



# I Terremoti al centro dell'Italia:

*dalla valutazione dei danni alle strategie per la ricostruzione*

**Lunedì 18 Settembre 2017 | 9:00 -17:00**

**Dalla **R**icostruzione alla **P**revenzione:  
aspetti Tecnici e Normativi, con sviluppi futuri**

**Ing. Cinzia Picchi (PhD, Seismic Risk)**



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

***Struttura Commissariale Centrale per la Ricostruzione  
nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016***

## Limitandosi alle sole costruzioni

Dalla

### **RICOSTRUZIONE**

degli ultimi eventi sismici

L'AQUILA 2009

EMILIA 2012

CENTRO ITALIA 2016 - 2017



Le analisi :

- di danno e della sua estensione territoriale
- delle criticità evidenziate dalle diverse tipologie costruttive
- dei costi

Attraverso :

le NORME

- NTC
- D.Lgs 42 - 22/01/2004
- *Linee Guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni*
- .....

la Statistica

- Analisi delle basi dati relative agli ultimi eventi

la microzonazione sismica

gli studi sul dissesto idrogeologico



Alla

### **PREVENZIONE**

con

- una corretta **valutazione del rischio sismico** attraverso:
  - uno studio della estensione territoriale dei danni, per una corretta stima dei costi associati agli eventi sismici (da potere usare in piani di riduzione del rischio sismico su vasta scala)
  - un migliore ancoraggio dei danni ai costi
- una **ottimizzazione degli interventi per tipologie costruttive / di danno basata sulla conoscenza della costruzione con le proprie criticità e del quadro di danneggiamento evidenziato**

## DALLE NTC, non solo le prescrizioni, ma anche e soprattutto la spinta ad un PERCORSO PROGETTUALE UNITARIO E UNIFICANTE

Nelle **NTC** di prossima emanazione (di aggiornamento delle NTC-08) si sottolinea la necessità di un **percorso progettuale unitario e unificante**. Le NTC affermano in maniera intrinseca l'**approccio prescrittivo**, in quanto avendo valore di legge, finiscono necessariamente per assumere connotazioni prescrittive legate ai riflessi legali che le loro indicazioni comportano, ma intende favorire anche il più moderno **approccio prestazionale**. Infatti, sottolineare l'importanza del **progetto** e individuare gli ambiti del relativo **percorso progettuale** serve, in effetti, a privilegiare l'approccio prestazionale (tipico del progetto).

Il **percorso progettuale**, può essere sintetizzato nelle 4 fasi della **concezione**, della **verifica**, della **esecuzione** e del **controllo**.

La **concezione**, sintesi di creatività, competenza e esperienza del singolo progettista, **ricade nel suo esclusivo spazio discrezionale e non può essere normata**.

La **verifica**, **l'esecuzione** e il **controllo** delimitano lo spazio lasciato alla discrezionalità della **concezione**.

La **normativa**, che ha carattere contrattuale e sociale, si occupa solo della **verifica**, della **esecuzione** e del **controllo**, delimitando la **concezione**.

D'altra parte, l'individuazione delle **prestazioni** e **la loro armonizzazione progettuale** appartengono alla **concezione** e dunque precedono l'ambito normativo.

La **concezione** deve SEMPRE perseguire la **robustezza** = «capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di impreviste cause innescanti quali esplosioni e urti» e/o »eventuali errori di progettazione o di **esecuzione**» e deve farlo per l'intera costruzione ossia architettura, struttura, impianti.

Tale obiettivo deve essere tenacemente perseguito, prendendo in considerazione tutti gli aspetti coinvolti nell'attività di progettazione, siano quelli **architettonico-distributivi**, quelli della **meccanica dei terreni**, dei **materiali** e delle **strutture**, quelli dell'**ambiente interno e degli impianti** che lo formano e lo controllano; solo così, quando dalla **concezione**, **tornando nell'ambito normativo**, si passerà a **verifica**, **esecuzione** e **controllo**, si potrà utilizzare un percorso progettuale unitario.

L'**OBIETTIVO** è, dunque, perseguire un **PERCORSO PROGETTUALE** che, a partire dall'analisi di tutti gli aspetti di interesse (coinvolti nell'attività di **concezione** e dunque di **progettazione**), **miri a perseguire la «robustezza» della costruzione nella sua interezza**.

Con riferimento alle costruzioni esistenti, questo è possibile partendo dalla **caratterizzazione delle tipologie** (materiale, tecnica costruttiva, epoca di costruzione, criticità, danni in relazione agli eventi accorsi, interventi subiti, connessioni...), **del sito di ubicazione**, .....

## DALLE LINEE GUIDA per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni, uno STRUMENTO PER AVVIARE LA PREVENZIONE

Lo scorso 28 febbraio sono state emanate, con Decreto del MIT, le *Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni*, che costituiscono il primo strumento, in Italia, per individuare, in maniera piuttosto speditiva, la classe di rischio sismico di una costruzione e di valutare, analogamente, il passaggio di classe conseguibile a seguito di interventi. **La classe di rischio si ottiene scegliendo il peggiore dei due indicatori PAM e IS-V**, che si riferiscono rispettivamente alla perdita economica media annua attesa (riconducibile ai DANNI) nell'arco di vita della costruzione e all'indice di sicurezza della salvaguardia della vita (riconducibile ad una verifica di sicurezza allo SLV).

Per la determinazione della classe PAM, le LL.GG. prevedono due metodi:

il **METODO SEMPLIFICATO**, applicabile alle sole **costruzioni in muratura**, che permette di individuare la classe PAM a partire dall'attribuzione della classe di vulnerabilità mediante analisi macrosismica secondo la scala EMS-98, avendo cura di tenere conto nell'attribuzione delle peculiarità della tipologia e del materiale; attribuita la C.V. e nota la zona sismica di appartenenza si ricava la corrispondente classe di rischio.

Il **METODO CONVENZIONALE**, che permette di individuare la classe PAM calcolando l'integrale della curva di rischio della costruzione, costruita attribuendo dei costi convenzionali, riferiti ai diversi S.L., alle frequenze di occorrenza corrispondenti ottenute dall'analisi della struttura.

**DALLE LINEE GUIDA per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni,  
uno STRUMENTO PER AVVIARE LA PREVENZIONE**

I costi convenzionali, riferiti ai diversi S.L., sono stati dedotti da quelli ottenuti su base statistica per il sisma di L'Aquila del 2009, relativamente agli interventi di riparazione sugli edifici residenziali al di fuori del cratere.

L'**IS-V** si calcola dal rapporto  $([PGA]_c / [PGA]_D)_{SLV}$ , riconducendo dunque la salvaguardia della vita alla verifica di sicurezza della costruzione ovvero ad una valutazione basata sulla resistenza della stessa.

Le LL.GG. si propongono come un **primo strumento per fare PREVENZIONE**, che contiene criticità da sciogliere e che deve essere migliorato, anche sull'esperienza degli ultimi eventi sismici. Ad esempio, si potrebbe perseguire:

- **un migliore ancoraggio dei danni ai costi**
- **l'ancoraggio della salvaguardia della vita ai danni (estendendo la valutazione della perdita di vite umane anche agli SLE).**

## Le ORDINANZE 2016 – 2017 del Commissario Straordinario per la Ricostruzione a seguito degli eventi sismici del 2016 nel Centro Italia

L'ORDINANZA N. 19 del 7 aprile 2017 «*Misure per il ripristino con miglioramento sismico e la ricostruzione di immobili ad uso abitativo gravemente danneggiati o distrutti dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016*» introduce all'ALL. 1 del Livelli Operativi, cui è associato un costo parametrico ed il tipo di intervento di ricostruzione.

Tali **Livelli Operativi** scaturiscono dalla combinazione di **4 stati di danno** (cui corrispondono le fasce di danneggiamento:  $\leq$  danno lieve; danno lieve  $<$   $\leq$  danno grave; danno grave  $<$   $\leq$  danno gravissimo;  $>$  danno gravissimo) e di **3 gradi di vulnerabilità** (alto, significativo, basso).

I **livelli di danno** sono particolarizzati per le tipologie prevalenti (muratura e c.a.); i **gradi di vulnerabilità** vengono definiti a partire dalla combinazione di una serie di carenze tipiche per ciascuna delle due tipologie di edifici di muratura e di c.a.

I **livelli di danno** e i **gradi di vulnerabilità** di riferimento assunti per la ricostruzione sono il frutto dell'esperienza tratta dai **dati relativi agli eventi sismici passati**, che **costituiscono** pertanto **una database di grande valore per la conoscenza e per lo studio di strumenti efficaci di prevenzione**.

## Il contributo dei DATI alla CONOSCENZA

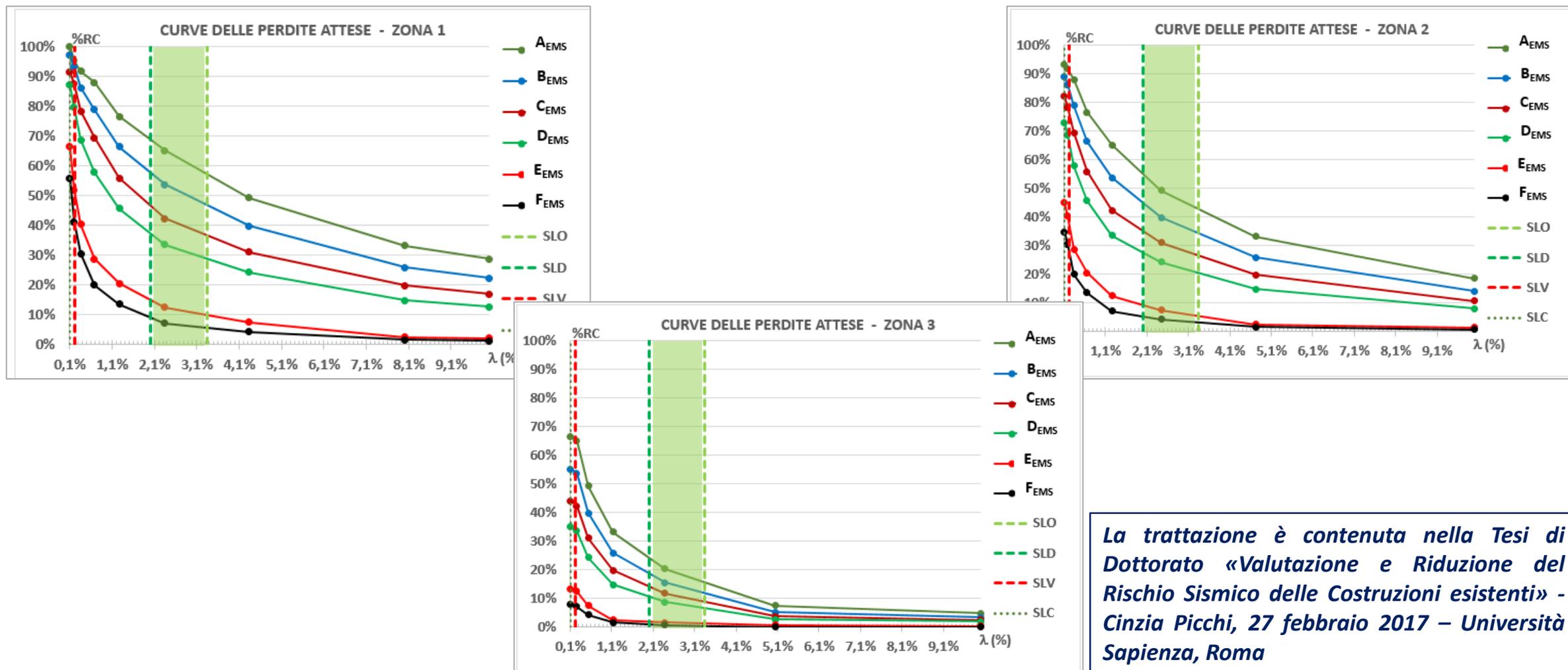
Le conoscenze acquisite grazie anche ai DATI relativi agli eventi sismici passati hanno contribuito alla definizione dei:

- livelli operativi definiti nell'All. 1 dell'ORD. N. 19 del Commissario Straordinario per il sisma 2016
- COSTI CONVENZIONALI RIFERITI AGLI S.L., di ancoraggio dei danni, per la costruzione della curva di rischio e quindi la valutazione della classe PAM, nelle LL.GG.

e forniscono un valido strumento per la **valutazione**:

- dell'**estensione territoriale dei danni**
- del **costruito** e delle **proprie criticità** (in particolare, le peculiarità negative legate al comportamento e quelle legate al materiale)
- delle **tipologie di danno** e dei **livelli di danno** associati alle diverse tipologie costruttive
- dell'**efficacia degli interventi adottati**
- dell'**incidenza dei costi per livello di danno e per tipologia costruttiva**
- .....

A partire dai costi di riparazione degli edifici ad uso residenziale, al di fuori del cratere, nel sisma di L'Aquila del 2009, sono state ricavate tali **curve delle perdite attese**

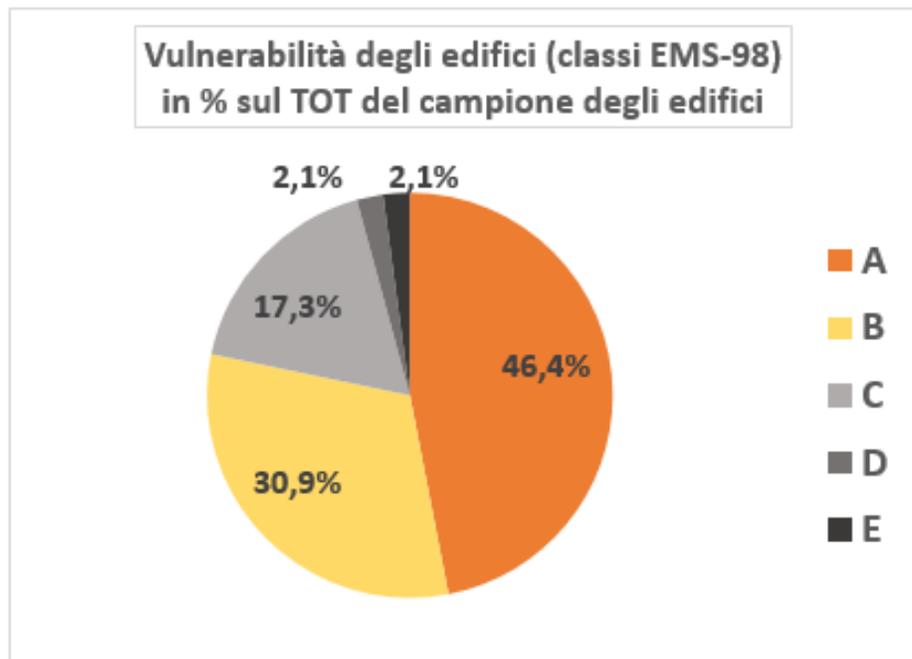


*La trattazione è contenuta nella Tesi di Dottorato «Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico delle Costruzioni esistenti» - Cinzia Picchi, 27 febbraio 2017 – Università Sapienza, Roma*

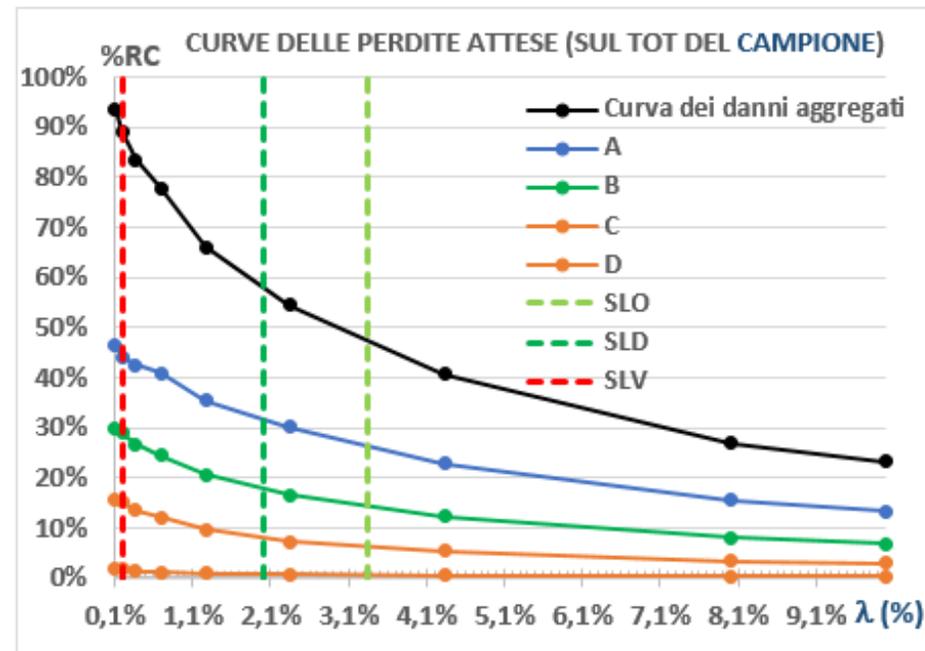
## Un'applicazione delle curve di perdita attese

### Comune di AMATRICE (Zona 1)

#### La stima della vulnerabilità



#### La CURVA DEI DANNI AGGREGATI



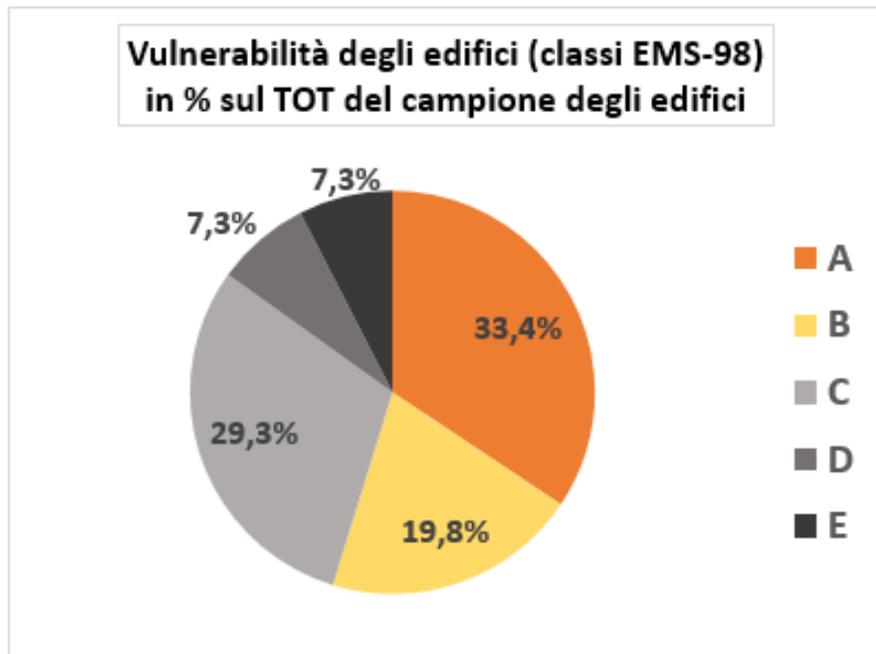
Il grafico mostra chiaramente che, secondo tale modello macrosismico, all'evento sismico del 24 agosto (corrispondente ad un terremoto con periodo di ritorno  $T_R = 2500$  anni circa) corrisponde una **perdita attesa (danni aggregati) intorno al 90%**, confermando in tal modo i danni reali registrati.

La trattazione è contenuta nella Tesi di Dottorato «Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico delle Costruzioni esistenti» - Cinzia Picchi, 27 febbraio 2017 – Università Sapienza, Roma

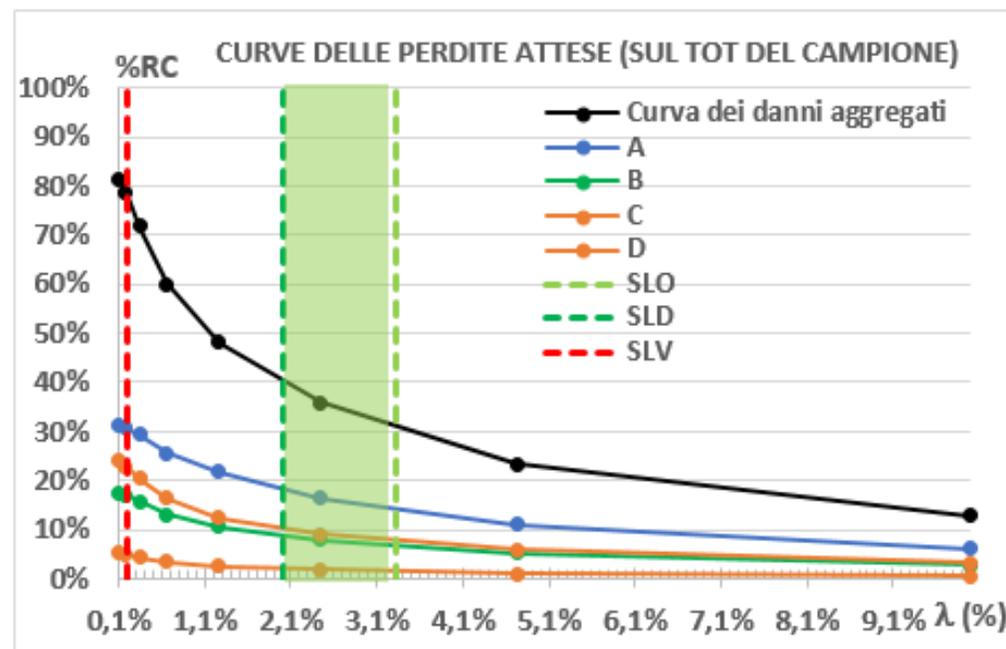
## Un'applicazione delle curve di perdita attese

### Comune di L'AQUILA (Zona 2)

#### La stima della vulnerabilità



#### La CURVA DEI DANNI AGGREGATI

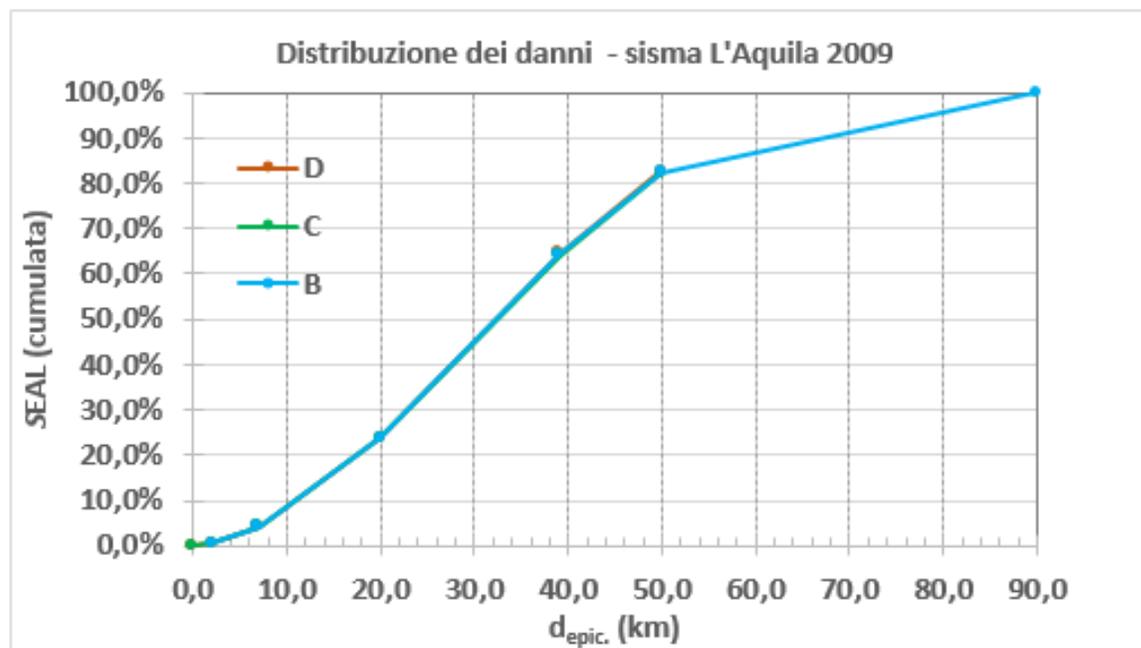


Il grafico mostra che **all'evento sismico del 6 aprile 2009** (corrispondente ad un terremoto con periodo di ritorno  $T_R = 300$  anni) corrisponde una **perdita attesa (danni aggregati)** intorno al **80%**, confermando in tal modo i danni reali registrati.

La trattazione è contenuta nella *Tesi di Dottorato «Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico delle Costruzioni esistenti» - Cinzia Picchi, 27 febbraio 2017 – Università Sapienza, Roma*

## Il contributo dei DATI alla CONOSCENZA....

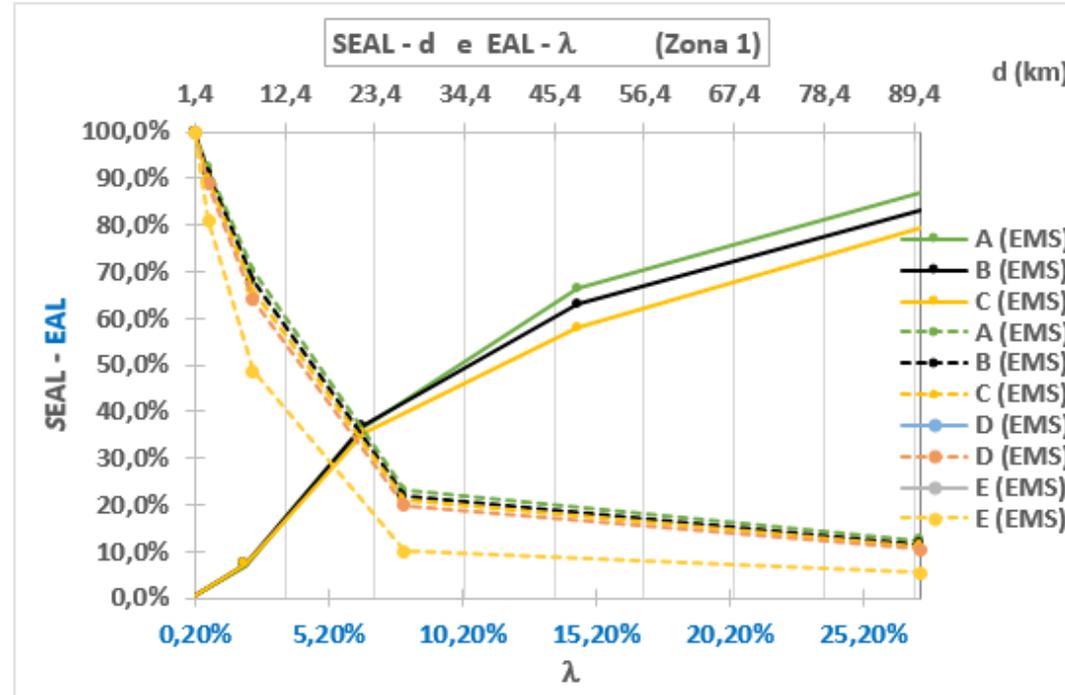
Sulla base dei danni registrati dopo il sisma di L'Aquila del 2009 è stata costruita la distribuzione cumulata (%) dei danni con la distanza  $d$ , che mostra come la densità del danno sul territorio si satura a distanze elevate dall'epicentro.



La conoscenza della densità del danno (SEAL) al crescere della distanza dall'epicentro è molto importante al fine di delimitare correttamente l'area in cui i costi attesi sono ancora significativi.

*La trattazione è contenuta nella Tesi di Dottorato «Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico delle Costruzioni esistenti» - Cinzia Picchi, 27 febbraio 2017 – Università Sapienza, Roma*

Gli andamenti della distribuzione dei danni economici diretti con la distanza dalla zona epicentrale ( $SEAL - d$ ) e delle medesime perdite con la frequenza di occorrenza ( $EAL - \lambda$ ), per la Zona 1, mostrano come i **contributi maggiori in termini di perdite economiche dirette sul territorio si hanno a distanze elevate ovvero lontano dall'area del cratere**, soprattutto per le classi più vulnerabili (da  $A_{EMS}$  a  $D_{EMS}$ ) e confermano che per fare una corretta valutazione del rischio su larga scala è necessario investigare la densità del danno ( $SEAL$ ) al crescere della distanza dall'epicentro, al fine di delimitare correttamente l'area in cui i costi attesi sono ancora significativi.



La trattazione è contenuta nella Tesi di Dottorato «Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico delle Costruzioni esistenti» - Cinzia Picchi, 27 febbraio 2017 – Università Sapienza, Roma

## UN ESEMPIO APPLICATIVO DI CLASSIFICAZIONE SISMICA e qualche riflessione .....

### CASO STUDIO DI UN EDIFICIO IN MURATURA DANNEGGIATO DOPO GLI EVENTI SISMICI DEL 2016

Ubicazione: Marche

distanza=38 Km dall'epicentro del sisma del 30 ottobre 2016 (M 6.5)

distanza=29 Km dall'epicentro del sisma del 26 ottobre 2016 (M 5.9)

Sommità di un pendio - Categoria Topografica T2

Categoria di sottosuolo C

**STATO DI FATTO (DOPO INTERVENTI POST SISMA 1997)**

Edificio costituito da un corpo principale di due piani (terra e primo) e sottotetto con copertura lignea e un locale annesso ad un piano con copertura lignea.

Muratura mista di pietra e mattoni con spessore variabile, a doppia cortina.

Solai di piano del corpo principale in parte in legno, in parte costituiti da travetti in c.a. tipo Varese a doppio T (H=16 cm) e, superiormente, un cordolo in breccia perimetrale 20x30 in cls debolmente armato, gravante sul solo paramento interno dei muri.

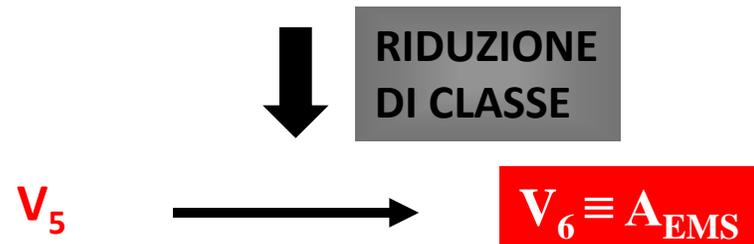
Presenza di due telai in c.a. (in croce) interni, con la sola funzione di portare il carico dei solai di piano.

## QUADRO DI DANNEGGIAMENTO DOPO GLI EVENTI SISMICI DEL 2016



## CLASSIFICAZIONE SISMICA CON IL METODO SEMPLIFICATO

- 1) CLASSE MEDIA EMS98       $V_5 \equiv B_{EMS}$
- 2) CLASSE EMS98             $V_5 \equiv B_{EMS}$  (considerate le peculiarità della tipologia)
- 3) Individuazione dei possibili MECCANISMI LOCALI
  - Ribaltamento della doppia cortina
  - Orizzontamenti male ammortati alle pareti



Gli interventi strutturali eseguiti dopo il terremoto Umbria e Marche del 1997 non sono risultati risolutivi nei confronti di tali meccanismi locali.

Individuata la classe di vulnerabilità e nota la zona sismica in cui ricade la costruzione, entrando nella *tabella 5* delle LG17, si ricava la **classe di rischio** di appartenenza e il corrispondente intervallo **PAM**

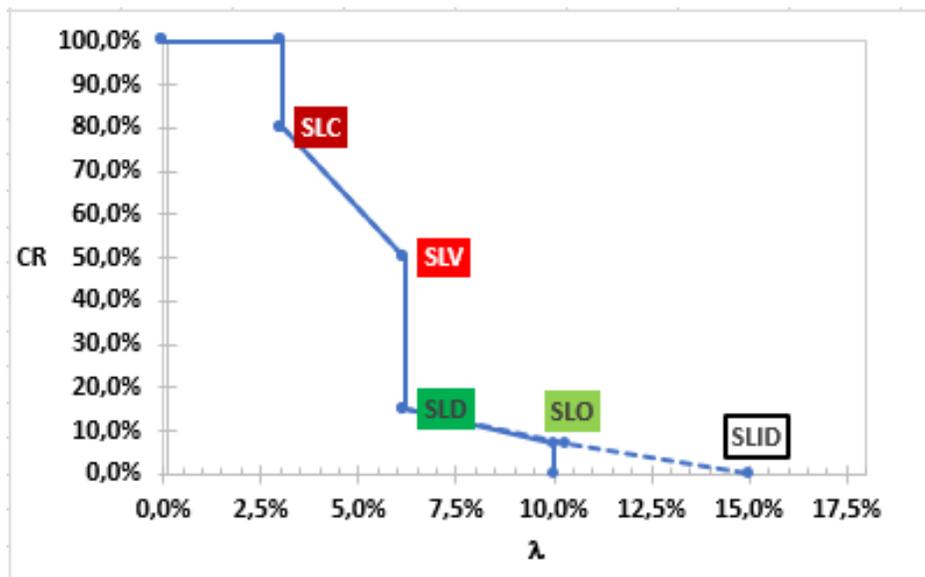
Zona sismica 2

Terreno tipo C

Categoria topografica  $T_2$

Dall'analisi (secondo le NTC08) è emerso che il meccanismo locale più critico è quello del *ribaltamento dei muri a doppia cortina*.

### Curva di rischio associata



PAM = 5,7% Classe  $F_{PAM}$   $4,5\% < PAM \leq 7,5\%$

IS-V = 23,4% Classe  $E_{IS-V}$   $15\% < IS-V \leq 30\%$



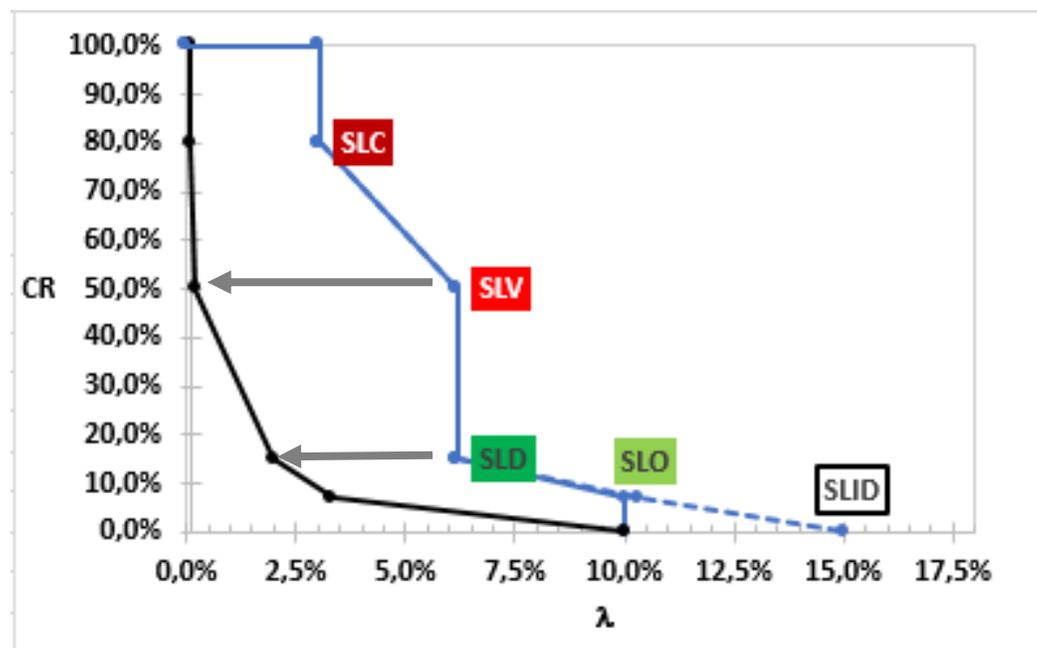
**CLASSE DI RISCHIO F**

**Il Metodo Semplificato e il Metodo Convenzionale conducono alla medesima attribuzione della classe di rischio**

*Si osserva che non troncando la curva al 10% ed estendendo lo SLID ad una frequenza  $\lambda=15\%$  significa considerare danni corrispondenti a eventi con  $T_R = 7$  anni ovvero, per la zona sismica 2, di intensità  $I = 6.1$*

**Gli interventi realizzati dopo gli eventi sismici del 1997 non hanno eliminato le criticità locali, che dopo gli eventi del 2016 hanno messo in crisi in modo serio la costruzione.**

**Il grafico mostra, nell'ottica del metodo convenzionale, il percorso di riduzione del rischio che mira al comportamento di Norma.**



**Una corretta ed efficace riduzione del rischio comporta, infatti, preliminarmente l'eliminazione dei meccanismi locali in modo da conseguire un comportamento d'insieme della struttura, ottenendo il miglioramento di una classe e poi il rinforzo per perseguire il miglioramento sismico.**

### **C'E' ANCORA MOLTO DA FARE...**

- **Ottimizzare gli interventi per tipologie costruttive**
- **Ottimizzare i costi riferiti ai livelli operativi**
- **Integrare i dati sul costruito con i dati sulla microzonazione sismica e sul dissesto idrogeologico**