



POLITECNICO
MILANO 1863

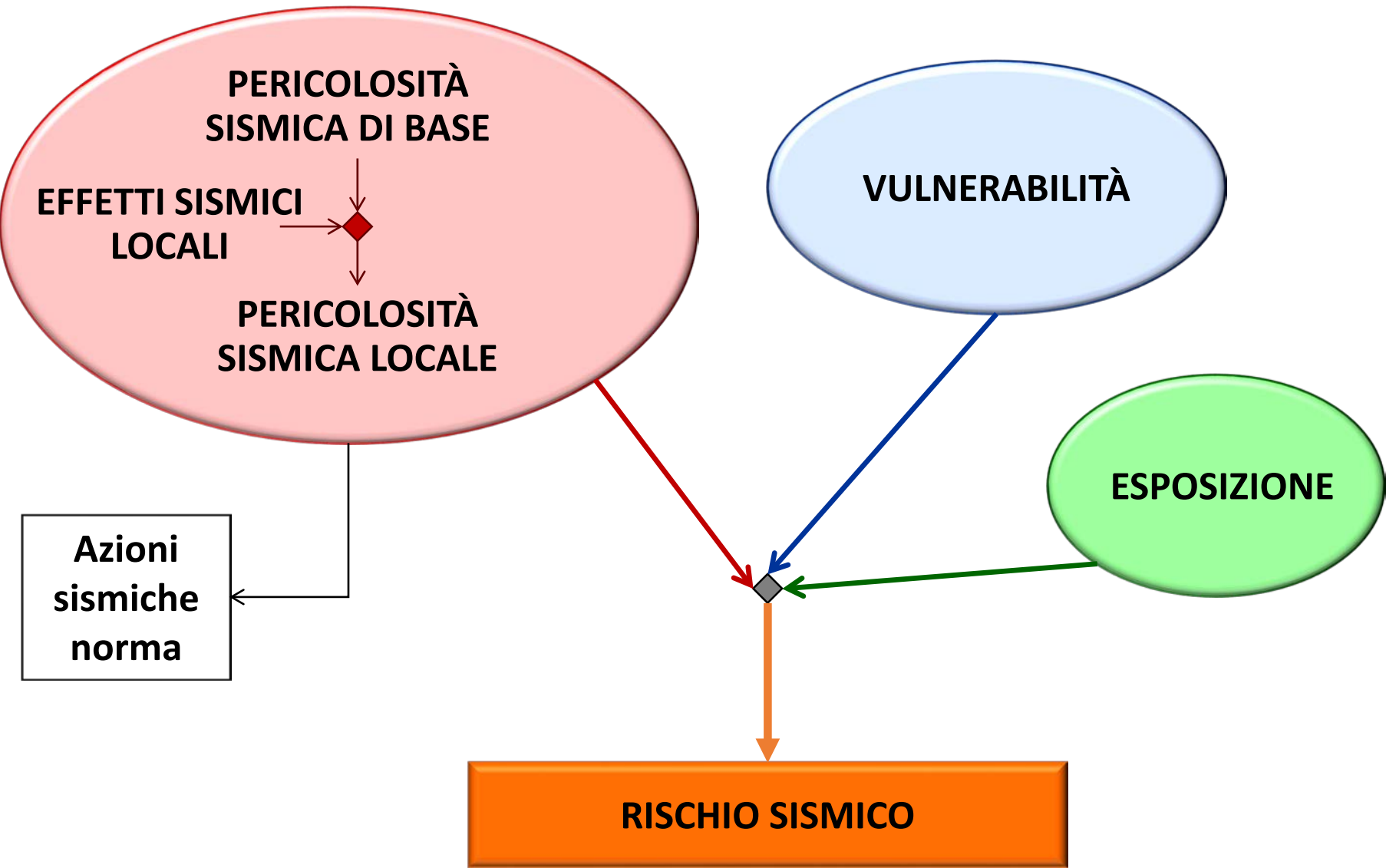
Classificazione sismica Vulnerabilità sismica di edifici

Ing. Maria Pia Boni

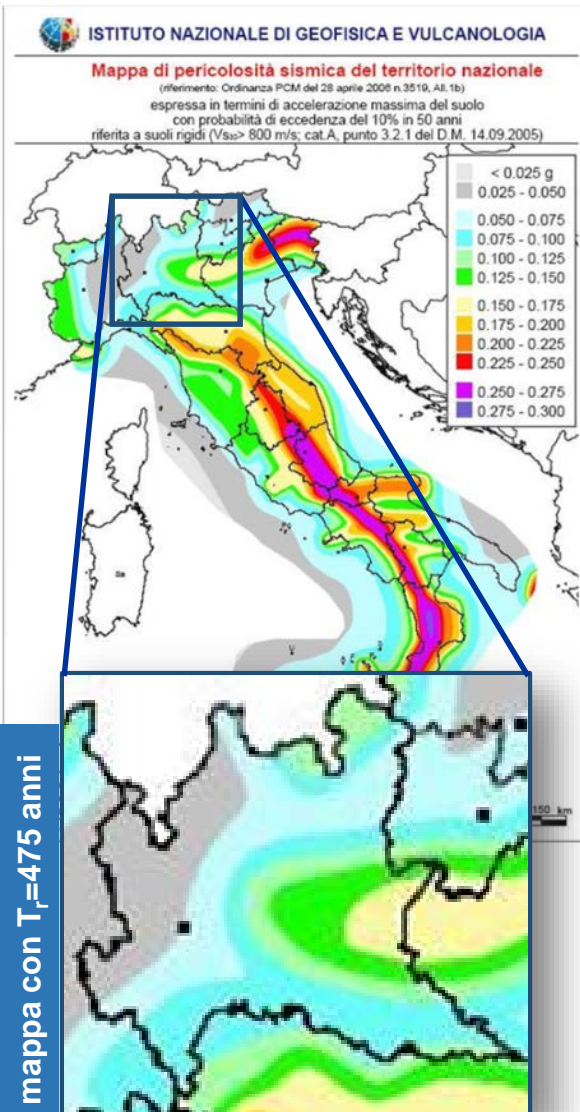
*Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale
Politecnico di Milano*

**Istituto Albert Einstein
Vimercate, 14 febbraio 2019**

IL CONCETTO DI RISCHIO SISMICO



PERICOLOSITÀ SISMICA E CLASSIFICAZIONE SISMICA: QUALE RELAZIONE?



- Si ricorda che la pericolosità sismica di base si può concettualmente definire come lo scuotimento del suolo atteso in un determinato sito, con una certa probabilità
- Si possono individuare in un territorio, in una Nazione, o Regione, aree con una maggiore o minore pericolosità
- La classificazione sismica si può definire, in termini generali, come l'identificazione delle aree a diversa sismicità, ad ognuna delle quali l'amministrazione pubblica competente assegna un sistema di regole, in particolare legate alle costruzioni, finalizzate comunque alla salvaguardia delle persone
- La definizione delle zone ha comunque una base che si fonda sulla pericolosità, unitamente ad altre considerazioni di tipo politico/amministrativo, più dipendenti dalle regole che si intendono assegnare alle diverse zone
- In Italia, i criteri con cui definire le zone ed il tipo di regole assegnate, non è sempre stato lo stesso nel tempo e neanche nello spazio



STORIA DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA IN ITALIA

1909

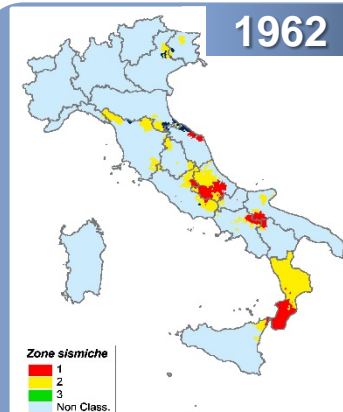


- Zone colpite dal sisma/ eventi significativi in passato
- Tecniche per ricostruzione e costruzione nuovi edifici

1909 -
1962

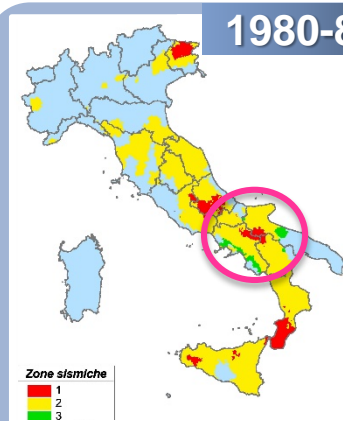
- Zone colpite da eventi
- Gestire ricostruzione e finanziamenti
- Classificazione non ai fini di una reale prevenzione

1962 ▶



Aspetti preventivi della classificazione:
non norme per la ricostruzione, ma per la costruzione in zone sismiche

1980-84

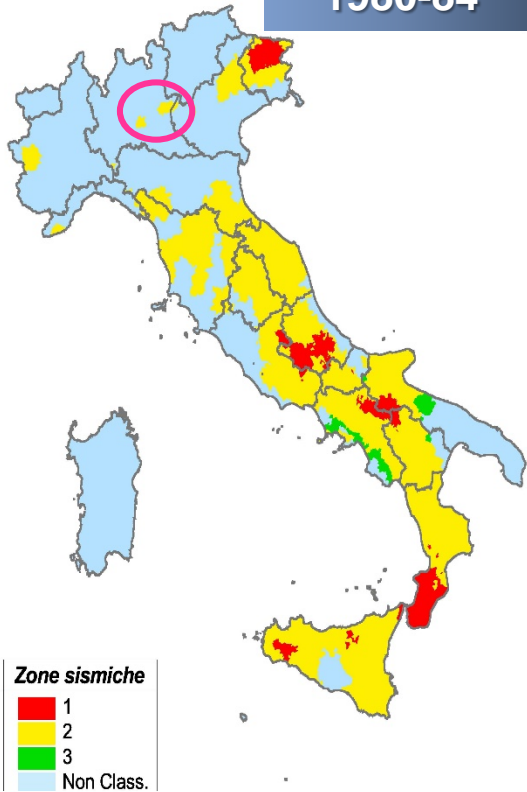


- Mappa sull'intero territorio nazionale
- Criteri basati su analisi di pericolosità (PFG-CNR)
- Introduzione zona 3

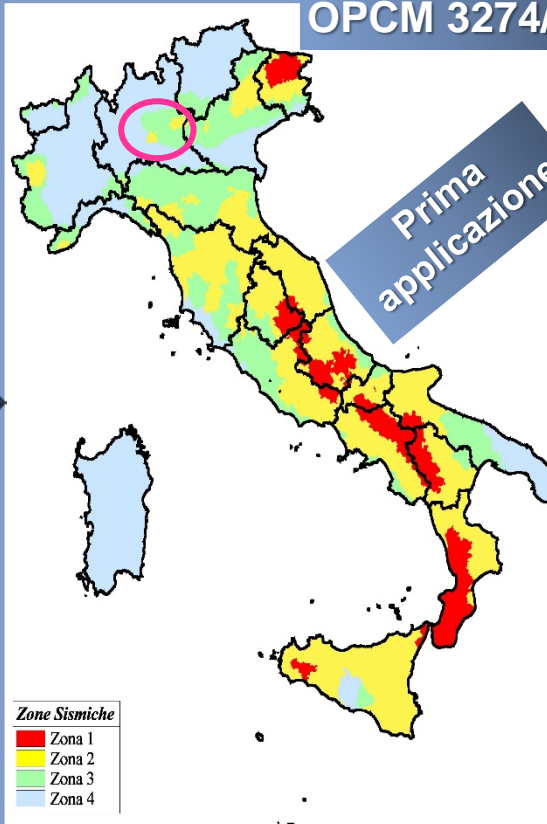


STORIA DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA IN ITALIA

1980-84



OPCM 3274/03



A tutti i comuni italiani è attribuita una zona sismica

Emanati:

- Mappa di prima applicazione (da studio del '97)
Nel caso di comuni già classificati, si mantiene la zona a rischio più elevato
- Criteri basati su a_g 475 anni (non utilizzati per la mappa di prima applicazione)

Criteri OPCM 3274/03 -
OPCM 3519/06

ZONA	a_{max} con $T_r=475$ anni
1	$a_{max} > 0.25g$
2	$0.15g < a_{max} \leq 0.25g$
3	$0.05g < a_{max} \leq 0.15g$
4	$a_{max} \leq 0.05g$



CLASSIFICAZIONE SISMICA: COMPETENZE

D.Lgs 112/98

«Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della L.15 marzo 1997, n.59»

STATO: “criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e alle norme tecniche per le costruzioni nelle medesime zone”

(art. 93 comma 1g)

REGIONI: “individuazione delle zone sismiche, la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”

(art. 94 comma 2a)

Alcuni tra gli altri compiti normativi spettanti alle Regioni:

- la competenza di stabilire le modalità e criteri per l'esercizio delle funzioni di vigilanza e controllo su opere e costruzioni in zone sismiche (in armonia con il DPR n. 380 del 6 giugno 2001)
- determinazione dei criteri per l'esecuzione di studi di microzonazione sismica



CLASSIFICAZIONE SISMICA E PROGETTAZIONE

DALL'EMANAZIONE DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DEL 2008 (NTC08, oggi sono in vigore le NTC18)



Le azioni per la progettazione non dipendono più dalla zona sismica, sono relative ad ogni sito, dipendono dalla stato limite, dal tipo e dalla classe d'uso della struttura e sono direttamente ottenute dall'analisi di pericolosità di riferimento



Si è svincolato l'aspetto progettuale dalla classificazione sismica





Classificazione sismica al 2015

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.

Atti di recepimento al 1° giugno 2014. Abruzzo: DGR 29/3/03, n. 438. Basilicata: DCR 19/11/03, n. 731. Calabria: DGR 10/2/04, n. 47. Campania: DGR 7/11/02, n. 5447.

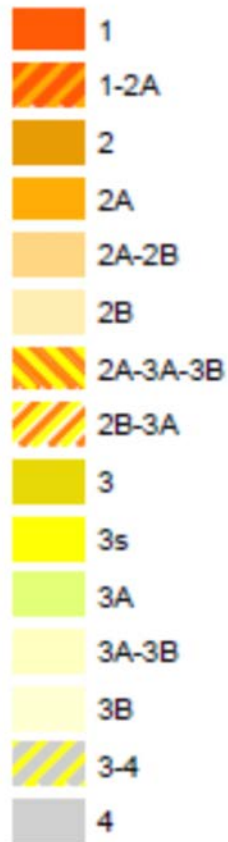
Emilia Romagna: DGR 21/7/03, n. 1435. Friuli Venezia Giulia: DGR 6/5/10, n. 845. Lazio: DGR 22/5/09, n. 387. Liguria: DGR 19/11/10, n. 1362. Lombardia: DGR 11/7/14, n. X/2129

Marche: DGR 29/7/03, n. 1046. Molise: DGR 2/8/06, n. 1171. Piemonte: DGR 12/12/11, n. 4-3084. Puglia: DGR 2/3/04, n. 153. Sardegna: DGR 30/3/04, n. 15/31.

Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 26/5/14, n. 878. Trentino Alto Adige: Bolzano, DGP 6/11/06, n. 4047; Trento, DGP 27/12/12, n. 2919. Umbria: DGR 18/9/12, n. 1111.

Veneto: DCR 3/12/03, n. 67. Valle d'Aosta: DGR 4/10/13 n. 1603

Zone sismiche (livello di pericolosità)

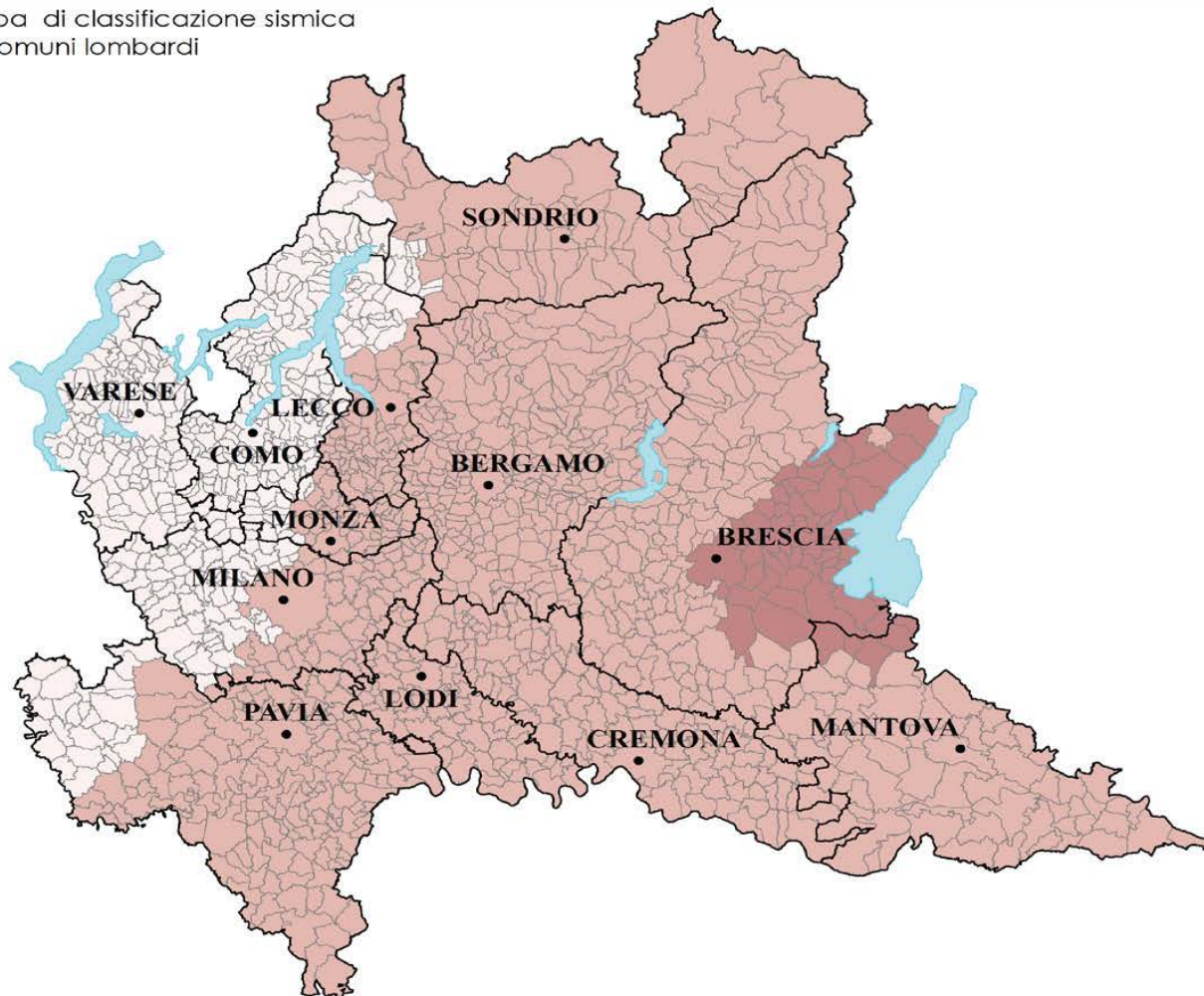


CLASSIFICAZIONE DELLA REGIONE LOMBARDIA 07/2014

Mappa di classificazione sismica
dei comuni lombardi



Regione Lombardia



Zone di classificazione sismica dei
comuni ai sensi dell'Ord. PCM 3274
del 20 marzo 2003.

	n°comuni
zona 4	446
zona 3	1028
zona 2	57

**D.G.R. 11/07/2014
N. X/2129**

**Class. efficace dal
10 aprile 2016.**

U.O. Sistema Integrato di Prevenzione
Struttura Prevenzione Rischi Naturali
luglio 2014

Con la L.R. 33/2015 ed i successivi decreti attuativi vengono definite “le regole” per le zone lombarde in termini di deposito dei progetti, autorizzazioni/controlli e aspetti geologici



POLITECNICO MILANO 1863

VULNERABILITÀ SISMICA

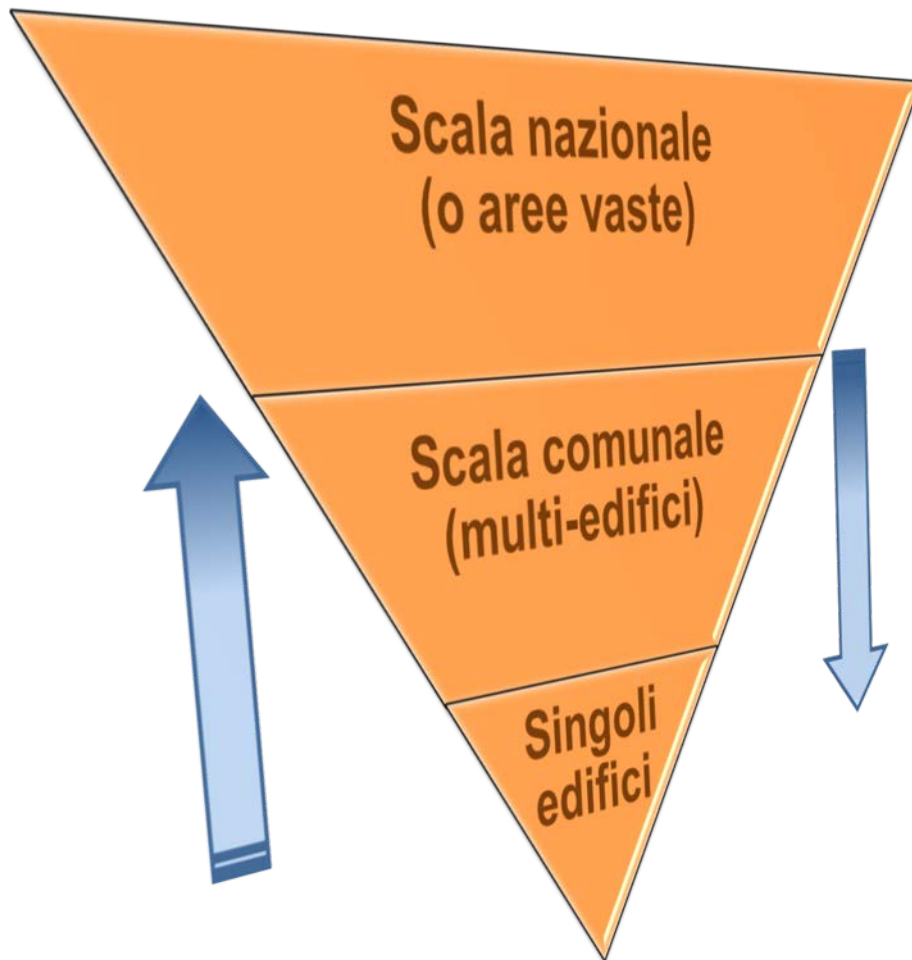
Predisposizione di un oggetto, o sistema, ad essere danneggiato da un evento sismico



Un'analisi di vulnerabilità di una struttura (es.: di un edificio) fa emergere quali sono i suoi punti deboli per quanto riguarda il comportamento in caso di sisma



VULNERABILITÀ SISMICA (DI EDIFICI): QUALI METODOLOGIE PER VALUTARLA?



Esistono molte procedure e la scelta di quella più adatta dipende da molti fattori, tra questi uno dei principali è la scala di lavoro.

Bisogna considerare inoltre che i dati di base / i risultati attesi, possono avere origine, livello di dettaglio e modalità di processo differenti anche in relazione alle diverse scale

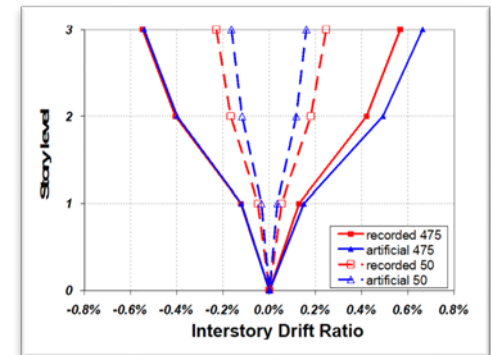
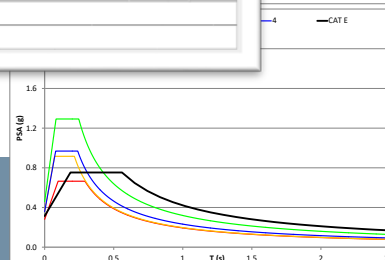
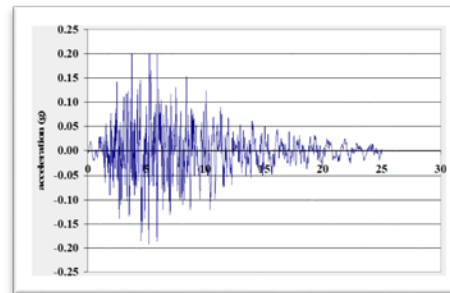
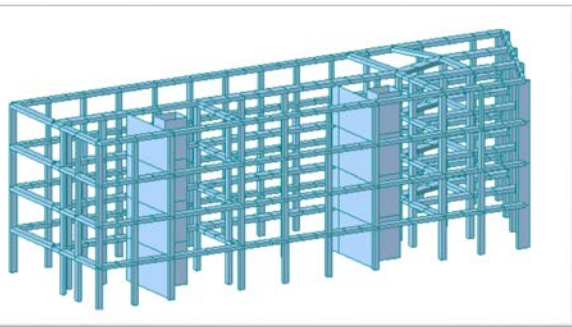


SINGOLO EDIFICIO: VALUTAZIONE DI SICUREZZA DELLA STRUTTURA

L'analisi di un singolo edificio si pone ad un elevato livello di dettaglio in termini di risultati attesi e di dati necessari

Si tratta infatti di un'analisi strutturale secondo le norme vigenti

- l'edificio deve prima essere studiato e conosciuto nella sua struttura, materiali, dimensioni, ecc., per poterlo “modellare”
- con appositi software che applicano specifici modelli teorici, si verifica se sia o meno in grado di resistere alle azioni che ci si aspetta debba subire a causa dei terremoti
- si valutano quindi gli eventuali interventi per ridurre la vulnerabilità



Schede di vulnerabilità per edifici (GNDT, primi anni '90)

Raccolgono alcune informazioni sulle caratteristiche degli elementi costitutivi dell'edificio, ritenute importanti per valutarne il comportamento a fronte di un evento sismico

Sono costituite da due livelli:

Livello 1: contiene dati relativi alla localizzazione, alla geometria ed alla tipologia dell'edificio

Livello 2: contiene in senso stretto le informazioni utili per il calcolo della vulnerabilità

Esistono schede per edifici in muratura ed in c.a.

La scheda di primo livello è comune a tutte le tipologie, cambia quella di secondo livello



SCHEDA DI PRIMO LIVELLO

La scheda è strutturata in 8 sezioni

- 1. dati relativi alla scheda** (chiave di identificazione dell'edificio, comune, scheda, squadra, data)
- 2. localizzazione dell'edificio** (aggregato, edificio, toponomastica, vincoli di piano urbanistico)
- 3. dati metrici** (superfici, altezze interpiano, altezze minima e massima fuori terra)
- 4. uso** (tipi di uso, stato, proprietà e conduzione dell'edificio, utilizzazione, utenza)
- 5. età della costruzione - interventi** (tipi e classi di età)
- 6. stato delle finiture - impianti**
- 7. tipologia strutturale** (tipi di struttura verticale, orizzontale, scale, copertura)
- 8. estensione e livello del danno** (estensione e livello di danno più frequente, e massimo, per strutture verticali, strutture orizzontali, scale, tamponature)
si compila solo nel caso di rilevamenti effettuati a valle di un terremoto



SCHEDA DI 2° LIVELLO PER EDIFICI IN MURATURA

11 parametri

Codice ISTAT Provincia		Codice ISTAT Comune		Schema No		
PARAMETRI	Clas- si	Qual. inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI - RICHIAMI (MURATURA)	
1	11	22	Norm. nuove costruz. (cl. A)	33	Parametro 3. Resistenza convenzionale. Tipologia struttura verticale τ_x (t/mq) Minimo fra A_x e A_y A (mq) Massimo fra A_x e A_y B (mq) Coeff. $a_x = A/At$ Coeff. $\gamma = B/A$ $q = (A_x + A_y) h \cdot p_{ps}/At + p_s$ $C = \frac{B_x - \gamma \cdot \tau_x}{q - N} \sqrt{1 + 1.5 \cdot a_x \cdot \tau_x \cdot (1 + \gamma)}$ $\alpha = C/0.4$ Parametro 6. Configurazione planimetrica. Parametro 7. Configurazione in elevazione. Parametro M9. Copertura. Coperture spiganti (Tipologia M) Coperture poco spiganti (Tipologia N) Coperture non spiganti (Tipologia O)	
2	12	23	Norm. riparazioni (cl. A)	2		
3	13	24	Cord. e cat. tutti livelli (cl. B)	3		
			Buoni amm. fra mur. (cl. C)	4		
			Senza cord. cattivi amm. (cl. D)	5		
			(vedi manuale)			34
			Numero di piani N	36		
4	14	25	Area tot. cop. A_t (mq)	37		
			Area A_x (mq)	41		
			Area A_y (mq)	44		
			τ_x (t/mq)	47		
			Alt. media interp. h (m)	50		
			Peso spec. par. p_{ps} (t/mc)	52		
5	15	26	Carico perm. sol. p_s (t/mq)	54		
			Pend. perc. terr.	56		
			Roccia fond. si	58		
			Terr. sc. non sp. fond. si	59		
			Terr. sc. sp. fond. si	59		
6	16	27	Diff. max di quota Δh (m)	58		
			Piani sfalsati si	62		
			Orizz. rig. e ben coll.	63		
			Orizz. def. e ben coll.	63		
7	17	28	Orizz. rig. e mal coll.	64		
			Orizz. def. e mal coll.	64		
			% or. rig. ben coll.	64		
			Rapp. perc. $\beta_1 = a/l$	66		
8	18	29	Rapp. perc. $\beta_2 = b/l$	70		
			aumento (+) / riduz. (-) di massa	74		
			Rapp. perc. T/H	77		
			Perc. in sup. port.	79		
M8	19	30	Piano terra port. si	81		
			Rapp. massimo I/s	82		
			Cop. non sp. poco sp.	85		
			Cord. in copert. si	86		
M9	20	31	Cat. in copert. si	87		
			Car. perm. cop. p_c (t/mq)	90		
			Lungh. app. cop. l_c (m)	90		
			Perim. cop. l (m)	93		
10	20	31	(vedi manuale)			
11	21	32	(vedi manuale)			



SCHEDA DI 2° LIVELLO PER EDIFICI IN MURATURA

1. **Tipo ed organizzazione del sistema resistente**: valuta il funzionamento scatolare dell'organismo murario attraverso il rilievo della presenza di collegamenti ai piani, ammorsature agli spigoli
2. **Qualità del sistema resistente**: è influente su questo parametro l'omogeneità e la fattura del tessuto murario
3. **Resistenza convenzionale**: attraverso un calcolo speditivo, con l'ipotesi di solaio infinitamente rigido e di pura traslazione dei piani, in assenza di eccentricità in pianta, quantizza la resistenza in due direzioni perpendicolari delle strutture in elevazione
4. **Posizione dell'edificio e delle fondazioni**: vengono messi in conto alcuni aspetti relativi alle fondazioni ed al terreno di fondazione e ritenuti influenti sul comportamento sismico globale, quali alcune caratteristiche geotecniche
5. **Orizzontamenti**: si considera la rigidezza nel piano (funzionamento a diaframma), il tipo e l'efficacia dei collegamenti alle murature



SCHEDA DI 2° LIVELLO PER EDIFICI IN MURATURA

6. **Configurazione planimetrica**: mette in conto la forma in pianta attraverso la valutazione dei rapporti fra lato corto e lato lungo e fra sporgenze e lato lungo
7. **Configurazione in elevazione**: mette in conto le variazioni e discontinuità in elevazione, quali la presenza di una torre, di un piano porticato
8. **Distanza massima fra le murature**: valuta l'efficacia delle murature perpendicolari come vincoli di una data parete
9. **Copertura**: la copertura è valutata sia come una sorta di orizzontamento "privilegiato", sia per la eventuale presenza di elementi con spinte non equilibrate
10. **Elementi non strutturali**: valuta il tipo ed il collegamento alle strutture di tutti quegli elementi non portanti quali comignoli, cornicioni, piccoli aggetti ecc.
11. **Stato di fatto**: mette in conto la diminuzione di resistenza (e di duttilità) conseguenti a lesioni, dissesti, stato di degrado negli elementi strutturali



SCHEDA DI 2° LIVELLO PER EDIFICI IN MURATURA: INDICE DI VULNERABILITÀ

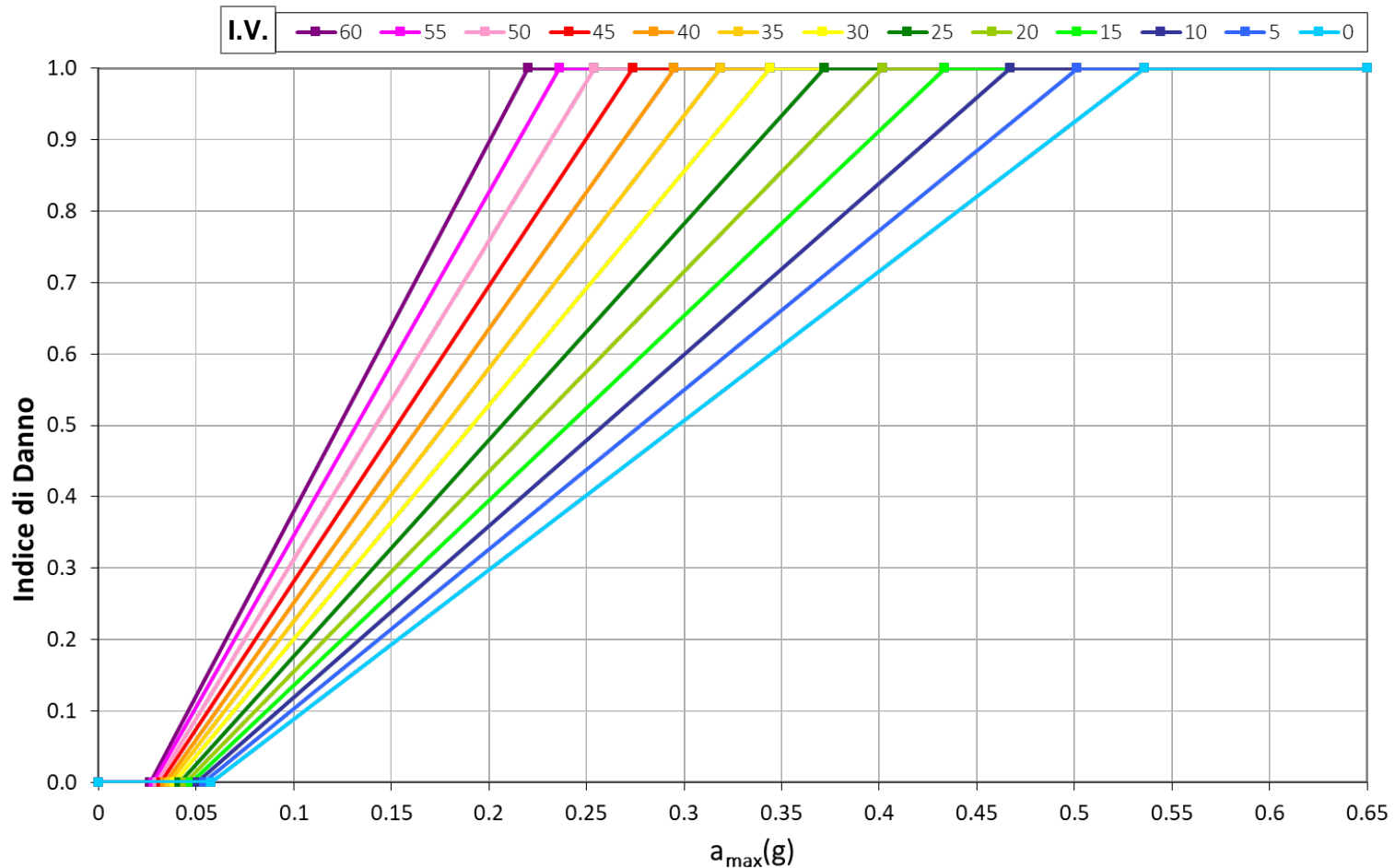
Ad ogni parametro il rilevatore assegna un giudizio (A,B,C,D) che corrisponde ad un punteggio

<i>Parametro</i>	<i>Classe</i>				<i>Peso</i>
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	
1	0	5	20	45	1.0
2	0	5	25	45	0.25
3	0	5	25	45	1.5
4	0	5	25	45	0.75
5	0	5	15	45	var
6	0	5	25	45	0.5
7	0	5	25	45	var
8	0	5	25	45	0.25
9	0	15	25	45	var
10	0	0	25	45	0.25
11	0	5	25	45	1.0

- Il prodotto del punteggio per il relativo peso fornisce l'indice numerico parziale per il singolo parametro
- la somma degli indici parziali porta all'indice di vulnerabilità, un numero che, utilizzando i valori indicati in tabella, risulta compreso tra 0 e 382.5 (dalla situazione di vulnerabilità "migliore" alla "peggiore")
- L'indice viene solitamente normalizzato su una scala relativa e convenzionale 0 - 100



METODO SPEDITIVO: relazione vulnerabilità-danno, curve di fragilità



Indice di danno da intendersi in senso economico, come rapporto tra costo di riparazione e ricostruzione



ESEMPIO DI RAPPRESENTAZIONE DELL'INDICE DI VULNERABILITÀ IN UN CENTRO URBANO



Indice di vulnerabilità degli edifici (I.V.)

- Yellow: $I.V. < 20$
- Green: $20 < I.V. < 40$
- Cyan: $40 < I.V. < 60$
- Red: $60 < I.V. < 80$
- Brown: $80 < I.V.$
- White: Non elaborato
- Black: Non classificato



Non si valuta un singolo edificio alla volta ma si definiscono delle classi tipologiche e si valuta la vulnerabilità della classe

L'assegnazione di un edificio ad una classe tipologica viene attribuita sulla base del riconoscimento di alcune caratteristiche della struttura (es.: materiale impiegato e struttura verticale, numero di piani, ecc.)

Esempio: da scala MSK (Medvedev - Sponheur – Karnik)

- A:** costruzione in pietrame naturale, strutture in argilla, costruzioni con mattoni di creta e paglia, case in mattoni crudi o con malta di argilla, case con argilla e limo.
- B:** costruzioni in mattoni comuni, in grossi blocchi, in muratura con telai di legname, costruzioni in pietra squadrata.
- C:** costruzioni prefabbricate con struttura in calcestruzzo, costruzioni prefabbricate a larghi pannelli, strutture in legno ben fatte.



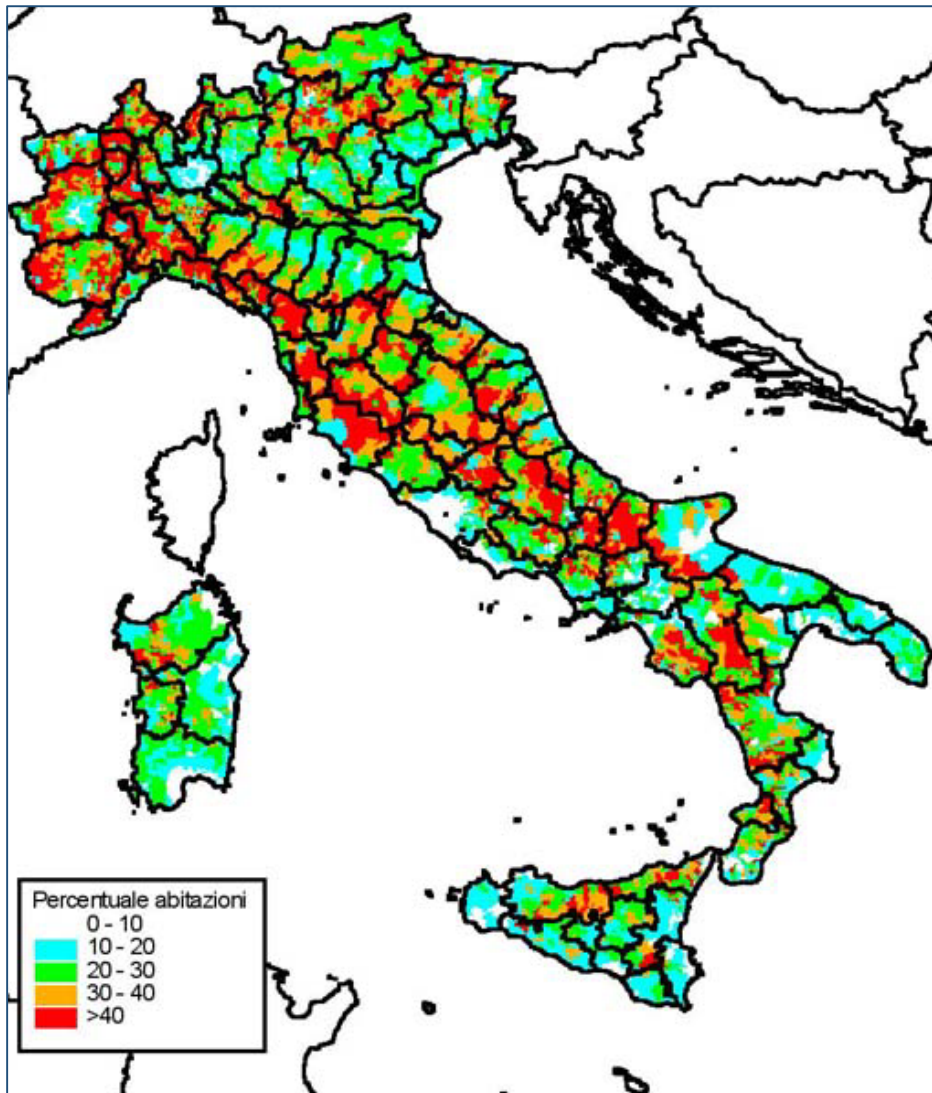
CLASSI DI VULNERABILITÀ NELLA SCALA EMS 98 (scala macrosismica europea)

	Type of Structure	Vulnerability Class					
		A	B	C	D	E	F
MASONRY	rubble stone, fieldstone	○					
	adobe (earth brick)	○—					
	simple stone	—○					
	massive stone		—○—				
	unreinforced, with manufactured stone units		—○—				
	unreinforced, with RC floors			—○—			
	reinforced or confined				—○—		
REINFORCED CONCRETE (RC)	frame without earthquake-resistant design (ERD)		—○—				
	frame with moderate level of ERD			—○—			
	frame with high level of ERD				—○—		
	walls without ERD		—○—				
	walls with moderate level of ERD			—○—			
	walls with high level of ERD				—○—		
STEEL	steel structures			—○—			
WOOD	timber structures		—○—				

○ most likely vulnerability class; — probable range;
- - - - - range of less probable, exceptional cases



ANALISI IN AREE VASTE – ESEMPIO



Esempio di mappa di vulnerabilità calcolata con il metodo tipologico

Percentuale di abitazioni nella classe di vulnerabilità «A» della scala MSK, per i comuni italiani
(sito <http://www.protezionecivile.it>)



METODO TIPOLOGICO: MATRICI DI PROBABILITÀ DI DANNO

Per ogni classe tipologica definiscono le probabilità che gli edifici ad essa appartenenti subiscano danni classificabili secondo uno degli stati di danno, dato un terremoto di assegnata intensità macrosismica.

Si ricavano dall'analisi statistica dei danni in terremoti passati

Esempio per la Classe "A" della scala MSK

Intensità	Livello di danno					
	0	1	2	3	4	5
VI	0.188	0.373	0.296	0.117	0.023	0.002
VII	0.064	0.234	0.344	0.252	0.092	0.014
VIII	0.002	0.020	0.108	0.287	0.381	0.202
IX	0.000	0.001	0.017	0.111	0.372	0.498
X	0.000	0.000	0.002	0.030	0.234	0.734



Grade 1: Negligible to slight damage
(no structural damage, slight non-structural damage)
Hair-line cracks in very few walls.
Fall of small pieces of plaster only.
Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.



Grade 2: Moderate damage
(slight structural damage, moderate non-structural damage)
Cracks in many walls.
Fall of fairly large pieces of plaster.
Partial collapse of chimneys.



Grade 3: Substantial to heavy damage
(moderate structural damage, heavy non-structural damage)
Large and extensive cracks in most walls.
Roof tiles detach. Chimneys fracture at the roof line; failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).



Grade 4: Very heavy damage
(heavy structural damage, very heavy non-structural damage)
Serious failure of walls; partial structural failure of roofs and floors.



Grade 5: Destruction
(very heavy structural damage)
Total or near total collapse.



DANNI DOVUTI AI TERREMOTI



ESEMPI DI DANNI: EDIFICI



© Reluis 2009

www.reluis.it



POLITECNICO MILANO 1863

ESEMPI DI DANNI: EDIFICI



**RAPPORTO DEI DANNI PROVOCATI DALL'EVENTO
SISMICO DEL 6 APRILE SUGLI EDIFICI SCOLASTICI
DEL CENTRO STORICO DELL'AQUILA**



ESEMPI DI DANNI: EDIFICI



Prima del sisma

Dopo il sisma



Rocchetta, Frazione di Amatrice, 2016



ESEMPI DI DANNI: EDIFICI



Rocchetta, Frazione di Amatrice, 2016



ESEMPI DI DANNI: CHIESE



ESEMPI DI DANNI: PONTI



ESEMPI DI DANNI: ATTIVITÀ PRODUTTIVE

