



Progetto S3 – Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico

Responsabili: Francesca Pacor (INGV-MI) e Marco Mucciarelli (Unibas)

TASK 5 – POTENZA – DELIVERABLES D18, D19 D24

EFFETTI DI SITO E SCENARI DI DANNO

TASK 7 - INTERFACCIAMENTO CON L'INGEGNERIA ED IL DPC

IL CASO DI POTENZA

A cura di

UR 4 IMAA-CNR - M.R. Gallipoli

UR 6 Unibas –A. Masi, M. Mucciarelli, M. Vona, L. Samela

GFZ – S. Parolai, A. Strollo e E. Gunther

LUGLIO 2007

INDICE

PREMESSA.....	5
EXECUTIVE SUMMARY	5
1 TASK 5 - SCENARI AREA 3: POTENZA	7
1.1 LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO	8
1.1.1 Metodologia di quantificazione degli effetti di amplificazione locale dell'azione sismica.....	8
1.1.2 Valutazione degli effetti di amplificazione locale sul territorio urbano utilizzando misure di rumore ambientale	12
1.2 SCENARI DI DANNO SISMICO PER IL CENTRO URBANO DI POTENZA BASATI SU RECENTI STUDI DI PERICOLOSITÀ E VULNERABILITÀ	16
1.2.1 La legge di correlazione tra Intensità spettrale di Housner – Intensità Macrosismica MCS.....	17
1.2.2 La selezione del moto sismico di input.....	22
1.2.3 Differenti modelli di valutazione della vulnerabilità e del danno agli edifici	23
1.2.4 Analisi dei dati di vulnerabilità disponibili	26
1.2.5 Gli scenari di danno fisico agli edifici.....	30
BIBLIOGRAFIA.....	43
1.3 MISURE SU EDIFICI E RISONANZA SUOLO-EDIFICATO	44
BIBLIOGRAFIA.....	48
2 TASK 7 - INTERFACCIAMENTO CON L'INGEGNERIA ED IL DPC	49
2.1 SELEZIONE DI ACCELEROGRAMMI NATURALI E SINTETICI PER LA PREDISPOSIZIONE DI CURVE DI FRAGILITÀ ..	50
2.1.1 Selezione dell'input sismico.....	52
2.1.2 Selezione delle tipologie strutturali	59
2.1.3 Risultati delle Analisi dinamiche non lineari.....	60
2.1.4 Conclusioni	64
BIBLIOGRAFIA.....	66
2.2 SCENARI DI DANNO SISMICO PER L'ESERCITAZIONE NAZIONALE DI PROTEZIONE CIVILE "TERREMOTO VAL D'AGRI 2006"	67
2.2.1 Le attività del GdL-DiSGG a supporto dell'esercitazione.....	68
2.2.2 La preparazione degli scenari di danno	69
2.2.3 Il rilievo dalle caratteristiche di vulnerabilità sismica degli edifici privati ad uso abitativo.....	71

2.2.4	<i>La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici.....</i>	72
2.2.5	<i>L'evento sismico di riferimento.....</i>	75
2.2.6	<i>Gli scenari di danno fisico agli edifici ad uso abitativo</i>	79
2.2.7	<i>Valutazione delle conseguenze attese sulla popolazione</i>	81
BIBLIOGRAFIA.....		84
3	SINTESI DEL WORKSHOP INGV-RELUIS: INPUT SISMICO	85
3.1	ASPETTI INGEGNERISTICI.....	85
3.1.1	<i>Definizione dell'input sismico per valutazioni di rischio e scenari</i>	85
3.1.2	<i>Definizione dell'input sismico per la progettazione</i>	86
3.1.3	<i>Aspetti normativi.....</i>	87
3.1.4	<i>Aspetti di ricerca per la stima corretta (unbiased) della risposta sismica non lineare delle strutture.....</i>	87
3.2	ASPETTI SISMOLOGICI.....	89
3.2.1	<i>Definizione dell'input sismico per valutazioni di rischio e scenari</i>	89
3.2.2	<i>Definizione dell'input sismico per la progettazione</i>	90
3.3	INTERAZIONI TRA INGEGNERI E SISMOLOGI.....	91

PREMESSA

Il presente rapporto contiene risultati di attività svolte nell'ambito del progetto DPC-INGV S3, Task 5 e Task 7.

La ragione per cui i deliverables sono stati accorpati, è la loro stretta interdipendenza. Il sito di Potenza era stato scelto come area di studio poiché vi era la disponibilità di una notevole quantità di dati di vulnerabilità a vario livello di complessità. Questo rende Potenza il sito ideale per confrontarsi all'interfaccia tra sismologia ed ingegneria, e molte delle elaborazioni svolte per il calcolo degli scenari di danno sono alla base anche della valutazione di quali siano i parametri più opportuni da utilizzare.

I particolare, facendo riferimento alla numerazione originaria dei deliverables, il capitolo 1.3 fa riferimento a D18 (Funzioni di trasferimento e risposta in frequenza degli edifici); I capitoli da 1.1 a 1.2.5 sono D19 (Introduzione ai dati contenuti nel DVD GIS area Potenza), ma allo stesso tempo quelli da 1.2.3 a 1.2.4 fanno parte di D24 (Specifiche dei parametri sismici necessari per la generazione di scenari nel presente e immediato futuro). A quest'ultimo deliverable fanno riferimento anche 3 capitoli che descrivono l'attività di interfaccia tra sismologia ed ingegneria che non erano originariamente previste, ma che hanno interessato appartenenti alle due comunità scientifiche come gemmazione di idee importanti per il Progetto S3. I risultati di queste attività sono riportati nel capitolo 2 (*Selezione di accelerogrammi naturali e sintetici per la predisposizione di curve di fragilità e Scenari di danno sismico per l'esercitazione nazionale di protezione civile "terremoto val d'agri 2006"*) e nel capitolo 3 (*Sintesi del workshop ingv-reluis: input sismico*).

EXECUTIVE SUMMARY

La generazione di scenari di danno per Potenza, al di là dei risultati ottenuti e resi disponibili sul GIS, ha fatto emergere alcune importanti questioni metodologiche, che vengono di seguito riportate:

- per l'analisi di edifici esistenti, l'approccio a curve di fragilità porta ad una maggiore articolazione e completezza rispetto al modello a matrici di danno. Il parametro più indicato per svolgere analisi dinamiche su edifici esistenti è risultata essere l'intensità di Housner;
- avendo a disposizione una buona quantità di registrazioni sismometriche in un adeguato numero di siti, l'estensione della stima delle amplificazioni di sito può essere agevolmente estesa ad aree vaste seguendo l'approccio seguente:
 1. Si calcolano i rapporti di Housner tra le componenti orizzontali dei terremoti registrati al sito di riferimento e quelle degli altri siti
 2. si effettuano misure di microtremori che ricoprono tutto il territorio di interesse, calcolando il rapporti HVSR

3. si calcola la funzione di correlazione tra i rapporti HVSR da microtrempi ed i rapporti HVSR da terremoti alle stazioni sismiche
 4. si attribuisce ad ogni punto lo stesso rapporto di Housner della stazione sismica con la quale si osserva la maggior correlazione
- per confrontare gli scenari a curve di fragilità con quelli a matrici di danno è stato necessario avere dati di intensità macrosismica come input. Questi sono stati ottenuti sia da relazioni di attenuazione recentemente fornite nell'ambito del progetto S1 che convertendo i sismogrammi sintetici. L'analisi della correlazione tra intensità macrosismica ed intensità di Housner, unitamente all'esame dei rapporti tra IH alle stazioni sismiche, ha mostrato per gli scenari di danno l'inadeguatezza di una assunzione che sta diventando abbastanza comune in Italia: l'identificazione tra rapporto di Housner ed il coefficiente fondazionale per le analisi sismiche secondo la vecchia normativa. L'analisi dei rapporti a Potenza ha mostrato valori sino a 1.8, ben al di sopra di 1,4 che viene comunemente considerato come limite del coefficiente fondazionale. D'altro lato, l'analisi della relazione tra IH ed intensità macrosismica ha mostrato come un rapporto di 1,4 sia ancora inferiore a quanto necessario per aumentare l'intensità di mezzo grado; per avere differenze di un grado di intensità è necessario almeno un raddoppio dell'intensità di Housner.
 - L'analisi delle frequenze degli edifici ha permesso di evidenziare una dipendenza della stessa dall'età di costruzione degli edifici. Anche se il livello di aggregazione del dato disponibile non ha permesso considerazioni legate all'ubicazione del singolo edificio, emerge la possibilità di avere numerosi casi di risonanza tra edificio e suolo di fondazione.

1 TASK 5 - SCENARI AREA 3: POTENZA

Durante il primo anno è stato predisposto un DVD che raccoglie le registrazioni digitali a tre componenti disponibili per eventi in un raggio di 300 Km da Potenza, registrati da stazioni ubicate nell'Appennino Lucano. Si tratta sia di registrazioni sismometriche che accelerometriche. I dati non corretti sono stati convertiti nel formato SAC. Si è predisposta un'interfaccia in formato HTML che permette l'interrogazione della banca dati secondo i parametri di interesse (magnitudo, localizzazione, disponibilità in più stazioni) e la visualizzazione e gestione delle tracce mediante un applet di SeisGram. Questi dati sono stati utilizzati per una nuova stima dei parametri di attenuazione dell'area, condotta con la collaborazione di ricercatori del CICESE, Ensenada, MEX. I nuovi valori di Q in funzione della frequenza sono poi stati passati all'UR dei modellatori INGV per valutare le differenze nel moto del suolo calcolato ottenute a seguito del raffinamento dei parametri di attenuazione.

Si sono recuperati gli studi di microzonazione e studi di amplificazione sismica nel comune di Potenza, oltre al recupero dati di vulnerabilità del patrimonio edilizio.

Assieme all'U.R. del CNR-IMAA si sono effettuate misure di rumore sismico in 250 punti sul terreno ed in 40 edifici selezionati tra i più rappresentativi delle classi di vulnerabilità presenti, allo scopo di evidenziare possibili fenomeni di risonanza suolo – struttura.

1.1 LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO

1.1.1 Metodologia di quantificazione degli effetti di amplificazione locale dell'azione sismica

Ai fini della valutazione degli effetti di amplificazione locale dell'azione sismica nel centro urbano del comune di Potenza sono state predisposte 11 stazioni velocimetriche dal GFZ di Potsdam (Germania) su 14 siti indagati (Figura 1.1.1). La rete ha registrato sui 14 siti di studio (Tabella 1.1.1) circa 250 eventi tra locali ($d < 100$ Km), regionali ($100 < d < 1400$ Km) e telesismi ($d > 1400$ Km). Ai fini dello studio degli effetti di sito, nelle analisi di seguito illustrate sono state analizzate, rispetto ai circa 250 eventi disponibili, le registrazioni relative a 30 eventi locali caratterizzati da distanza epicentrale inferiore 100 km e magnitudo compresa tra nel range 2 – 3.

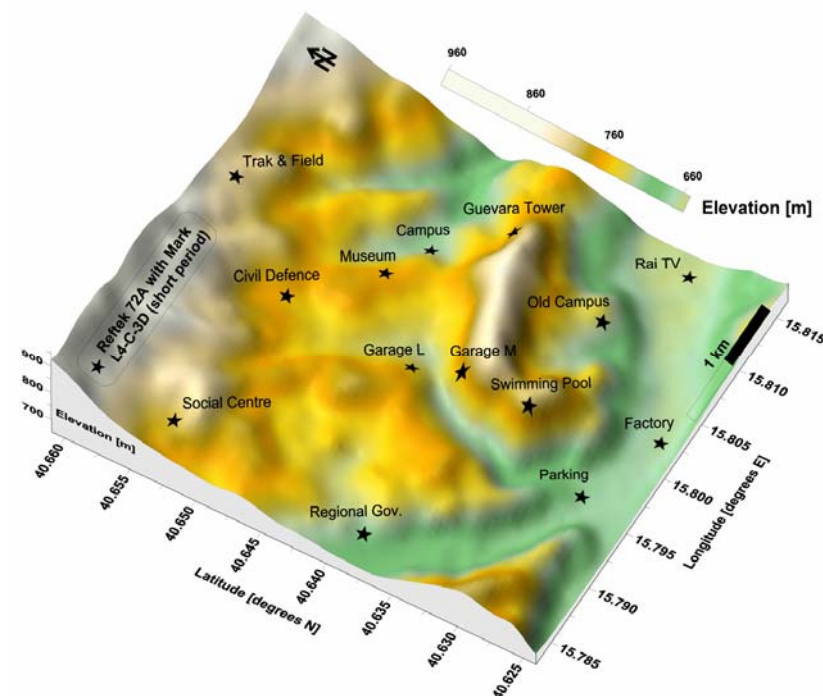


Figura 1.1.1. Collocazione delle Stazioni GFZ nel Centro Urbano di Potenza

Sito	Denominazione	ID Sito	N	E
1	Reference Station	RS	40.6459	15.8070
2	Civil Defence	CD	40.6519	15.7983
3	Regional Government	RG	40.6385	15.7853
4	Swimming Pool	SP	40.6333	15.7981
5	Track & Field	TF	40.6591	15.8040
6	Parking	PA	40.6278	15.7956
7	Guevara Tower	GT	40.6413	15.8101
8	Factory	FA	40.6255	15.8021
9	Museum	MU	40.6471	15.8031
10	Social Centre	SC	40.653	15.7854
11	Garage Mucciarelli	GM	40.6387	15.7987
12	Garage La Penna	GL	40.642	15.7977
13	RAI TV	RT	40.6306	15.8148
14	Old Campus	OC	40.6331	15.8076

Tabella 1.1.2. Denominazione e localizzazione delle Stazioni GFZ nel Centro Urbano di Potenza

Da una prima analisi qualitativa dei dati registrati è evidente la presenza di significativi effetti di amplificazione locale della risposta sismica nei vari siti considerati. A titolo di esempio nella figura 1.1.2 sono riportate le registrazioni riferite ad un evento campione di magnitudo $M_l = 2.8$ ad una distanza $d = 40$ Km. Considerando come stazione di riferimento il sito del Campus di Macchia Romana (Unibas), dalle registrazioni si evidenzia una differente risposta di sito.

L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere una stima dei fattori di amplificazione. I risultati più importanti emersi evidenziano la notevole variabilità degli effetti di sito nella città di Potenza. Ai fini della quantificazione valutazione degli effetti di amplificazione locale è stato considerato come parametro rappresentativo del potenziale distruttivo l'intensità di Housner. Per ogni sito di studio e per uno stesso evento, è stata calcolata l'intensità di Housner nell'intervallo 0.2 – 2 secondi dello spettro in pseudovelocità con smorzamento 5%. Per ciascun evento registrato e per entrambe le componenti orizzontali, è stato valutato il rapporto tra l'intensità di l'Housner così calcolata ed il corrispondente valore alla stazione di riferimento sulla stessa componente e per il medesimo evento sismico. Il valore della mediana di tali rapporti, calcolati per tutte le registrazioni disponibili, è stato utilizzato come indicatore della differente risposta di sito.

Si riporta di seguito un esempio di calcolo degli effetti di amplificazione locale riferendo le analisi al sito di studio denominato Track & Field. Analizzando la registrazione velocimetrica delle due componenti orizzontali di una delle registrazioni disponibili (figura 1.1.3), per il sito di studio si evidenzia una significativa differenza di risposta di sito rispetto alla stazione di riferimento (Unibas). La differenza si evidenzia ancor più analizzando la registrazione in termini di spettro in pseudovelocità (figura 1.1.4). la quantificazione degli effetti di sito è condotta con riferimento al rapporto $I_{H,(T\&F)} / I_{H,(RS)}$ tra le intensità di Housner nel sito in esame e nel sito di riferimento.

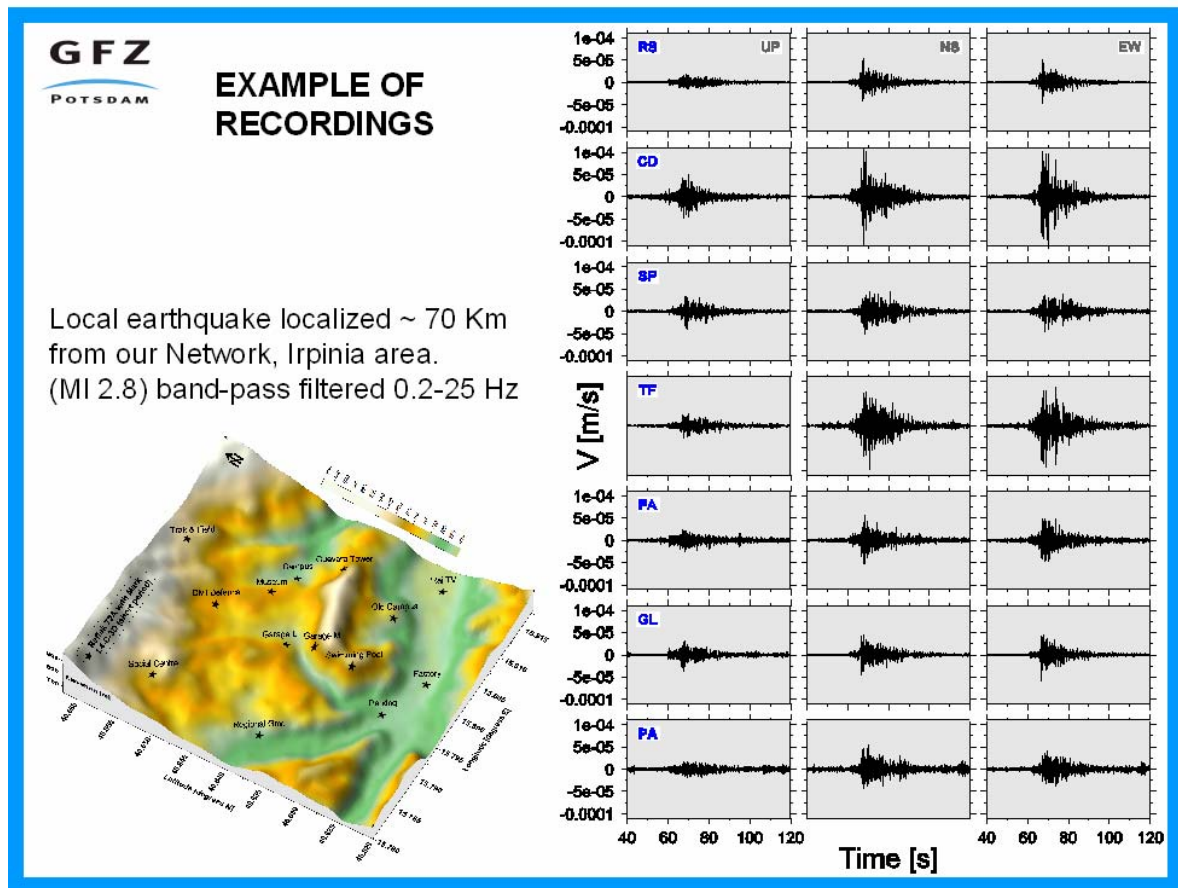


Figura 1.1.2. Esempio di registrazione nei siti di studio del Centro Urbano di Potenza

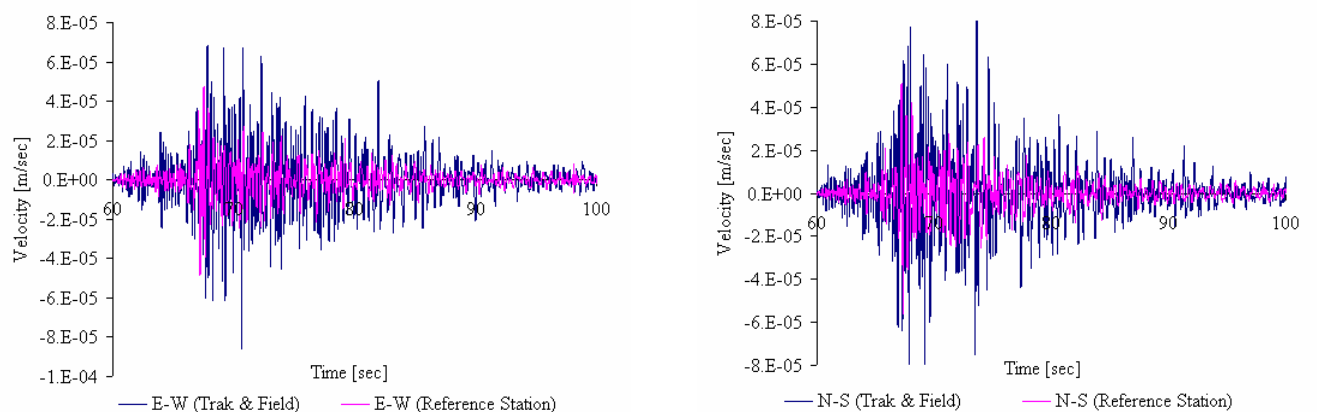


Figura 1.1.3. Un esempio di effetti di amplificazione locale: confronto di una registrazione per il sito di riferimento ed il sito Trak & Field

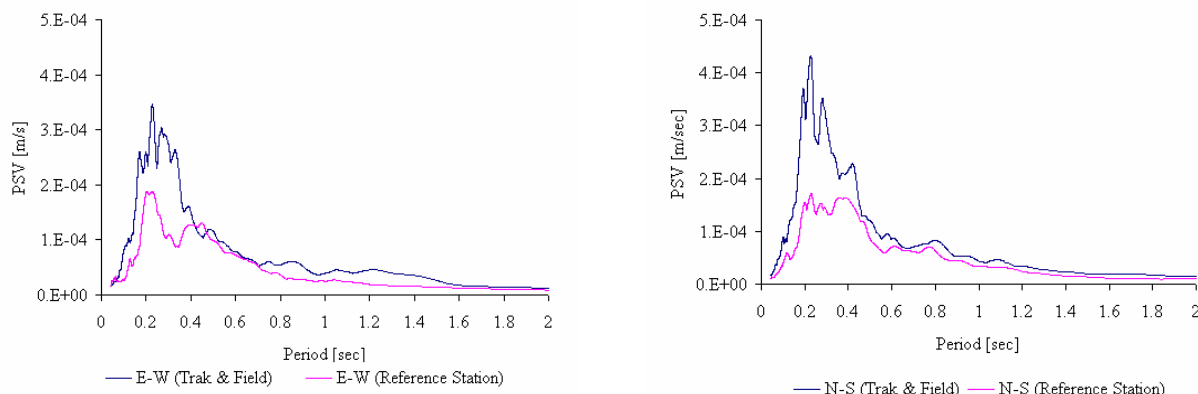


Figura 1.1.4. Un esempio di effetti di amplificazione locale: confronto tra gli spettri di pseudovelocità tra il sito di riferimento ed il sito Trak & Field

	Componente E-W		Componente N-S	
	I_H [m]	$I_{H,(T\&F)} / I_{H,(RS)}$	I_H [m]	$I_{H,(T\&F)} / I_{H,(RS)}$
Trak & Field	$1.14 \cdot 10^{-4}$	1.55	$1.27 \cdot 10^{-4}$	1.50
Reference Station	$7.34 \cdot 10^{-5}$		$8.50 \cdot 10^{-5}$	

Tabella 1.1.3. Esempio di calcolo della quantificazione degli effetti di sito

Analoghe valutazioni sono state condotte per tutti gli eventi registrati calcolando così, per ogni sito, il valore della mediana del rapporto $I_{H,(station)} / I_{H,(RS)}$ calcolato per tutte le registrazioni. Il valore del rapporto delle intensità di Housner è stato calcolato sulle componenti orizzontali delle registrazioni. Nella tabella 1.1.2 sono riportati i valori di sintesi calcolati rappresentati in modo grafico anche nella figura 1.1.5 ed in termini di distribuzione spaziale nella figura 1.1.6.

Stazione	Mediana Rapporti $I_{H,(station)} / I_{H,(RS)}$	Dev. Standard
RS	-	-
PA	1.1	0.3
FA	1.1	0.3
GT	1.6	0.3
SP	1.4	0.3
TF	1.5	0.2
CD	1.7	0.2
RG	1.0	0.2
MU	1.4	0.2
GM	1.5	0.3
SC	1.0	0.2
GL	1.2	0.2
RT	1.7	0.2
OC	1.1	0.2

Tabella 1.1.2. Quantificazione degli effetti di sito per i siti indagati

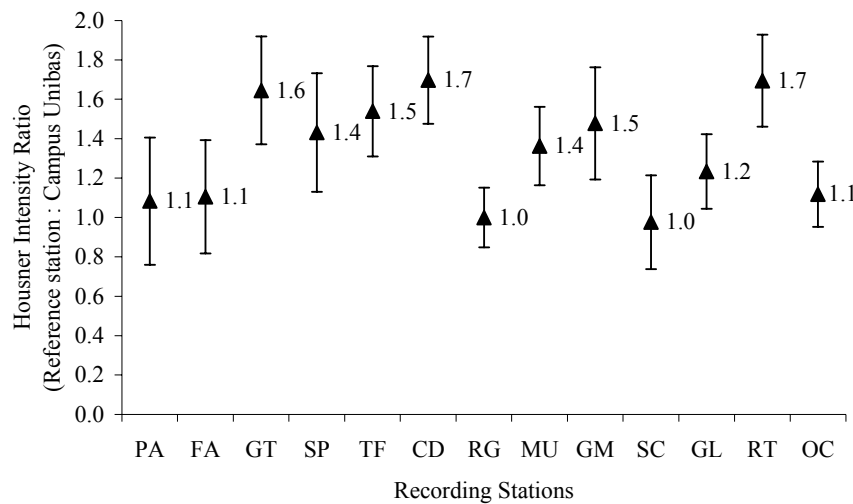


Figura 1.1.5. Quantificazione degli effetti di sito per i siti indagati

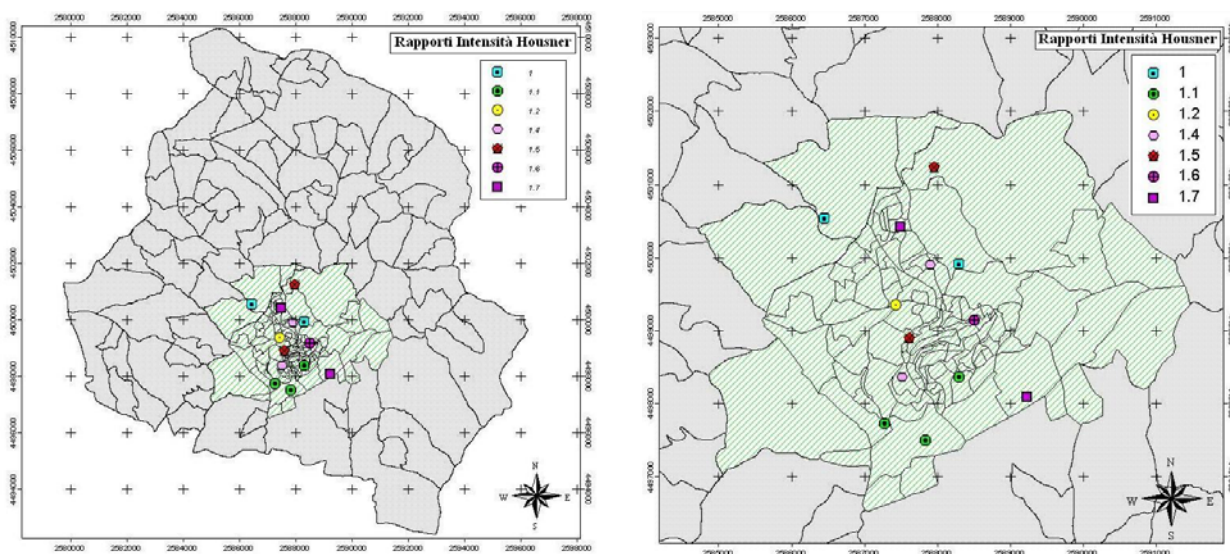


Figura 1.1.6. Distribuzione territoriale degli effetti di sito nel Centro Urbano di Potenza

1.1.2 Valutazione degli effetti di amplificazione locale sul territorio urbano utilizzando misure di rumore ambientale

Nell'ambito del progetto INGV – DPC S3 sono state effettuate 260 misure di rumore ambientale uniformemente distribuite sul territorio della città di Potenza (figura 1.1.7. Ciascuna misura ha avuto una durata di 10 minuti ed è stata campionata ad una frequenza di 250Hz. Le misure sono state effettuate utilizzando come strumento di acquisizione un tromometro digitale (ulteriori dettagli al sito del produttore: www.tromino.it).

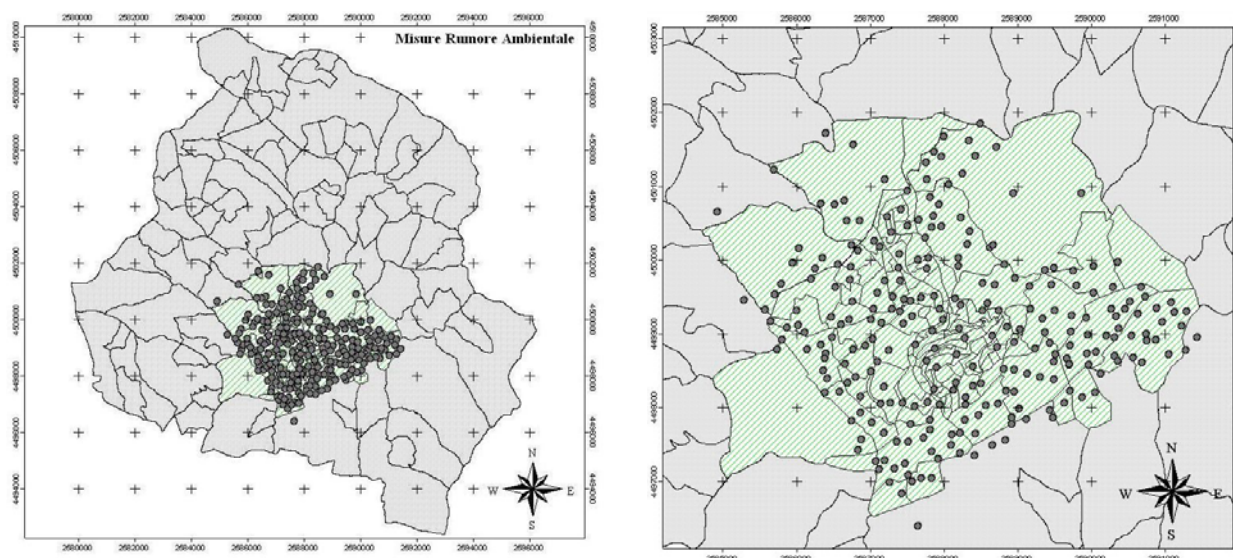


Figura 1.1.7. Distribuzione territoriale delle misure di microtremori nel Centro Urbano di Potenza

La finalità di questa parte del lavoro concerne l'estensione dei rapporti di intensità di Housner calcolati ai 14 siti monitorati con le stazioni velocimetriche del GFZ_Potsdam alle 260 misure di rumore effettuate. Questa estensione è stata possibile tramite un'apposita analisi di cross-correlazione tra le registrazioni di rumore ambientale registrate dalle stazioni GFZ con le 260 registrazioni di rumore sopra citate. Questa procedura ha restituito una correlazione tra il punto di misura con rumore ambientale e le stazioni GFZ. Successivamente effettuando un test di Fischer, si è ritenuto significativo al 99% un coefficiente di crosscorrelazione di 0.254. Quindi, utilizzando il valore 0.254 come filtro di significatività, per ogni misura di rumore ambientale si è preso il massimo tra i coefficienti di crosscorrelazione e si è associato alla misura il valore del rapporto di intensità di Housner calcolato al sito che meglio si correla con detta misura. Così facendo sono stati determinati 233 punti di misura significativi sull'area di studio a ciascuno dei quali è associato un rapporto di intensità di Housner. Si hanno quindi circa 250 valori di rapporti di intensità di Housner sull'area di studio (considerando anche i valore della stazioni GFZ). I valori così ottenuti sono stati inseriti nel GIS ed attribuiti agli edifici, al fine di valutarne l'effetto in termini di danno atteso, mediando i valori calcolati sulle ogni sezione censuaria ISTAT ottenendo così un indice medio (in termini di rapporto di intensità di Housner) per la stima della differente risposta di sito (figura 1.1.8).

Nella tabella 1.1.3 è riportato il coefficiente di amplificazione dovuto agli effetti di sito considerando come riferimento territoriale le sezione censuarie ISTAT con i rispettivi valori del indice medio di rapporto di intensità di Housner.

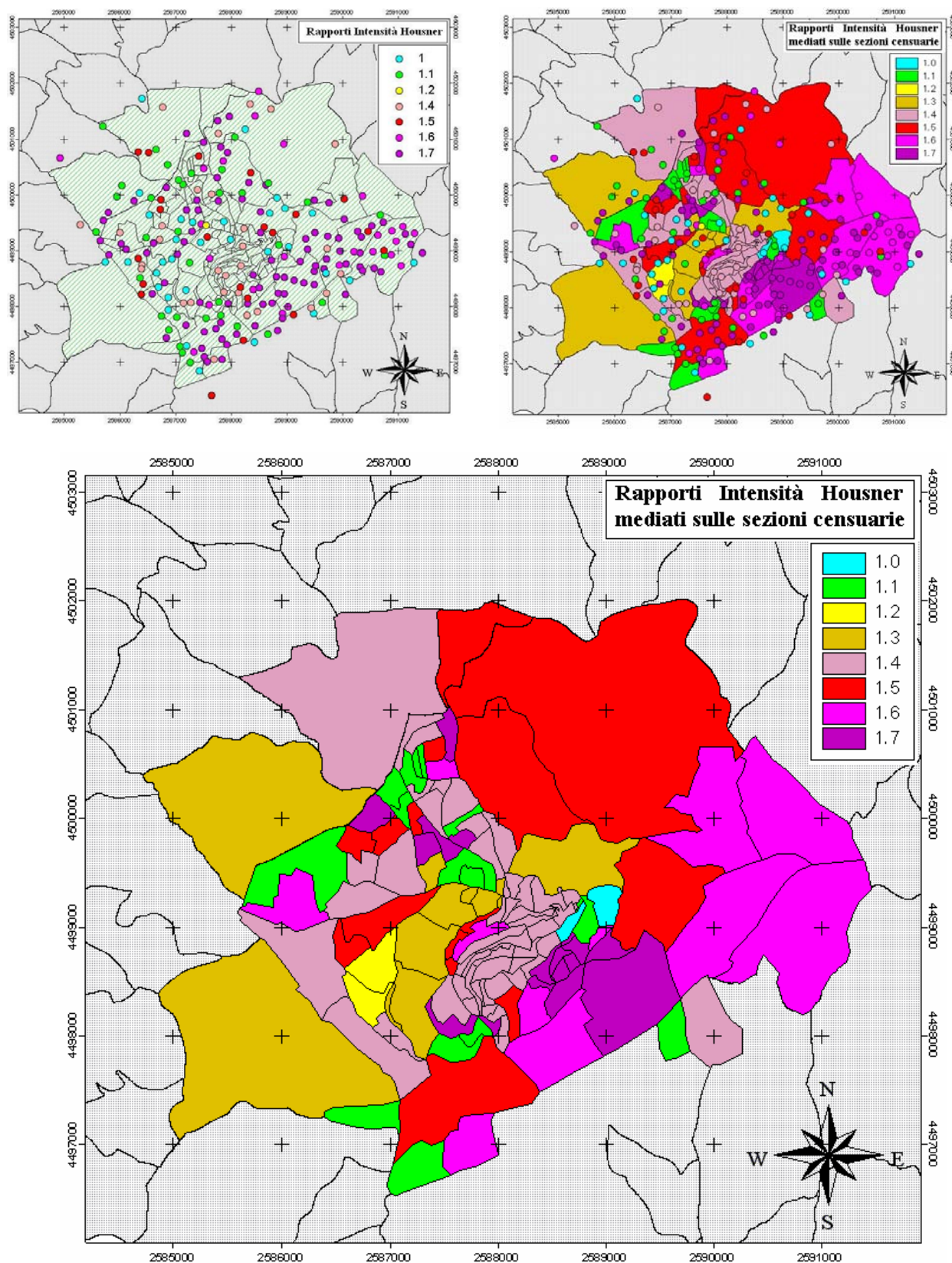


Figura 1.1.8. Distribuzione degli effetti di sito nel Centro Urbano di Potenza nelle sezioni censuarie ISTAT

Sezione ISTAT	HIR _{med}	Sezione ISTAT	HIR _{med}	Sezione ISTAT	HIR _{med}
2	1.4	60	1.2	98	1.5
7	1.6	62	1.5	100	1.1
12	1.4	63	1.3	101	1.6
18	1.0	66	1.4	102	1.5
28	1.4	67	1.4	103	1.6
30	1.5	68	1.1	104	1.3
33	1.4	69	1.4	105	1.0
35	1.4	70	1.1	106	1.1
37	1.4	71	1.5	110	1.7
40	1.7	72	1.7	112	1.7
42	1.6	74	1.4	113	1.5
44	1.0	76	1.7	114	1.6
45	1.7	77	1.7	115	1.6
46	1.7	78	1.3	116	1.6
47	1.6	79	1.1	117	1.4
48	1.5	81	1.4	118	1.1
49	1.6	82	1.6	119	1.4
50	1.1	86	1.7	126	1.4
51	1.2	87	1.1	127	1.3
53	1.3	88	1.4	141	1.0
54	1.1	89	1.4	142	1.4
55	1.7	92	1.1	143	1.3
56	1.1	93	1.1	144	1.4
57	1.7	97	1.7	146	1.5

Tabella 1.1.3. Quantificazione degli effetti di sito nelle sezioni censuarie

1.2 SCENARI DI DANNO SISMICO PER IL CENTRO URBANO DI POTENZA BASATI SU RECENTI STUDI DI PERICOLOSITÀ E VULNERABILITÀ

La stima dei danni e delle perdite di vite umane causate da futuri terremoti può essere effettuata in termini di analisi di rischio o di studio di scenari. Negli ultimi anni molto interesse è stato rivolto alla preparazione di scenari, nei quali le conseguenze di uno specifico evento sismico vengono indagate e quantificate. Uno scenario sismico può riferirsi a differenti tipi di danni e/o di perdite coinvolgendo diverse discipline scientifiche quali l'ingegneria strutturale, la sismologia, la geologia, la geotecnica, l'idraulica, la pianificazione urbanistica oltre che le scienze economiche e sociali. I risultati di questi studi costituiscono la base per la predisposizione di programmi di previsione e prevenzione. Tali programmi richiedono la conoscenza dei rischi presenti sul territorio e costituiscono il punto di riferimento per la determinazione delle priorità di attuazione degli interventi di mitigazione, in funzione della pericolosità dell'evento, della vulnerabilità del territorio e delle disponibilità finanziarie. È spesso utile a tal fine predisporre in forma cartografica o, ancor meglio, su di un sistema GIS le indicazioni utili alla caratterizzazione dei possibili scenari di rischio, all'attuazione degli interventi di primo soccorso, all'organizzazione e al superamento della fase di emergenza. Per tale ragione tutti i risultati delle elaborazioni condotte nel presente studio, secondo le metodologie illustrate nel seguito, sono stati riportati in un sistema GIS.

L'oggetto del presente studio è il centro urbano di della città di Potenza. La scelta della città di Potenza tra i quattro siti test del progetto DPC – INGV S3 “Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico” nasce anche dalla quantità e qualità delle informazioni disponibili grazie ai numerosi studi sul rischio sismico del proprio patrimonio edilizio [e.g. Dolce et al. 2003, 2006] di cui il sito è stato oggetto negli ultimi anni. Per quanto riguarda le valutazioni di vulnerabilità, era già disponibile il Data Base del rilievo realizzato a seguito dell'evento sismico ($M_L = 5.2$) che nel 1990 colpì il territorio di Potenza. Il DB era costituito da circa 12000 edifici, e fu successivamente integrato con l'inserimento dei dati relativi agli edifici in c.a. costruiti tra il 1990 ed il 1999. La distribuzione probabilistica del danno fu valutata utilizzando le Matrici di Probabilità di Danno (MPD), ampliate per portare in conto oltre alle classi di vulnerabilità A, B, C della scala MSK, la classe di vulnerabilità D della scala EMS per gli edifici antisismici, costruiti o adeguati dopo il 1980. Ai fini del presente lavoro, ulteriori correzioni ed integrazioni sono state apportate al database originario. Inoltre, la possibilità di disporre di dati aggiornati e più ampi sul patrimonio edilizio e di una procedura di tipo meccanico per la valutazione della vulnerabilità degli edifici in c.a., sviluppata negli scorsi anni [Masi & Vona 2004], ha consentito un approfondimento ed aggiornamento degli studi già effettuati con riferimento ad alcune limitate aree della città. Le attività svolte per la stima degli scenari di scuotimento ha riguardato la simulazione su faglia estesa per 6 sorgenti sismogeniche di interesse per il sito, la propagazione mediante leggi di attenuazione regionali appositamente stimate, la convoluzione con funzioni di trasferimento empiriche.

1.2.1 La legge di correlazione tra Intensità spettrale di Housner – Intensità Macrosismica MCS

La costruzione di scenari di danno fisico agli edifici necessita di una correlazione tra intensità macrosismica e intensità strumentale. Infatti, se i classici modelli di valutazione della vulnerabilità e del danno (ad esempio le matrici di danno pure impiegate di seguito) richiedono l'utilizzo di valori delle intensità macrosimiche in input, molti dei nuovi modelli, compreso quello utilizzato nel presente lavoro di tipo meccanico, richiedono una descrizione dell'input sismico in ingresso di tipo strumentale. La volontà di continuare ad utilizzare la gran mole di informazioni storiche disponibili in merito alla sismicità italiana, come ad esempio fatto nel caso del modello a sorgente puntuale di seguito utilizzato per la definizione dell'input sismico, implica quindi l'esigenza di disporre di una valida correlazione tra intensità macrosismica e intensità strumentale.

Le leggi di correlazione fino ad oggi utilizzate correlavano direttamente l'intensità macrosismica con il PGA [Margottini et al., 1986]. Tale parametro si è in realtà rivelato spesso inefficace a rappresentare in modo corretto il potenziale distruttivo degli eventi sismici e, più in generale, la loro variabilità [Masi et al. 2007].

Per le ragioni appena esposte nel presente lavoro è stata realizzata un'analisi di eventi storici, prevalentemente italiani, finalizzata alla definizione di una correlazione tra l'Intensità Spettrale di Housner [Housner, 1952] e l'intensità macrosismica in scala MCS. La scelta del l'Intensità Spettrale di Housner come parametro rappresentativo dell'input sismico è coerente con i più recenti studi finalizzati alla caratterizzazione dell'input sismico necessario agli studi di vulnerabilità e riportati nel presente rapporto nel capitolo 2.

L'analisi di regressione si basa su un campione di circa 60 accelerogrammi (tabella 1.2.1.1) estratti dall'European Strong Motion Database [Ambraseys et al., 2004]. I dati si riferiscono a tracce accelerometriche registrate in siti in cui è stata stimata in modo attendibile l'intensità macrosismica per l'evento considerato. A partire dalle serie storiche delle registrazioni accelerometriche nei siti presi in analisi si procede, per le componenti orizzontali, al calcolo della Intensità Spettrale di Housner come integrazione numerica dei valori di pseudovelocità nell'intervallo $[0.2 \div 2]$ secondi. La scelta dell'intervallo di integrazione di $[0.2 \div 2]$ secondi nello spettro delle pseudovelocità differente dalla definizione classica di Housner $[0.1 \div 2.5]$ secondi tiene in conto delle indicazioni presenti in "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale" [Ingegneria Sismica, Anno XVI N.1, gennaio-aprile 1999]. In ogni caso tutte le valutazioni e le analisi finalizzate alla costruzione della legge di correlazione sono state condotte con riferimento alla classica legge di Housner nell'intervallo $[0.1 \div 2.5]$ e considerando tre differenti livelli di smorzamento 5%, 10%, 20%.

Si riporta di seguito un esempio (figura 1.2.1.2) di calcolo relativo alla registrazione dell'evento Irpinia-Basilicata del 23 Novembre 1980 nella stazione SMA-1 ENEL di Calitri (AV).

Volume 1 - European Macroseismic Database - Sampling Rate 0.01 sec	Data, ora evento (Mw)	Area Epicentrale	Recording Station	I _{MCS}
	06-05-1976, 20.00	Friuli	Barcis	7
	19-09-1979, 21.35	Valnerina	Nocera Umbra	6
	05-05-1990, 7.21	Potenza	Rionero in Vulture	6
			Tricarico	6
			Brienza	5.5
	13-12-1990, 0.24	Est Sicilia	Sortino	6.5
			Giarre	5.5
			Vizzini	6
			Noto	6
	26-09-1997, 9.40	Umbria-Marche	Nocera Umbra	7.5
			Monte Fiegni	6
			Forca Canapine	5.5
			Leonessa	5
			Cagli	6
			Senigallia	5.5
	18-08-1999, 00.01	Izimit	Norcia-Altavilla	6
			Duzce	9
Volume 2 - European Macroseismic Database - Sampling Rate 0.005 sec	07-05-1984, 17.50 (5.9)	Abruzzo	Gebze	8
			Atina	7
	07-05-1984, 17.50 (5.9) 23-11-1980, 18.34 (6.9)	Abruzzo Irpinia-Basilicata	Pontevorvo	6
			Roccamonfina	7
			Arienzo	7
	23-11-1980, 18.34 (6.9) 6-5-1976, 20.00 (6.4)	Irpinia-Basilicata Friuli	Bagnoli Irpino	6
			Benevento	6
			Bisaccia	7
			Bovino	7
			Birenza	7
			Calitri	8
			Mercato S.S.	8
			Rionero in Vulture	7
			Sturno	8
			Torre del Greco	7
	6-5-1976, 20.00 (6.4) 15-9-1976, 9.21 (5.9)	Friuli Friuli	Tricarico	7
			Codroipo	6
	29-04-1984, 5.03 (5.6)	Gubbio	Feltre	5.5
	29-04-1984, 5.03 (5.6)	Gubbio	Buia	8
	17-08-1999, 0.01 (7.4)	Izmit, Turkey	Pietralunga	6
	17-08-1999, 0.01 (7.4) 15-04-1978, 23.33 (6.1)	Izmit, Turkey Sicilia Nord-Est	Umbertide	6
			Izmit-Met.Ist	9
	15-04-1978, 23.33 (6.1) 05-05-1990, 7.21 (5.4)	Sicilia Nord-Est Potenza	Yarimca-Petkim	9
			Messina	6
			Milazzo	7.5
			Naso	7.5
	26-9-1997, 9.40 (6.0)	Umbria-Marche	Patti	7.05
			Brienza	5.5
	26-9-1997, 9.40 (6.0) 19-9-1979, 21.35 (5.9)	Umbria-Marche Valnerina	Bevagna	6
			Borgo Correto	6
			Cascia	5.5
			Castelnuovo-Assisi	6.5
			Matelica	6.5
			Peglio	5
			Pietralunga	5.5
			Rieti	5.5
	19-9-1979, 21.35 (5.9)	Valnerina	Bevagna	5
			Cascia	8
			Spoletto	6

Tabella 1.2.1.1. RegISTRAZIONI selezIONATE dall'European Strong Motion Database [Ambraseys et al., 2004].

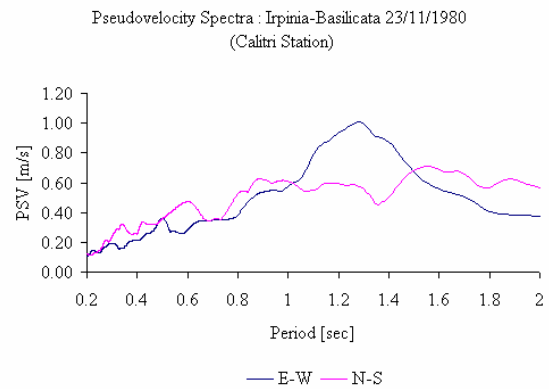
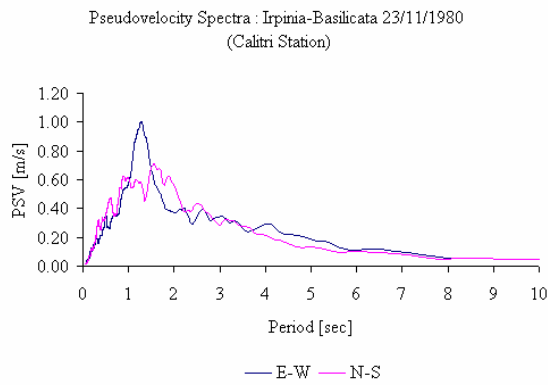
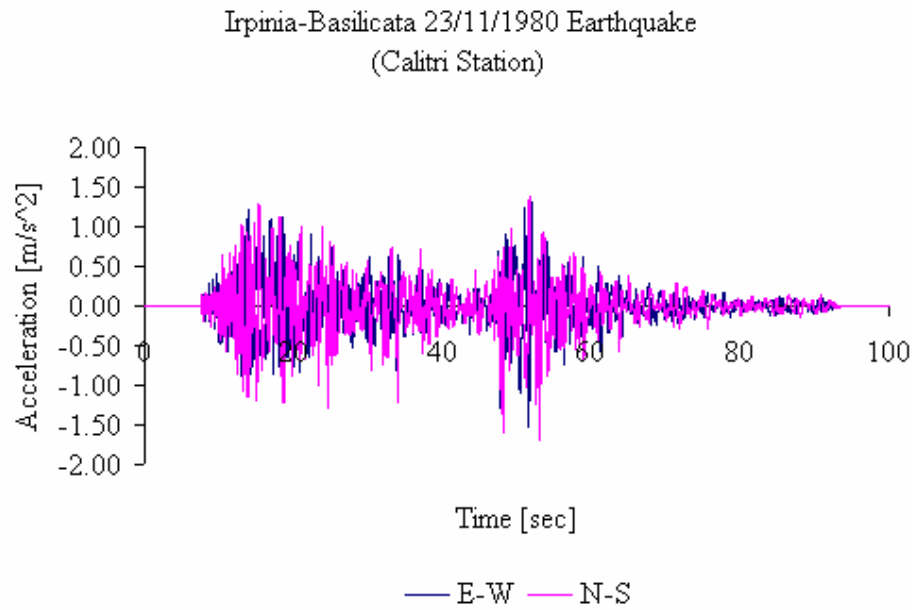


Figura 1.2.1.2. Un caso di esempio: l'evento Irpinia-Basilicata del 23 Novembre 1980 nella stazione SMA-1 ENEL di Calitri (AV).

Dal calcolo dell'Intensità di Housner nell'intervallo [0.2-2] secondi con smorzamento 5% si ha:

$$\text{Componente } E - W \rightarrow I_H = \int_{0.2}^2 PSV \, dt = 0.914146721 \, m$$

$$\text{Componente } N - S \rightarrow I_H = \int_{0.2}^2 PSV \, dt = 0.913412273 \, m$$

Dal catalogo DOM 4.1 l'intensità macrosismica MCS al sito di riferimento per l'evento sismico in esame è VIII MCS, così come riportato nella figura 1.2.1.3

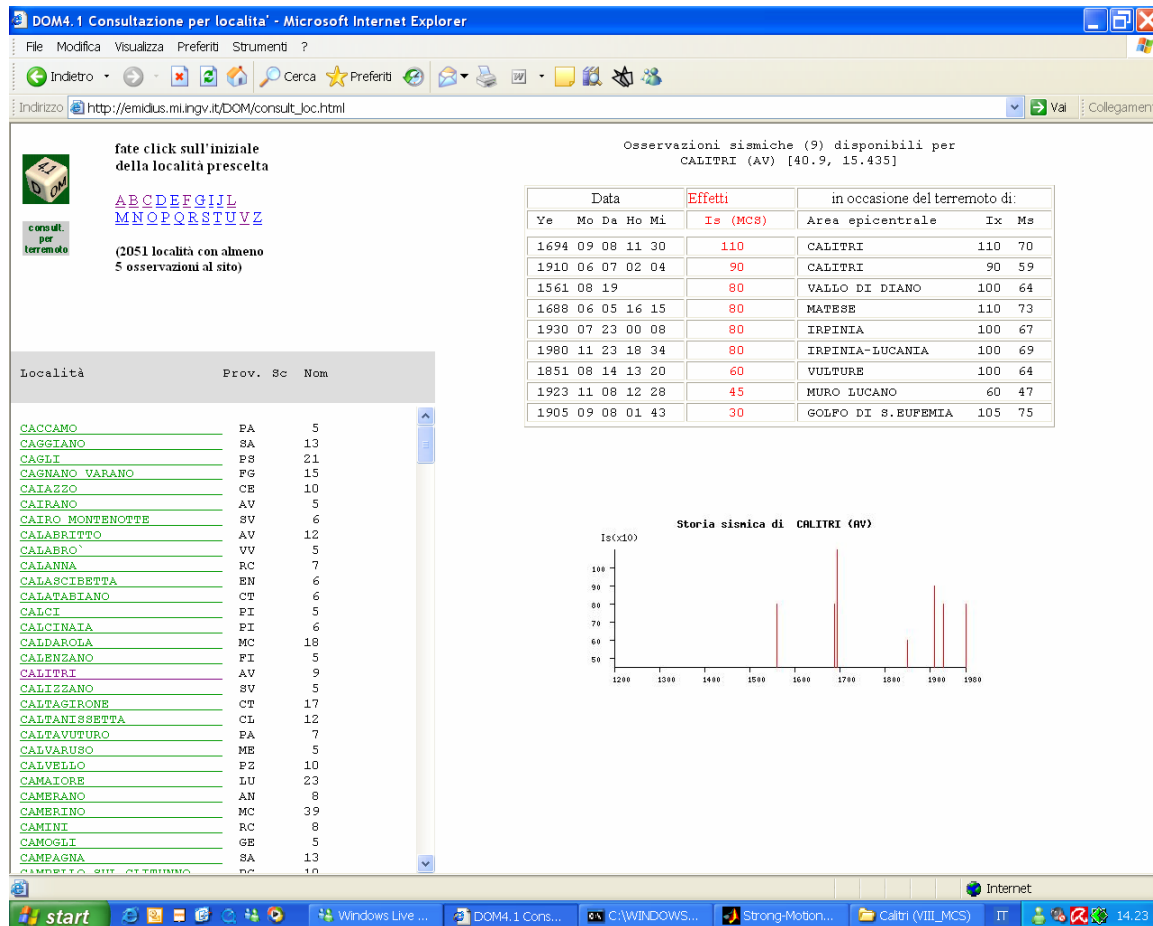


Figura 1.2.1.3. Il catalogo DOM 4.1 per l'evento Irpinia-Basilicata del 23 Novembre 1980 nella stazione SMA-1 ENEL di Calitri (AV).

Considerando per ogni registrazione accelerometrica il massimo valore dell'intensità di Housner calcolato sulle due componenti orizzontali è stato possibile costruire una regressione in grado di stimare il valore dell'intensità macrosismica MCS a partire dal valore di intensità di Housner calcolato nell'intervallo 0.2 – 2 secondi dello spettro in pseudovelocità.

Nella tabella successiva sono riportate le leggi di correlazione $I_{MCS} - I_H$ ottenute considerando i casi analizzati e calcolando i valori di intensità di Housner per valori di smorzamento variabili e per due intervalli di integrazione differenti.

Smorzamento (%)	Intervallo di integrazione [0.1-2.5]	Indice di corr. R2	Intervallo di integrazione [0.2-2]	Indice di corr. R2
20	$I_{MCS} = 1.6773 I_H + 8.2309$	0.6162	$I_{MCS} = 1.7032 I_H + 8.4086$	0.6118
10	$I_{MCS} = 1.6737 I_H + 8.0268$	0.6148	$I_{MCS} = 1.7015 I_H + 8.1971$	0.6139
5	$I_{MCS} = 1.6733 I_H + 7.8599$	0.6097	$I_{MCS} = 1.703 I_H + 8.0242$	0.6116

Tabella 1.2.1.2. Leggi di correlazione Intensità spettrale di Housner – Intensità Macrosismica MCS.

Nelle figure 1.2.1.4 – 5, sono riportati le leggi di regressione ottenute per tutti i casi analizzati.

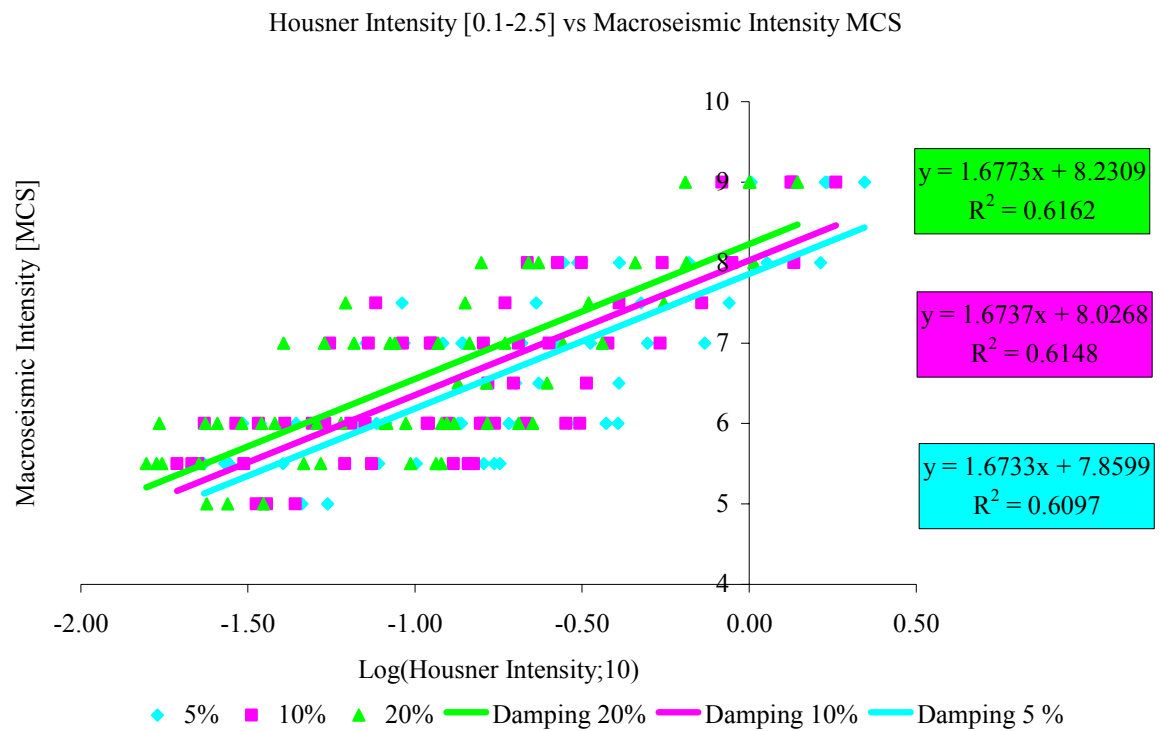


Figura 1.2.1.4. Leggi di correlazione Intensità spettrale di Housner – Intensità Macrosismica MCS.

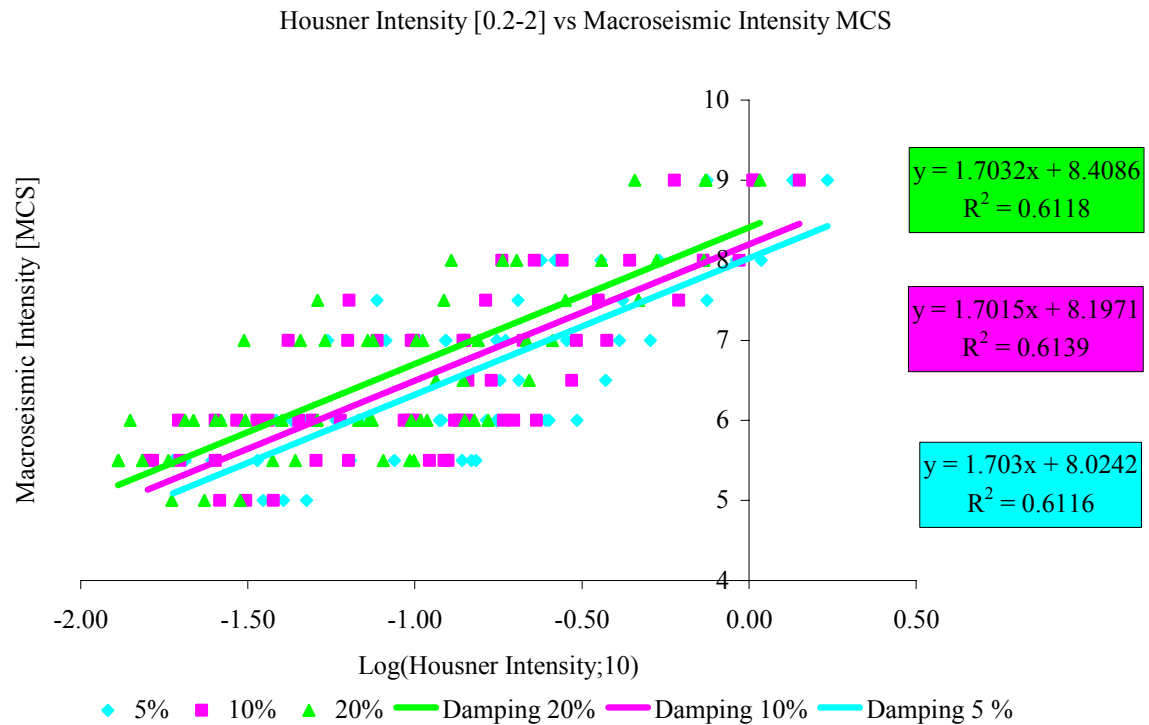
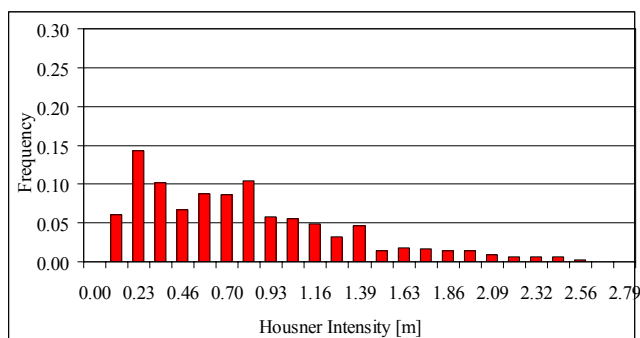


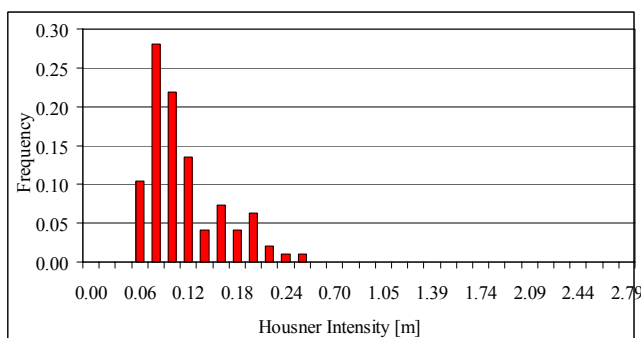
Figura 1.2.1.5. Leggi di correlazione Intensità spettrale di Housner – Intensità Macrosismica MCS.

1.2.2 La selezione del moto sismico di input

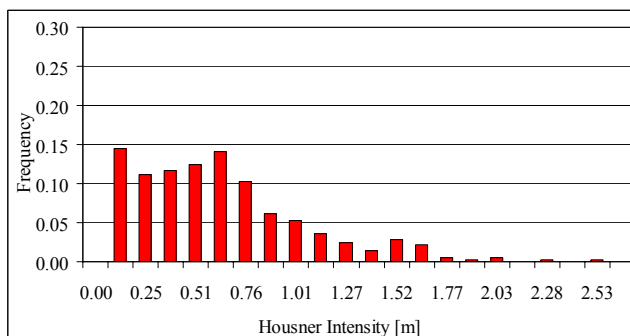
Per quanto riguarda la selezione dell'input sismico da considerare nella costruzione degli scenari di danno fisico agli edifici sono state utilizzate le modellazioni elaborate dal GdL Input Sismico (PS3-Deliverable D17) e fornite dalla UR INGV-MI relative alle tre faglie più pericolose per Potenza (F7 - Faglia di Potenza; F8 - Andretta Filiano e F7 Irpina 0+20s). Con riferimento a tale modello, a faglia finita, per queste tre sorgenti sono state calcolate le distribuzioni relative ai parametri più significativi (PGA, PGV, PGD, Housener e Arias) e gli accelerogrammi sintetici corrispondenti ad alcuni valori statistici di ogni distribuzione (media, mediana, etc). Partendo da queste distribuzioni (figura 1.2.1) sono state individuate le distribuzioni delle intensità macrosismiche, necessarie alla costruzione degli scenari, considerando come parametro rappresentativo del potenziale distruttivo l'intensità di Housner (figura 1.2.2). Infatti, come ampiamente mostrano i risultati delle analisi condotte in [Masi et al., 2007], l'intensità di Housner sembra essere il parametro sismico che meglio rappresenta il potenziale distruttivo di un accelerogramma. Tale parametro si è inoltre rivelato utile nella selezione degli accelerogrammi naturali e/o simulati.



Scenario 1. Sorgente F8



Scenario 2. Sorgente F7



Scenario 3. Sorgente F3

Figura 1.2.1. Distribuzione probabilistica delle intensità di Housner secondo il modello della UR INGV-MI.

Per quanto riguarda il modello a sorgente puntiforme, i dati sono stati forniti direttamente in termini di intensità macrosismica (figura 1.2.3).

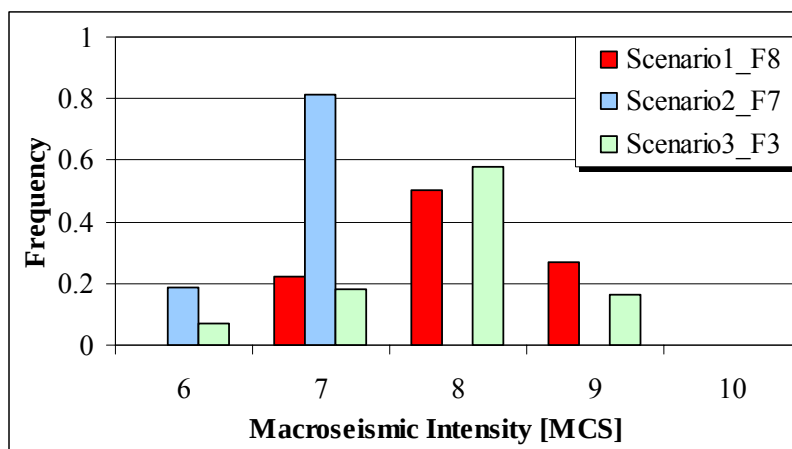


Figura 1.2.2. Distribuzione delle intensità macrosismiche di scenario elaborate dalla UR INGV-MI.

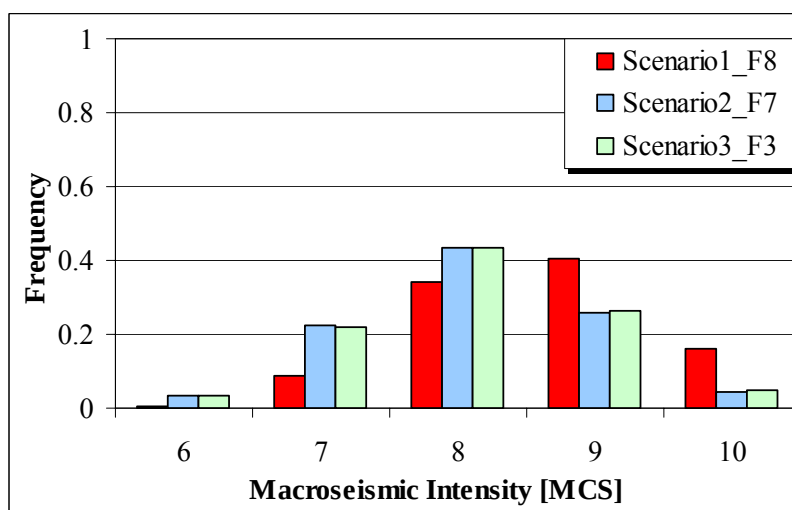


Figura 1.2.3. Distribuzione delle intensità macrosismiche di scenario elaborate con il modello a sorgente puntiforme.

Inoltre, sono stati considerati gli effetti di sito in termini di rapporti di Housner calcolati alle stazioni GFZ ed estesi sul territorio mediante correlazione con le misure HVSr. La distribuzione degli effetti di amplificazione locale dell'azione sismica è stata condotta con riferimento alle sezioni censuarie dell'ISTAT rispetto alle quali è disponibile la distribuzione territoriale degli edifici del centro urbano della città di Potenza.

1.2.3 Differenti modelli di valutazione della vulnerabilità e del danno agli edifici

Storicamente l'avvio degli ampi studi, su vasta scala, del rischio sismico della città di Potenza è stato dato dalla possibilità di impiegare un ricco database di informazioni tipologiche relative agli edifici resi disponibili a seguito del sisma che nel maggio 1990 (ML = 5.2) colpì la provincia di

Potenza. Il rilevamento dei danni e delle caratteristiche degli edifici, effettuato utilizzando le schede di rilievo GNDT 1990 di I livello, fu condotto dalla Regione Basilicata con il coordinamento della Protezione Civile e del GNDT ed interessò 41 comuni di cui 21 (caratterizzati dal VI –VII grado MCS) rilevati totalmente. Questa base dati è stata già ampiamente utilizzata in precedenti lavori per la costruzione di scenari sismici ricorrendo al classico metodo delle DPM, al quale, d'altronde, si adatta benissimo per le modalità con cui è stato condotto il rilievo [Dolce et al., 1997], [Dolce (coord.), 2003], [Dolce et al. 2003, 2006].

Per quanto riguarda le valutazioni di vulnerabilità sull'intero territorio urbano, è stato quindi utilizzato il Data Base del rilievo realizzato a seguito dell'evento sismico del 1990. Questa base dati è stata già ampiamente utilizzata in precedenti lavori per la costruzione di scenari sismici ricorrendo al classico modello delle DPM, al quale, d'altronde, si adatta benissimo per le modalità con cui è stato condotto il rilievo. Ulteriori correzioni ed integrazioni sono state eseguite nel presente studio.

La volontà di applicare nuovi modelli per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici e la stima del danno atteso, con particolare riferimento alle tipologie di edifici in c.a. rispetto alle quali la trattazione classica delle DPM appare troppo semplicistica in virtù anche dell'indisponibilità di dati post-sisma, ha indotto gli autori ad è stata avviare una nuova campagna di rilievo degli edifici ad uso privato. Sono stati ad oggi rilevati circa 400 edifici dell'area urbana del comune di Potenza, quasi tutti in c.a..

Ovviamente in virtù della disponibilità di nuovi strumenti di rilievo, è stata adottata per le tali operazioni la scheda AeDES nella versione modificata dagli autori, denominata San Giuliano, per portare in conto le forti variabilità tipologiche presenti nelle tipologie edilizie in c.a.. Tutti gli edifici rilevati sono stati inoltre georeferenziati singolarmente. Tale strumento è in grado peraltro di fornire le informazioni necessarie all'applicazione di un modello di stima della vulnerabilità e del danno di tipo meccanico per gli edifici in c.a. mentre per quanto riguarda gli edifici in muratura mantiene coerenza con i precedenti strumenti di rilievo ed garantisce l'applicabilità del metodo delle DPM. La possibilità di estendere a tutto il centro urbano l'aggiornamento del database e lo studio con nuovi modelli richiede ingenti risorse il cui reperimento ed investimento può essere giustificato con la maggiore accuratezza ottenuta con le successive previsioni di rischio.

In tal senso nel presente studio si illustra il confronto tra due differenti modelli applicati ad una zona di limitata estensione della città al fine di valutarne le differenze. Il primo modello è quello classico delle DPM messe a punto utilizzando prevalentemente i dati del sisma irpino del 1980 [Braga et al. 1982]. Tale approccio prevedeva la classificazione degli edifici in sole tre classi di vulnerabilità (alta A, media B e bassa C) mentre le attuali caratteristiche del costruito richiedono l'introduzione di un'ulteriore classe a vulnerabilità più bassa. Infatti, negli ultimi venticinque anni il patrimonio edilizio presente nella città di Potenza ha subito, in conseguenza della classificazione sismica avvenuta nel 1981, profondi cambiamenti: una parte consistente degli edifici esistenti, danneggiati dal sisma del 1980, è stata sismicamente adeguata, in forza della legge 219 del 1981, mentre gli edifici nuovi sono stati progettati e realizzati seguendo le norme sismiche entrate in vigore. Di conseguenza, se da un punto di vista storico e geografico le analogie tra i dati usati per calibrare le matrici e i dati relativi alle caratteristiche del patrimonio edilizio della provincia di Potenza sono forti, la presenza di una nuova categoria, relativa agli edifici antisismici (nuovi o adeguati), non può essere trascurata. Per le ragioni appena esposte, si è fatto riferimento ad una ulteriore classe a minore vulnerabilità (classe D), rappresentativa degli edifici costruiti o adeguati dopo il 1980. La relativa DPM è stata ricavata dalle DPM disponibili tenendo conto delle indicazioni tratte dalla scala EMS98 ([ESC 1998], [Dolce et al. 2003]). Il modello di stima della vulnerabilità e del danno così definito sarà nel seguito identificato come DPM_2003.

Il secondo modello impiegato utilizza un'impostazione in cui la vulnerabilità sismica degli edifici in c.a. è valutata su base meccanica (il modello è di seguito identificato come FC_Masi). Tale approccio consente, tra l'altro, di introdurre delle significative evoluzioni rispetto alle classiche formulazioni di vulnerabilità in termini di danno osservato e intensità macrosismica. A tal fine si utilizzeranno i risultati di un ampio studio precedente, peraltro ancora in progress, basato su analisi dinamiche non lineari di varie tipologie di edifici in c.a. rappresentativi di edifici progettati per soli carichi verticali [Masi e Vona 2004], [Vona e Masi, 2004].

Per poter disporre dei dati necessari ad applicare il modello meccanico FC_Masi è stato necessario predisporre ed eseguire una campagna di indagine e rilievo delle caratteristiche tipologiche degli edifici in c.a.. A tale scopo è stata adottata la scheda AeDES, in una versione modificata e denominata San Giuliano [Dolce et al. 2004], per portare in conto le forti variabilità tipologiche presenti nelle tipologie edilizie in c.a.. Tale scheda è stata creata, unendo le esperienze condotte in passato, al fine di ottenere uno strumento di rilievo da utilizzare nell'emergenza post sisma, che sia intermedio tra le schede di livello 0 e di livello 1. In relazione alla descrizione degli edifici in c.a., è innegabile che la scheda AeDES originaria ne trascuri fortemente la descrizione tipologica. Al contrario, l'evidenza del danneggiamento osservato nei passati terremoti, le ricerche sperimentali condotte in laboratorio ed ampie indagini numeriche condotte circa la vulnerabilità sismica degli edifici in c.a., hanno evidenziato quanto la risposta sismica degli stessi sia fortemente influenzata da vari fattori tipologici, peraltro di facile rilevazione anche mediante un rilievo speditivo. In particolare, oltre alla ovvia diversificazione nella risposta dovuta alla differente tipologia del sistema resistente, tra i fattori tipologici rilevabili si ricordano la regolarità in pianta, la posizione delle tamponature, in pianta ed elevazione e rispetto al sistema resistente, presenza di elementi tozzi. Di tali fattori si è tenuto conto introducendo alcuni nuovi campi, mantenendo una forte analogia con la scheda di rilievo utilizzata nel Progetto Catania [Faccioli e Pessina, 2000]. È stata quindi introdotta una seconda parte della sezione 3 relativa agli edifici in c.a. (figura 1.2.4).

SISTEMA RESISTENTE			GIUNTO		ELEMENTI TOZZI		
A	Prevalenza di pareti o telai tamponati con murature consistenti (senza grosse aperture, di materiali resistenti e ben organizzate)	☐	1	Isolato	☐	A Assenti	☐
			2	Giunti a norma	☐	B Travi a ginocchio/piani sfalsati	☐
B	Prevalenza di telai con travi alte e tamponature poco consistenti (con aperture di grosse dimensioni e diffuse, materiali poco resistenti)	☐	3	Giunti fuori norma	☐	C Per finestre a nastro	☐
						D Altro	☐
C	Prevalenza di telai con travi in spessore di solaio e tamponature poco consistenti o assenti	☐	REGOLARITA' IN PIANTA			BOW WINDOWS STRUTT.	
D	Telai con travi alte sul perimetro con tamponature poco consistenti o assenti e travi in spessore di solaio all'interno	☐	1	Compatta e regolare	☐	1 Assenza di bow windows	☐
E	Presenza contemporanea di telai con travi alte e nuclei in c.a. interni	☐	2	Mediamente compatta e regolare	☐	2 Bow windows inferiori a 1,5m	☐
F	Prevalenza di setti	☐	3	Poco compatta e irregolare	☐	3 Bow windows superiori a 1,5m	☐
MAGLIA STRUTTURALE			DIMENSIONE PILASTRI 1° LIVELLO			Tamponature 1° livello	
1	Interasse medio tra i pilastri < 4,5m	☐	1	Dimensione media ≤ 900cm ²	☐	A Su 4 lati esterni	☐
2	Interasse medio tra i pilastri > 4,5m e < 6m	☐	2	Dimensione media > 900cm ² e ≤ 2100cm ²	☐	B Su 3 lati esterni	☐
3	Interasse medio tra i pilastri > 6m	☐	3	Dimensione media > 2100cm ²	☐	C Su 2 lati esterni	☐
Posizione della tamponatura rispetto al telaio			1 Pilastri arretrati		☐	D Su 1 lati esterni	☐
						2 Cortina esterna non inserita nel telaio	☐

Figura 1.2.4. Parte della sezione 3 della scheda AeDES Modificata dedicata agli edifici in c.a..

Ovviamente, pur garantendo la validazione del modello, il rilievo è stato condotto su una porzione limitata del centro urbano. Il confronto tra i due modelli interessa ovviamente soltanto gli edifici in c.a.. È all'uopo considerato uno dei più popolosi quartieri della città di Potenza, il rione Risorgimento, costruito tra il 1954 ed il 1976. La maggior parte degli edifici sono stati realizzati dall'allora IACP [ATER – Potenza, 2006], tutti con la struttura portante in c.a.. La restante parte, pure con struttura in c.a., sono invece stati realizzati da privati intorno alla metà degli anni settanta.

Complessivamente sono stati rilevati circa 180 edifici in c.a. tutti singolarmente georeferenziati (figura 1.2.5).

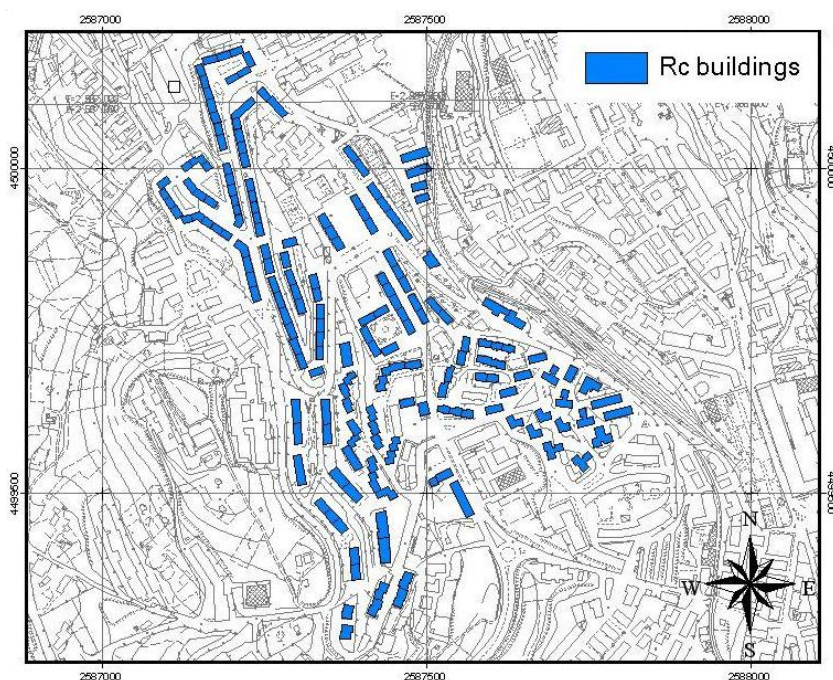


Figura 1.2.5. Edifici in c.a. rilevati e georeferenziati nel rione Risorgimento della città di Potenza.

La possibilità di estendere a tutto il centro urbano l'aggiornamento del database e lo studio con nuovi modelli richiede ingenti risorse il cui reperimento ed investimento può essere giustificato con la maggiore accuratezza ottenuta con le successive stime di danno.

1.2.4 Analisi dei dati di vulnerabilità disponibili

Il database originario, contenente circa 12000 edifici, è stato oggetto di ampie operazioni di verifica della qualità dei dati; sono stati eliminati tutti i record errati, doppi o incompleti o riferiti a tipologie edilizie non significative. Infine, si è giunti ad un database corretto di circa 9300 edifici. Tale database comprende, peraltro, un aggiornamento di circa 300 edifici in c.a. costruiti nella città di Potenza tra il 1990 ed il 1999, censiti direttamente dal DiSGG dell'Università degli studi della Basilicata, grazie anche alla documentazione tecnica messa a disposizione dall'amministrazione comunale. Gli edifici in c.a. di piccole dimensioni, prevalentemente situati nelle zone rurali della città non sono stati presi in considerazione. Il database finale ha fornito quindi uno strumento molto utile per lo studio delle caratteristiche della città. Il database descritto sopra è stato georeferenziato utilizzando come riferimento soltanto le sezioni di censimento dell'istat. Inoltre, ad oggi sono stati georeferenziati singolarmente circa 1200 edifici nel centro urbano. Tale attività consentirà in futuro di gestire in modo più efficace lo studio del rischio sismico a scala urbana.

Partendo dai dati disponibili ciascun edificio è stato studiato sulla base delle seguenti caratteristiche:

- tipologia strutturale verticale,
- tipologia strutturale orizzontale,
- eventuale intervento di adeguamento/miglioramento,

- età di costruzione e di adeguamento/miglioramento.

Il database e le elaborazioni condotte sono stati georeferenziati utilizzando come riferimento le sezioni di censimento dell'ISTAT. Nel presente lavoro lo studio della vulnerabilità sismica e la stima del danno successiva sono stati condotti con riferimento al solo centro urbano della città di Potenza, identificato nel seguito come DB90. Rispetto agli studi condotti in passato il numero di edifici compresi nel centro urbano è cresciuto per tenere conto sia dell'ampliamento dei confini naturali dello stesso nel corso degli ultimi anni sia per tener conto dei dati relativi agli effetti di amplificazione locale dell'azione sismica, resi disponibili con il presente studio ed anch'essi georeferenziati.

La distribuzione della vulnerabilità sismica degli edifici contenuti nel database DB90, valutata con il modello DPM_2003, è riportata nella figura 1.2.6 sia in termini di numero di edifici che di volume complessivo per ciascuna classe di vulnerabilità.

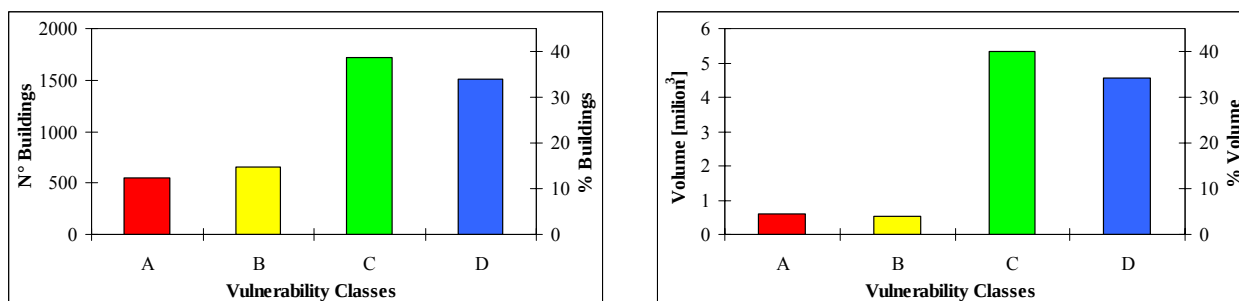


Figura 1.2.6. Distribuzione della vulnerabilità sismica valutata con il modello DPM_2003 per il DB90, relativo al centro urbano, in termini di numero di edifici e di volume.

Complessivamente, le classi C e D sono presenti per circa il 73% in termini di numero di edifici, mentre la loro presenza aumenta fin quasi al 90% in termini di volume. La rappresentazione in termini di volume è utile nel definire i fattori di esposizione non presenti nel database del 1990.

Per quanto riguarda il modello FC_Masi le informazioni principali da utilizzare nella valutazione di vulnerabilità sono l'età di costruzione ed eventuale adeguamento/miglioramento strutturale, la presenza e disposizione in pianta delle tamponature, la dimensione in pianta degli edifici.

Nelle figure 7 è riportata, a titolo di esempio, la distribuzione delle classi di età ottenute dal rilievo in formato grafico così come disponibili dal GIS.

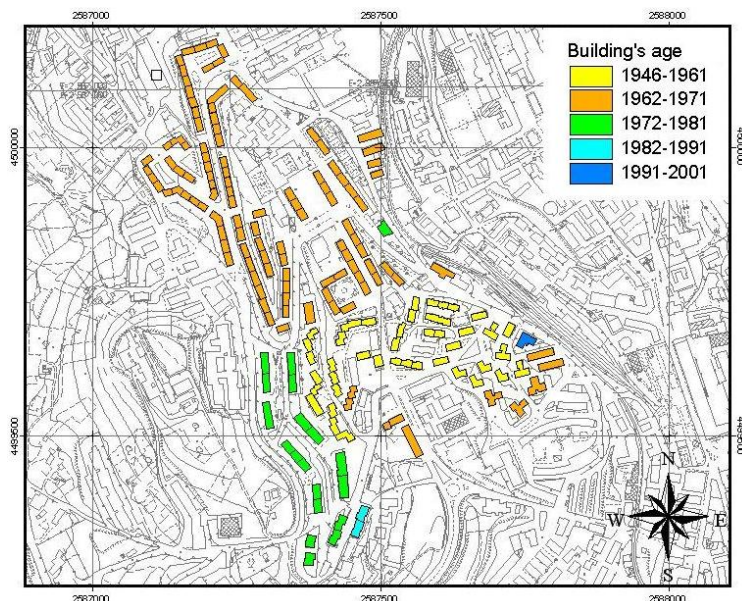


Figura 1.2.7. Classi di età degli edifici in c.a. rilevati e georeferenziati nel rione Risorgimento della città di Potenza.

L'attribuzione della vulnerabilità è stata effettuata secondo la procedura descritta in [Masi et al. 2001, 2004] e [Masi, 2003] considerando i livelli di danno dedotti dalle analisi dinamiche non lineari e seguendo le indicazioni ricavabili dalla EMS98, la quale prevede 6 classi di vulnerabilità, ordinate dalla A alla F, la cui attribuzione viene effettuata sulla base della tipologia costruttiva e del livello di protezione sismica. Il confronto tra le valutazioni di vulnerabilità condotte con i due differenti modelli, DPM_2003 e DC_Masi, sul rione Risorgimento è riportata nella figura 1.2.8.

Risulta evidente, dal confronto illustrato nella figura 1.2.9-10 anche in termini di distribuzione sul territorio mediante GIS, come il modello FC_Masi sia in grado di riprodurre con maggiore accuratezza la variabilità reale delle caratteristiche di vulnerabilità degli edifici in c.a. troppo semplicemente appiattita sull'attribuzione tra classi C e D nel modello DPM_2003.

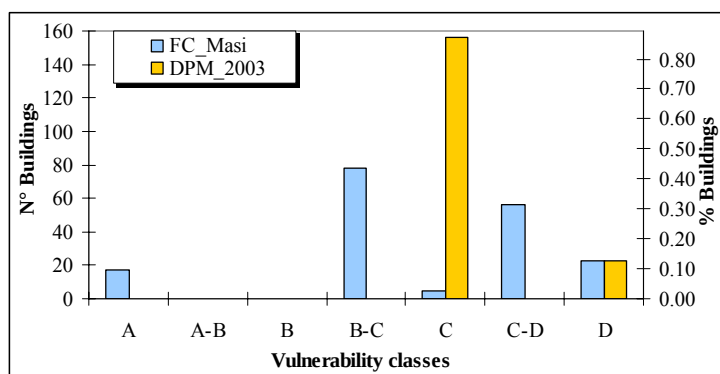
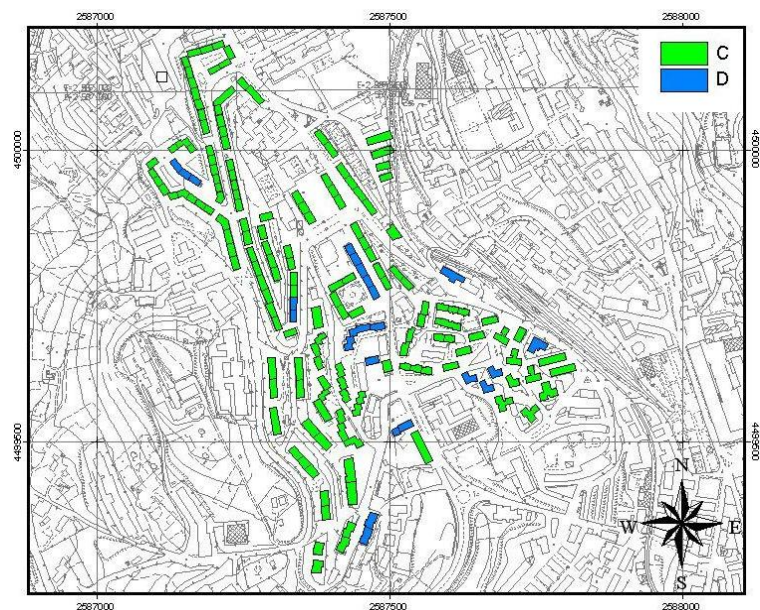
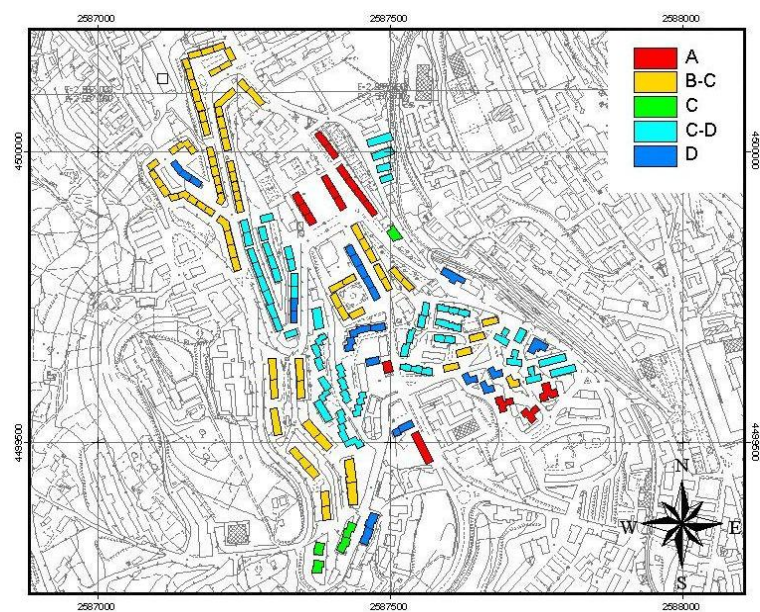


Figura 1.2.8. Confronto tra la distribuzione della vulnerabilità sismica secondo il metodo DPM_2003 ed il metodo FC_Masi per il rione Risorgimento.



**Modello
DPM_2003**

Figura 1.2.9. Distribuzione della vulnerabilità sismica secondo il metodo DPM_2003.



**Modello
FC_Masi**

Figura 1.2.10. Distribuzione della vulnerabilità sismica secondo il metodo FC_Masi er il rione Risorgimento.

1.2.5 Gli scenari di danno fisico agli edifici

La valutazione del livello di danneggiamento degli edifici è l'attività di sintesi che, partendo dalla vulnerabilità sismica attribuita e dall'evento di scenario, permette di portare a termine la costruzione degli scenari di danno. Inoltre, al fine di valutare in modo sintetico ed efficace il livello di danno atteso, per ciascun comune si è proceduto a calcolare un indice di danno medio [Dolce et al., 1999] adottando la seguente espressione:

$$DI_{med} = \sum_i^n \frac{d_i f_i}{n}$$

in cui la sommatoria è estesa agli $n = 5$ livelli di danno $d > 0$ ($d_i = 1 - 5$) ed f_i è la frequenza relativa di ciascuno di essi. $DI_{med} = 0$ indica assenza totale di danno, mentre $DI_{med} = 1$ implicherebbe il crollo totale (livello di danno $d = 5$) di tutti gli edifici.

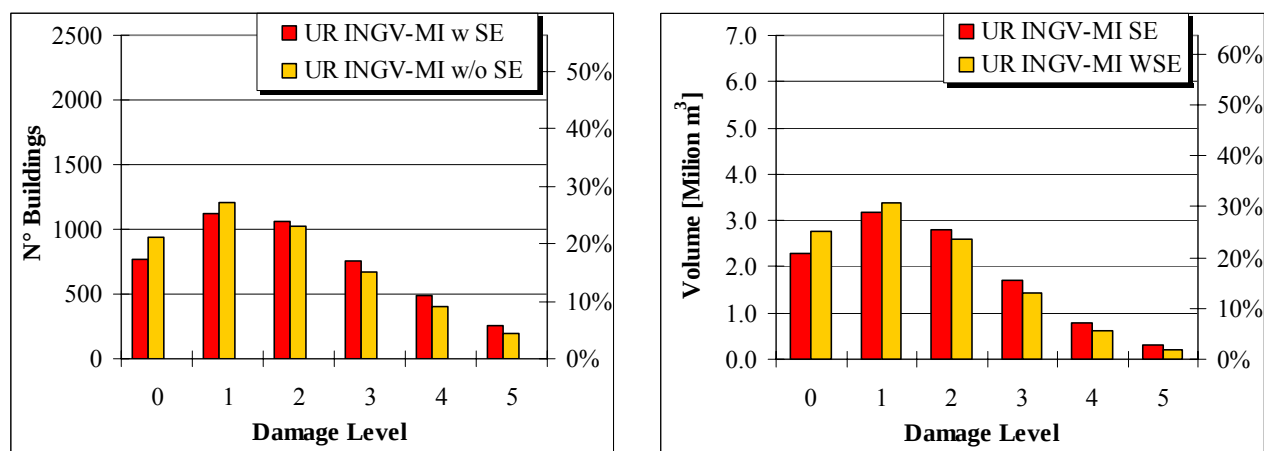
Confronto tra differenti modelli di valutazione della pericolosità

La distribuzione del danno fisico è stata valutata, per ciascuno scenario di evento, considerando anche l'incremento di intensità dovuto alle amplificazioni locali. Complessivamente sono stati costruiti 12 scenari per il centro urbano della città di Potenza. I risultati del modello di Input sismico UR INGV-MI, riportati nella figura 1.2.11, mostrano quanto rilevante siano gli effetti di amplificazione locale dell'azione sismica. Nella figura 1.2.12 sono riportati i risultati in termini di danneggiamento atteso con ed il modello a sorgente puntuale considerando, anche in tal caso, gli effetti di amplificazione sismica locale. È da notare che, in virtù delle modalità con cui tale modello è costruito (ovvero considerando i dati degli eventi sismici storici), in questo secondo caso la distribuzione del danno senza effetti di sito andrebbe, più correttamente, confrontata con la distribuzione del danno del modello UR INGV-MI con effetti di sito.

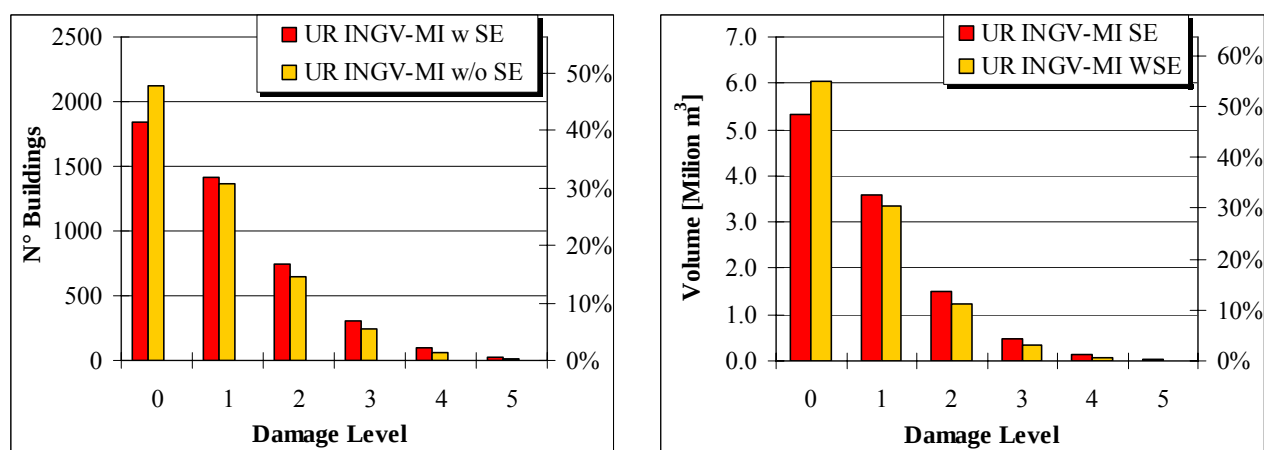
Nella tabella 1.2.figura 1.2.13 e nella successiva tabella 1.2.1 sono riportati i valori dell'indice di danno medio. Tale indice, pur non riuscendo a rappresentare in modo esaustivo la distribuzione del danneggiamento, rappresenta comunque una visione sintetica del danno atteso e consente di confrontare agevolmente gli effetti di un evento di scenario rispetto ad un altro.

Alcune immagini, tratte dal GIS realizzato, sono riportate a margine del capitolo. In particolare, si è scelto di rappresentare la distribuzione dell'indice di danno medio su ciascuna sezione censuaria del centro urbano studiato.

Scenario 1_Sorgente F8



Scenario 2_Sorgente F7



Scenario 3_Sorgente F3

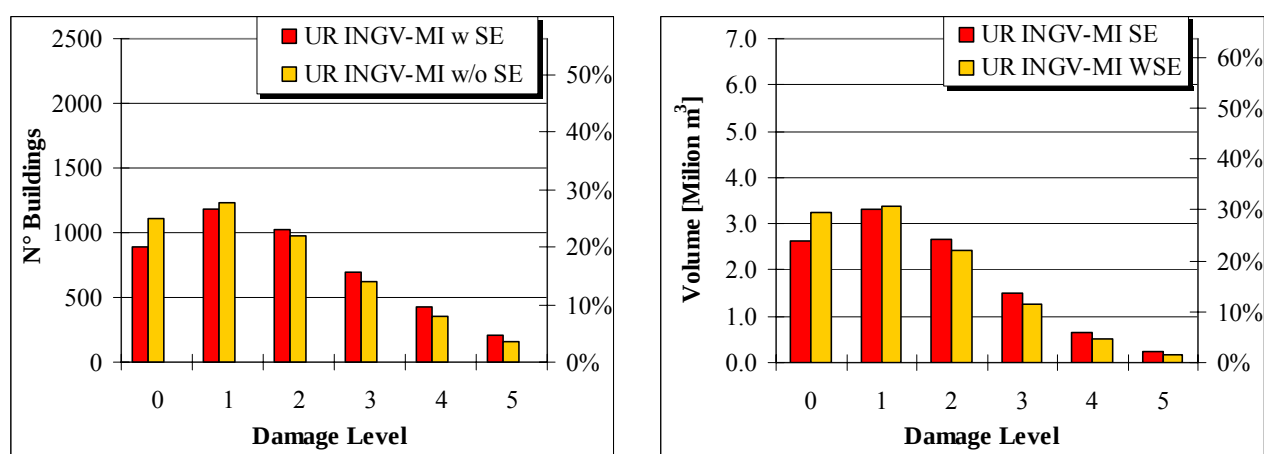
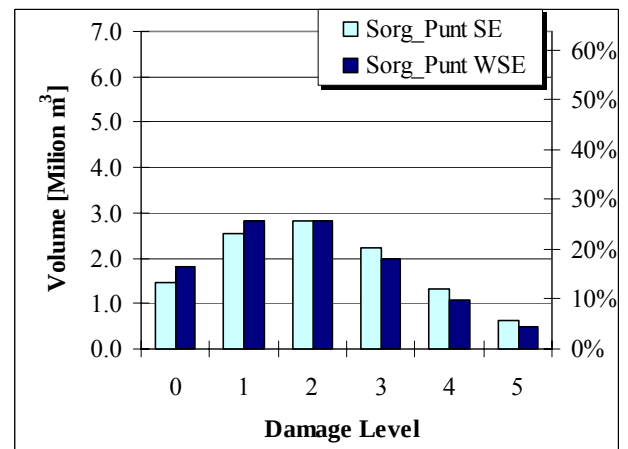
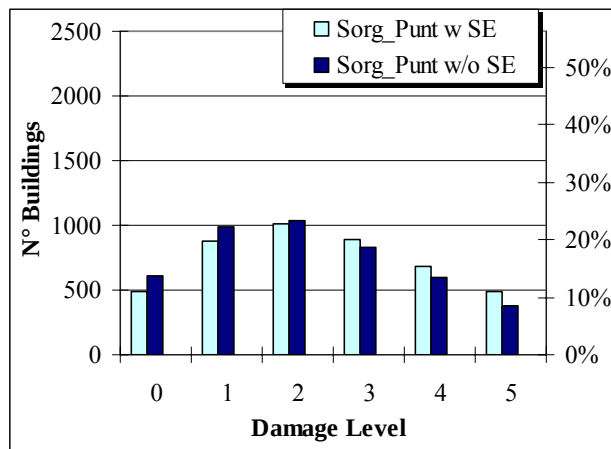
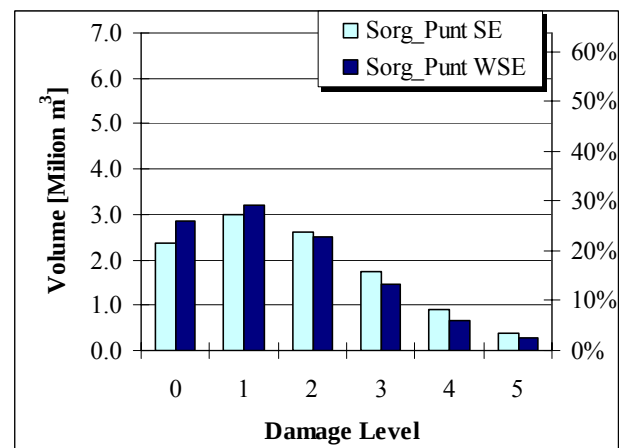
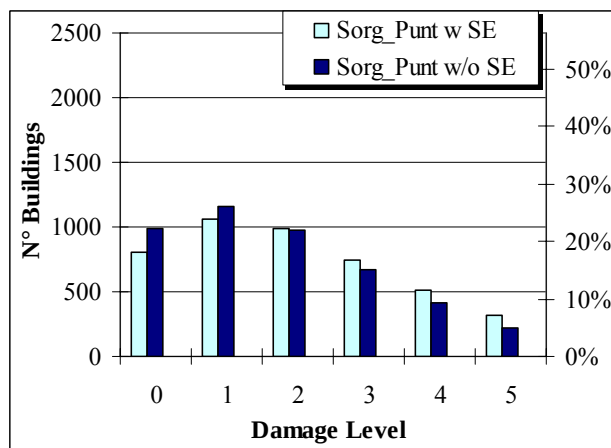


Figura 1.2.11. Distribuzione dei livelli di danno per le tre sorgenti selezionate con (w SE) e senza effetti di sito (w/o SE) con il modello UR INGV-MI.

Scenario 1_Sorgente F8



Scenario 2_Sorgente F7



Scenario 3_Sorgente F3

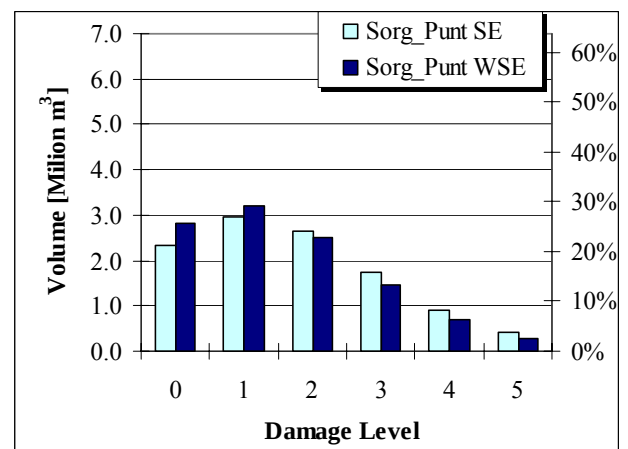
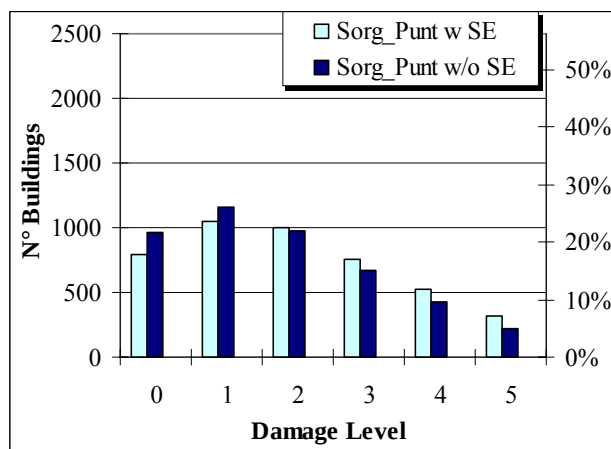


Figura 1.2.12. Distribuzione dei livelli di danno per le tre sorgenti selezionate con (w SE) e senza effetti di sito (w/o SE) con il modello a sorgente puntiforme.

È da notare che le differenze sembrano essere molto più rilevanti passando da un modello di definizione dell'input sismico all'altro che non tenendo conto degli effetti di amplificazione dell'azione sismica. In particolare il modello a sorgente puntuale non sembra in grado di riprodurre una distribuzione realistica del danneggiamento per la sorgente F7 relativa allo scenario 2.

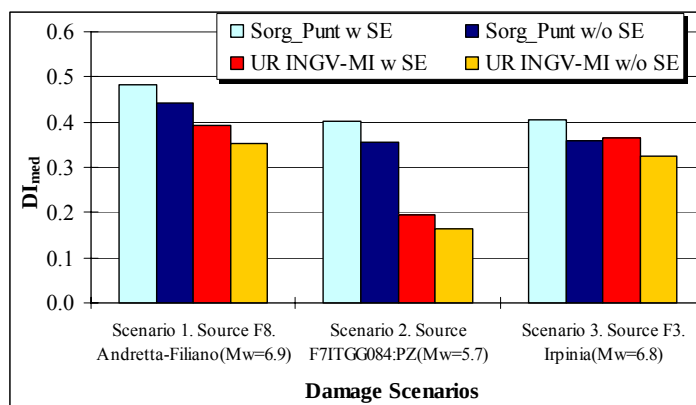


Figura 1.2.13. Valori dell'indice di danno medio per i tre scenari considerati con (w SE) e senza effetti di sito (w/o SE).

Modello di input	Effetti di sito	IDmed		
		Scenario 1. Source F8	Scenario 2. Source F7	Scenario 3. Source F3
Sorgente Puntuale	w SE	0.48	0.40	0.41
	w/o SE	0.44	0.36	0.36
UR INGV-MI	w SE	0.39	0.20	0.36
	w/o SE	0.35	0.16	0.33

Tabella 1.2.1. Valori dell'indice di danno medio per i tre scenari considerati con (w SE) e senza effetti di sito (w/o SE).

Confronto tra differenti modelli di valutazione del danno

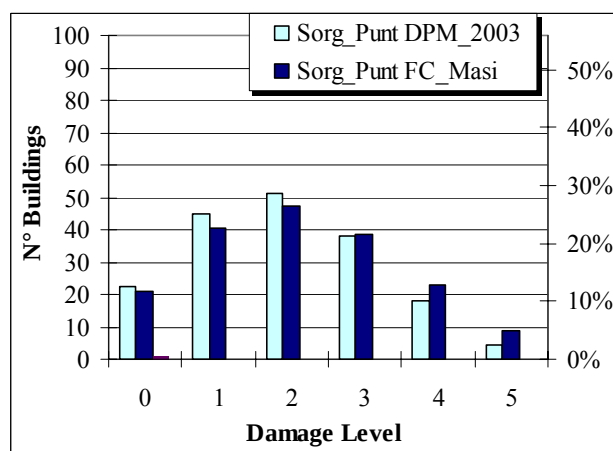
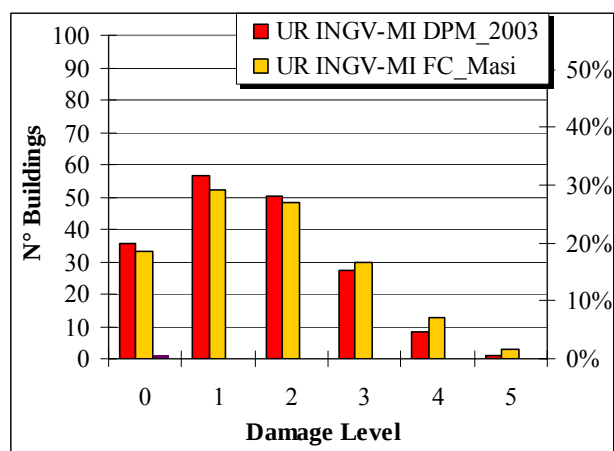
I due differenti modelli di valutazione del danno sono stati confrontati con riferimento ad un solo rione della città di Potenza, costituito quasi completamente da edifici in c.a.. Tale limitazione è legata principalmente alle informazioni necessarie per l'impiego del modello FC. Infatti, per tale modello sono richieste delle informazioni aggiuntive rispetto a quelle impiegate nel modello DPM_2003 e non riportate nelle schede GNDT90 adoperate per il rilievo e la costruzione del database DB90 disponibile.

Nella figura 1.2.14 è riportato il confronto tra i due modelli di valutazione della vulnerabilità e del danno considerando anche differenti modelli di definizione dell'input sismico. Come già fatto per gli scenari a scala urbana, nella figura 1.2.15 e nella successiva tabella 1.2.2 sono riportati gli indici di danno medio.

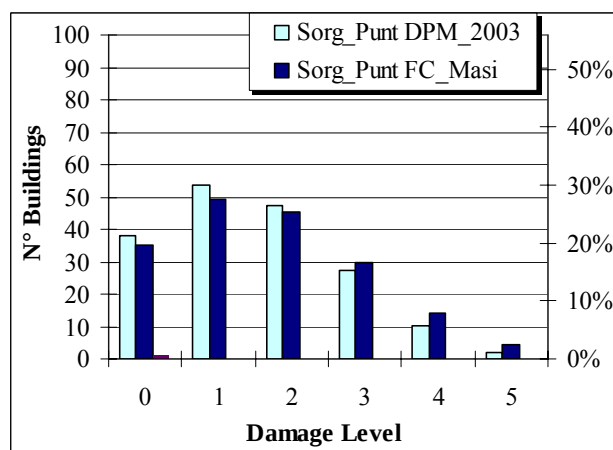
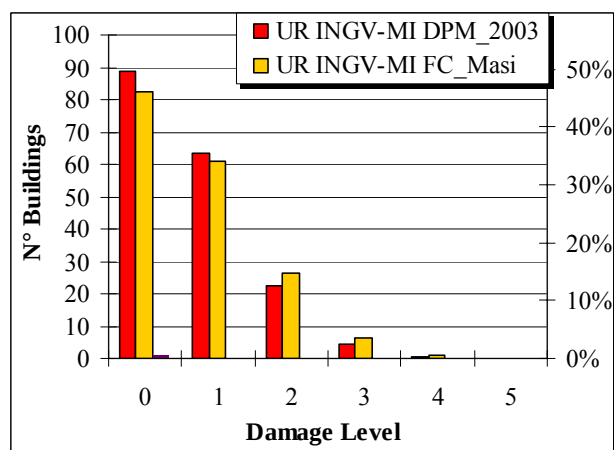
Anche in tal caso il modello di definizione dell'input sismico sembra essere molto importante ai fini della valutazione del danno, ma la maggiore accuratezza che si ottiene con un modello di valutazione della vulnerabilità e del danneggiamento più appropriato alla varietà tipologica degli edifici in c.a. sembra essere molto importante per le finalità proprie delle attività di protezione civile. In particolare, con il modello DPM_2003, coerentemente con la distribuzione delle classi di

vulnerabilità, gli edifici con danno grave, gravissimo o crollati risultano sottostimati rispetto al modello FC_Masi.

Scenario 1_Sorgente F8



Scenario 2_Sorgente F7



Scenario 3_Sorgente F3

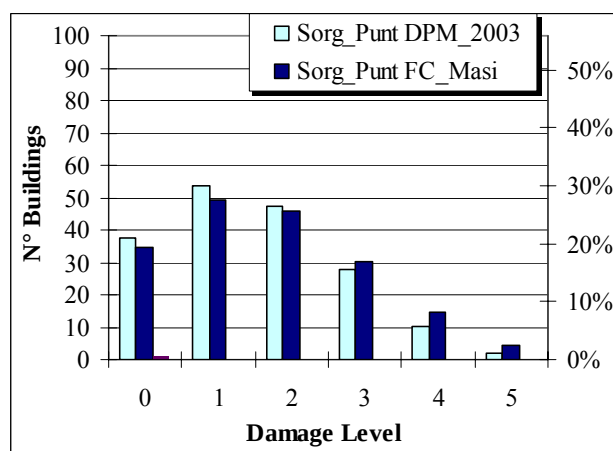
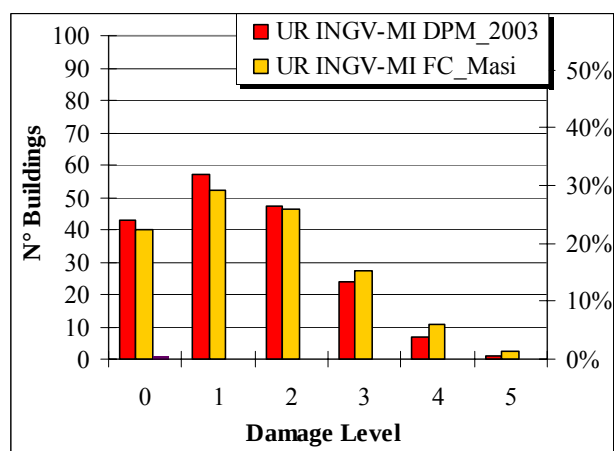


Figura 1.2.14. Distribuzione dei livelli di danno per le tre sorgenti selezionate con definita con il modello FC_Masi e con il modello DPM_2003 considerando sia il modello di input sismico della UR INGV-MI che il modello a sorgente puntiforme.

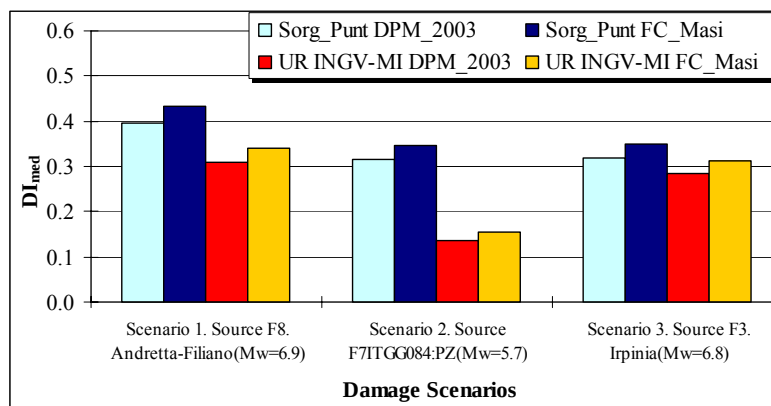


Figura 1.2.15. Distribuzione dell'indice di danno medio per le tre sorgenti selezionate considerando i due modelli di valutazione della vulnerabilità e del danno.

Modello di input	Modello di Vulnerabilità e Danno	ID _{med}		
		Scenario 1 Source F8	Scenario 2 Source F7	Scenario 3 Source F3
Sorgente Puntuale	DPM_2003	0.40	0.31	0.32
	FC_Masi	0.43	0.35	0.35
UR INGV-MI	DPM_2003	0.31	0.14	0.28
	FC_Masi	0.34	0.15	0.31

Tabella 1.2.2. Valori dell'indice di danno medio per i tre scenari considerati con i due modelli di valutazione della vulnerabilità e del danno.

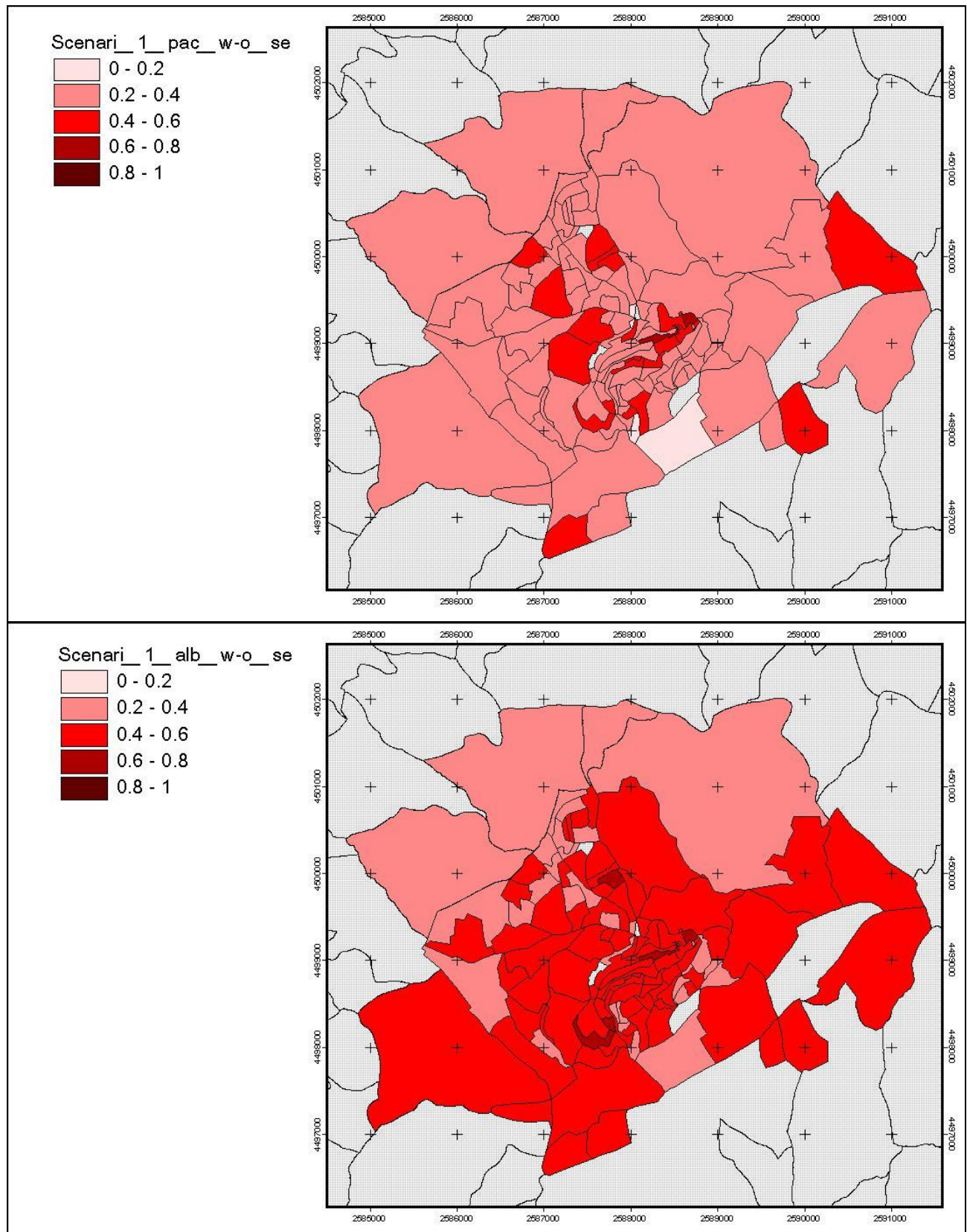


Figura 1.2.16. Distribuzione dell'indice di danno medio nel centro urbano di Potenza per l'evento di scenario 1 sia con modello della UR INGV-MI che con il modello a sorgente puntuale senza effetti di sito.

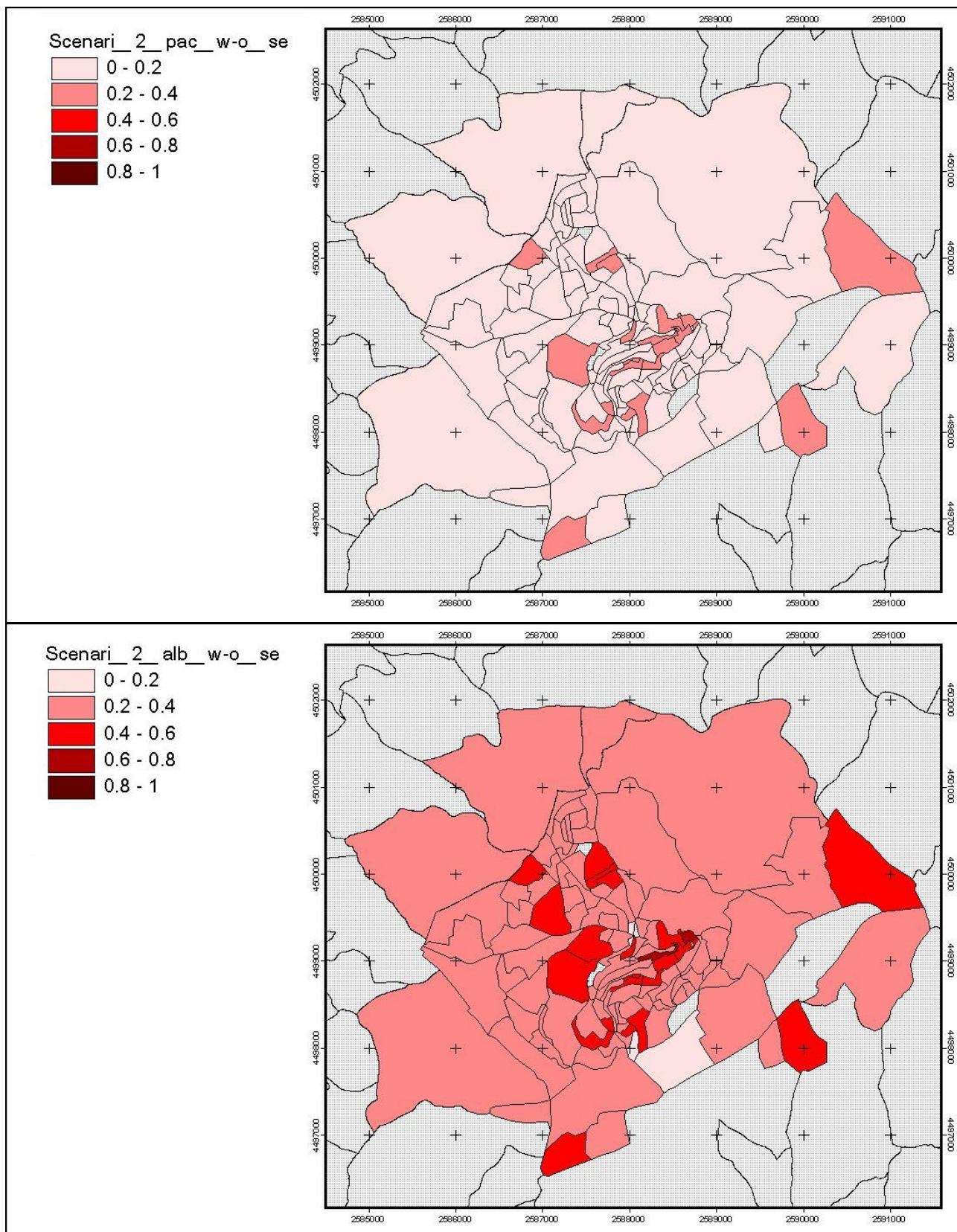


Figura 1.2.17. Distribuzione dell'indice di danno medio nel centro urbano di Potenza per l'evento di scenario 2 sia con modello della UR INGV-MI che con il modello a sorgente puntuale senza effetti di sito.

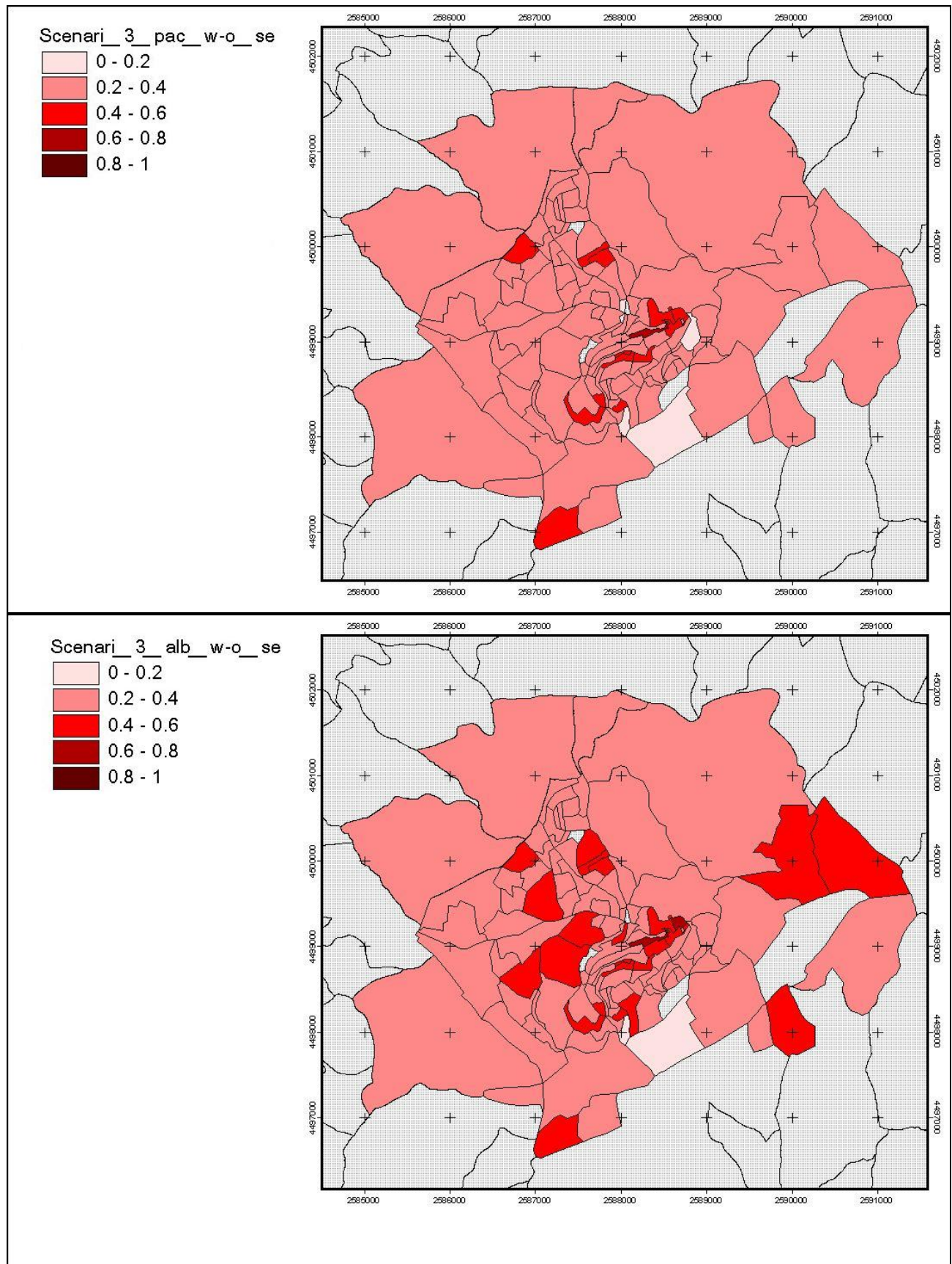


Figura 1.2.18. Distribuzione dell'indice di danno medio nel centro urbano di Potenza per l'evento di scenario 3 sia con modello della UR INGVI-MI che con il modello a sorgente puntuale senza effetti di sito.

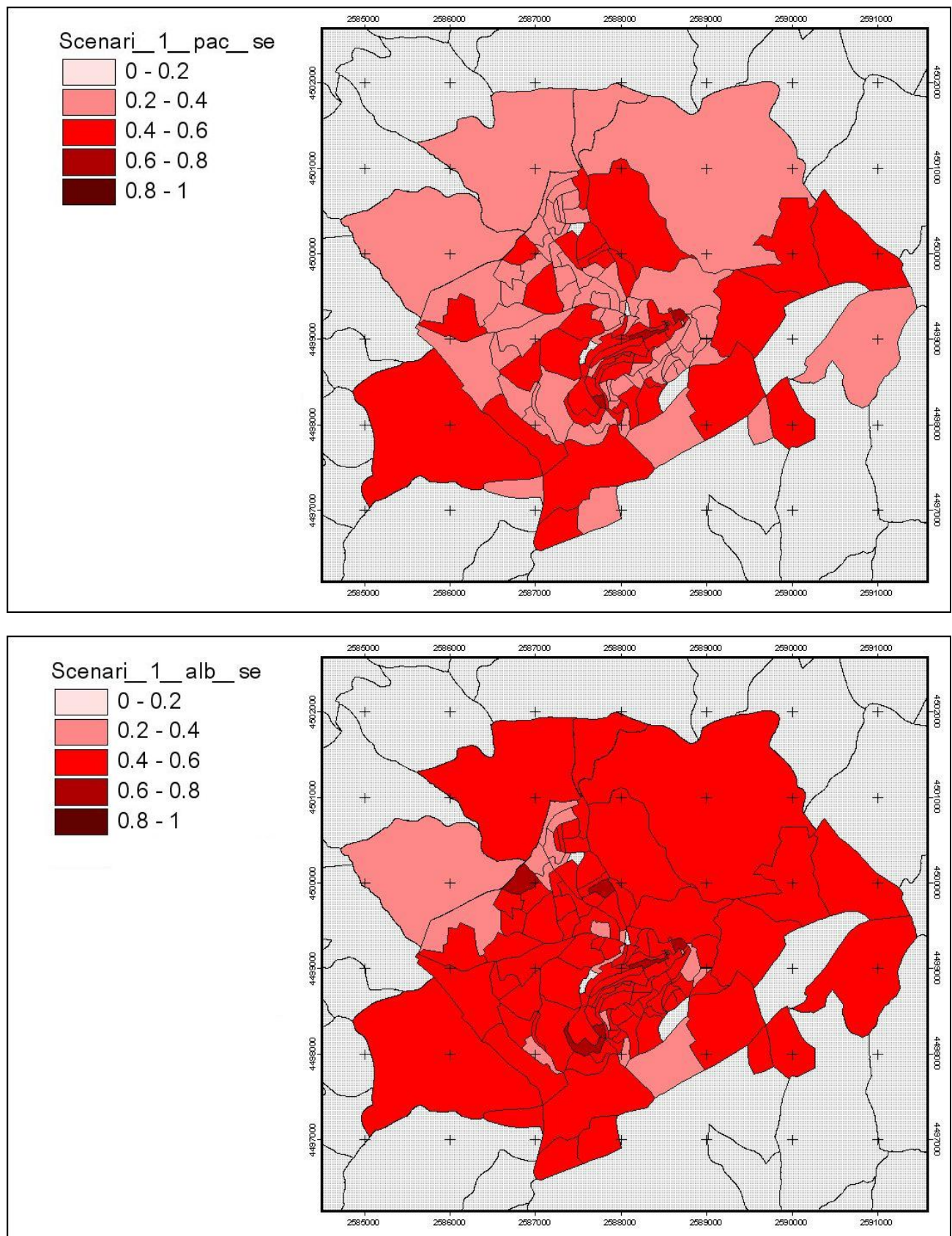


Figura 1.2.19. Distribuzione dell'indice di danno medio nel centro urbano di Potenza per l'evento di scenario 1 sia con modello della UR INGV-MI che con il modello a sorgente puntuale considerando anche gli effetti di sito.

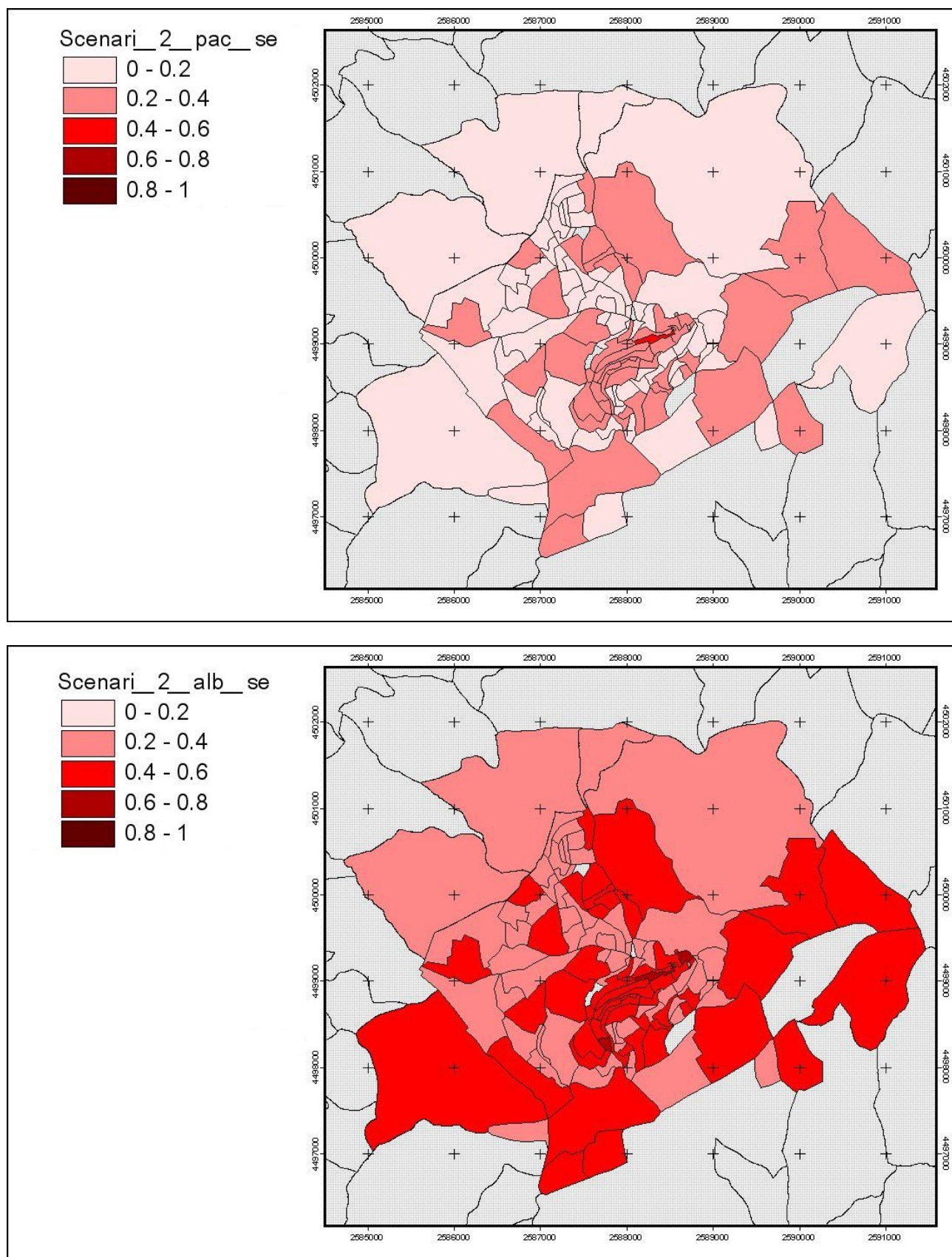


Figura 1.2.20. Distribuzione dell'indice di danno medio nel centro urbano di Potenza per l'evento di scenario 2 sia con modello della UR INGV-MI che con il modello a sorgente puntuale considerando anche gli effetti di sito.

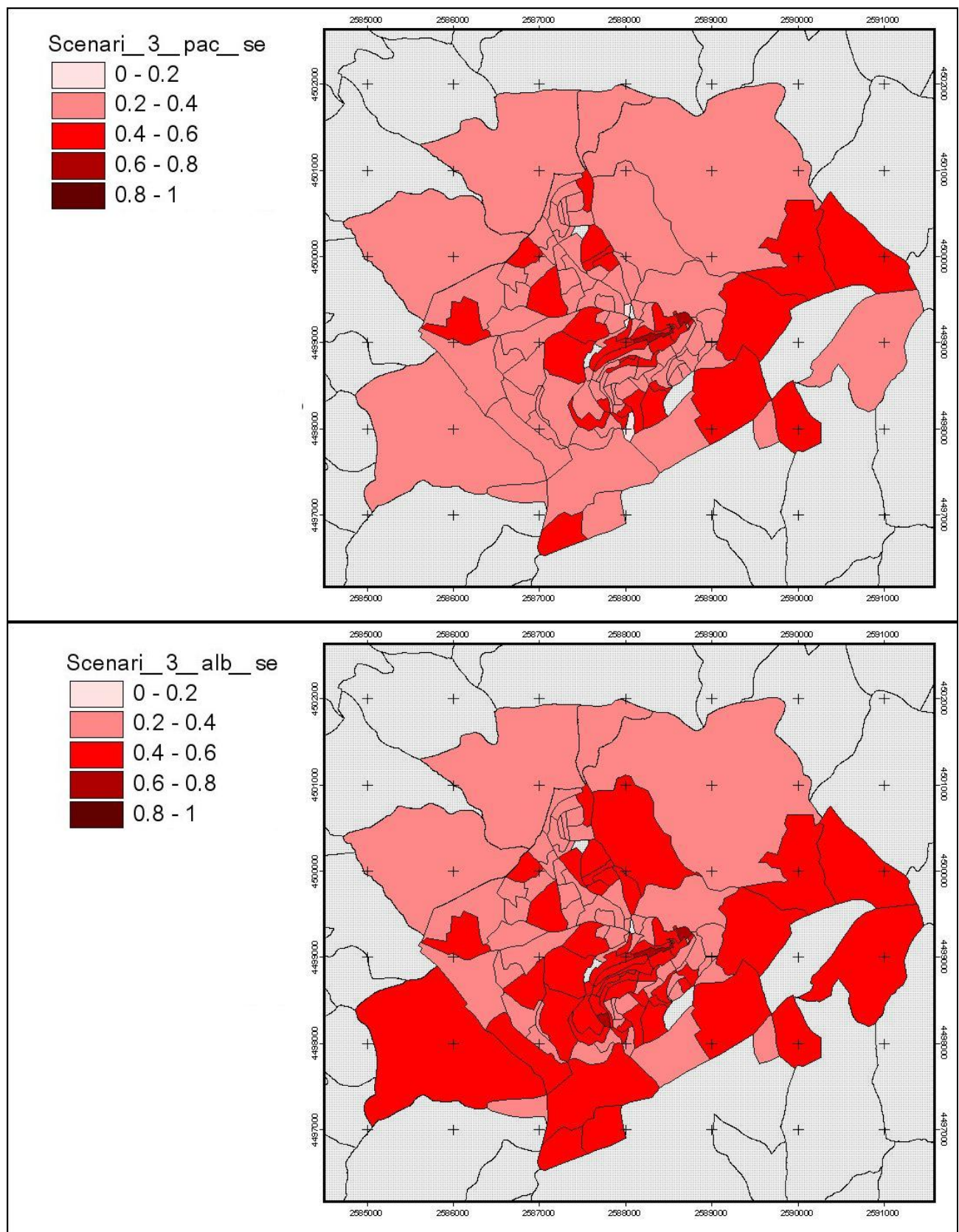


Figura 1.2.21. Distribuzione dell'indice di danno medio nel centro urbano di Potenza per l'evento di scenario 3 sia con modello della UR INGV-MI che con il modello a sorgente puntuale considerando anche gli effetti di sito.

BIBLIOGRAFIA

- Ambraseys, N., Smit, P., Douglas, J., Margaris, B., Sigbjørnsen, R., Olafsson, S., Suhadolc, P. and Costa, G., 2004. Internet-Site for European Strong-Motion Data, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, vol. 45, no. 3, pp. 113-129, 2004.
- ATER Potenza, 2006, *L'esperienza dell'abitare – Progetti e realizzazioni in provincia di Potenza*, ed. Libria.
- Braga, F., Dolce, M. and Liberatore D. 1982 *A statistical Study on Damaged Buildings and Ensuing Review of the MSK-76 Scale*. 8th ECEE, Atene, Settembre 1982.
- Dolce M., Lucia C., Masi A., Vona M., 1997. *Analisi delle tipologie strutturali della Basilicata ai fini di una valutazione di vulnerabilità*. Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, Taormina.
- Dolce, M., Goretti, A., Masi, A. 1999. *Analisi dei danni causati dal sisma del settembre 1998 nel Pollino*. Ingegneria Sismica, n. 3.
- Dolce, M. (coord.) 2003. Rapporto finale della Convenzione Università degli studi della Basilicata-Servizio Sismico Nazionale "Valutazione di rischio sismico del sistema urbano di Potenza – II parte", maggio 2003, Potenza.
- Dolce, M., Masi, A., Marino, M., Vona, M.. 2003. *Earthquake damage scenarios of Potenza town (Southern Italy) including site effects*, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 1, N. 1, pp. 115-140.
- Dolce, M., Kappos, A.J., Masi, A., Penelis, G., Vona, M.. 2006. *Vulnerability assessment and earthquake scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) using the Italian and Greek methodologies*, Engineering Structures, Vol. 28, pp. 357-371.
- Dolce M., Masi A., C. Samela, G. Santarsiero, Vona M., G. Zuccaro, F. Cacace F. Papa F., 2004, *Esame delle caratteristiche tipologiche e del danneggiamento del patrimonio edilizio di San Giuliano di Puglia*, Atti del 11° Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Genova.
- ESC Working Group "Macroseismic Scales", 1998. *European Macroseismic Scale 1998*. GeoForschungsZentrum, Potsdam, Germany
- Faccioli, E. e Pessina, V. (Eds), 2000, *The Catania Project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Roma, 255 pp.
- Margottini C., Molin D., Narcisi B., Serva, L., (1987). *Intensity vs acceleration: italian data*. ENEA – IAEA, Proceedings of workshop on Historical Seismicity of Central – Eastern Mediterranean Region.
- Masi A., Dolce M., Goretti A., Telesca F., Vona M.; 2001: *Resistenza sismica di telai in c.a. relativi ad edifici esistenti con e senza tamponature*, Atti del 10° Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Potenza.
- Masi A., 2003, *Seismic vulnerability assessment of gravity load designed R/C frames*, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 1, N. 3, pp. 371-395.
- Masi A., Vona M.; 2004. *Vulnerabilità sismica di edifici in c.a. realizzati negli anni '70*. Atti del 11° Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Genova, gennaio 2004.
- Masi A., Vona M., M. Mucciarelli, 2007, *La definizione dell'input sismico per scenari di danno*, Atti del 12° Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Pisa, giugno 2007.
- Vona M.; Masi A., 2004. *Resistenza sismica di telai in c.a. progettati con il R.D. 2229/39*. Atti del 11° Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Genova, gennaio 2004.

1.3 MISURE SU EDIFICI E RISONANZA SUOLO-EDIFICATO

Sono state condotte misure di rumore ambientale al fine di caratterizzare le 4 tipologie edilizie più rappresentative dell'area urbana di Potenza:

- Muratura costruita tra 1946-1961;
- Cemento armato costruito prima del 1971;
- Cemento armato costruito tra 1972-1981;
- Cemento armato costruito dopo il 1991.

Tale classificazione nasce dal fatto che durante tali periodi si sono avute importanti variazioni nelle norme e nelle modalità costruttive.

Sono state valutate le frequenze fondamentali di vibrazione di 57 edifici nelle due direzioni principali e i relativi smorzamenti mediante la tecnica HVNR [Horizontal-to-Vertical Spectra Ratio; Castro et al., 1998; Gallipoli et al., 2004; Di Giulio et al., 2005], SSR [Standard Spectral Ratio; Parolai et al., 2005], Non Parametric Damping Analysis [Non.Pa.D.An.; Mucciarelli e Gallipoli, 2006], Half Bandwidth [Clough and Penzien, 1975].

In figura 1.3.1 sono riportate le stime delle frequenze principali ottenute nelle due direzioni principali con le suddette tecniche di analisi, mentre in figura 1.3.2 sono riportate le stime degli smorzamenti relativi alle frequenze principali ottenute con la tecnica Non.Pa.D.An. e Half Bandwidth. Le stime dei modi principali di vibrazione degli edifici, ottenute con le diverse tecniche, sono in buon accordo e tutte comprese tra 1.5Hz e 4.5Hz in entrambe le direzioni. Inoltre la tecnica Non.Pa.D.An. sembra più idonea nella stima degli smorzamenti rispetto alla tecnica Half Bandwidth perchè i valori sono meno dispersi e tutti raggruppati intorno a valori più realistici.

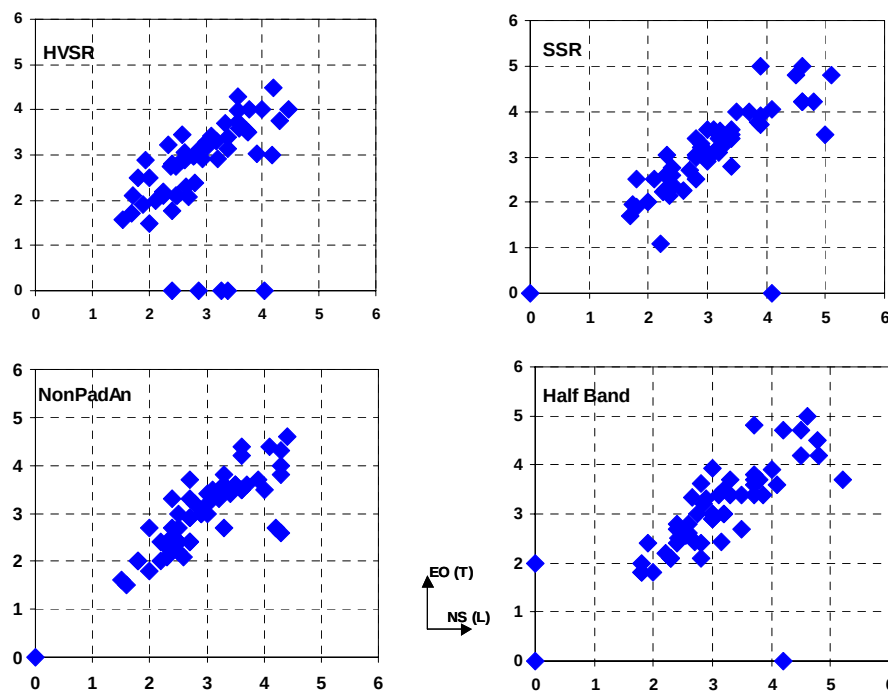


Figura 1.3.1 Stime delle frequenze principali di vibrazione di 57 edifici della città di Potenza ottenute nelle due direzioni principali con la tecnica HVSR, SSR, Non.Pa.D.An. e la tecnica Half Bandwidth.

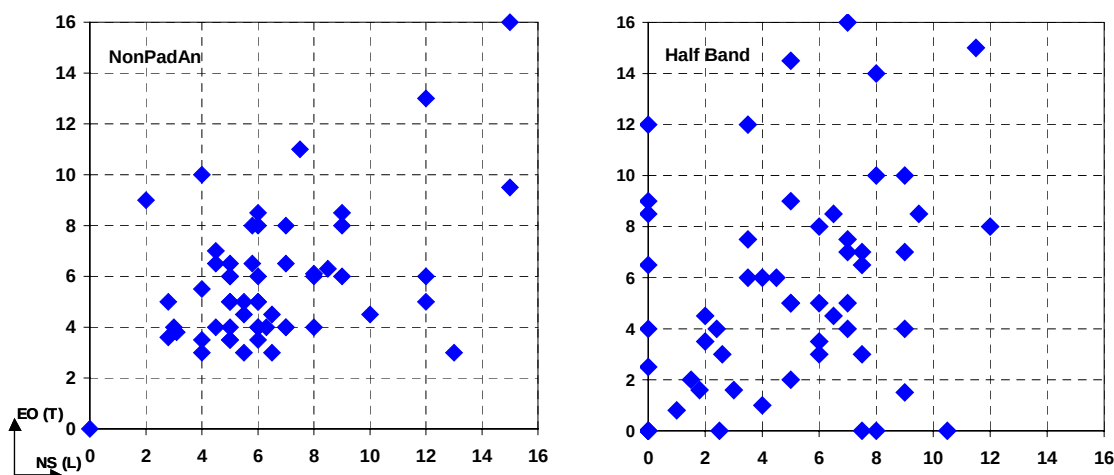


Figura 1.3.2 Stime degli smorzamenti relativi alle frequenze principali di vibrazione di 57 edifici della città di Potenza ottenute nelle due direzioni principali con le tecniche Non.Pa.D.An. e Half Bandwidth.

Nella tabella 1.3.1 si riportano i dati riassuntivi di tali analisi. Per le due classi principali (cemento armato e muratura), per le diverse età e per i range di altezza si riportano le relative frequenze medie ottenute con la tecnica SSR in una direzione principale con le deviazioni standard e i coefficienti di variazione. Si sono considerate le frequenze fondamentali di una sola direzione principale in quanto le stime nelle due direzioni sono abbastanza simili indicando quindi una certa simmetria degli edifici nelle due direzioni principali. Si può notare come le frequenze diminuiscono all'aumentare dei piani e che sicuramente gli edifici in muratura, a parità di altezza, vibrano a frequenze più alte rispetto a quelli in cemento armato. Inoltre, mentre per gli edifici al di sopra di 24 m non si evidenzia particolare differenza nelle frequenze medie al variare delle fasce di età, al contrario si può notare come, per gli edifici con altezza compresa tra 12-24m, la frequenza media diminuisce passando da edifici di età compresa tra 1961-1971 e quelli più recenti probabilmente a causa dell'introduzione in epoche recenti del piano porticato soprattutto in edifici non particolarmente alti. I coefficienti di variazione evidenziano la necessità, in alcuni casi, di incrementare le stime delle frequenze in alcune classi tipologiche.

	età	h (m)	F_media	F_dev.sd	C.Var
CEMENTO ARMATO	totale	>24	2.54	0.48	0.19
	1961-1971	>24	2.53	0.30	0.12
	1972-1981	>24	2.54	0.54	0.21
	totale	12 - 22	3.61	0.62	0.17
	1961-1971	12 - 22	4.34	0.68	0.16
	1972-1981	12 - 22	3.49	0.40	0.12
	>1991	12 - 22	3.28	0.30	0.09
MURATURA	1947-1961	12 - 22	4.29	0.69	0.16

Tabella 1.3.1 Per le due classi principali (cemento armato e muratura), per le diverse età e per i range di altezza si riportano le relative frequenze medie ottenute con la tecnica SSR in una direzione principale con le deviazioni standard e i coefficienti di variazione.

La disponibilità di tali stime insieme a quelle ottenute in un progetto di microzonazione per alcuni edifici della città di Senigallia, ha permesso di ricavare una relazione empirica tra altezza

degli edifici e periodo fondamentale (Figura 1.3.3). I punti e la retta in blu indicano le stime ottenute per gli edifici di Potenza e Senigallia e la relativa relazione empirica che risulta abbastanza confrontabile con quella ottenuta da un lavoro di Navarro et al. (2004) in cui sono state stimate le frequenze fondamentali di 89 edifici di Granada (retta in nero). Un dato importante che si evidenzia da tale grafico è che le relazioni teoriche, quella di Crowley & Pinho (2006) e quella dell'EC8, sovrastimano i periodi degli edifici rispetto alle relazioni sperimentali ricavate per le città di Potenza, Senigallia e Granada.

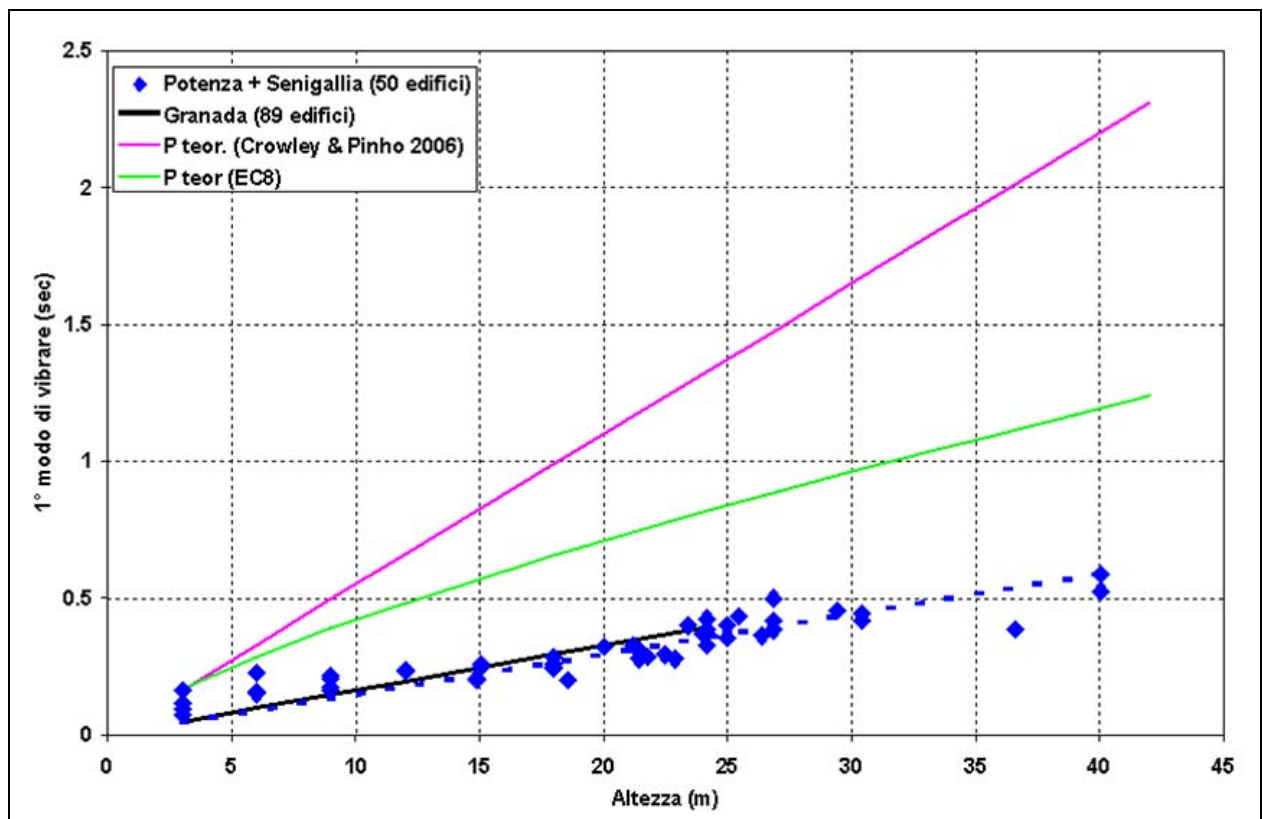


Figura 1.3.3. Relazioni empiriche e teoriche tra l'altezza e il periodo fondamentale degli edifici.

Il passo successivo è stato indagare la possibile presenza di fenomeni di risonanza tra il suolo e l'edificio. Purtroppo al momento non sono disponibili i dati di altezza ubicati per ogni singolo edificio, ma solo al livello di aggregazione della zona censuaria. Si è così effettuata una prima indagine esplorativa, considerando la percentuale di area urbana che presenta diverse frequenze di risonanza e la percentuale di volume di edificio che ha le stesse frequenze fondamentali.

Dall'esame della figura 1.3.4 si evince come la maggiore possibilità di avere fenomeni di risonanza riguardi le fasce comprese tra 2 e 4 Hz, nella quali ricade complessivamente il 70% del volume di abitazioni in cemento armato e poco meno del 40% dei suoli della città. Ovviamente il possibile sviluppo futuro sarà l'identificazione dell'altezza di ogni singolo edificio in rapporto alla mappa di isofrequenza dei suoli.

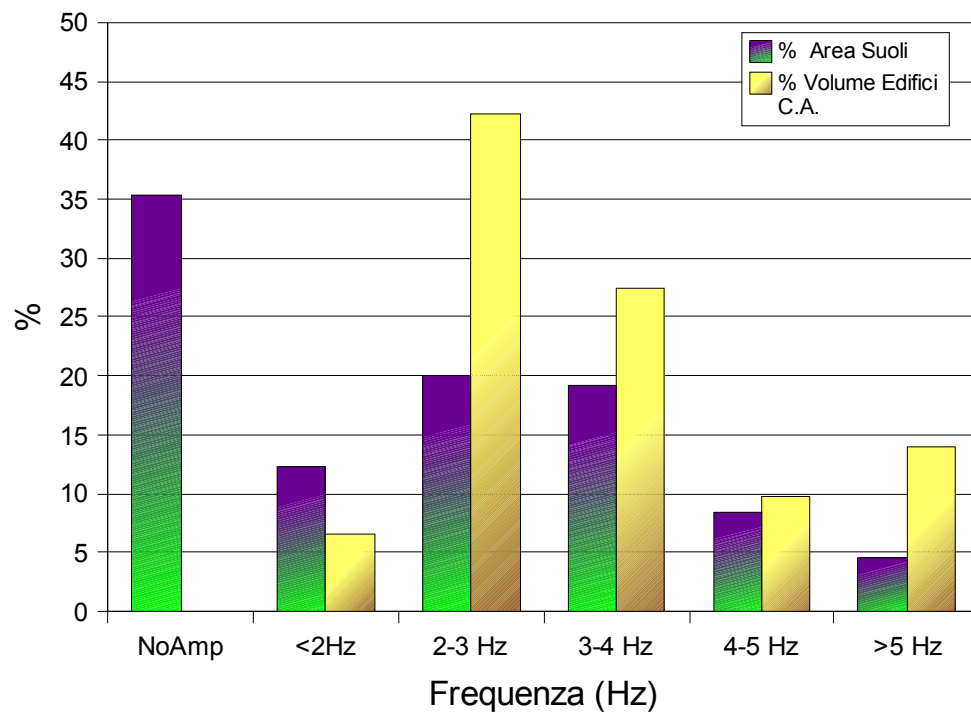


Figura 1.3.4. Confronto tra percentuale di area urbana che presenta diverse frequenze di risonanza e la percentuale di volume di edificato che ha le stesse frequenze fondamentali.

BIBLIOGRAFIA

- Castro R., Mucciarelli M., Pacor F., Federici P., Zaninetti A.; 1998: Determination of the characteristic frequency of two dams located in the region of Calabria. Italy, Bull. Seism. Soc. Am., 88, 2, 503-511.
- Clough R. W., Penzien J.; 1975: Dynamics of structures, II Ed., Mac Graw-Hill, New York.
- Crowley H. and R. Pinho (2006); Simplified equations for estimating the period of vibration of existing buildings, Proc. of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Paper n. 1122, 3-8 September 2006, Geneva (Switzerland).
- Di Giulio G., Azzara R. M., Cultrera G., Giammarinaro M. S., Vallone P., Rovelli A.; 2005: Effect of Local Geology on Ground Motion in the City of Palermo, Italy, as Inferred from Aftershocks of the 6 September 2002 Mw 5.9 Earthquake. Bull. Seism. Soc. Am., 95, 2328-2341.
- Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Castro R.R., Monachesi G., Contri P.; 2004: Structure, soil-structure response and effects of damage based on observations of horizontal-to-vertical spectral ratio of microtremors. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 6, 487-495.
- Mucciarelli M., Gallipoli M.R.; 2006: Estimate of frequency and damping for large sets of building in dense urban area. Proc. of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Paper n. 211, 3-8 September 2006, Geneva (Switzerland).
- Navarro M., Vidal F., Feriche M., Enomoto T., Sánchez F. J., Matsuda I.; 2004: Expected ground-RC building structures resonance phenomena in Granada city (Southern Spain). Proc. 13th World Conf. on Earthq. Engin., Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 3308.
- Parolai S., Facke A., Richwalski S.M., Stempniewski L.; 2005: Assessing the Vibrational Frequencies of the Holweide Hospital in the City of Cologne (Germany) by Means of Ambient Seismic Noise Analysis and FE modelling. Natural Hazard, 34, 217-230.

2 TASK 7 - INTERFACCIAMENTO CON L'INGEGNERIA ED IL DPC

Allo scopo di verificare le difficoltà che possono emergere nel trasferimento dei dati di scenario agli utenti finali l'U.R. ha partecipato ad una esercitazione nazionale di protezione civile svoltasi dal 10 al 14 maggio 2006 in Val d'Agri con il coinvolgimento di un migliaio di partecipanti. Per quest'area erano disponibili scenari di scuotimento realizzati da INGV-MI durante i progetti GNDT-2004. E' stato così possibile seguire tutto il processo partendo dall'integrazione con gli studi di vulnerabilità, attraverso le stime di danno fino allo scenario di perdite/soccorsi attesi. In tutto il processo si è tenuto conto delle incertezze e della loro propagazione, giungendo a farne un elemento caratterizzante della stessa esercitazione.

Durante il primo anno di attività è emersa la necessità di un maggiore confronto sui temi al confine tra prodotti sismologici ed ingegneristici, e si è individuato un naturale interlocutore nel gruppo che rappresenta l'altra metà delle ricerche finanziate dal Dipartimento Protezione Civile, ovvero nei progetti ReLUIS. Il risultato principale e non previsto inizialmente è stata l'organizzazione di un workshop sull'input sismico tenuto il 12 e 13 giugno 2006 presso il centro convegni della Università Federico Secondo ad Anacapri. I risultati del workshop sono stati diffusi sul sito http://www.reluis.it/doc/convegni_eventi/workshop_02.htm.

All'interno dell'attività in corso per l'area test di Potenza si è posta particolare attenzione alla caratterizzazione della frequenza fondamentale di edifici campione per identificare possibili fenomeni di risonanza tra edifici e suoli di fondazione, e si sono sperimentando nuove tecniche che consentano anche la stima dello smorzamento degli edifici. I risultati sono in corso di pubblicazione su *Annals of Geophysics*.

2.1 SELEZIONE DI ACCELEROGRAMMI NATURALI E SINTETICI PER LA PREDISPOSIZIONE DI CURVE DI FRAGILITÀ

Gran parte degli studi presenti in bibliografia evidenziano la notevole importanza dell'input sismico nella valutazione della risposta sismica delle strutture. La scelta del tipo di input da adoperare nella valutazione della risposta sismica delle strutture deve dipendere, tra le altre cose, anche dall'obiettivo.

Per quanto riguarda la progettazione può utilmente essere considerato un input "convenzionale". Al contrario, nella stima della vulnerabilità per la predisposizione di scenari sismici è necessario l'impiego di un input "realistico", se non reale, in grado di rappresentare al meglio la variabilità delle azioni sismiche con riferimento al territorio, più o meno esteso, in esame, escludendo comunque eventuali singolarità.

Peraltro, la selezione dell'input deve essere condotta anche con riferimento alle tipologie edilizie/strutturali in esame. Tale aspetto risulta fondamentale da un lato per individuare le azioni che realmente possono interessare le tipologie presenti sul territorio studiato, sull'altro fronte per operare un'attenta selezione dell'input che possa implicare anche una significativa riduzione dei tempi di elaborazione e quindi di predisposizione degli scenari sismici. In questo secondo caso la selezione dell'input sismico (SI) da adottare dovrà essere condotta considerando differenti caratterizzazioni dipendenti anche dal modello di vulnerabilità e di stima del danno (DEM) che verrà utilizzato (Tabella 1).

Per analisi di scenario su porzioni di territorio medio – grandi, in passato l'input sismico è stato definito usualmente in termini di intensità macrosismica (ad es. adoperando le DPM). Più recentemente sono invece state proposte formulazioni differenti descrivendo l'azione sismica in termini di spettri di risposta (spostamento o accelerazione, procedure HAZUS e RISK-UE). Seguendo quest'ultimo tipo di impostazione la determinazione della vulnerabilità sismica degli edifici, condotta su base meccanica, richiede la disponibilità di accelerogrammi per la esecuzione di analisi dinamiche non lineari.

Tale approccio può consentire, tra l'altro, di introdurre delle significative evoluzioni rispetto alle classiche formulazioni di vulnerabilità in termini di danno osservato e intensità macrosismica.

Infatti, pur riconoscendo la validità del metodo delle DPM, nonché l'importanza storica dello stesso che ne fa ancora oggi uno dei più utilizzati in ambito di protezione civile per programmi di prevenzione, pianificazione e gestione delle emergenze, è necessario ottenere curve intensità sismica – danno (anche solo per alcuni valori di intensità) riferite a molte tipologie strutturali, attualmente presenti in maniera diffusa nel patrimonio edilizio, e per le quali non sono disponibili dati post-sisma. Ciò accade in particolare per gli edifici in cemento armato, al contrario degli edifici in muratura tipici dei centri storici [Workshop INGV-ReLUIS 2006].

Peraltro, è da segnalare che anche per questi ultimi la consistente opera di ricostruzione e rafforzamento (sia adeguamento che miglioramento) condotta nell'ultimo ventennio proprio a seguito degli eventi sismici hanno dato luogo a nuove tipologie edilizie in muratura per le quali non si dispone di dati di post-sisma per stime di vulnerabilità a posteriori.

	SI Seismic Input	Bibliographic
Damage Probability Matrix DPM	Marcoseismic Intensity (I_{MCS} , I_{MSK} , I_{EMS})	Irpinia '80, EMS-98
Fragility Curve di Fragilità FC	Spectral Intensity (S_d , S_v , S_a)	HAZUS, RISK-UE
Damage Curve, DC	Strumental Intensity (PGA , I_A , I_H , ..)	Cosenza et al., Elnashai et al., Masi et al., ...

Tabella 2.1.1. Input sismico richiesto per diversi modelli di stima del danno.

Sulla base del differente modello di stima della vulnerabilità e del danno, la scelta dell'input sismico deve essere condotta considerando alcuni aspetti fondamentali quali:

- parametri di misura dell'intensità sismica;
- tipologia delle strutture da analizzare;
- metodo di analisi numerica;
- parametri di risposta strutturale.

In particolare per quanto riguarda i parametri di misura dell'intensità dell'input, intesi come elementi in grado di rappresentare efficacemente il potenziale distruttivo di un evento, nella selezione dell'input sono stati considerati sia parametri di picco che integrali.

Tra gli obiettivi del presente lavoro vi è quello di individuare l'input sismico idoneo per la stima della vulnerabilità e del danno, nonché il parametro sismico più efficace per caratterizzarne il potenziale distruttivo.. A tale scopo verrà effettuata una serie di analisi dinamiche non lineari (NLDA) su modelli rappresentativi di edifici esistenti in c.a. La NLDA è uno strumento di analisi in grado di fornire una rappresentazione dell'evoluzione della risposta strutturale, nel campo di variazione dell'intensità sismica investigato, permettendo di valutarne gli effetti, identificando ed analizzando le variazioni della risposta strutturale al variare dell'intensità sismica. Inoltre, è possibile ottenere una rappresentazione sintetica della variabilità della risposta da un accelerogramma all'altro considerando alcuni parametri della risposta strutturale di tipo globale (spostamenti di piano, spostamenti di interpiano, accelerazioni e tagli di piano ecc.) e locale (deformazioni anelastiche, rotazioni, energia dissipata, ecc.) in termini di valori massimi, medi, cumulati.

Ovviamente, affinché si possa utilmente impiegare il modello DC è necessario che il numero di analisi da eseguire per ottenere la distribuzione del parametro che descrive la risposta strutturale sia abbastanza limitato.

Nel presente lavoro, seguendo il percorso appena delineato, sono state considerate differenti metodologie di selezione dell'input sismico. È stato considerato un primo set di accelerogrammi simulati, spettro-compatibili con lo spettro EC8-B, adoperando la procedura BELFAGOR. In passato ulteriori elaborazioni sono state condotte considerando un'ulteriore set di accelerogrammi artificiali spettro-compatibili (spettro EC8, suolo tipo B) ottenuti adoperando la classica procedura SIMQKE. I risultati delle analisi hanno mostrato che gli accelerogrammi spettro – compatibili generati con il codice SIMQKE portano a livelli di danno non realistici, per cui essi appaiono troppo onerosi rispetto agli accelerogrammi reali, racchiudendo in sé elevati potenziali di danno, testimoniati dai valori ben più grandi dell'intensità di Arias rispetto a quelli relativi ad accelerogrammi naturali a parità di PGA. Per tale ragione, gli accelerogrammi SIMQKE appaiono non adeguati per la costruzione di curve di danno da adoperare nella preparazione di scenari ed i risultati delle elaborazioni non sono riportati nel presente lavoro. Un secondo set di accelerogrammi sono stati simulati con il codice Belfagor considerando differenti condizioni di magnitudo e distanza dalla sorgente al fine di simulare delle registrazioni naturali. Infine, estraendoli dalla banca dati

europea, sono stati considerati degli accelerogrammi naturali opportunamente selezionati. Il primo set di accelerogrammi, aventi caratteristiche essenzialmente convenzionali, sono stati considerati per effettuare un confronto con i risultati ottenuti con l'input naturale.

Tutte le azioni sismiche sopra descritte sono state utilizzate per definire delle curve intensità sismica – danno per alcune tipologie strutturali rappresentative di edifici esistenti italiani progettati per resistere ai soli carichi verticali.

2.1.1 Selezione dell'input sismico

Il problema di un'adeguata selezione dell'input sismico è emerso molto chiaramente in precedenti studi ed influenza notevolmente la qualità dei risultati [Masi et al. 2001, Masi 2003]. Gli accelerogrammi artificiali generati mediante il codice SIMQKE, considerando lo spettro dell'EC8 per terreno tipo B, sono stati spesso utilizzati in passato poiché garantivano un'oggettiva individuazione dell'input che rendesse confrontabili i risultati tra differenti metodologie e approcci. Dall'altro canto però tali azioni apparivano assolutamente non realistiche sia in virtù del carattere convenzionale degli spettri adoperati che, soprattutto, dell'onerosità delle azioni generate in virtù del loro elevato potenziale distruttivo.

Nel presente studio, pur non riportando i risultati delle NLDA, si riportano le caratteristiche degli accelerogrammi SIMQKE generati, coerentemente a quanto fatto in passato, sulla base di un inviluppo trapezoidale, con durate dipendenti dal relativo valore di PGA, considerando 7 valori nel range di PGA 0.06-0.42g (Tabella 2.1.2). Nel seguito le caratteristiche principali di tali accelerogrammi sono confortate con quelle degli altri set considerati.

T_{tot} [s]	PGA [g]	PGV [m/s]	T_d [s]	PGV/PGA	I_A [m/s]	I_H [m]	P_D [ms]
14.6	0.060	0.060	10.7	1.002	0.08	0.28	0.04
14.6	0.120	0.120	10.9	1.006	0.33	0.55	0.16
18.0	0.180	0.166	13.3	1.095	0.86	0.83	0.42
21.8	0.240	0.228	15.9	1.057	1.77	1.11	0.80
25.2	0.300	0.300	18.6	1.016	3.11	1.38	1.40
28.3	0.360	0.350	21.1	1.044	5.01	1.66	2.23
32.6	0.420	0.400	24.1	1.065	7.50	1.95	3.15

Tabella 2.1.2. Valori dei parametri sismici dei set di accelerogrammi SIMQKE.

Non è stato considerato SIMQKE poiché non idonei per la vulnerabilità ma per la progettazione (vedi Masi 2003, Masi et al. ...): The results confirm the strong role of the seismic input. As regards the selection of accelerograms, the choice of artificial ones generated according to SIMQKE appears inadequate for vulnerability assessment evaluations. They are too onerous when compared to natural accelerograms, assuming equal PGA values, because of their damage potential and frequency content as the variations in the preStage 49 draft of Eurocode 8 (CEN 2002b) implicitly suggest. Moreover, their conventional characteristics makes them suitable only for design purposes. By comparing the results obtained with the two types of seismic input but assuming equal Arias Intensity values, almost coincident values of the seismic response are obtained, emphasizing that AI is a more effective seismic parameter than PGA to represent the damage potential of an accelerogram.

Tenendo conto che lo scopo dello studio è la valutazione realistica in termini assoluti del danno atteso delle strutture esaminate, da cui giungere alla costruzione di curve intensità – danno, è necessario che l'intensità, il contenuto in frequenze ed energetico degli accelerogrammi adoperati sia il più realistico possibile.

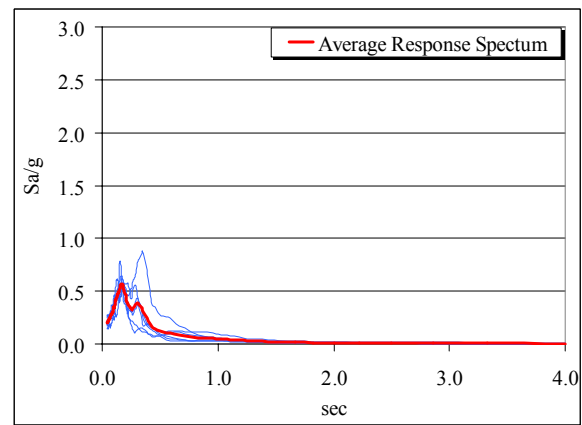
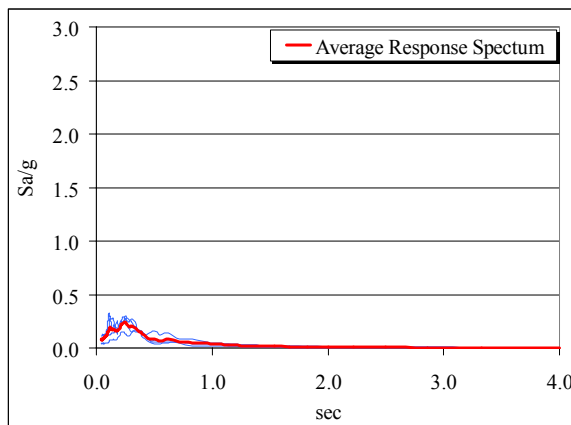
In tal senso, nella valutazione della vulnerabilità degli edifici in c.a. presenti in Italia, l'impiego di registrazioni di accelerogrammi naturali, opportunamente selezionati, sembra essere la soluzione più corretta per il conseguimento degli obiettivi.

Pertanto, in questo studio si è ritenuto opportuno di fare riferimento alla vasta banca dati di registrazioni accelerometriche European Strong-Motion Database [Ambraseys et al., 2004]. Da essa possono essere estratte, tenendo conto anzitutto della qualità delle registrazioni, circa 400 registrazioni relative al territorio italiano. Data la molteplicità dei casi da analizzare e l'onere computazionale delle analisi dinamiche non lineari, tale numero di accelerogrammi è stato ridotto, selezionando un numero limitato di registrazioni che rappresentassero il potenziale distruttivo medio dei terremoti italiani. Ogni registrazione è stata caratterizzata mediante i seguenti parametri:

- Peak Ground Acceleration	PGA
- Peak Ground Velocity	PGV
- Arias Intensity	$I_A = \frac{\pi}{2g} \cdot \int_0^t a^2(t) dt$
- Saragoni Factor	$P_D = I_A / (v_0)^2$
- Housner Intensity	$I_H = \int_{0.1}^{2.5} S_v(T, \xi = 0.05) dT$

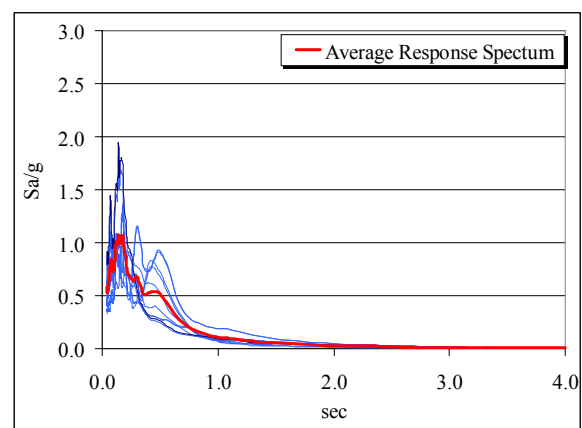
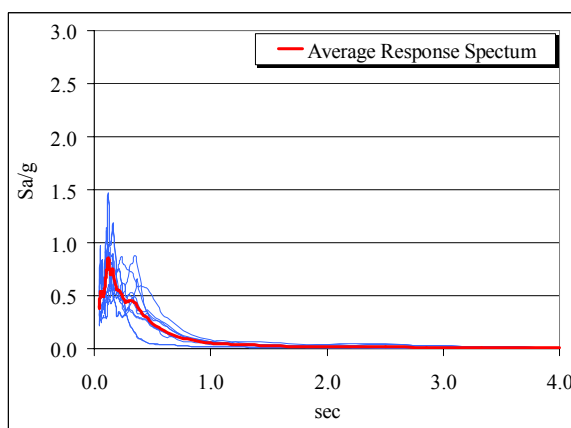
dove: $a(t)$ è l'accelerogramma, v_0 è il numero di passaggi per lo zero (normalizzato alla durata efficace dell'accelerogramma), S_v è lo spettro delle pseudovelocità, T il periodo di vibrazione, ξ il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente.

La selezione è stata condotta analizzando le distribuzioni dei suddetti parametri e le correlazioni tra gli stessi. Considerando il limitato numero di accelerogrammi disponibili con intensità elevata è stato necessario aggiungere alcune registrazioni non appartenenti al territorio italiano. L'input sismico naturale così selezionato è costituito da 30 registrazioni con valori di PGA compresi tra 0.04 e 0.36g (Tabella 2.1.3), mentre in figura 2.1.1 sono riportati gli spettri di risposta degli accelerogrammi raggruppati, anche ai fini di una migliore lettura, in tre differenti range di PGA. In particolare, nei tre grafici in figura 2 sono stati considerati i range 0.04 – 0.10 g, 0.10 – 0.20 g, 0.20 – 0.30 g e 0.30 g – 0.36g costituiti, rispettivamente, da 4, 6, 10 e 10 registrazioni.



Range di PGA 0.04 – 0.10

Range di PGA 0.10 – 0.20



Range di PGA 0.20 – 0.30

Range di PGA 0.30 – 0.36

Figura 2.1.1. Forme spettrali degli accelerogrammi Naturali.

Oltre ai due set di accelerogrammi sopra descritti, sono stati considerati anche accelerogrammi simulati con la procedura BELFAGOR, ricavata da un precedente codice Physimqe [Mucciarelli et al. 1997] basato sul lavoro teorico di [Sabetta e Pugliese, 1996]. Gli accelerogrammi Belfagor sono stati ottenuti sia in modo che fossero coerenti con lo spettro del terreno tipo B dell'EC8 (Belfagor_EC8), sia considerando differenti condizioni di magnitudo e distanza dalla sorgente al fine di simulare delle registrazioni naturali (Belfagor_N).

Nel primo caso sono stati generati degli accelerogrammi considerando 7 valori di PGA nel range 0.06-0.42g (Tabella 2.1.4). Tali accelerogrammi, pur essendo spettro-compatibili (spettro EC8 terreno tipo B), presentano una forma (figura 2.1.2) differente da quelli generati con il codice SIMQKE in quanto non vincolata ad un inviluppo trapezoidale, forma che meglio approssima le caratteristiche degli accelerogrammi naturali.

European Strong- Motion DB File name	T _{tot} [s]	Fault Depth km	Magnitude (Ms)	Epicentral dist. km	Fault dist. km	PGA	PGV [m/s]	T _d [s]	PGA/P GV	I _A [m/s]	I _H [m]	P _D
000172ya	24.6	15.0	5.83	58.0	52.0	0.037	0.02	15.05	1.80	0.03	0.06	0.05
000359ya	65.0	7.0	5.38	16.0	-	0.066	0.04	8.26	1.75	0.04	0.12	0.03
000980ya	40.5	15.0	5.01	4.0	5.0	0.078	0.04	6.80	1.91	0.05	0.09	0.04
000365xa	30.7	8.0	5.79	15.0	12.0	0.099	0.04	9.89	2.70	0.06	0.15	0.07
000316xa	33.6	15.0	5.01	5.0	6.0	0.132	0.05	6.08	2.55	0.10	0.12	0.07
000384xa	59.8	8.0	5.27	7.0	2.0	0.143	0.07	3.47	2.12	0.13	0.14	0.07
000361ya	28.3	7.0	5.38	30.0	-	0.157	0.09	7.12	1.83	0.15	0.10	0.07
000316ya	33.6	15.0	5.01	5.0	6.0	0.166	0.07	6.02	2.49	0.13	0.12	0.09
000363ya	26.1	7.0	5.38	20.0	-	0.185	0.06	4.93	2.96	0.13	0.24	0.13
000159ya	21.5	15.0	5.22	4.0	6.0	0.189	0.10	4.03	1.83	0.26	0.26	0.34
000134ya	22.0	15.0	6.06	17.0	12.0	0.214	0.11	4.61	1.97	0.36	0.33	0.48
000413xa	25.8	8.0	5.75	9.0	5.0	0.215	0.60	5.49	0.36	0.58	1.19	1.50
000333xa	41.8	10.0	6.69	20.0	13.0	0.230	0.25	15.42	0.91	0.62	0.94	2.41
000651ya	19.8	7.0	5.20	5.0	-	0.231	0.11	4.96	2.13	0.25	0.23	0.10
000123ya	18.6	16.0	5.52	16.0	17.0	0.232	0.12	1.76	1.96	0.35	0.28	0.76
000159xa	21.6	15.0	5.22	4.0	6.0	0.237	0.33	4.03	0.72	0.26	0.26	0.34
000766xa	23.1	7.0	5.60	12.0	-	0.253	0.07	4.78	3.39	0.33	0.26	0.05
001313xa	39.0	9.0	5.60	23.0	-	0.265	0.22	5.83	1.18	0.33	0.46	0.18
000770xa	56.2	6.0	4.90	10.0	-	0.281	0.11	4.69	2.48	0.55	0.10	0.11
000027ya	7.7	8.0	4.55	8.0	10.0	0.294	0.08	3.12	3.75	0.48	0.24	0.17
001257xa	60.0	17.0	7.80	17.0	25.0	0.296	0.14	31.81	2.12	1.45	1.71	6.37
000067ya	18.1	12.0	4.72	3.0	2.0	0.300	0.10	2.49	3.03	0.36	0.32	0.56
000196ya	48.2	12.0	7.04	25.0	12.0	0.306	0.54	13.35	0.57	1.92	0.77	5.21
001715ya	46.0	9.0	5.60	21.0	-	0.310	0.17	5.51	1.80	0.65	0.49	0.53
000766ya	23.1	7.0	5.60	12.0	-	0.329	0.16	4.01	2.03	0.42	0.36	0.09
000592ya	48.3	6.0	5.90	5.0	3.0	0.330	0.16	11.57	2.06	0.59	0.66	0.17
000182xa	39.9	5.0	7.33	11.0	11.0	0.338	0.25	32.43	1.35	1.55	0.81	0.81
000501xa	36.3	6.0	5.30	9.0	-	0.346	0.14	2.99	2.54	0.71	0.65	0.59
001226ya	27.2	17.0	7.80	101.0	29.0	0.361	0.19	11.11	1.92	1.26	2.21	4.47
000199ya	47.8	12.0	7.04	16.0	12.0	0.363	0.52	18.84	0.70	2.91	2.53	11.22

Tabella 2.1.3. Valori dei parametri sismici dei set di accelerogrammi Naturali.

T _{tot} [s]	PGA g	T _d [s]	PGV [m/s]	PGA/PGV	I _{Arias} [m/s]	I _H	P _D
17.0	0.070	6.8	0.049	1.45	0.048	0.26	0.050
18.0	0.136	6.1	0.107	1.28	0.186	0.53	0.171
17.0	0.213	6.8	0.164	1.29	0.438	0.76	0.410
17.0	0.271	8.3	0.198	1.38	0.830	1.05	0.988
32.0	0.343	12.0	0.261	1.29	1.721	1.34	2.143
27.0	0.367	15.9	0.277	1.33	2.594	1.57	3.160
29.5	0.417	16.0	0.348	1.21	3.340	1.78	4.514

Tabella 2.1.4. Valori dei parametri sismici dei set di accelerogrammi BELFAGOR_EC8.

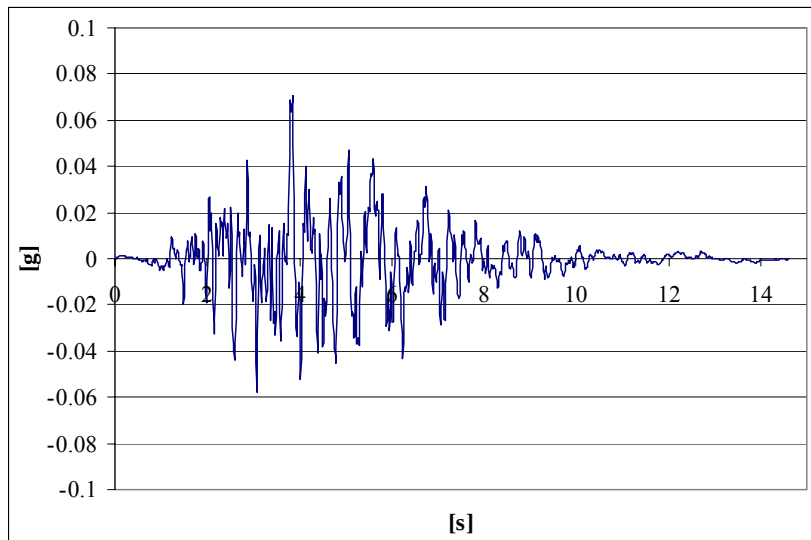


Figura 2.1.2. Forma tipica degli accelerogrammi Belfagor_EC8.

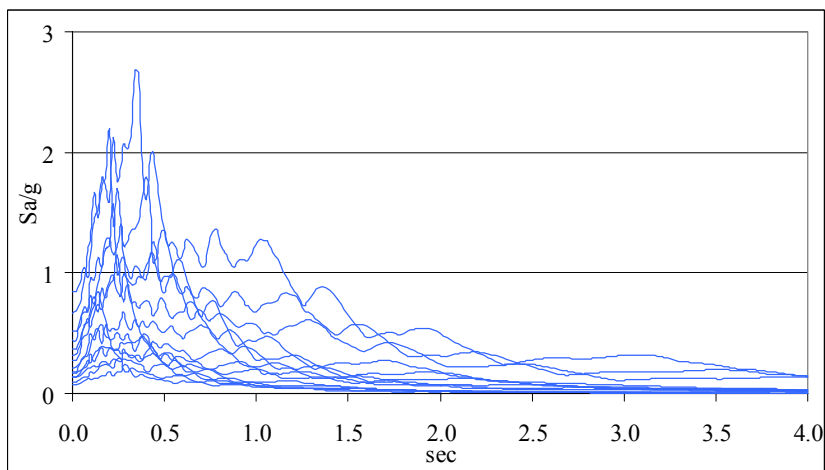


Figura 2.1.3. Forma spettrali degli accelerogrammi Belfagor_N. mettere spettro medio

T_{tot} [s]	T_d [s]	PGA g	PGV [m/s]	PGA/PGV	I_A [m/s]	I_H [m/s]	P_D [ms]	Magnitude	Distance
39.9	4.76	0.27	0.09	3.13	0.33	33	0.20	5.00	40.00
39.9	5.39	0.18	0.07	2.52	0.27	27	0.11	5.00	30.00
39.9	5.88	0.14	0.06	2.41	0.23	23	0.08	6.00	50.00
39.9	6.36	0.10	0.04	2.27	0.19	19	0.05	5.00	20.00
39.9	6.87	0.07	0.03	2.06	0.16	16	0.04	6.00	40.00
39.9	7.43	0.67	0.29	2.28	1.43	143	2.70	5.00	15.00
39.9	8.11	0.44	0.22	1.99	1.13	113	1.70	6.00	30.00
39.9	8.60	0.32	0.19	1.68	0.94	94	1.19	5.00	10.00
39.9	9.65	0.21	0.15	1.47	0.69	69	0.67	6.00	20.00
39.9	10.02	0.17	0.12	1.43	0.57	57	0.43	7.00	40.00
39.9	10.94	0.14	0.10	1.37	0.50	50	0.32	6.00	15.00
49.9	13.21	0.85	0.62	1.37	3.18	318	16.17	7.00	30.00
49.9	14.33	0.52	0.46	1.12	2.44	244	8.00	6.00	10.00
49.9	15.72	0.37	0.39	0.95	1.96	196	5.49	7.00	20.00

Tabella 2.1.5. Valori dei parametri sismici dei set di accelerogrammi Belfagor_N

Nel secondo caso sono stati considerati 14 accelerogrammi con PGA nel range 0.07 – 0.85g. Le caratteristiche di tali accelerogrammi sono riportate nella tabella 2.1.5. La variabilità delle caratteristiche di questi ultimi accelerogrammi simulati li avvicina notevolmente a quelli naturali così come si può evincere dallo studio delle parametri sismici riportati nella tabella 2.1.5 (vedi inoltre le caratteristiche spettrali in figura 2.1.3).

Nei diagrammi delle figura 2.1.4 – 2.7 sono riportati una serie di confronti tra le quattro tipologie di accelerogrammi considerati nel presente studio in termini di intensità di Arias I_A , intensità di Housner I_H , durata efficace t_d , e indice di Saragoni P_D , al variare dei rispettivi valori di PGA. Emerge la forte dispersione per gli accelerogrammi naturali e come questi abbiano, a parità di PGA, valori generalmente molto più bassi dei parametri sismici considerati rispetto ai corrispondenti accelerogrammi SIMQKE. Differenze molto più limitate emergono nel confronto con gli accelerogrammi Belfagor_EC8, ed ancor più con quelli Belfagor_N. Il riepilogo delle principali grandezze caratterizzanti gli accelerogrammi selezionati è riportato nella tabella 6.

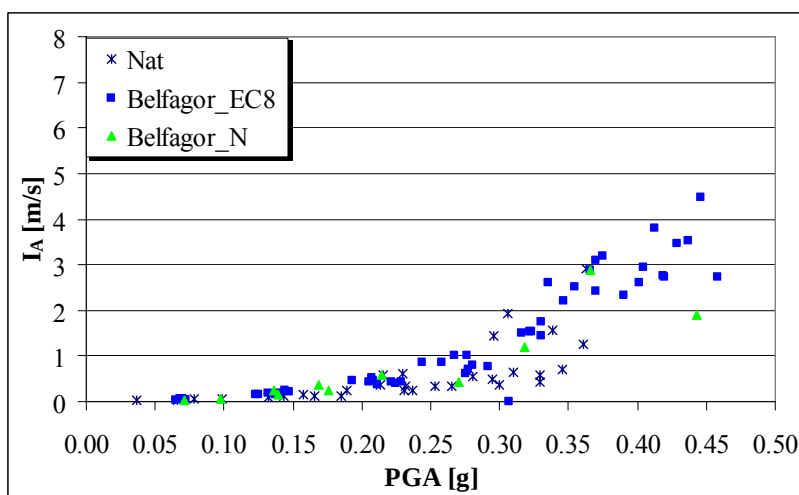


Figura 2.1.4. Confronto tra i valori dell'intensità di Arias, in funzione del PGA, per i set di accelerogrammi considerati.

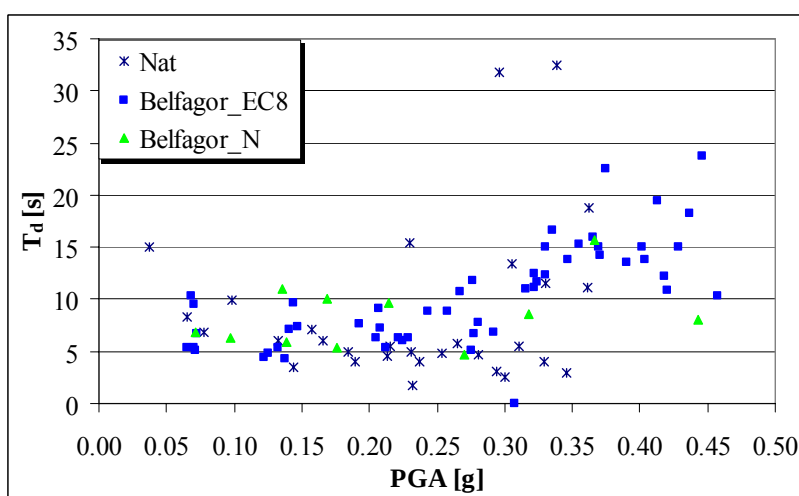


Figura 2.1.5. Confronto tra i valori della durata efficace, in funzione del PGA, per i set di accelerogrammi considerati.

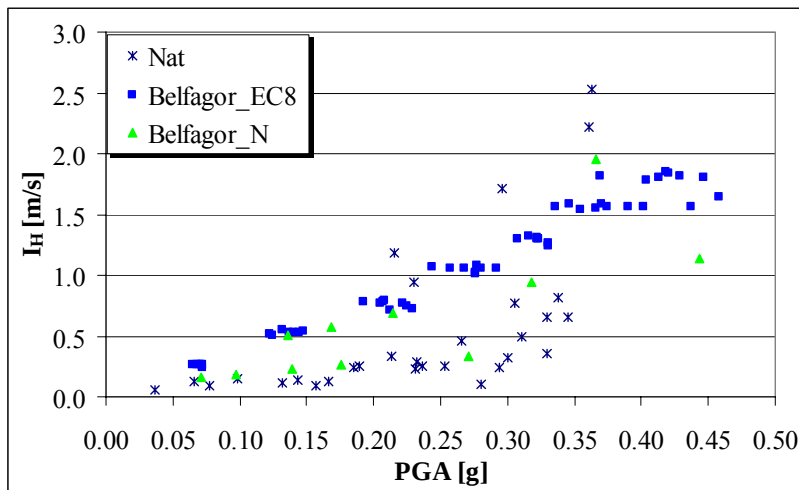


Figura 2.1.6. Confronto tra i valori dell'intensità di Housner, in funzione del PGA, per i set di accelerogrammi considerati.

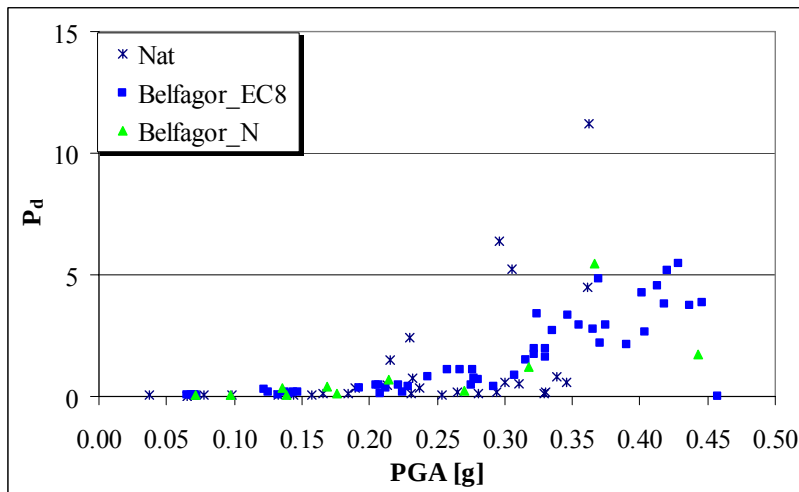


Figura 2.1.7. Confronto tra i valori dell'indice di Saragoni, in funzione del PGA, per i per i set di accelerogrammi considerati.

Input	PGA (g)		I_A (m/s)		I_H (m)		P_D	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Naturale	0.04	0.36	0.03	2.91	0.09	2.80	0.03	11.22
SIMQKE	0.06	0.42	0.07	8.00	0.26	2.04	0.03	3.77
Belf_EC8	0.06	0.46	0.04	4.46	0.19	1.85	0.04	5.47
Belf_N	0.07	0.85	0.04	9.64	0.18	3.35	0.04	16.17

Tabella 2.1.6. Sintesi delle caratteristiche dei set di accelerogrammi considerati.

Nella figura 2.1.8 sono riportati, rispettivamente, i valori dei rapporti PGA/PGV degli accelerogrammi naturali e Belfagor_N, confrontati con i valori medi degli accelerogrammi Belfagor_EC8 e SIMQKE (che hanno un limitato indice di variazione).

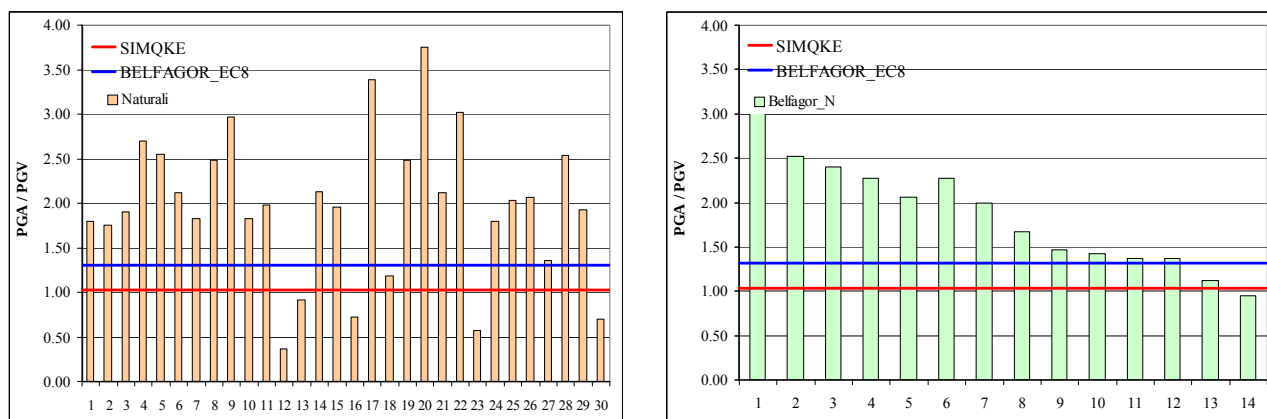


Figura 2.1.8. Rapporti PGA/PGV per il set di accelerogrammi naturali e per il set di accelerogrammi simulati Belfagor_N.

Secondo [Sawada et al., 1992] bassi valori di PGA/PGV sono relativi tipicamente ad eventi con basse frequenze predominanti, forme spettrali ampie, durate elevate, valori medio-alti delle magnitudo ed elevate distanze dall'epicentro; al contrario, elevati valori di PGA/PGV rappresentano frequenze predominanti elevate, forme spettrali "strette", durate ridotte e limitate distanze epicentrali.

2.1.2 Selezione delle tipologie strutturali

La procedura per la stima su base meccanica della vulnerabilità su cui si basa il presente studio è stato già ampiamente utilizzata e descritta in passato in [Masi et al., 2001] e [Masi 2003]. Obiettivo principale è l'ottenimento di curve intensità-danno di alcune tipologie strutturali in c.a. rappresentative delle caratteristiche tipiche del patrimonio edilizio italiano ed europeo. Nel presente paragrafo si riportano soltanto alcune sintetiche indicazioni, rinviando ai riferimenti citati per dettagli ed approfondimenti.

La procedura è costituita essenzialmente dai seguenti passi:

1. selezione di alcune tipologie di edifici in c.a.;
2. progetto simulato degli elementi strutturali;
3. valutazione della capacità resistente;
4. costruzione di curve intensità-danno.

Le tipologie strutturali sono state selezionate esaminando le caratteristiche strutturali più tipiche di edifici non antisismici italiani. Nei precedenti lavori soprarichiamati sono state quindi individuate una serie di tipologie edilizie tridimensionali alla base dei modelli considerati nel presente studio.

È stato, inoltre, considerato l'importante ruolo delle tamponature, esaminando delle configurazioni con telai di estremità privi di tamponature (BF, Bare Frames), rappresentativi di tamponature presenti ma non o scarsamente collaboranti, completamente tamponati (IF, Infilled Frames) e con piano porticato (PF, Pilotis Frames).

La definizione delle caratteristiche dei modelli considerati è stata condotta con una procedura di progettazione simulata considerando le norme e la manualistica dell'epoca ed adottando criteri analoghi a quelli desunti dall'esame di molti progetti tipici.

Il periodo di riferimento considerato in questo lavoro è quello relativo agli anni '70 e sono state assunte come azioni esterne per il progetto simulato soltanto quelle dovute ai carichi verticali. In particolare, i pilastri sono stati dimensionati a sforzo normale centrato ed armati con i minimi di normativa, mentre le travi sono state progettate adottando lo schema di calcolo semplificato di trave continua su più appoggi. In entrambi i casi è stato adottato il metodo delle tensioni ammissibili e, per i materiali, calcestruzzo di classe Rck 250 ed acciaio tipo A38. Le dimensioni ottenute sono 30x50 cm, per le travi di tipo emergente, 30x30cm per i pilastri armati con 4 barre di acciaio di diametro variabile da 16 a 12 mm.

Nel presente lavoro sono riportati ed analizzati soltanto i risultati delle elaborazioni numeriche effettuate sui telai bidimensionali riportati in figura 2.1.9, in considerazione dell'obiettivo prevalente di individuare criteri per una adeguata selezione dell'input sismico nelle stime di vulnerabilità su base meccanica. Per la stessa ragione sono stati considerati solo modelli con un numero di piani pari a 4.

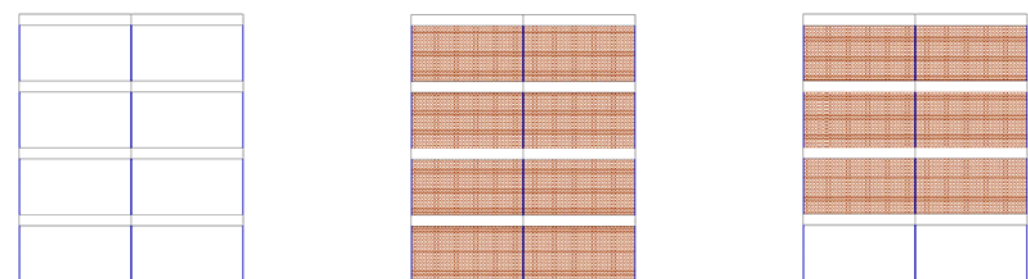


Figura 2.1.9. Schemi delle tipologie strutturali studiate

2.1.3 Risultati delle Analisi dinamiche non lineari

La valutazione delle capacità resistenti è stata condotta mediante lo strumento dell'analisi dinamica non lineare, utilizzando un classico e collaudato codice agli elementi finiti basato su una macromodellazione degli elementi strutturali, le cui caratteristiche isteretiche sono governate da un modello evolutivo e degradante a tre parametri introdotto da Park nel 1987 [Park et al., 1987a, 1987b], [Valles et al., 1996]. Il codice di calcolo utilizzato è l>IDARC-2D.6.1.

La costruzione delle curve intensità-danno è stata fatta considerando alcuni parametri di risposta collegabili al danno strutturale o non strutturale al variare dell'intensità sismica. I risultati delle elaborazioni in campo non lineare condotte sui modelli sono stati analizzati valutando l'accelerazione efficace, data dal rapporto fra il taglio alla base e la massa totale, lo spostamento d'interpiano (drift), e la richiesta di duttilità di curvatura nei pilastri e nelle travi. L'accelerazione efficace è un parametro in grado di descrivere la risposta globale dell'assemblaggio tridimensionale mostrando l'evoluzione della resistenza sismica dell'intera struttura, al variare dell'intensità sismica, senza dare indicazioni sulla localizzazione del danno.

Anche lo spostamento di interpiano può essere assunto come un parametro di risposta globale rappresentativo del danno strutturale e non strutturale. In passato tale parametro era considerato nella valutazione dei danni agli elementi non strutturali, come tramezzi e tamponature. Infatti, la

precedente normativa sismica italiana [D.M. 16/1/96] fissava per il drift valori non superiori al 2‰ e 4‰ dell'altezza d'interpiano, a seconda che le tamponature fossero, rispettivamente, in materiale fragile aderenti alla struttura oppure realizzati in modo da non interferire con la deformazione della stessa. Attualmente, sia in ambito normativo nazionale [OPCM 3274, 2003] che nella letteratura tecnica consolidata, il drift viene considerato come un parametro di risposta particolarmente efficace per rappresentare il danno strutturale.

La richiesta di duttilità in termini di curvatura indica l'impegno in campo plastico di una sezione pertanto, adoperando questo parametro, è possibile individuare il danno strutturale a livello locale. Ai fini della valutazione della vulnerabilità di una struttura questa informazione va confrontata con la duttilità disponibile della sezione che dipende, oltre che dalle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione stessa, anche delle condizioni di sollecitazione.

Nel seguito si espongono i risultati considerando come parametro di risposta il solo drift (valore massimo tra i piani della struttura) ritenendo che tale parametro sia sufficientemente rappresentativo della risposta strutturale in virtù, peraltro, dell'obiettivo del presente lavoro. I risultati delle analisi condotte considerando gli accelerogrammi generati secondo la procedura SIMQKE hanno già mostrato in passati lavori di portare a livelli di danno spesso non realistici e per tale ragione sono stati esclusi dalle analisi dei risultati di seguito riportate. La risposta sismica ed i conseguenti livelli di danno convenzionale delle strutture in esame sono valutati e confrontati in funzione dei seguenti parametri sismici: picco di accelerazione PGA, Intensità di Arias (I_A), Intensità di Housner (I_H), Fattore di Saragoni (P_D). I livelli di danno apparente considerati sono quelli relativi alla classificazione del danno contenuta nella Scala Macrosismica Europea del 1998 [ESC, 1998], in cui vengono considerati sei livelli di danno L_d , da $L_d = 0$ (assenza di danno) a $L_d = 5$ (collasso totale). I livelli di danno vengono assegnati sulla base dei valori massimi di drift ottenuti dalle simulazioni numeriche.

L_d	Definizione (EMS98)	Drift/h [%]
5	Destruction	> 1.50
4	SD = heavy; NSD = very heavy	1.00 – 1.50
3	SD = moderate; NSD = heavy	0.50 – 1.00
2	SD = slight; NSD = moderate	0.25 – 0.50
1	SD = null; NSD = slight	0.10 – 0.25
0	SD = null; NSD = null	< 0.10

Tabella 2.1.7. Descrizione dei livelli di danno considerati al variare del massimo spostamento di interpiano, Drift/h (SD=danno strutturale, NSD=danno non strutturale).

I risultati delle analisi dinamiche non lineari sono riportati nelle figure 2.10 – 2.12. In particolare sono riportati i valori di drift e conseguentemente dei livelli di danno L_d , al crescere dell'intensità sismica espressa in termini di PGA, I_A , PD e I_H , per telai in cemento armato privi di tamponatura (telai BF, Figura 2.1.10), completamente tamponati (telai IF, Figura 2.1.11) e con piano porticato (telai PF, Figura 2.1.12).

I risultati delle analisi non lineari mostrano chiaramente il forte condizionamento esercitato dall'input sismico. In ogni caso, deve essere notato che se i risultati ottenuti con accelerogrammi

naturali ed artificiali sono confrontati a parità di intensità di Housner, emerge una consistente analogia in particolare per quanto riguarda il telaio BF, con livelli di danno mediamente confrontabili per i quattro set di accelerogrammi (Figura 2.1.10). Si conferma, pertanto, l'importanza nella scelta dell'input del parametro sismico che si assume per caratterizzarne il potenziale distruttivo, evidenziando come l'intensità di Housner possa costituire un parametro ben più efficace del PGA. A tale riguardo, va ricordato peraltro che l'intensità di Housner fu utilizzata nella mappa prodotta nel 1998 dal Gruppo di lavoro istituito dalla Commissione grandi rischi del Dipartimento per la protezione civile [Gruppo di lavoro, 1999] come parametro rappresentativo per la pericolosità sismica per l'inserimento dei comuni italiani nelle diverse zone sismiche, mappa poi adottata nel 2003 per la riclassificazione del territorio italiano [OPCM 3274, 2003].

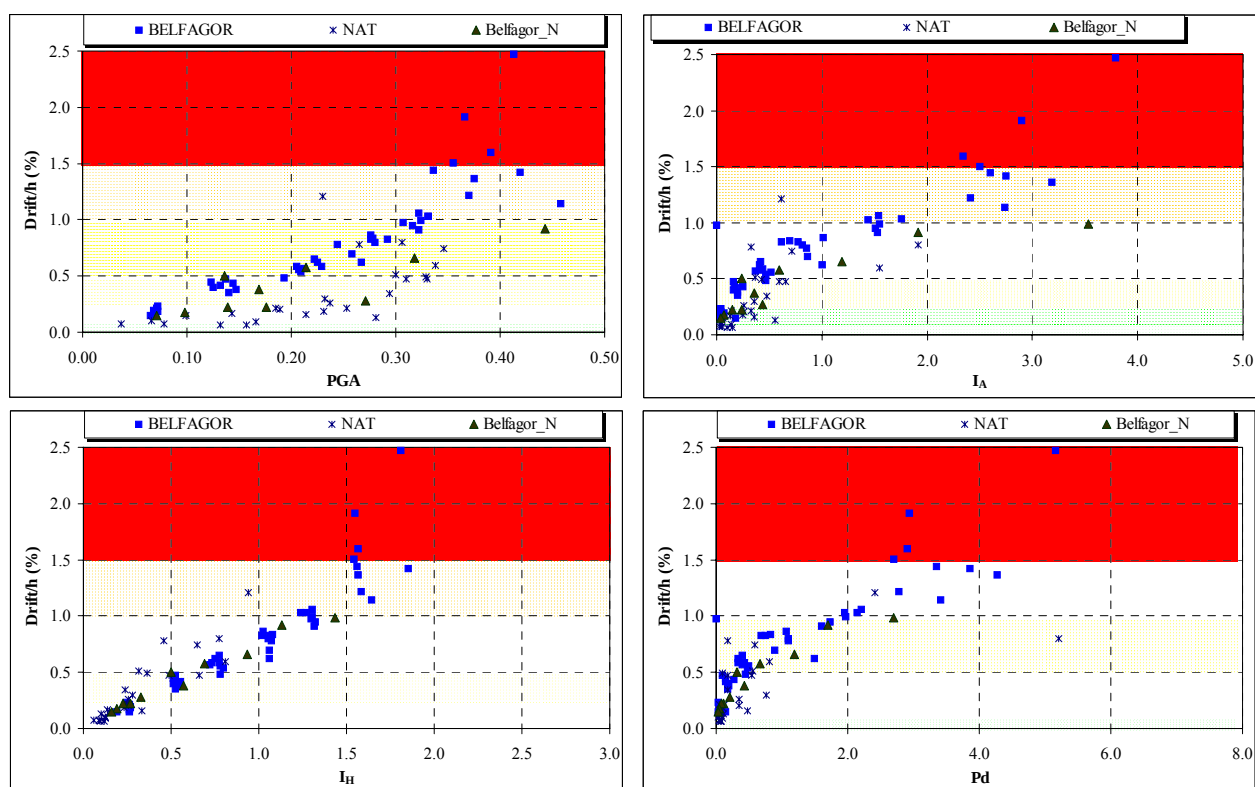


Figura 2.1.10. Valori di drift e corrispondenti livelli di danno in funzione dei parametri sismici PGA, IA, IH e PD per telai privi di tamponatura (telai BF).

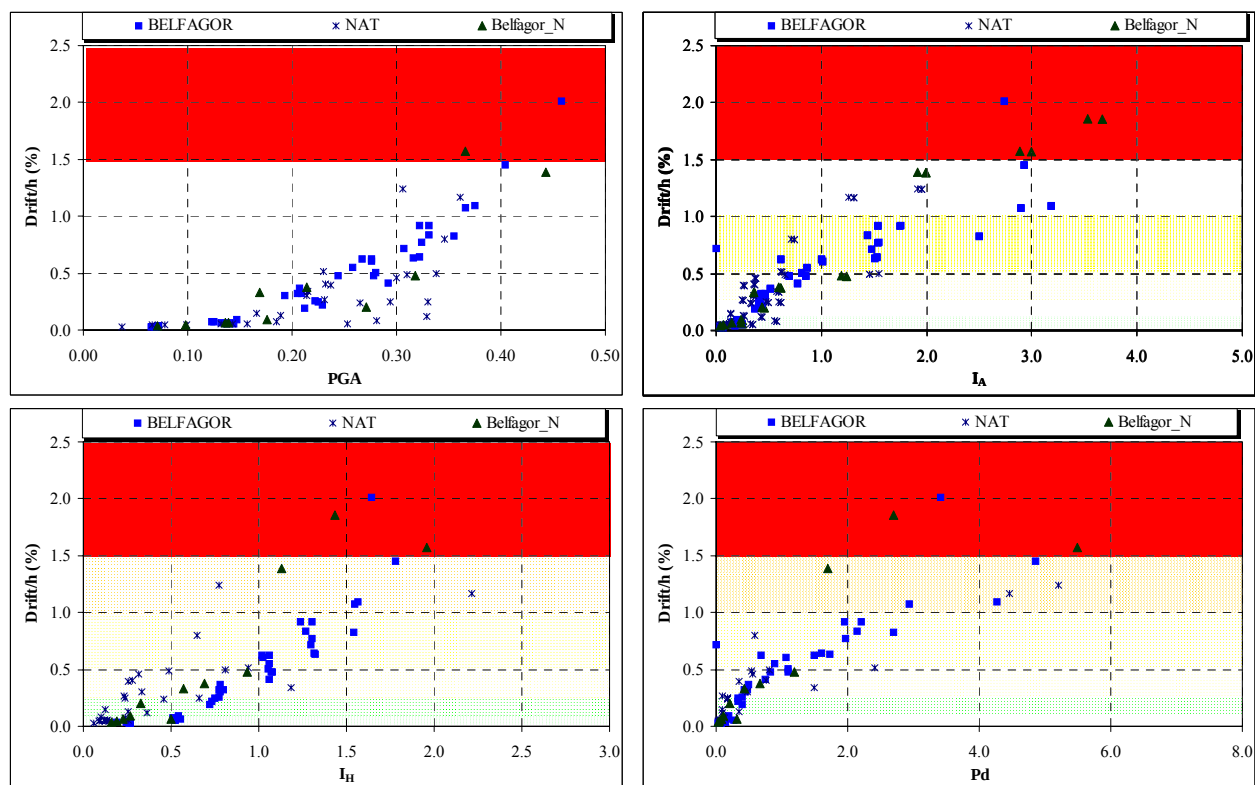


Figura 2.1.11. Valori di drift e corrispondenti livelli di danno in funzione dei parametri sismici PGA, IA, IH e PD per telai tamponati (telai IF).

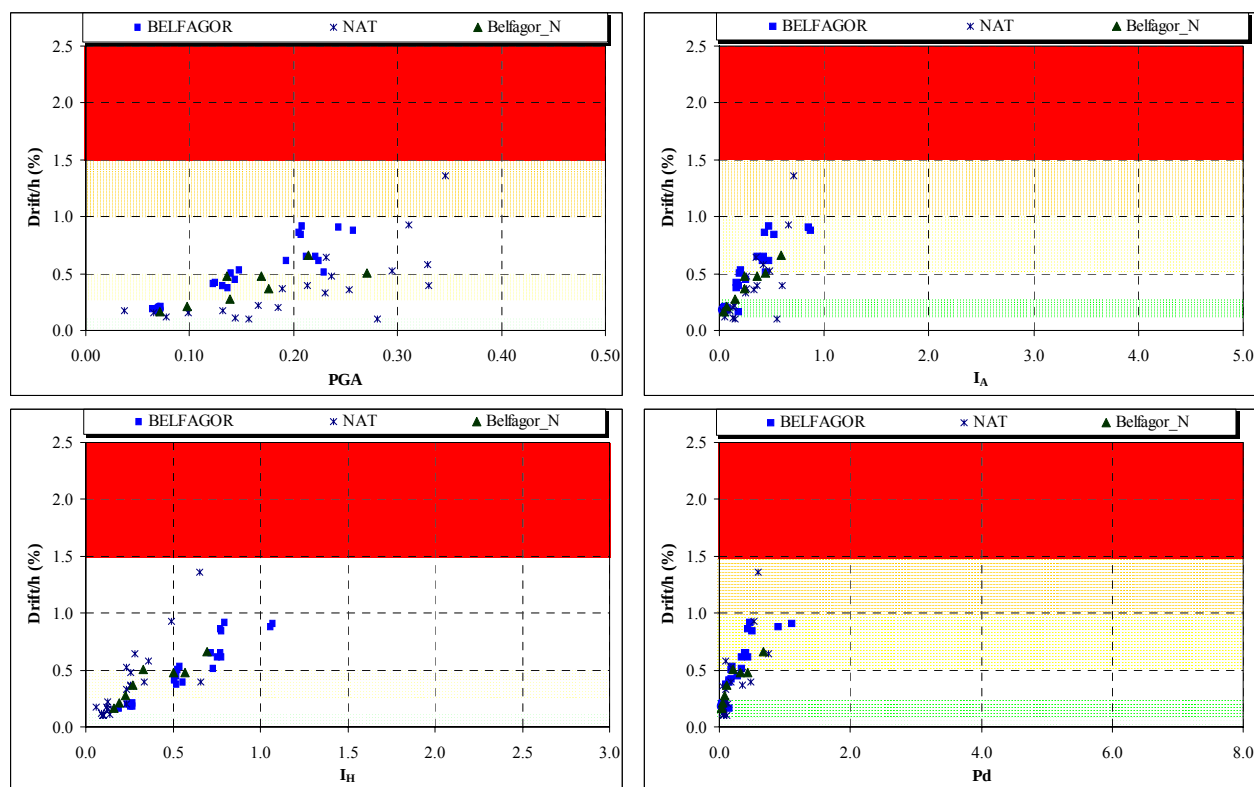


Figura 2.1.12. Valori di drift e corrispondenti livelli di danno in funzione dei parametri sismici PGA, IA, IH e PD per telai con pilotis (telai PF).

Per quanto riguarda il comportamento sismico delle tipologie esaminate, i risultati mostrano una ridotta vulnerabilità per gli edifici con tamponature efficienti e disposte con regolarità (telai IF, Figura 2.1.11), la cui possibilità di crollo è da ritenere poco probabile anche in presenza di terremoti violenti. Al contrario un'elevata vulnerabilità emerge per gli edifici con piano porticato (telai PF, Figura 2.1.12). Comportamenti intermedi presentano gli edifici non tamponati o con tamponature inefficienti (telai BF, Figura 2.1.10).

2.1.4 Conclusioni

Le ampie elaborazioni numeriche svolte, i cui risultati sono stati sinteticamente riportati al paragrafo precedente, sono di notevole ausilio nella selezione dell'input sismico, sotto forma di accelerogrammi, da impiegare nelle elaborazioni non lineari a supporto della costruzione di scenari sismici a scala territoriale. Il gran numero di variabili introdotte nel presente lavoro permette infatti di definire le linee fondamentali per successivi studi. In particolare, è utile ricordare che le tipologie strutturali analizzate, pur se limitate, rappresentano un campione significativo dell'edilizia esistente progettata a soli carichi verticali e hanno peraltro delle caratteristiche comportamentali profondamente differenti.

Inoltre, sono state considerate diversi tipi di input sismico: artificiali convergenti alle forme spettrali dell'EC8 (con due procedure di generazione), artificiali simulanti eventi sismici naturali ed infine un set di registrazioni di eventi reali. Per tutti i tipi di input è stato considerato un set di accelerogrammi selezionati in modo da presentare valori crescenti dei principali parametri sismici.

I risultati delle analisi hanno mostrato che gli accelerogrammi spettrocompatibili portano a livelli di danno spesso non realistici. In particolare, le esperienze passate hanno portato ad escludere gli accelerogrammi generati secondo la procedura SIMQKE. Considerando accelerogrammi simulati, convergenti allo spettro EC8, ricavati con il codice BELFAGOR i valori della risposta sismica e dei livelli di danno risultanti sono più bassi e mediamente più vicini a quelli ottenuti con le registrazioni naturali.

L'analisi dei risultati delle elaborazioni numeriche riportate al paragrafo precedente evidenzia inoltre, confrontando i risultati ottenuti con i quattro tipi di input sismico, che valori della risposta sismica piuttosto vicini sono ottenuti a parità di intensità di Housner, evidenziando come tale parametro sismico possa rappresentare efficacemente il potenziale distruttivo di un accelerogramma. Anche l'intensità di Arias si mostra, pur se in misura inferiore, un buon parametro per la stima del potenziale distruttivo dell'input sismico.

Ovviamente, i risultati più vicini al comportamento reale, mostrato in occasione di passati terremoti da edifici in c.a. non progettati con criteri antisismici, sono ottenuti adoperando accelerogrammi naturali, ma i risultati mostrano una elevata dispersione e peraltro la selezione delle registrazioni oltre che estremamente laboriosa, può essere considerata incompleta.

Di conseguenza, ai fini della stima della vulnerabilità su base meccanica per la predisposizione di scenari sismici, è necessario disporre di un set di accelerogrammi in grado di rappresentare efficacemente il potenziale di danno di eventi sismici reali e ben distribuiti in un ampio intervallo di intensità.

D'altra parte, ottenere un set ampio e completo di registrazioni accelerometriche, in particolare per quanto riguarda le intensità più alte, non è spesso possibile o comunque non soddisfacente. In tal senso, la possibilità di ottenere accelerogrammi in grado di simulare in modo più rispondente le

caratteristiche e la variabilità degli eventi sismici reali, può essere estremamente importante e lo strumento impiegato nel presente lavoro (BELFAGOR) sembra ben rispondere a tali esigenze.

A partire dai risultati ottenuti in questo lavoro si prevede di predisporre un più ampio set di accelerogrammi simulati in grado di rappresentare le caratteristiche delle registrazioni reali, considerando la naturale variabilità delle caratteristiche degli eventi sismici con particolare riferimento a magnitudo e distanza epicentrale.

BIBLIOGRAFIA

- Ambraseys, N., Smit, P., Douglas, J., Margaris, B., Sigbjornsson, R., Olafsson, S., Suhadolc, P. and Costa, G.: Internet-Site for European Strong-Motion Data, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, vol. 45, no. 3, pp. 113-129, 2004.
- ESC Working Group Macroseismic Scales; 1998: *European Macroseismic Scale 1998*. GeoForschungsZentrum, Potsdam, Germany, 1998.
- Gruppo di lavoro; 1999: *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale*, *Ingegneria sismica*, XVI, 1, 5-14.
- Masi A., Dolce M., Goretti A., Telesca F., Vona M.; 2001: *Resistenza sismica di telai in c.a. relativi ad edifici esistenti con e senza tamponature*, Atti del 10° Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Potenza, settembre 2001.
- Masi A.: *Seismic vulnerability assessment of gravity load designed R/C frames*, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 1, N. 3, pp. 371-395, 2003.
- Mucciarelli M., F. Pacor, M. Vanini, F. Bettinali; 1997: *Definition of seismic input for base isolation applications: methodologies assessment, statistical analysis and tools developed*, Proc. of Post-SMIRT conference on Seismic Isolation, Taormina, 1997.
- OPCM 3274; 2003: Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*.
- Park, Y.J., Ang, A.H.S., Wen, Y.K., 1987a, *Damage limiting aseismic design of buildings*, *Earthquake spectra*, vol. 3, N. 1.
- Park, Y.J., Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., 1987b, *IDARC: inelastic damage analysis of frame shear-wall structures*, Technical Report NCEER 87-0008. Buffalo, N.Y..
- Sabetta, F., A. Pugliese; 1996: Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 86, n. 2, 337-352, 1996.
- Sawada T., Hirao K., Yamamoto H., Tsujihara O.; 1992: Relation between maximum amplitude ratio and spectral parameters of earthquake ground motion, *Proc. of 10th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 2, p. 617-22, Madrid, 1992.
- Valles, R.E., Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., Li, C. Madan, A., 1996. *Idarc 2d Version 4.0: a program for the inelastic damage analysis of buildings*. Technical Report NCEER 96-0010. Buffalo, N.Y..
- Workshop INGV-ReLUIS; 2006: *Input Sismico – Sintesi degli aspetti ingegneristici*, Anacapri, giugno 2006.
- Masi A., Vona M., Mucciarelli M., *La definizione dell'input sismico per scenari di danno*, ANIDIS 2007 XII Convegno Nazionale l'Ingegneria Sismica in Italia, Pisa, 10 – 14 giugno 2007.

2.2 SCENARI DI DANNO SISMICO PER L'ESERCITAZIONE NAZIONALE DI PROTEZIONE CIVILE

“TERREMOTO VAL D'AGRI 2006”

Nei giorni tra l'11 ed il 14 maggio 2006 si è svolta in Val d'Agri, Basilicata, un'Esercitazione Nazionale di Protezione Civile promossa dall'associazione nazionale di volontariato ANPAS, con il coinvolgimento delle associazioni di volontariato del sud Italia, dei Comuni dell'area interessata, della Protezione Civile Nazionale, della Regione Basilicata, della Prefettura e della Provincia di Potenza. In tale ambito un Gruppo di Lavoro del Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata all'ingegneria (GdL-DiSGG) dell'Università degli studi della Basilicata costituito da docenti, assegnisti di ricerca, studenti del corso di Controllo del Rischio Sismico è stato chiamato a fornire un importante contributo scientifico all'esercitazione.

Gli obiettivi principali dell'esercitazione sono stati quelli di testare le procedure di funzionamento del sistema di Protezione Civile locale, con particolare riferimento al modello previsto nel Piano di Protezione Civile della Provincia di Potenza, rispetto alle operazioni di gestione di un'emergenza post-sisma, e di sensibilizzare ed informare enti locali (Comuni, Comunità Montane), cittadini, mondo della scuola e associazioni di volontariato svolgendo, tra l'altro, svariate attività di formazione. In merito, va ricordato che un evento sismico come quello considerato sul territorio oggetto dell'esercitazione, l'impervia e montuosa Val d'Agri, è classificato, nello schema di Pianificazione Nazionale (art. 2, comma 3 della Legge 225, 1992; Legge Regionale 25, 1998), come emergenza di tipo C, e pertanto, data la sua intensità ed estensione, gestita e coordinata dal Dipartimento Nazionale di Protezione Civile. Va però detto che, nelle prime fasi post-evento, l'emergenza sarebbe gestita ed organizzata dai Sindaci, quali autorità locali di Protezione Civile. In una fase successiva la Prefettura, la Provincia e la Regione Basilicata assumerebbero il coordinamento dell'intervento di tutte le strutture operative di protezione civile, finché, nella fase successiva alle prime ore dopo l'evento, la direzione ed il coordinamento complessivo verrebbero assunte dal Dipartimento della Protezione Civile con la dichiarazione dello stato di emergenza (art. 5, Legge 225/92).

L'attività più importante si è svolta nella giornata del 13 maggio 2006. È stato simulato un evento sismico sorteggiato fra tre eventi di scenario, forniti dall'INGV, con caratteristiche ed intensità riconducibili al terremoto che nel 1857 colpì, in maniera devastante, l'area della Val d'Agri ed i cui effetti furono risentiti anche nelle regioni limitrofe. L'evento sismico simulato si è ipotizzato che avesse luogo alle ore 7.00 del mattino, ora in cui gli edifici pubblici sono pressoché vuoti se si eccettuano gli ospedali.

Nel corso dell'esercitazione sono state svolte una serie di operazioni di assistenza e soccorso da parte dai volontari dell'ANPAS e di altre associazioni locali e nazionali di volontariato, come l'attivazione di un campo base dei soccorritori e la simulazione di alcune operazioni di soccorso a persone rimaste coinvolte in crolli di abitazioni colpite dal sisma. Tali operazioni sono avvenute sotto lo stretto controllo dell'Organismo Provinciale di Coordinamento e Soccorso, costituito presso la Prefettura di Potenza, anche sulla base delle informazioni tecnico-scientifiche provenienti dalla Sala Operativa Provinciale (SOP) collocata presso la sede della Provincia di Potenza, in cui ha operato, tra gli altri, anche il GdL-DiSGG. Il GdL-DiSGG ha effettuato la valutazione del danneggiamento atteso per gli edifici ad uso abitativo e la stima del numero di persone coinvolte dall'evento in termini di feriti, vittime e senzatetto consentendo quindi di dimensionare l'entità e la localizzazione degli interventi necessari da parte delle preposte strutture di gestione dell'emergenza.

Tali informazioni sono ovviamente confluite nella struttura Provinciale di Coordinamento tramite la Sala Operativa Provinciale.

Nei paragrafi seguenti sono illustrati i principali risultati conseguiti grazie alle elaborazioni condotte ed alle attività svolte dal GdL-DiSGG.

2.2.1 Le attività del GdL-DiSGG a supporto dell'esercitazione

Il contributo tecnico scientifico fornito dal GdL-DiSGG dell'Università della Basilicata è consistito principalmente nella messa a punto di scenari di danno sismico.

Le elaborazioni relative alla valutazione della vulnerabilità e la conseguente stima del danneggiamento atteso sono state svolte dal seguente gruppo di ingegneri strutturisti:

- prof. Ing. A. Masi (DiSGG, Università degli studi di Basilicata, Potenza)
- ing. M. Vona (DiSGG, Università degli studi di Basilicata, Potenza)
- ing. C. Samela (DiSGG, Università degli studi di Basilicata, Potenza)
- ing. G. Santarsiero (DiSGG, Università degli studi di Basilicata, Potenza).

Le elaborazioni relative all'input sismico di riferimento sono state condotte dal gruppo di sismologi:

- prof. M. Mucciarelli,
- ing. M.R. Gallipoli,
- dott.ssa F. Pacor.

In particolare, utilizzando il ricco e approfondito database di informazioni sulla vulnerabilità del patrimonio edilizio privato raccolte nel corso degli anni 2002-2006, e le informazioni più recenti disponibili sugli scenari di scuotimento, le attività svolte dal GdL-DiSGG nello svolgimento dell'esercitazione sono state:

1. La predisposizione di 3 scenari di danno fisico agli edifici ad uso abitativo e la valutazione degli effetti attesi sulla popolazione conseguenti a:
 - 3 scenari di evento forniti dall'INGV, riferiti al terremoto della Val d'Agri del 1857;
 - 1 scenario di esposizione relativo ad un evento notturno (ossia tutta la popolazione nelle proprie case).
2. La predisposizione di grafici e mappe GIS in cui sono state rappresentate la vulnerabilità del patrimonio edilizio privato, i danni e le conseguenze attese sulla popolazione per i diversi scenari di evento ipotizzati.
3. Il supporto tecnico-scientifico, in stretto collegamento con le istituzioni e le altre strutture di Protezione Civile impegnate nell'esercitazione.
4. Le attività di formazione, informazione e divulgazione rivolte ad amministratori e tecnici comunali, ad operatori di volontariato ed al mondo della scuola.

Immediatamente dopo l'attivazione della Sala Operativa Provinciale, avvenuta alle 7.15, è stato attivato il Centro Coordinamento Soccorsi (CCS, presso la Prefettura di Potenza). Successivamente è stata attivata, coerentemente con le previsioni effettuate in fase di pianificazione dell'emergenza,

il Centro Operativo Misto (COM) per l'area interessata, collocato nella frazione di Villa d'Agri del comune di Marsicovetere.

Lo scenario di danno fisico agli edifici privati predisposto dal GdL-DiSGG è stato il riferimento per la definizione delle conseguenze attese sulla popolazione (vittime, feriti e senzatetto) e del danno agli edifici privati (inagibilità) per effetto del sisma simulato. Tale scenario, assunto come “vero”, è stato fornito alle amministrazioni comunali coinvolte nell'esercitazione in modo che queste potessero, nel corso dell'emergenza sismica simulata, comunicare i dati relativi alla SOP (per mezzo della struttura intermedia del COM di Villa d'Agri) in quattro fasi temporalmente successive, basate sui livelli di danno agli edifici e sulle conseguenze di tale danneggiamento sulla popolazione (Tabella 2.2.1). In tal modo sono state così simulate le attività di raccolta dei dati di danneggiamento e delle inagibilità da parte delle singole amministrazioni comunali, e testate le capacità di comunicazione e di raccolta dati centralizzata nelle fasi di immediata post-emergenza.

Utilizzando le informazioni comunicate dalla sede COM, veniva man mano aggiornato lo scenario predisposto dalla SOP della Provincia di Potenza, sulla base dei modelli e dei dati di pericolosità e vulnerabilità disponibili nell'ambito del Piano di Protezione Civile provinciale. L'importanza di verificare l'affidabilità dello scenario predisposto dalla SOP deriva dal fatto che, in attesa di informazioni più accurate, esso condizionerebbe la distribuzione dei soccorsi sul territorio colpito dall'evento sismico.

Fase	Conseguenze sulla popolazione	Edifici con danno
1	Vittime e feriti dovuti al 50% dei crolli	4 e 5
2	Vittime e feriti nel restante 50% dei crolli	4 e 5
3	Popolazione nel 50% edifici danneggiati	3
4	Pop. nel restante 50% edifici danneggiati	3

Tabella 2.2.1. Dati comunicati dalle singole amministrazioni comunali nelle diverse fasi

2.2.2 La preparazione degli scenari di danno

La stima dei danni e delle perdite di vite umane causate da futuri eventi sismici può essere effettuata in termini di analisi di rischio sismico o di predisposizione di scenari sismici.

Negli ultimi anni molto interesse è stato rivolto alla preparazione di scenari, grazie ai quali vengono indagate e quantificate le conseguenze di uno specifico evento sismico. I risultati degli studi di scenario possono costituire la base per la predisposizione di programmi di previsione e prevenzione ma, più frequentemente, vengono utilizzati per la pianificazione e gestione dell'emergenza.

In considerazione della rapidità con cui oramai si acquisiscono i dati nella fase post-evento, un'analisi di scenario è particolarmente utile per analizzare gli aspetti di pianificazione dell'emergenza, in quanto fornisce una stima degli effetti sul territorio causati da un evento sismico di riferimento, in genere assunto come il massimo evento ragionevolmente atteso per l'area in esame. In funzione della stima delle conseguenze attese è possibile predisporre, “in tempo di pace”, tutte le misure idonee ad affrontare una eventuale emergenza, in termini di collocazione e dimensionamento delle aree di ricovero e di ammassamento, di attuazione degli interventi di primo soccorso, di superamento della fase di emergenza.

A tal fine, è molto utile predisporre in forma cartografica o, ancor meglio, su di un GIS, come è stato fatto nel lavoro illustrato nel presente articolo, i risultati degli scenari di danno predisposti.

La costruzione di uno scenario di danno sismico può essere condotta con livelli di accuratezza differenti, purché sia uniforme il livello di accuratezza utilizzato nella definizione delle varie caratteristiche facenti parte dello scenario (intensità e caratteristiche dell'evento atteso, accertamento del livello di danno atteso, ecc.).

Eseguita l'analisi di vulnerabilità e nota la pericolosità sismica dell'area in esame, ovvero le caratteristiche del moto sismico atteso eventualmente differenziate per considerare gli effetti di amplificazione locale (microzonazione), è possibile stimare la distribuzione dei danni al costruito. Nelle analisi di scenario si valutano gli effetti sul territorio a seguito di uno specifico evento sismico definito su base deterministica, o estraendo da un catalogo di sismicità storica uno o più terremoti significativi o simulando con modelli teorico-numerici i meccanismi di sorgente e la propagazione delle onde nella crosta terrestre.

La preparazione degli scenari richiede la messa a punto di una specifica metodologia funzione del tipo di dati disponibili. In particolare, la preparazione di uno scenario di danno richiede la disponibilità di un inventario degli edifici, la valutazione della loro vulnerabilità e la selezione di un evento sismico atteso.

In funzione del metodo di valutazione della vulnerabilità prescelto, il catalogo degli edifici deve includere informazioni sulle caratteristiche geometriche (forma, numero di piani, etc.), meccaniche (resistenza dei materiali, rigidità, etc.), oltre che sull'età e sulla tipologia strutturale. Le fonti di informazione disponibili possono essere costituite da dati catastali, dati storici, dati di censimento, rilievi aereofotogrammetrici, documenti di progetto, interviste ad esperti locali. La creazione di un idoneo inventario di edifici è, in generale, costosa e richiede tempi più o meno lunghi in funzione delle fonti utilizzate.

Nel caso in esame, l'area geografica considerata nell'esercitazione comprende 18 comuni (figura 2.2.1). Gli scenari sismici, in termini di danno fisico agli edifici e di conseguenze attese sulla popolazione, sono stati predisposti su 14 di tali comuni, per i quali si disponeva dei dati relativi alla vulnerabilità degli edifici privati.

In particolare, gli scenari sono stati predisposti per i centri abitati di Armento, Gallicchio, Grumento Nova, Marsico Nuovo, Marsicovetere, Missanello, Moliterno, Montemurro, Paterno, San Marino d'Agri, Villa D'Agri (frazione di Marsicovetere), Sarconi, Spinoso, Tramutola, Viggiano, tutti in provincia di Potenza.

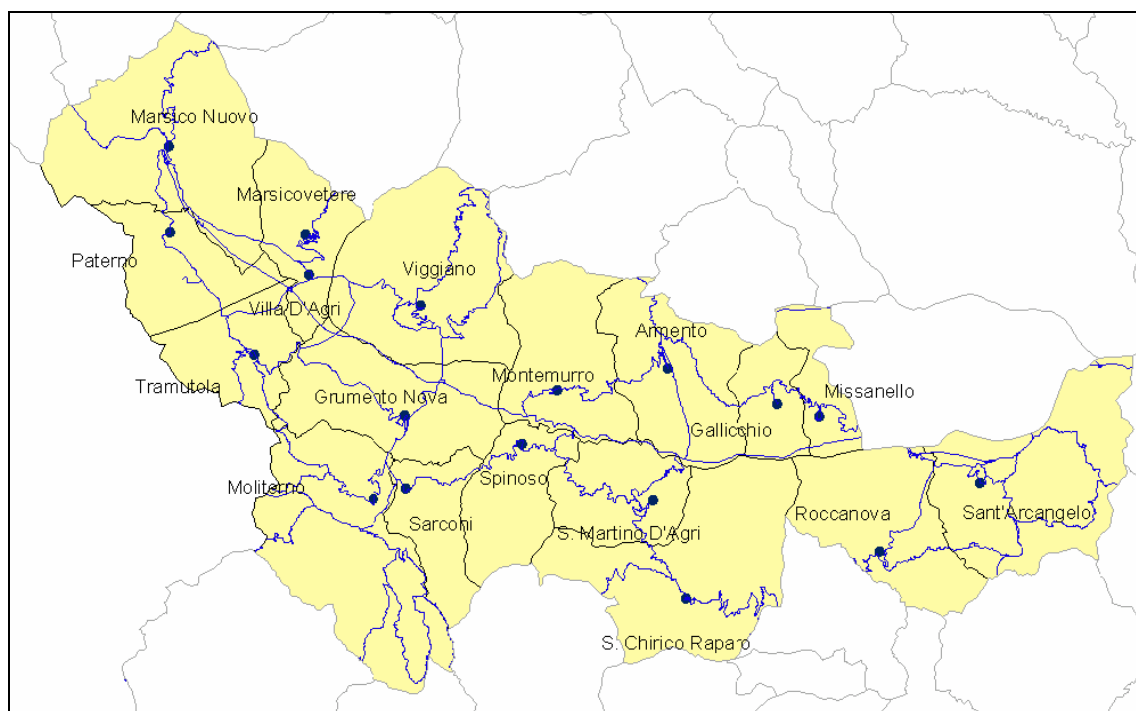


Figura 2.2.1. Area interessata dall'esercitazione (Val d'Agri in Basilicata)

2.2.3 Il rilievo dalle caratteristiche di vulnerabilità sismica degli edifici privati ad uso abitativo

Nel presente lavoro è stato utilizzato il database relativo alle caratteristiche di vulnerabilità degli edifici privati realizzato tra il 2002 ed il 2006 con il contributo economico della Regione Basilicata ed il coordinamento tecnico – scientifico dei componenti del GdL-DiSGG [Masi et al., 2006].

Il rilevamento degli edifici è stato effettuato utilizzando, con riferimento alla sola parte di rilievo delle caratteristiche tipologiche degli edifici, la Scheda AeDES (Scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica), messa a punto nel 2000 da un gruppo di lavoro del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, del Dipartimento della Protezione Civile e del Servizio Sismico Nazionale. Nel corso del rilievo il GdL-DiSGG ha ritenuto di apportare alcune modifiche alla scheda di rilievo prevedendo la raccolta di ulteriori informazioni riferite, in particolare, alle strutture in c.a..

Nella tabella 2.2.2 sono riportati i dati sintetici relativi al numero di edifici rilevati. Inoltre, ai fini delle successive valutazioni dell'impatto del sisma sulla popolazione, è riportato per ciascun comune anche il numero di abitanti presenti nei centri urbani censiti dall'ISTAT nel 2001.

Tabella 2.2.2. Popolazione residente (dati ISTAT 2001) e numero di edifici rilevati nei centri abitati interessati dall'esercitazione.

Comune	Popolazione nei centri urbani	N. Edifici Rilevati
Armento	718	579
Gallicchio	890	465
Grumento	1262	965
Marsiconuovo	2558	1236
Marsicovetere	1987	801
Missanello	591	318
Moliterno	3821	1331
Montemurro	1391	779
Paterno	3300	2084
San Martino d'Agri	707	709
Sarconi	1058	702
Spinoso	1665	877
Tramutola	2666	1236
Viggiano	2460	1383
Villa d'agri	2716	1095
TOTALE	27790	14560

2.2.4 La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici

Lo studio della vulnerabilità è stato condotto impiegando delle metodologie compatibili con il tipo di dato disponibile dal rilievo e, quindi, con la scala territoriale in esame. Le attribuzioni tipologiche e di vulnerabilità non possono essere, per loro natura, considerate di valore assoluto a livello dei singoli edifici, rispetto ai quali un rilievo speditivo potrebbe essere fuorviante, ma soltanto al livello di ampie zone del territorio in esame, sovra-comunali, comunali o sub-comunali. In tal senso, la restituzione informatica su GIS dei dati rilevati rappresenta essenzialmente uno strumento utile di gestione del rischio sismico su macro aree del territorio e non di caratterizzazione dei singoli edifici per scopi differenti.

La valutazione della vulnerabilità è stata effettuata seguendo la metodologia delle Matrici di Probabilità di Danno (DPM) [Braga et al., 1982], considerando le classi di vulnerabilità A, B e C ampliate considerando anche la classe D a minore vulnerabilità [ESC 1998, Dolce et al. 2003].

Per attribuire a ciascun edificio una classe di vulnerabilità, si è tenuto conto della combinazione tra le tipologie strutturali orizzontali e verticali (in particolare per gli edifici in muratura), dell'età di costruzione e dell'eventuale realizzazione di un intervento di adeguamento/miglioramento sismico. Gli edifici in muratura che avevano subito un intervento di adeguamento sismico sono stati classificati in classe D o in classe C in funzione della tipologia edilizia originaria. Agli edifici in cemento armato costruiti prima del 1980 è stata attribuita la classe di vulnerabilità C, oppure la classe D se adeguati. Gli edifici progettati e costruiti dopo il 1980, sia in muratura che in c.a., sono stati assegnati alla classe di vulnerabilità D in virtù della progettazione antisismica prevista dalla classificazione adottata dopo il sisma del 1980.

Nel seguito sono riportate, in forma estremamente sintetica per ragioni di spazio, alcune elaborazioni relative alle distribuzioni tipologiche e di vulnerabilità. La distribuzione percentuale delle classi di vulnerabilità nei comuni interessati dall'esercitazione è riportata nelle figure 2 – 3, in termini di numero di edifici.

Da tali distribuzioni si evince che le classi di vulnerabilità più diffuse sono quelle estreme, ossia le classi A e D. In particolare, in circa la metà dei comuni appartenenti all'area oggetto di studio, si rileva una forte presenza (superiore al 50%) di edifici ad elevata vulnerabilità, classe A, mentre per i restanti comuni si ha una presenza rilevante di edifici con vulnerabilità bassa, classe D.

La presenza diffusa di edifici a bassa vulnerabilità, edifici antisismici di classe D, è dovuta sia alle nuove costruzioni che alla presenza di adeguamenti sismici (o demolizioni e ricostruzioni) effettuati dopo il sisma dell'Irpinia-Basilicata del 1980.

Tenuto conto della limitata crescita urbanistica in molti dei comuni in esame, gli edifici di classe D sono prevalentemente edifici che hanno subito interventi post-sisma. Infatti, è da notare che i comuni in cui il livello di vulnerabilità sismica è più elevato sono quelli più distanti dalla zona epicentrale del sisma del 1980 (ossia situati a Sud-Est nella mappa in fig.2).

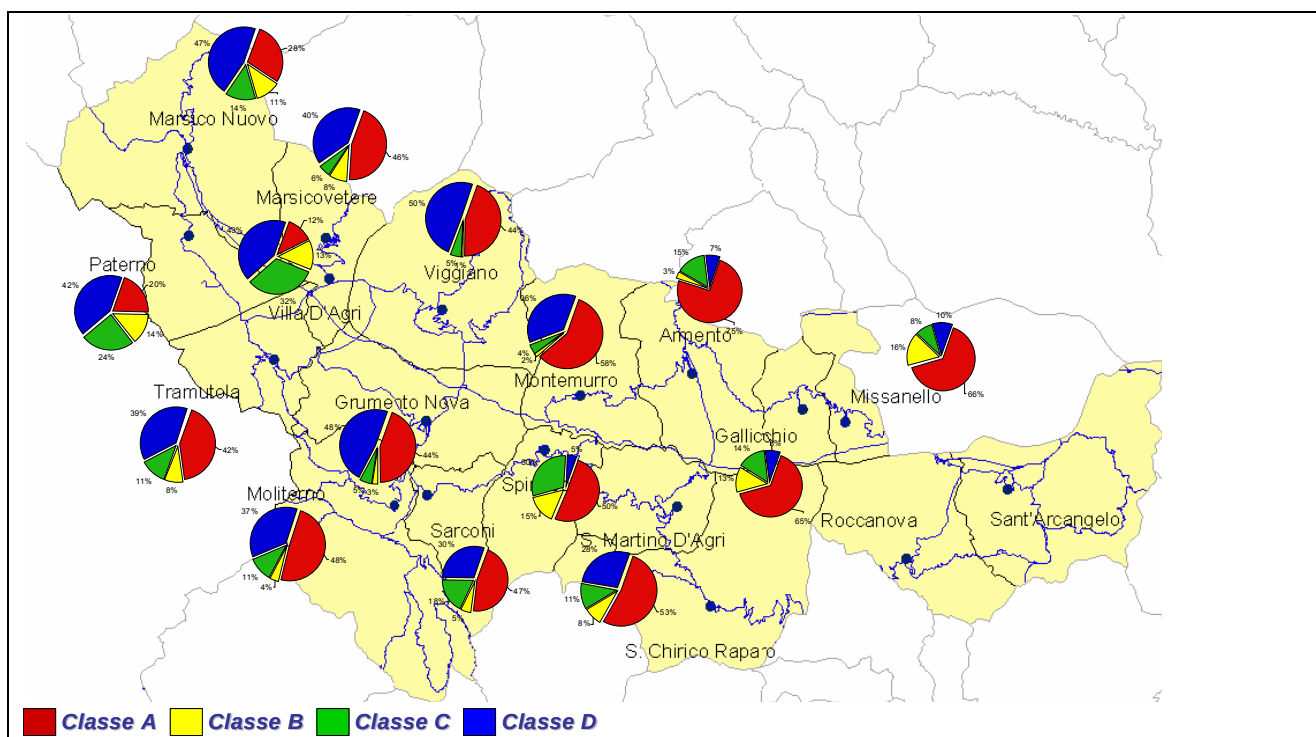


Figura 2.2.2. Mappa dei comuni esaminati con la distribuzione (in numero di edifici) della vulnerabilità sismica degli edifici privati ad uso abitativo.

Nelle figure 4-15 sono riportate le mappe di vulnerabilità del centro abitato estratte dal GIS per 11 dei comuni interessati dall'esercitazione. Da tali mappe si evince la distribuzione delle vulnerabilità nei vari centri e si visualizzano efficacemente le parti più vulnerabili dei centri abitati.

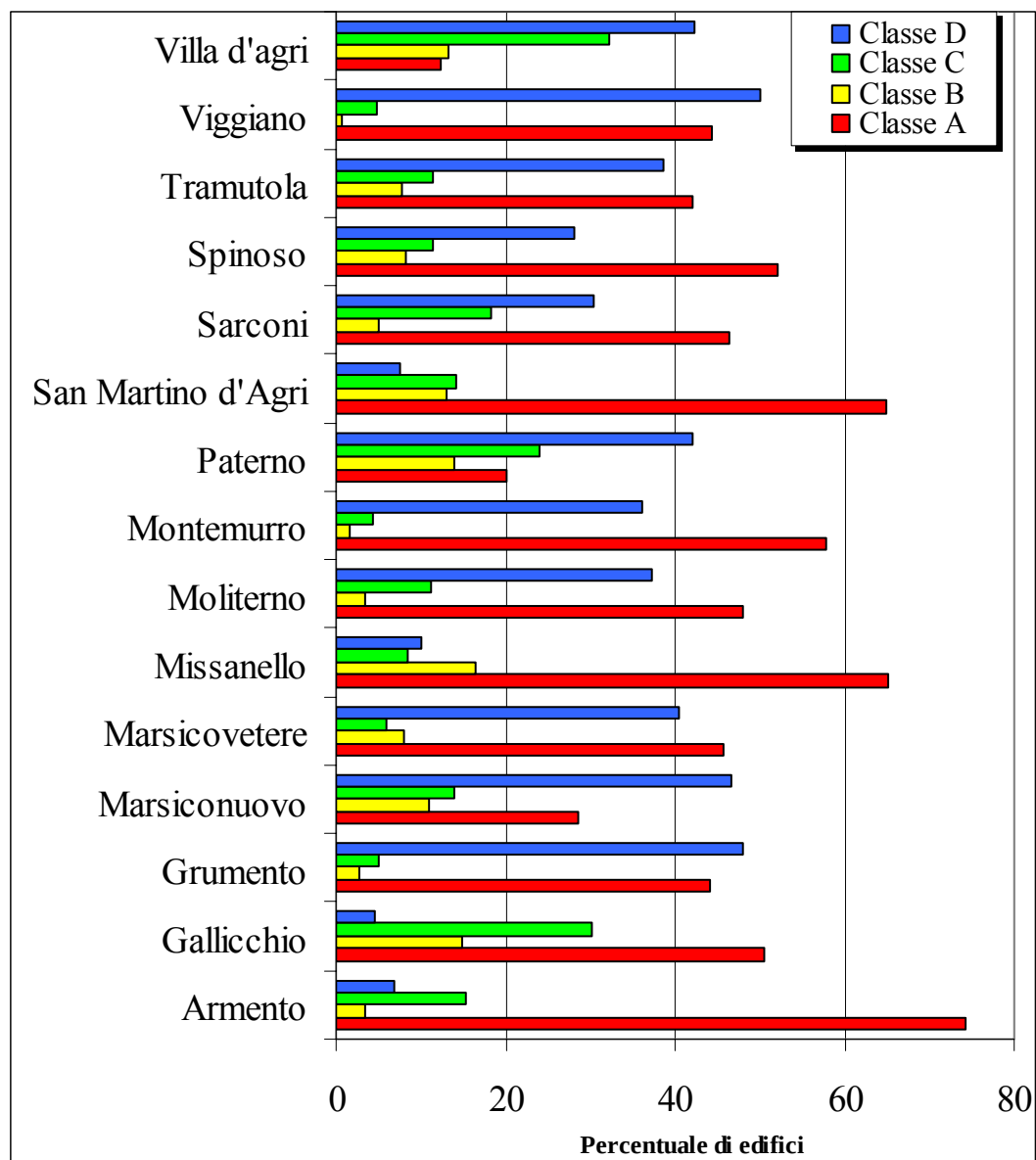


Figura 2.2.3. Distribuzione (in numero di edifici) della vulnerabilità sismica degli edifici privati ad uso abitativo.

2.2.5 L'evento sismico di riferimento

L'evento sismico preso a riferimento è il terremoto che nel 1857 colpì una vasta area dell'Appennino Meridionale collocata in corrispondenza del confine tra le province di Potenza e Salerno. L'epicentro del sisma fu localizzato in provincia di Potenza (Alta Val d'Agri) con intensità epicentrale stimata pari al XI grado della scala MCS e magnitudo equivalente pari a 7.1 della scala Richter. Secondo i dati storici [Camassi & Stucchi, 1996] in oltre 100 località si superò il grado VIII della scala MCS (figura 2.2.4).

Il terremoto del 1857 rappresenta uno dei terremoti di maggiore magnitudo che si siano verificati nell'Appennino meridionale, interessando varie regioni tra cui, oltre a Basilicata e Campania, Molise, Puglia e Calabria.

In particolare, il sisma ha lasciato un segno profondo nella storia recente della Val d'Agri e delle aree circostanti, sia per i danni che provocò, sia perché in alcuni casi ha cancellato quasi totalmente le preziose testimonianze dei secoli precedenti.

L'intensità massima, pari al XI MCS, venne registrata nei comuni di Grumento e Montemurro, entrambi collocati in provincia di Potenza. Il X grado MCS fu raggiunto nei comuni di Missanello, Paterno, Sant'Angelo le Fratte, Sarconi, Spinoso, Tito, Brienza, Calvello, Marsico Nuovo, Tramutola e Viggiano in provincia di Potenza, Polla, Alianello e Atena Lucana in provincia di Salerno.

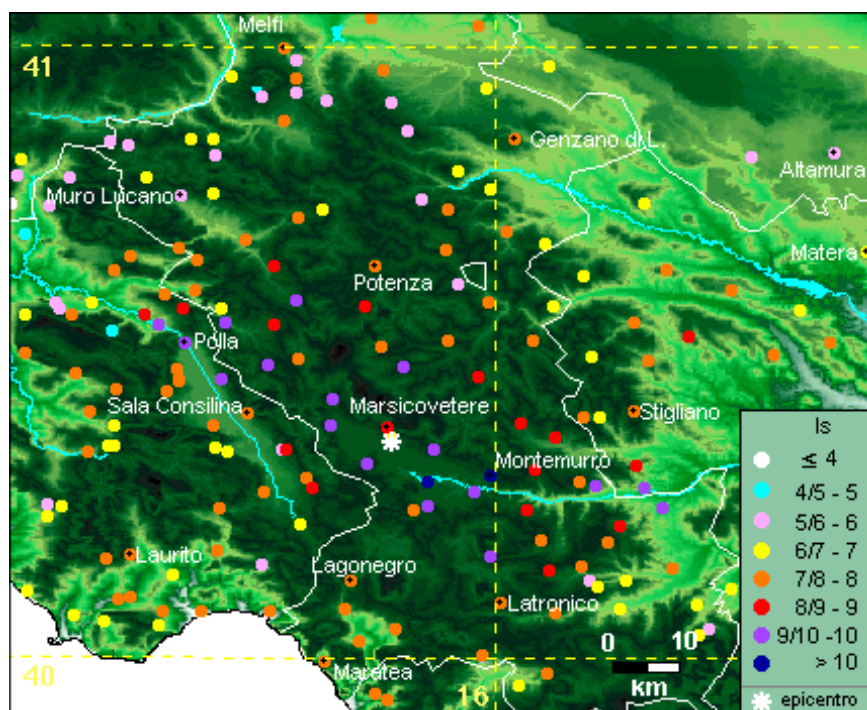


Figura 2.2.4. Area interessata dal terremoto del 1857 (fonte catalogo parametrico NT4.1, INGV)

Il terremoto causò complessivamente circa 13.000 vittime, di cui 7.000 solo a Grumento e Montemurro. Nella tabella 2.2.3 sono riportati i dati relativi alle conseguenze dell'evento sulla popolazione colpita nei comuni dell'Alta Val d'Agri.

Comune	Popolazione	Morti	Feriti	% Morti
Marsico Nuovo	7528	89	-	1.2
Marsicovetere	3403	90	-	2.7
Montemurro	7002	5000	500	71.5
Paterno	2500	122	-	4.9
Grumento	4010	2000	70	50
Sarconi	1194	32	4	2.6
Tramutola	4538	177	52	3.9
Viggiano	6634	800	200	12
Spinoso	2839	45	35	1.6

Tabella 2.2.3. Dati relativi alla popolazione ed alle vittime nei comuni dell'Alta Val d'Agri colpiti dal terremoto del 1857



Figura 2.2.5. Immagine del centro abitato di Montemurro dopo il sisma del 1857.

Dai dati riportati in tabella 2.2.3 si evince che il comune che soffrì il maggior numero di vittime è Montemurro (figura 2.2.5). In realtà, va ricordato [Ferrari, 2004] che la causa principale dei decessi (circa 4000 sul totale di 5000) non è da imputare direttamente al ground shaking, quanto ad un imponente movimento franoso innescatosi a seguito dell'evento e che travolse gran parte dell'abitato.

Considerando tale evento di riferimento, ai fini dell'esercitazione di protezione civile sono stati considerati tre scenari di scuotimento, forniti da F. Pacor dell'INGV e da M. Mucciarelli dell'Università della Basilicata, ottenuti assumendo tre diverse direzioni di propagazione della rottura (SW = Sud-Ovest, NE = Nord-Est, BI = bilaterale) e tre diversi epicentri:

- Scenario 1 (SW): 15.700 E, 40.425 N, M = 6.9 (figura 2.2.7);
- Scenario 2 (BI): 15.800 E, 40.350 N, M = 6.9 (figura 2.2.8);
- Scenario 3 (NE): 15.875 E, 40.275 N, M = 6.9 (figura 2.2.9).

La magnitudo massima considerata dai sismologi è stata assunta pari a $M = 6.9$, inferiore a quelle attribuita all'evento del 1857 sulla base delle intensità macrosismiche rilevate, per tener conto del contributo che ebbero gli effetti di amplificazione locale, piuttosto significativi nell'area in esame.

Lo specifico scenario di evento considerato nell'esercitazione, rispetto al quale sono stati poi valutati danni e conseguenze attese sulla popolazione, è stato lo scenario n. 3 (NE), sorteggiato alle ore 7 della mattina del 13 maggio 2006.

Nelle figure 6 – 8 ed in tabella 2.2.4 è riportata la distribuzione delle intensità secondo la scala EMS 98, ottenute a partire dalle intensità MCS fornite, adottando la relazione di [Margottini, 1987].

Comune	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Marsico Nuovo	VIII-IX	IX	IX
Marsicovetere	VIII-IX	VIII-IX	VIII-IX
Viggiano	IX	VIII-IX	VIII-IX
Paterno	VIII-IX	IX	IX
Montemurro	IX	VIII-IX	VII-VIII
Armento	VIII-IX	VII-VIII	VI-VII
Tramutola	VIII-IX	VIII-IX	VIII-IX
Missanello	VIII-IX	VII-VIII	VI-VII
Grumento Nova	IX	VIII-IX	VIII-IX
Gallicchio	VIII-IX	VII-VIII	VI-VII
Spinoso	IX	VIII-IX	VII-VIII
Moliterno	IX	VIII-IX	VII-VIII
San Martino d'Agri	VIII-IX	VII-VIII	VI-VII
Sarconi	IX	VIII-IX	VII-VIII

Tabella 2.2.4. Intensità EMS nei 14 comuni in cui sono costruiti gli scenari di danno, per i tre Scenari di evento considerati



Figura 2.2.6. Mappa delle intensità I_{EMS} in tutti i 18 comuni coinvolti nell'esercitazione (Scenario di evento 1, SW)



Figura 2.2.7. Mappa delle intensità I_{EMS} in tutti i 18 comuni coinvolti nell'esercitazione (Scenario di evento 2, BI)



Figura 2.2.8. Mappa delle intensità I_{EMS} in tutti i 18 comuni coinvolti nell'esercitazione (Scenario di evento 3, NE)

2.2.6 Gli scenari di danno fisico agli edifici ad uso abitativo

La valutazione delle conseguenze attese sulla popolazione a causa del verificarsi dell'evento sismico di scenario può essere condotta soltanto a margine della valutazione di vulnerabilità e della successiva stima del danneggiamento atteso agli edifici ad uso abitativo. Tale valutazione ha consentito di stimare gli effetti conseguenti al verificarsi dell'evento di scenario nella condizione di esposizione derivante dall'orario ipotizzato, ossia assumendo che la popolazione fosse praticamente tutta nelle proprie case.

Nella figura 2.2.9 sono riportate le distribuzioni di danno relative a tutti i centri abitati considerati. Coerentemente a quanto necessario per definire le conseguenze attese sulla popolazione relative alle fasi 1 e 2 dell'esercitazione (tabella 2.2.1) sono stati accorpati i livelli di danno 4 e 5. Questi due livelli di danno rappresentano rispettivamente, nella classificazione EMS 98, il crollo parziale ed il crollo totale. Inoltre, per esigenze di sintesi, sono stati accorpati il livello di danno 1 ed il livello di danno nullo.

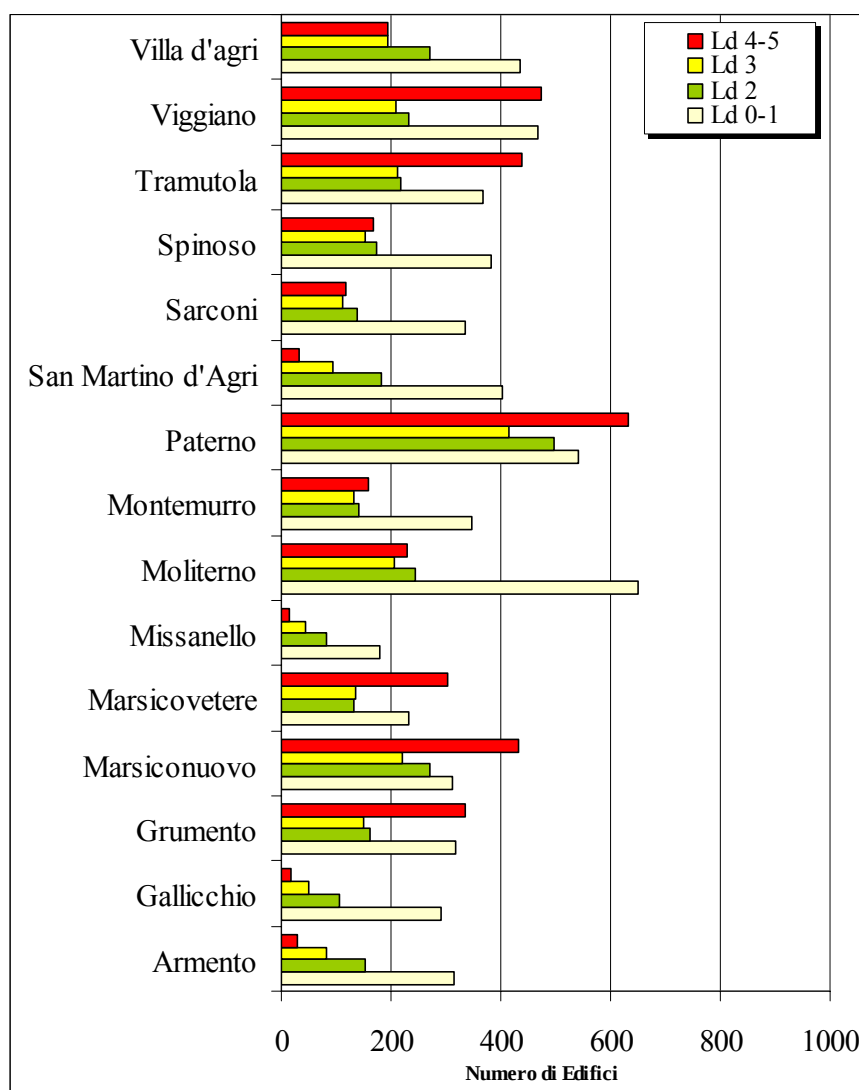


Figura 2.2.9. Distribuzione del danneggiamento (in termini di numero di edifici) conseguente allo scenario di evento 3.

Oltre alle attività strettamente legate allo svolgimento dell'esercitazione, sono state effettuate ulteriori valutazioni sugli effetti conseguenti ai tre scenari sul territorio della Val d'Agri.

L'osservazione delle mappe della distribuzione territoriale delle intensità previste nei diversi comuni evidenzia come gli effetti dei tre scenari, pur riferendosi ad una unica sorgente sismogenica, siano in realtà estremamente differenti tra loro. Per tale ragione può essere utile valutare in maniera sintetica le differenze di effetti complessivamente determinati dai tre scenari sui vari centri urbani. In figura 2.2.10 sono mostrate le conseguenze attese in termini di danneggiamento agli edifici ad uso abitativo, espresse tramite l'indice di danno medio ID_{med} , valutato come segue:

$$ID_{med} = \sum_i (d_i \cdot f_i) / n$$

dove d_i è il generico livello di danno ($d_i = 1-5$) e f_i la relativa frequenza. La sommatoria è calcolata considerando gli $n = 5$ livelli di danno non nulli. ID_{med} varia tra 0 e 1 ($ID_{med} = 0$ significa assenza totale di danno, $ID_{med} = 1$ significa distruzione totale).

Si evidenziano differenze rilevanti del danno atteso in un stesso comune (ad es. Armento) in funzione dello scenario di evento considerato. In particolare, i valori di ID_{med} variano da un massimo di circa 0.7 stimato nei centri abitati di Spinoso, S. Martino d'Agri, Montemurro, Missanello e Armento per lo Scenario 1, ad un minimo di circa 0.3 nei centri abitati di S. Martino d'Agri, Missanello, Gallicchio e Armento per lo Scenario 3.

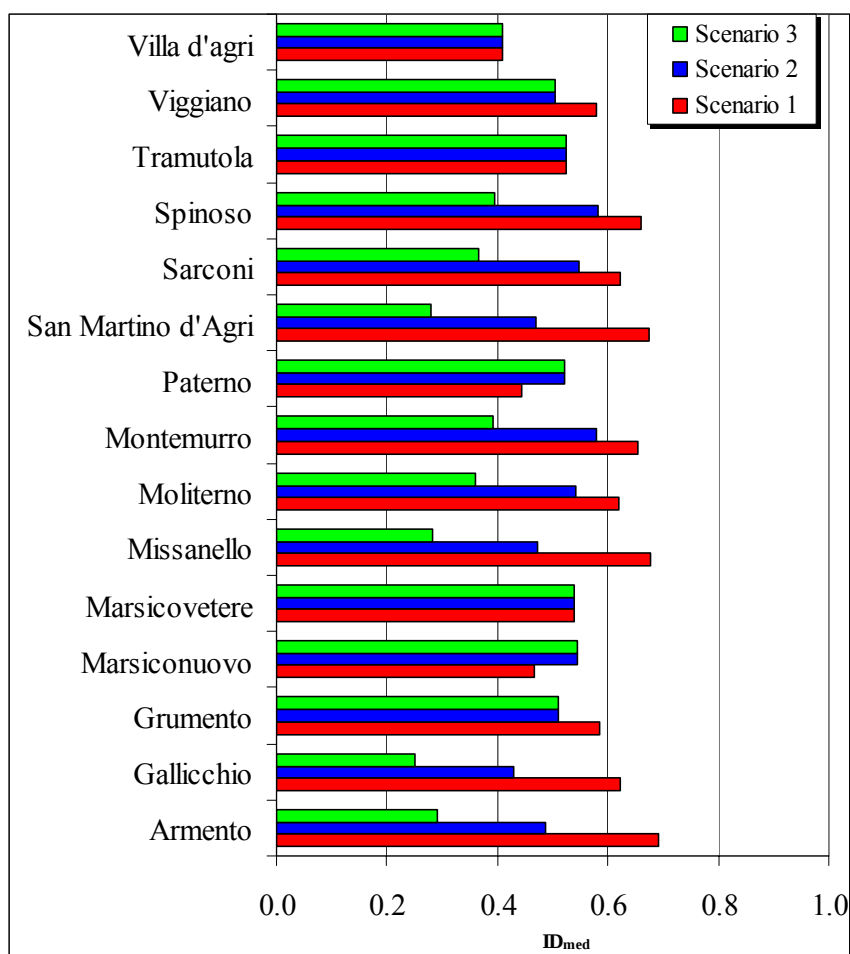


Figura 2.2.10. Distribuzione dell'indice di danno medio ID_{med} degli edifici ad uso abitativo per i tre scenari.

2.2.7 Valutazione delle conseguenze attese sulla popolazione

La valutazione delle conseguenze attese sulla popolazione (vittime, feriti e senzatetto) è l'elemento conoscitivo essenziale per la pianificazione dell'emergenza, in quanto fornisce gli elementi utili per predisporre preventivamente tutte le misure idonee ad affrontare una eventuale emergenza, in termini di collocazione e dimensionamento delle aree di ricovero e di ammassamento, di attuazione degli interventi di primo soccorso, di superamento della fase di emergenza.

A partire dai dati di vulnerabilità e di danneggiamento stimato per gli edifici ad uso abitativo, le conseguenze sulla popolazione sono state valutate considerando i dati di esposizione ricavati dal censimento ISTAT 2001 relativo alla popolazione residente nei centri abitati. La distribuzione della popolazione

In virtù dell'orario in cui si è ipotizzato si sia verificato il sisma si è considerato che la popolazione fosse presente all'interno delle proprie abitazioni.

In tabella 2.2.5 sono riportate le stime delle conseguenze attese sulla popolazione relativamente allo scenario 3. Nei 14 comuni presenti nell'area in cui si è svolta l'esercitazione, per i quali è stato possibile predisporre gli scenari, si avrebbero complessivamente:

- 5950 edifici inagibili, pari a circa il 41% del totale degli edifici presenti nei centri abitati esaminati;
- 8870 senzatetto, pari a circa il 32% del totale della popolazione residente;
- 1470 feriti, pari al 5% della popolazione residente;
- 370 vittime, pari a circa l'1% della popolazione residente nei centri abitati considerati.

Nel diagramma in figura 2.2.11 è mostrata la distribuzione percentuale degli edifici inagibili, della popolazione senzatetto e della popolazione coinvolta in crolli. Si rileva che il comune che sarebbe maggiormente colpito dall'evento sismico sorteggiato è Marsicovetere, in cui l'intensità considerata era pari al VIII-IX grado della scala EMS.

Confrontando il dato in termini di numero di vittime attese per lo scenario 3 (tabella 2.2.5) con il dato storico (tabella 2.2.3), possono essere effettuate alcune osservazioni.

Nei comuni di Montemurro e Grumento le vittime attese, rispettivamente pari al 1.2% ed al 2.0% della popolazione residente, sono notevolmente inferiori rispetto a quelle causate dal sisma del 1857, rispettivamente pari al 71.2% ed al 50% della popolazione allora residente. Le cause di queste differenze sono molteplici. Per entrambi i comuni, ed in particolare per Montemurro, lo scenario sismico considerato prevede intensità inferiori a quelle massime attese (tabella 2.2.4) e presumibilmente verificatesi nel 1857. Inoltre la vulnerabilità del patrimonio edilizio è attualmente di gran lunga inferiore a quella del 1857, in particolare a Grumento dove vi è una presenza di edifici di classe D pari a circa il 50%. Infine va ricordato che a Montemurro la causa principale dei decessi (circa 4000 sul totale di 5000) non fu direttamente il ground shaking, quanto un imponente movimento franoso innescatosi a seguito dell'evento e che travolse gran parte dell'abitato.

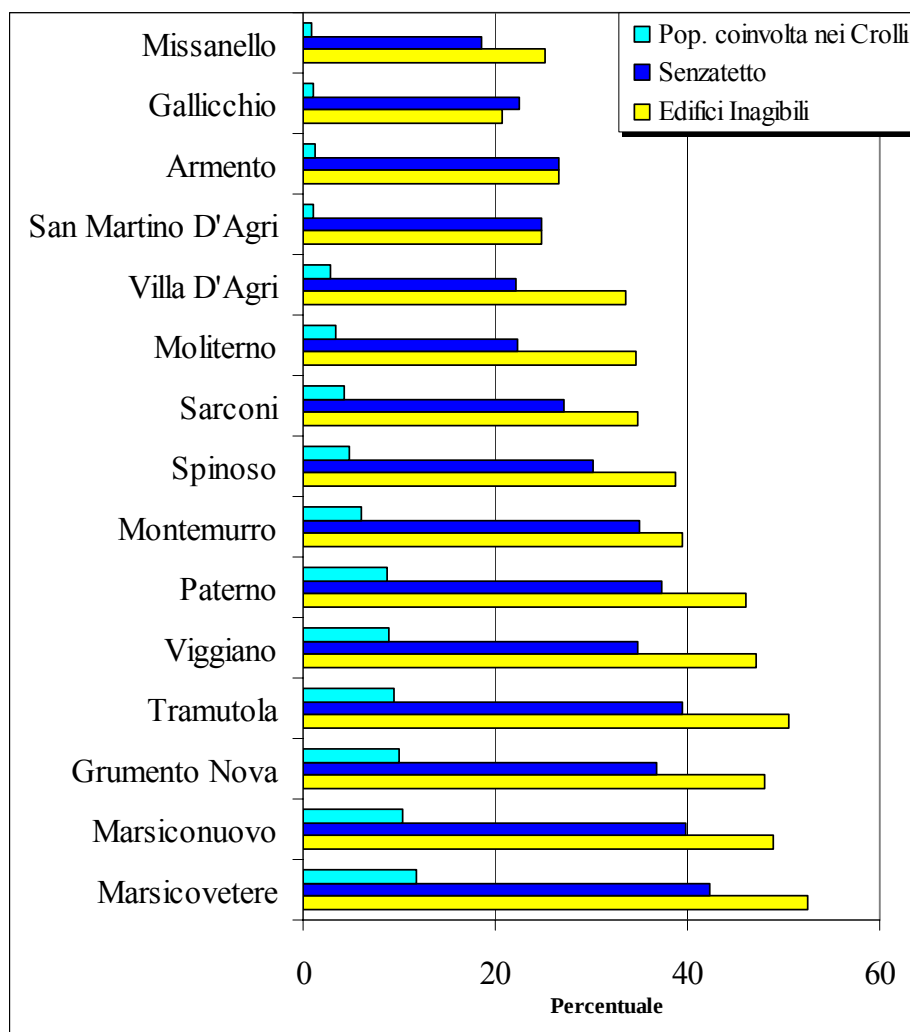


Figura 2.2.11. Distribuzione percentuale degli edifici inagibili, dei senzatetto e della popolazione coinvolta in crolli.

Comune	Edifici Inagibili	Senzatetto	Vittime	Feriti
Armento	154	191	2	7
Gallicchio	96	201	2	7
Grumento	463	465	25	101
Marsico Nuovo	604	1017	53	212
Marsicovetere	420	841	47	187
Missanello	80	110	1	4
Moliterno	461	851	26	103
Montemurro	307	487	17	67
Paterno	961	1229	58	232
San Martino d'Agri	176	176	2	6
Sarconi	245	287	9	36
Spinoso	340	503	16	63
Tramutola	624	1054	50	202
Viggiano	652	857	44	177
Villa d'Agri	367	600	16	63

Tabella 2.2.5. Stima delle conseguenze attese sulla popolazione per lo scenario 3

Differenze molto più limitate si rilevano per Marsicovetere dove il dato storico riporta 90 vittime, ossia il 2.7% della popolazione allora residente (3403 abitanti), mentre il dato stimato con lo scenario 3 fornisce 47 vittime, ossia il 2.4% della popolazione residente nel centro abitato di Marsicovetere (1987 persone). In questo caso l'intensità considerata nello scenario è sostanzialmente quella massima attesa e la vulnerabilità attuale è comunque piuttosto alta (45% classe A). Inoltre, va rilevato che attualmente il comune di Marsicovetere include la frazione di Villa d'Agri che conta 2716 residenti e che è costituita prevalentemente da edifici antisismici ed a bassa vulnerabilità (42% degli edifici in classe D e 32% in classe C) dove la percentuale di vittime stimate è risultata molto bassa e pari allo 0.5%.

Ancora, dai risultati riportati in tabella 2.2.5 si osserva che il comune per il quale, in termini assoluti, si stimano le minori conseguenze sulla popolazione è Missanello con una sola vittima su 591 persone residenti, il 25% di edifici inagibili e il 19% di senzatetto. Risultati che vanno attribuiti principalmente alla bassa intensità prevista per lo scenario 3, pari al VI-VII grado EMS, ma anche allo spopolamento che caratterizza questo comune, come molti dei piccoli comuni montani della Basilicata; peraltro va rilevato che il patrimonio edilizio è costituito per lo più da edifici di classe A, che rappresentano il 66% del totale, collocati prevalentemente nel centro storico che è quasi del tutto disabitato.

Infine, dai dati riportati in tabella 2.2.4 emerge che per la frazione di Villa d'Agri, pur avendo considerato una intensità ben più elevata (VIII-IX EMS), le conseguenze attese (34% di edifici inagibili, 22% di senzatetto, 1% di vittime e 2% di feriti) sono in termini percentuali vicine a quelle stimate per Missanello. Come era facilmente prevedibile, anche a fronte di un evento sismico di elevata intensità, la presenza di un patrimonio edilizio a bassa vulnerabilità determina conseguenze limitate sulla popolazione.

I contenuti riportati nel capitolo 2.2. sono stati estratti dal lavoro Masi, A., Samela, C., Santarsiero, G., Vona, M. 2007. *Scenari di danno sismico per l'esercitazione nazionale di Protezione civile "Terremoto Val d'Agri 2006"*. Atti 12° Convegno Nazionale ANIDIS, Pisa. parzialmente svolto con il contributo della Regione Basilicata e nell'ambito del progetto DPC-ReLUI 2005-2008, Linea di ricerca n. 10 "Definizione e sviluppo di archivi di dati per la valutazione del rischio, la pianificazione e la gestione dell'emergenza".

BIBLIOGRAFIA

- Braga, F., Dolce, M., Liberatore, F., 1982. Southern Italy Novembre 23, 1980 Earthquake: A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K.-76 scale. CNR-PFG n.503, Roma.
- Camassi, R., Stucchi, M., 1996. NT4.1-Un catalogo parametrico dei terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, Rapporto tecnico del CNR-GNDT.
- Di Pasquale, G., Goretti, A., 2001. Vulnerabilità funzionale ed economica degli edifici residenziali colpiti dai recenti eventi sismici italiani. Atti 10° Convegno Nazionale ANIDIS, Potenza – Matera.
- Dolce, M., Masi, A., Marino, M., Vona, M., 2003. Earthquake damage scenarios of Potenza town (Southern Italy) including site effects. Bulletin of Earthquake Engineering, 2003, 1 (1): 115-140
- ESC Working Group "Macroseismic Scales", 1998. European Macroseismic Scale 1998. GeoForschungs – Zentrum Potsdam, Germany.
- Ferrari, G. a cura di, 2004, Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857. L'opera di Robert Mallet nel contesto scientifico e ambientale attuale del Vallo di Diano e della Val d'Agri, SGA Storia Geofisica Ambiente, Bologna.
- Gruppo di lavoro sul Rischio Sismico istituito dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale con decreto 1017 del 15 aprile 1996. Risultati dell'analisi di rischio sismico per tutta la nazione riferita al patrimonio abitativo.
- Legge n. 225 del 24.2.1992, Istituzione del Servizio Nazionale della Protezione Civile, 1992.
- Legge Regionale n. 25 del 17.8.1998, Disciplina delle attività e degli interventi regionali in materia di protezione civile, Regione Basilicata, 1998.
- Lucantoni, A., Bosi, V., Bramerini, F., De Marco, R., Lo Presti, T., Naso, G., Sabetta, F., (2001), Il rischio sismico in Italia, Servizio Sismico Nazionale, Ingegneria Sismica, anno XVIII- -N. 1
- Margottini, C., Molin, D., Narcisi, B., Serva, L., (1987). Intensity vs acceleration: italian data. ENEA – IAEA, Proceedings of workshop on Historical Seismicity of Central – Eastern Mediterranean Region.
- Masi, A., Samela, C., Santarsiero, G., Vona, M. 2007. Scenari di danno sismico per l'esercitazione nazionale di Protezione civile "Terremoto Val d'Agri 2006". Atti 12° Convegno Nazionale ANIDIS, Pisa.

3 SINTESI DEL WORKSHOP INGV-RELUIS: INPUT SISMICO

3.1 ASPETTI INGEGNERISTICI

Nel corso del work shop sono stati tratti gli aspetti inerenti la definizione dell'input sismico per valutazioni di rischio e scenari e la definizione dell'input sismico per la progettazione e l'assessment di opere nuove ed esistenti.

3.1.1 Definizione dell'input sismico per valutazioni di rischio e scenari

Ad oggi esiste una differenza tra valutazione sul singolo edificio e valutazione a scala territoriale. In generale, per analisi sul singolo edificio è necessario disporre di un set di accelerogrammi che riflettano la pericolosità del sito, per analisi dinamiche NL. In alternativa è possibile determinare la domanda in termini di spettri di sito anch'essi derivanti dall'analisi probabilistica di pericolosità sismica.

Per analisi di scenario a scala territoriale, generalmente, non è necessario disporre di accelerogrammi e l'input sismico è definito, più usualmente, in termini di spettri di risposta (spostamento o accelerazione), intensità strumentali espresse attraverso un singolo parametro puntuale o integrale (ad esempio pga, pgv, epa, intensità di arias, intensità di housner, etc.) o anche in termini di intensità macrosismica (ems, msk mcs, mmi, etc.). quest'ultima opzione riflette un approccio tradizionale per cui la vulnerabilità del costruito è valutata su base empirica. Recenti approcci alla valutazione del rischio territoriale fanno riferimento a valutazioni della vulnerabilità su base meccanica che si avvalgono, in ingresso, di spettri di risposta o accelerogrammi. per la determinazione della vulnerabilità degli edifici su base meccanica, anche a scala territoriale, possono essere utilizzati metodi basati sull'analisi non lineare statica oppure dinamica. I primi fanno riferimento all'uso delle curve di push-over, come spettri di capacità e agli spettri di risposta, come spettri di domanda, da confrontare tra di loro secondo metodi sufficientemente consolidati. isecodi richiedono la disponibilità di accelerogrammi realistici, ossia naturali o generati con caratteristiche simili a quelli naturali per contenuto energetico, per analisi dinamiche non lineari.

Tali metodi da un lato possono costituire un'evoluzione rispetto alle formulazioni di vulnerabilità in termini di danno osservato e intensità macrosismica. Inoltre risultano necessari per ottenere curve intensità – danno per tipologie strutturali (o anche solo per alcuni valori di intensità) per le quali non sono disponibili dati post-sisma, come accade in particolare per gli edifici in c.a..

E' disponibile e verrà a breve inserito sul sito ReLUIS (www.reluis.unina.it) un set di circa 30 accelerogrammi naturali, prevalentemente non scalati, estratto dalla Banca dati europea e già utilizzato per valutazioni di vulnerabilità su base meccanica. Gli accelerogrammi hanno valori di PGA compresi nell'intervallo 0.05 – 0.35g e sono stati selezionati tenendo conto di altri parametri del moto del suolo (PGV, intensità di Arias, intensità di Housner, ...).

Anche in ipotesi di input deterministico può essere opportuno associare all'evento di riferimento una probabilità di occorrenza. Da questa considerazione consegue che la differenziazione tra caso

deterministico e probabilistico è una forzatura. Tuttavia, nel caso di accelerogrammi la probabilità di occorrenza è associabile ad un parametro di picco o integrale (PGA, SA, etc.) non a tutta la storia di accelerazione.

Workshop INGV-ReLUIS - INPUT SISMICO, Anacapri, 12-13 Giugno 2006

In relazione a quanto detto, le ricerche sismologiche dovrebbero essere finalizzate a:

- la definizione di accelerogrammi compatibili con la pericolosità di sito e con le caratteristiche focali di uno o più eventi (pericolosità e disaggregazione), che tenendo in conto i parametri che condizionano la risposta strutturale delle opere esistenti nell'area geografica in esame (esempio durata, ...);
- allo stesso modo bisognerebbe procedere per i metodi non meccanici con riferimento a: intensità macrosismica; intensità monoparametro; spettro di risposta.

3.1.2 Definizione dell'input sismico per la progettazione

La risposta strutturale a differenti accelerogrammi selezionati solo in base all'accelerazione di picco del terreno (PGA) presenta una grande variabilità, e in alcuni casi non rende la risposta strutturale condizionatamente indipendente da magnitudo e distanza.

Questa variabilità si può ridurre tenendo in conto l'accelerazione spettrale relativa al primo periodo proprio della struttura in campo elastico. E' comunque necessario considerare più di un accelerogramma. La dimensione del campione di accelerogrammi, comunque, dipende dal coefficiente di variazione del parametro da stimare. Il numero di registrazioni necessarie si può ridurre scalando linearmente gli accelerogrammi alla stessa accelerazione spettrale corrispondente al primo periodo di oscillazione della struttura.

Nel caso in cui la struttura presenti fenomeni di degrado dovuti a fatica oligociclica, o a comportamenti di tipo attritivo possono essere significativi anche altri parametri quali la durata dell'accelerogramma, il numero di passaggi per lo zero, ecc. in tal caso servono leggi congiunte di parametri spettrali ed integrali. l'ottimo sarebbe avere analisi di pericolosità congiunte accelerazione-durata.

Accelerogrammi simulati di vecchia generazione (SIMQKE) hanno un contenuto energetico troppo elevato e sono poco realistici per analisi di strutture in campo non lineare. Esistono metodi di simulazione della sorgente (metodi pseudo-dinamici) che sembrano fornire una stima migliore della domanda sismica e che non richiedono l'assegnazione arbitraria di parametri quali il risetime.

Nella simulazione di accelerogrammi, può essere opportuno considerare che il contenuto in frequenza superiore a 10 Hz non è significativo per la maggior parte delle strutture. Non è richiesto un adattamento stringente allo spettro target per frequenze sopra i 6.5 Hz. La frequenza minima di interesse dipende dal primo periodo proprio della struttura t_1 (fino a circa $0.5 f_1$ in assenza di significativi fenomeni di degrado). A questo proposito è utile la compilazione di una tabella, come quella riportata in allegato, che può costituire un'utile interfaccia tra sismologi e ingegneri. La previsione di tutti i parametri che caratterizzano il moto sismico nei minimi dettagli può, infatti, risultare estremamente complesso e quasi impossibile per il sismologo. limitare il numero di parametri ed il loro campo di interesse può facilitare notevolmente il compito della determinazione dell'input sismico, nei casi specifici.

3.1.3 Aspetti normativi

Negli ultimi anni la ricerca ha messo appunto procedure relativamente semplici e facilmente accessibili attraverso programmi di calcolo commerciali, per l'analisi dinamica non lineare della risposta strutturale facendo uso di accelerogrammi. La norma richiede di utilizzare un set di accelerogrammi la cui media delle ordinate spettrali non si discosti troppo da uno spettro target in un campo di periodi tra 0.15s e $2 T_1$. I criteri normativi italiani sono molto simili a quelli dell'Eurocodice 8 ma non coincidono perfettamente.

Gli accelerogrammi possono essere naturali o artificiali. Gli ingegneri utilizzano preferibilmente accelerogrammi naturali perché:

- i. più realistici;
- ii. più facilmente disponibili;
- iii. non richiedono competenze specifiche come quelle necessarie alla generazione di accelerogrammi sintetici e artificiali;

La scelta di accelerogrammi naturali è resa più semplice dalla modesta dipendenza della risposta strutturale da Magnitudo e distanza, almeno per alcuni tipi di strutture (strutture nuove) e per alcuni parametri di domanda (legati allo spostamento). Lo stesso vale per la durata, nel senso che l'accelerazione rende la risposta condizionatamente indipendente dalla durata (data l'accelerazione spettrale al periodo fondamentale della struttura la risposta massima è indipendente dalla durata) per le stesse strutture di cui la caso precedente.

Sono già disponibili sul sito ReLUIIS (www.reluis.unina.it) gruppi di accelerogrammi naturali, scalati e non, rispondenti ai criteri normativi (Normativa italiana ed Eurocodice) per diversi tipi di suolo e per diverse zone sismiche. In relazione a quanto detto, le ricerche sismologiche dovrebbero essere finalizzate a:

- la definizione dei parametri spettrali sulla base di studi di pericolosità, oltre alla PGA;
- una migliore definizione delle forme spettrali basate sulla pericolosità (lunghi periodi);
- una migliore definizione delle curve di attenuazione, in particolare in near-source;
- la creazione di banche accelerometriche italiane;
- la generazione di accelerogrammi compatibili con la sismicità locale (non necessariamente spettro-compatibili).

3.1.4 Aspetti di ricerca per la stima corretta (unbiased) della risposta sismica non lineare delle strutture

Individuazione di gruppi di accelerogrammi sulla base di parametri vettoriali di moto del suolo (PGA+PGV, $S_a(T_1)+\epsilon$, $S_a(T_1)+PGA$, $S_a(T_1)+S_a(T_2)$,)

Sono già disponibili sul sito ReLUIIS (www.reluis.unina.it) gruppi di accelerogrammi (diversi da quelli "normativi" discussi in precedenza) naturali non scalati ancorati a coppie di parametri del

moto del suolo (PGA+PGV per 3 siti specifici). Oltre a quanto riportato nel caso degli aspetti normativi, le ricerche sismologiche dovrebbero essere finalizzate alla definizione della pericolosità in termini vettoriali (probabilità congiunta di superamento) in modo da ottenere mappe che forniscano allo stesso tempo più parametri (PGA, durata, etc.) tenendo in considerazione la correlazione tra gli stessi.

3.2 ASPETTI SISMOLOGICI

Nel workshop sono stati trattati i temi relativi alla definizione dell'input sismico per valutazioni di rischio e scenari ed alla Definizione dell'input sismico per la progettazione.

Dall'insieme degli argomenti esposti nelle due giornate è emerso che:

Per la stima dei parametri strong motion di interesse ingegneristico (input sismico) è prassi comune utilizzare l'approccio deterministico o quello probabilistico. I due metodi si distinguono principalmente per la probabilità associata alle stime di pericolosità, la quale è naturalmente calcolata nelle analisi probabilistiche mentre è del tutto esclusa dalle analisi deterministiche. I due metodi sono generalmente utilizzati in modo indipendente; viceversa dovrebbero essere complementari fra loro, al meno per verificare la 'ragionevolezza' dei risultati ottenuti da uno o dall'altro approccio.

I problemi da affrontare sono sostanzialmente diversi a seconda che le stime dell'input sismico servano per la progettazione antisismica o per la valutazione del rischio e di scenari di danno. Nel primo caso il riferimento è a una singola struttura, nel secondo si devono analizzare contemporaneamente più tipologie edilizie esistenti, generalmente non progettate a norma.

In generale, come dimostrato anche dalle recenti evoluzioni della normativa italiana e internazionale, non vi sono particolari problemi concettuali legati alle stime dell'input per la progettazione antisismica; un valido contributo da parte della comunità sismologica può consistere nella scelta degli accelerogrammi (reali o simulati) da utilizzare per le analisi non lineari, ricavandoli ad esempio da analisi di disaggregazione della pericolosità al sito.

Più complessa appare la stima della pericolosità nell'ambito degli scenari di danno; in questo caso infatti i sismologi sono in grado di fornire scenari di scuotimento adatti a descrivere la variabilità del moto atteso, che tuttavia, a causa della elevata incertezza sui numerosi parametri che controllano il risultato, risultano difficilmente utilizzabili per le successive valutazioni di danno. Una stretta interazione con gli ingegneri permetterebbe di restringere i parametri del moto da calcolare (valori di picco, ordinate spettrali, durata, time-series) e stabilire i criteri di scelta degli scenari per i successivi utilizzi.

La definizione dell'input sismico va differenziata a seconda della struttura in esame (edilizia ordinaria, edifici strategici, lifelines, impianti industriali, fondazioni, ecc.).

3.2.1 *Definizione dell'input sismico per valutazioni di rischio e scenari*

Nella definizione dell'input sismico per gli scenari di danno, le procedure in uso presso DPC sono semplificate e si riconducono al calcolo di un unico parametro (PGA, o valore di Intensità I) per l'intero comune. Anche le più diffuse metodologie ingegneristiche per il calcolo degli scenari di danno si basano sull'intensità e l'utilizzo di parametri del moto sismico è riservato principalmente alla calibrazione delle curve di fragilità.

Gli scenari di scuotimento sismico, ottenuti attraverso l'applicazione di relazioni di attenuazione o tecniche di simulazione, sono viceversa definiti in termini di parametri strong motion (valori di picco, ordinate spettrali, intensità di Arias, ecc.) e di sismogrammi sintetici.

Gli approcci sismologici forniscono scenari di scuotimento con un alto livello di variabilità, che dipende dai vari termini inclusi nelle modellazioni (effetti di faglia finita, meccanismi di fagliazione, direttività, effetti di sito, ecc.); tuttavia la variabilità riprodotta è difficilmente utilizzabile per le stime di danno a scala urbana. In questo caso sarebbe necessario mettere a punto tecniche di analisi statistiche e/o di regressioni, simili a quelle utilizzate nelle attenuazioni empiriche dei dati registrati, per tenere conto della elevata variabilità spaziale della simulazione del moto del terreno.

I risultati ottenuti dalle tecniche numeriche possono fornire utili contributi per la definizione degli upper-bounds; inoltre possono fornire stime dei parametri del moto del suolo in intervalli di periodi attualmente non coperti dai dati reali ($> 2\text{sec}$) o in condizioni di near field ($< 10\text{ km}$).

Per quanto sia necessario semplificare il calcolo dell'input sismico a scala urbana, questa operazione non è indicata per siti localizzati nei pressi di una faglia attiva, dove trascurare la variabilità del moto e la complessità delle forme condurrebbe a stime successive non realistiche; valutazioni dell'ipotesi di applicabilità del campo lontano (dove cioè gli effetti di faglia finita possono essere trascurati) dovrebbero essere sempre svolti in funzione delle distanze e delle frequenze di interesse.

3.2.2 Definizione dell'input sismico per la progettazione

Nella definizione dell'input sismico per la progettazione, l'approccio probabilistico è ampiamente utilizzato, poiché è utile disporre di parametri strong motion (PGA, PGV, IA, UHS-spettri a pericolosità uniforme) con associato un periodo di ritorno.

L'approccio probabilistico viene anche applicato per identificare il terremoto di riferimento (definito dalla terna Magnitudo-distanza- n. di deviazioni standard ϵ) mediante l'analisi di disaggregazione.

In questo settore le competenze sismologiche forniscono importanti contributi, poiché gli studi di disaggregazione dovrebbero essere effettuati verificando la congruità dei risultati con le più recenti zonazioni, cataloghi sismici e sorgenti sismogenetiche disponibili.

Definito il terremoto di riferimento in termini di M-R- ϵ , si procede generalmente alla selezione di accelerogrammi da utilizzare nelle analisi NL verificando la compatibilità con gli spettri di normativa (tolleranza del 10%).

La prima possibilità è quella di utilizzare accelerogrammi reali selezionati da banche dati mondiali, europee e nazionali. La selezione di accelerogrammi effettuata solo sul picco di accelerazione può portare a risposte strutturali molto diverse fra loro, viceversa si ottengono risposte più stabili se gli accelerogrammi sono scalati allo stesso valore dell'ordinata spettrale corrispondente alla frequenza propria della struttura da analizzare. In questo caso gli accelerogrammi possono essere selezionati indipendentemente dalla coppia M-R che li ha generati. Tuttavia per ottenere risposte strutturali meno disperse, la selezione dei dati da utilizzare nelle analisi deve essere effettuata non fissando un singolo parametro (PGA) ma individuando una combinazione di parametri strong motion (ad esempio PGA e PGV).

La seconda possibilità è quella di usare accelerogrammi sintetici derivati dalle modellazioni cinematiche (sorgente puntiforme o estesa) e dalle tecniche numeriche cui si faceva riferimento in precedenza oppure accelerogrammi artificiali ricavati da simulazioni stocastiche e dalla Random

Vibration Theory, purchè ancorati in qualche modo (contenuto in frequenza e durata) a parametri sismologici (magnitudo, distanza, sito).

3.3 INTERAZIONI TRA INGEGNERI E SISMOLOGI

Sono stati identificati alcuni aspetti che andrebbero sviluppati al fine di ottimizzare gli studi condotti da entrambe le parti:

1. Calcolo delle incertezze. Il calcolo delle incertezze dovrebbe essere unificato tra la parte sismologica e quella ingegneristica; in particolare l'analisi probabilistica andrebbe svolta direttamente sul danneggiamento globale e non solo sull'input sismico.
2. Definizione del problema. Il calcolo dell'input sismico dovrebbe essere svolto in stretta collaborazione con gli ingegneri per specificare meglio le richieste in termini di input: nel calcolo degli scenari di scuotimento in area urbana vanno stabilite le finalità e le criticità della parte ingegneristica (ad esempio le principali tipologie edilizie esistenti e le caratteristiche geotecniche di interesse) mentre per la progettazione è necessario che per ogni tipologia strutturale siano definiti i parametri del moto e le frequenze di interesse.
3. Distribuzione di probabilità. Sarebbe importante associare ai parametri del moto sismico calcolati sia con approcci deterministici che probabilistici, una distribuzione di probabilità in modo che possa essere utilizzata come input nelle successive analisi ingegneristiche.

