojs.uniurb.it/index.php/argomenti/issue/view/207/showToc>

Signorini L.F. (2017a). *The Financial system, environment and climate: a regulator's perspective*. Intervento inaugurale per la presentazione del report “National Dialogue On Sustainable Finance”, 6 febbraio 2017.

http://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/interventi-direttorio/int-dir-2017/Signorini_06.02.2017.pdf

Signorini L.F. (2017b). *Terremoti, economici e no*. Intervento nel corso dell'incontro su “Le Marche nel corso del 2017: tra ripresa economica ed effetti del sisma”, Università di Camerino, 22 novembre 2017.

<http://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/interventi-direttorio/int-dir-2017/Signorini-221117.pdf>

Surminski S., Eldridge J. (2015). Flood insurance in England—an assessment of the current and newly proposed insurance scheme in the context of rising flood risk. *Journal of Flood Risk Management*, Volume 10, Issue 4, Pages: 415-435.

http://eprints.lse.ac.uk/66256/1/Surminski_Flood%20insurance%20in%20England1.pdf

SwissRe (2015). *Underinsurance of property risks: closing the gap*. Issue 5.

https://www.riskandinsurance.com/wp-content/uploads/2015/10/Swiss-Re_Underinsurance-of-property-risks.pdf

SwissRe (2016a), *Flood resilience in Italy – Acting together*.

<https://www.swissre.com/Library/flood-resilience-in-italy.html>

SwissRe (2016b), *Sigma, Natural catastrophes and man-made disasters in 2016, 2, 2017*.

http://institute.swissre.com/research/overview/sigma/2_2017.html

SwissRe (2019). *L'aquila 10 anni dopo*. Edizione speciale per sigma n. 2/2019.

<https://www.swissre.com/risk-knowledge/mitigating-climate-risk/natcat-2019/laquila-10-anni-dopo-edizione-speciale-per-sigma-2-2019.html>

von Ungern-Sternberg T. (2004). *Efficient Monopolies: The Limits of Competition in the European Property Insurance Market*. Oxford University Press."

Woessner J., Laurentiu D., Giardini D. *et al.* (2013). The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results. *Bulletin of Earthquake Engineering*, Volume 13, Issue 12, Pages: 3553-3596.
<https://doi.org/10.1007/s10518-015-9795-1>