

*Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture.  
Università degli Studi di Salerno- Consorzio ReLUIS  
12-13 Febbraio 2007*

**AFFIDABILITÀ SISMICA DI TELAI COMPOSTI ACCIAIO-  
CALCESTRUZZO IN PRESENZA DI ALEATORietà DELLE  
PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI**

Vincenzo PILUSO, Gianvittorio RIZZANO, Immacolata TOLONE

*Dipartimento di Ingegneria Civile – Università di SALERNO*



A causa dell'elevato numero delle **SORGENTI DI ALEATORietà**, la valutazione della risposta sismica strutturale è notevolmente complessa. Tale difficoltà è imputabile alle seguenti due classi di incertezza:

● **INCERTEZZA ALEATORIA: VARIABILITA' NATURALE**

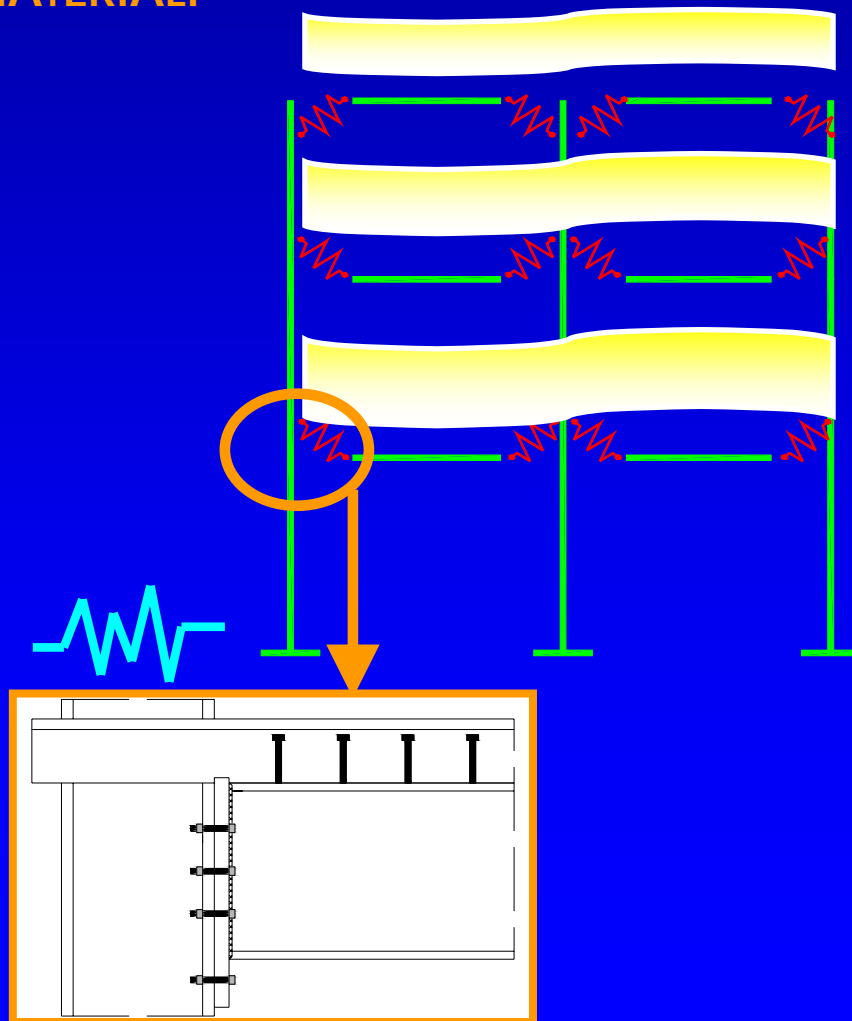
entità dei carichi,  
intensità e caratteristiche accelerometriche di un evento sismico futuro,  
proprietà meccaniche dei materiali,  
comportamento isteretico degli elementi dissipativi e dei collegamenti.

● **INCERTEZZA EPISTEMOLOGICA: INCOMPLETA CONOSCENZA DEI FENOMENI ESAMINATI**

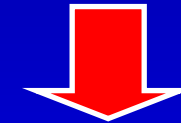
grado di accuratezza della modellazione di uno schema strutturale,  
l'imperfetta conoscenza della distribuzione statistica dei dati di input del modello strutturale e dei parametri che descrivono tali leggi (*inferenza statistica*).

## ALEATORIETÀ CONSIDERATE:

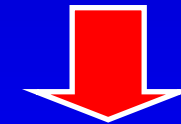
1. SISMA
2. PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI



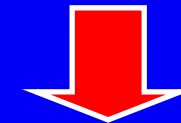
L'ALEATORIETÀ DELLA  
RISPOSTA ROTAZIONALE dei  
nodi trave-colonna assume  
primaria importanza



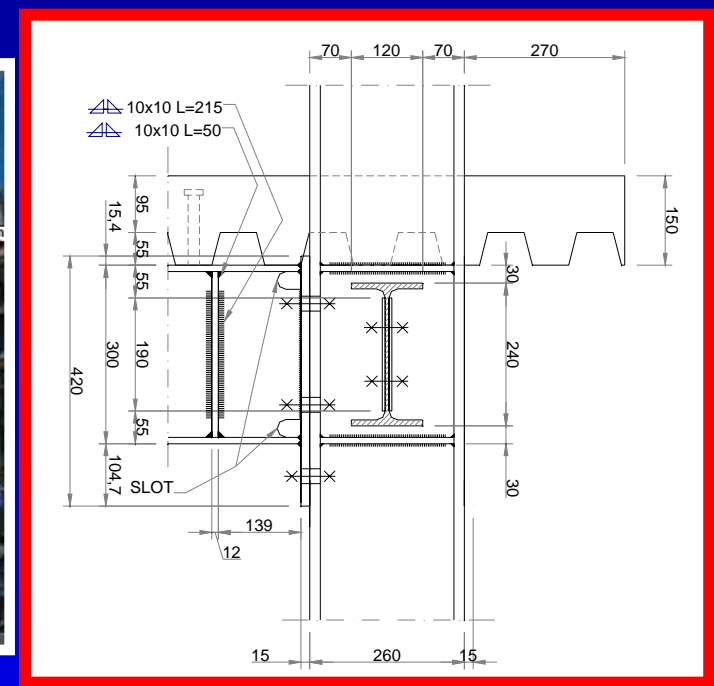
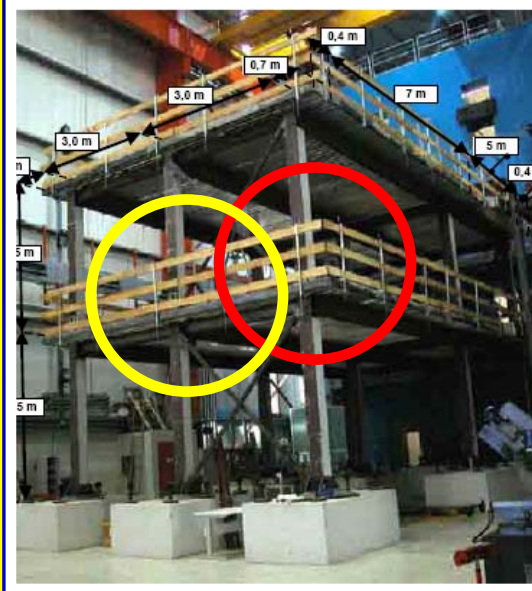
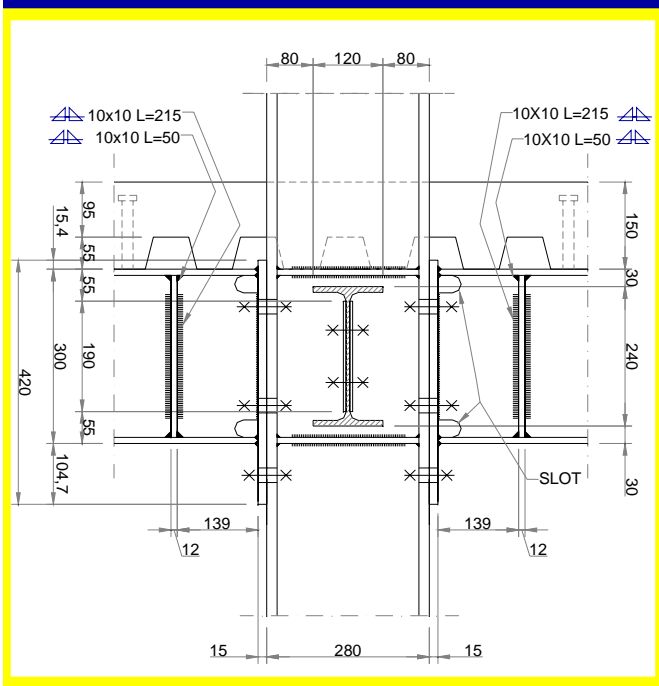
influisce sulla LOCALIZZAZIONE  
DELLE ZONE DISSIPATIVE



nel caso di  
NODI A PARZIALE RIPRISTINO



i collegamenti rappresentano  
ZONE DISSIPATIVE DEL TELAIO



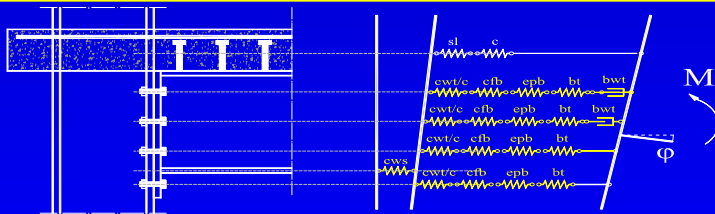
**CASO-STUDIO:** struttura intelaiata composta acciaio-clt, progettata secondo l'EC8, a nodi semirigidi, realizzata in scala reale e sottoposta a prove pseudo-dinamiche presso il Laboratorio Elsa del Joint Research Centre (Ispra, Italy) (Bursi et al. 2004).

risultati delle prove pseudo-dinamiche eseguite sul telaio composto.

risultati delle prove sperimentali cicliche eseguite, presso l'Università di Pisa, sui nodi della struttura.

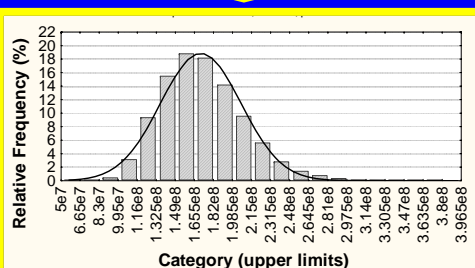
# VALUTAZIONE DELL'INFLUENZA DELL'ALEATORIETÀ DELLA RISPOSTA ROTAZIONALE DEI COLLEGAMENTI TRAVE-COLONNA SULLA RISPOSTA SISMICA STRUTTURALE

## INFLUENZA DELL'ALEATORIETÀ DEL MATERIALE SULLA RISPOSTA ROTAZIONALE DEI COLLEGAMENTI TRAVE-COLONNA



## SIMULAZIONE DI MONTE CARLO

- resistenza ultima dei bulloni
- resistenza ultima del calcestruzzo
- tensione di snervamento dei connettori
- tensione di snervamento della flangia di estremità
- tensione di snervamento dei piatti che costituiscono trave e colonna

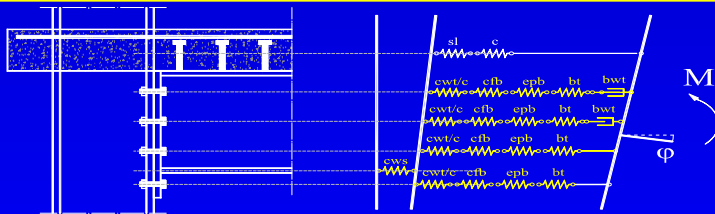


## DISTRIBUZIONE DI TIPO LOGNORMALE

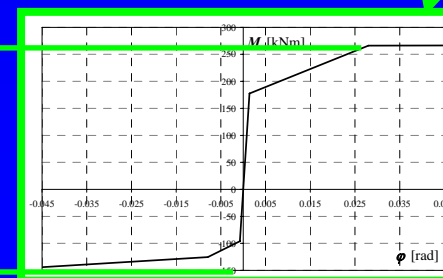
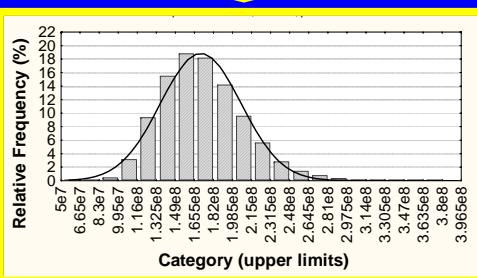
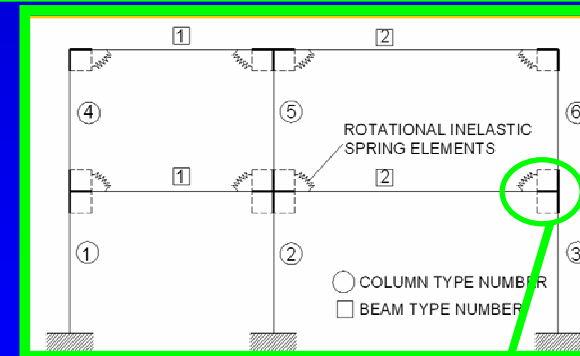
# VALUTAZIONE DELL'INFLUENZA DELL'ALEATORIETÀ DELLA RISPOSTA ROTAZIONALE DEI COLLEGAMENTI TRAVE-COLONNA SULLA RISPOSTA SISMICA STRUTTURALE

INFLUENZA DELL'ALEATORIETÀ DEL MATERIALE SULLA RISPOSTA ROTAZIONALE DEI COLLEGAMENTI TRAVE-COLONNA

INFLUENZA DELLA VARIABILITÀ DELLA RESISTENZA FLESSIONALE DEI NODI SUL COMPORTAMENTO GLOBALE DEL TELAIO



SIMULAZIONE DI MONTE CARLO



Eq. PEER

$$H_D(d) = \int P[D > d | S_a = x] \cdot \left| \frac{dH_{S_a}}{dx} \right| dx = \int G_D(d | S_a = x) \cdot \left| \frac{dH_{S_a}}{dx} \right| dx$$

$$H_{LS} = \int H_D(c) \cdot f_C(c)$$

2

1

3

1  $H_{S_a}(s_a)$  è la frequenza media annua di superare un fissato valore di  $S_a$

PSHA

Probabilistic Seismic Hazard Analysis

2 Probabilità che la variabile assunta come misura del danno strutturale  $D$  superi un fissato valore  $d$ , condizionata al raggiungimento di un fissato valore limite  $x$  dell'accelerazione spettrale

PSDA

Probabilistic Seismic Demand Analysis

3  $f_C(c)$  è la funzione densità di probabilità della capacità strutturale  $C$ .

PSCA

Probabilistic Seismic Capacity Analysis

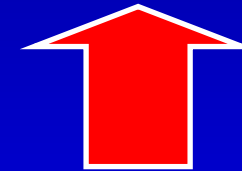
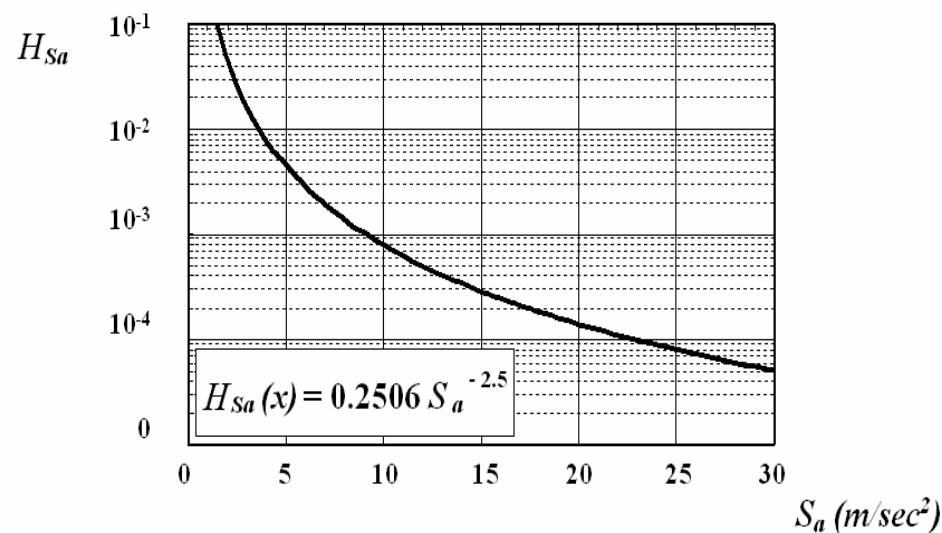
Eq. PEER

$$H_{LS} = k_0 \left( \frac{\eta_C}{a} \right)^{\frac{k}{b}} \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{k^2}{b^2} \cdot \left( \beta_{D|S_a}^2 + \beta_C^2 \right) \right]$$

## Probabilistic Seismic DEMAND Analysis

### Eurocode 8- Part 2: Bridges

$$\frac{PGA}{PGA_{475}} = \left( \frac{t_r}{t_{ro}} \right)^z \quad \rightarrow \quad t_r \quad \rightarrow \quad \lambda_{S_a} = 1/t_r$$



## Jalayer & Cornell approach

a) Curva di pericolosità lineare nel piano bi-logaritmico

$$H_{S_a}(s_a) = P[S_a \geq s_a] = k_0 \cdot s_a^{-k}$$

b) Valore mediano della domanda:

$$\eta_{D|S_a}(x) = a \cdot S_a^b$$

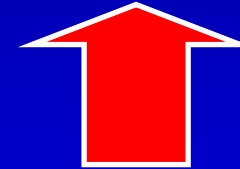
Distribuzione lognormale

c) Distribuzione lognormale della capacità

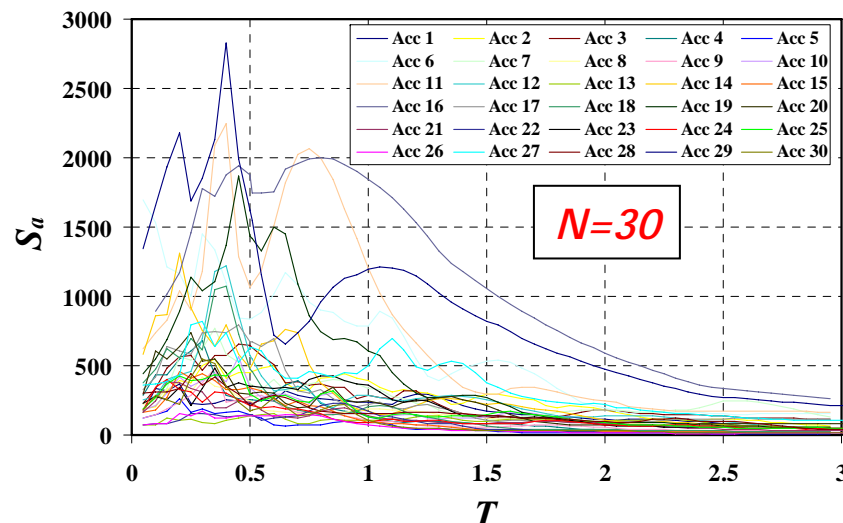


Eq. PEER

$$H_{LS} = k_0 \left( \frac{\eta_C}{a} \right)^{\frac{k}{b}} \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{k^2}{b^2} \cdot \left( \beta_{D|S_a}^2 + \beta_C^2 \right) \right]$$



### Probabilistic Seismic DEMAND Analysis



### Jalayer & Cornell approach

a) Curva di pericolosità lineare nel piano bi-logaritmico

$$H_{S_a}(s_a) = P[S_a \geq s_a] = k_0 \cdot s_a^{-k}$$

b) Valore mediano della domanda:

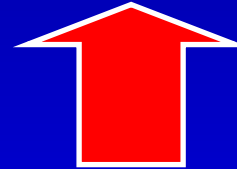
$$\eta_{D|S_a}(x) = a \cdot S_a^b$$

Distribuzione lognormale

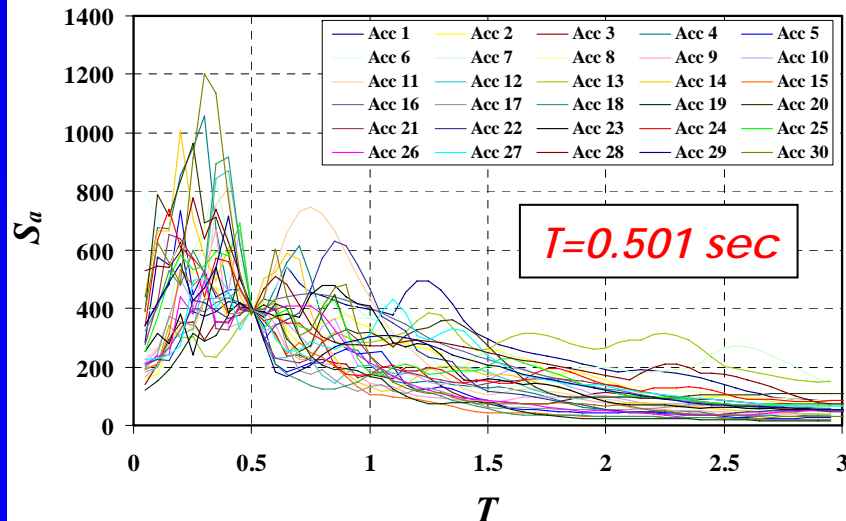
c) Distribuzione lognormale della capacità

Eq. PEER

$$H_{LS} = k_0 \left( \frac{\eta_C}{a} \right)^{\frac{k}{b}} \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{k^2}{b^2} \cdot \left( \beta_{D|S_a}^2 + \beta_C^2 \right) \right]$$



### Probabilistic Seismic DEMAND Analysis



### Jalayer & Cornell approach

a) Curva di pericolosità lineare nel piano bi-logaritmico

$$H_{S_a}(s_a) = P[S_a \geq s_a] = k_0 \cdot s_a^{-k}$$

b) Valore mediano della domanda:

$$\eta_{D|S_a}(x) = a \cdot S_a^b$$

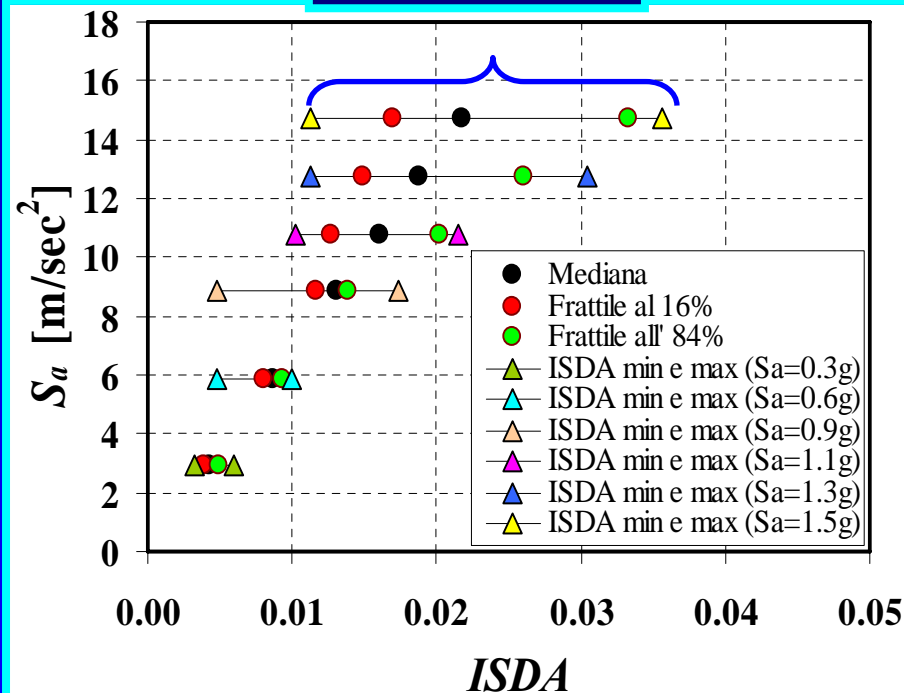
Distribuzione lognormale

c) Distribuzione lognormale della capacità

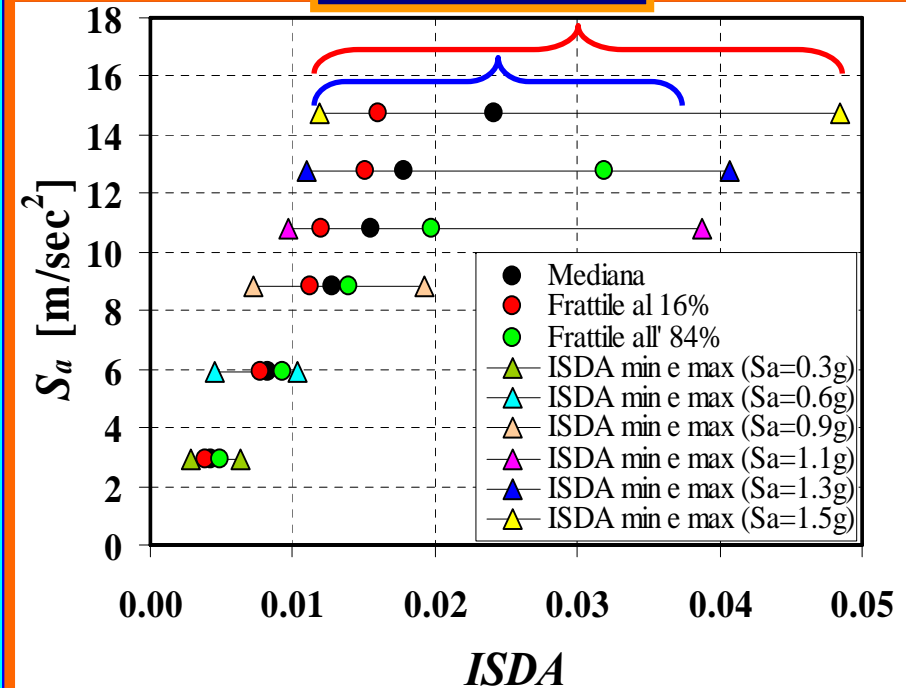
Eq. PEER

$$H_{LS} = k_0 \left( \frac{\eta_C}{a} \right)^{\frac{k}{b}} \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{k^2}{b^2} \cdot \left( \beta_{D|Sa}^2 + \beta_C^2 \right) \right]$$

SOLO SISMA



SISMA+NODI



N° accelerogrammi=30  
N° accelerazioni spettrali=6  
N°totali di analisi=30x6=180

N° accelerogrammi=30  
N° accelerazioni spettrali=6  
N° telai=300  
N°totali di analisi=30x6x300=54'000

Eq. PEER

$$H_{LS} = k_0 \left( \frac{\eta_C}{a} \right)^{-\frac{k}{b}} \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{k^2}{b^2} \cdot \left( \beta_{D|Sa}^2 + \beta_C^2 \right) \right]$$

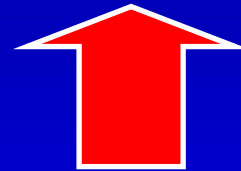
$$\beta_{D|Sa|RU}^2 = \beta_{D|Sa|\sigma m=0}^2 + \beta_{D|Sa|\sigma m \neq 0}^2$$

$s_a/g$	$s_a$	$\beta_{D Sa RU}$	$\beta_{D Sa \sigma m=0}$	$\beta_{D Sa \sigma m \neq 0}$
0.1	2.944	0.12007	0.11999	0.00430
0.6	5.889	0.08560	0.07869	0.03369
0.9	8.833	0.14070	0.08509	0.11205
1.1	10.796	0.24899	0.23312	0.08746
1.3	12.759	0.37475	0.27869	0.25053
1.5	14.722	0.41136	0.33861	0.23359

raggiungendo anche valori pari al 50% della dispersione totale

**Eq. PEER**

$$H_{LS} = k_0 \left( \frac{\eta_C}{a} \right)^{\frac{k}{b}} \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{k^2}{b^2} \cdot \left( \beta_{D|S_a}^2 + \beta_C^2 \right) \right]$$



Probabilistic Seismic CAPACITY Analysis

$\eta_C$	ISDA
FULLY OPERATIONAL	0.2%
OPERATIONAL	0.5%
LIFE SAFE	1.5%
COLLAPSE	2.5%

$\beta_C = 0$

**Jalayer & Cornell approach**

a) Curva di pericolosità lineare nel piano bi-logaritmico

$$H_{S_a}(s_a) = P[S_a \geq s_a] = k_0 \cdot s_a^{-k}$$

b) Valore mediano della domanda:

$$\eta_{D|S_a}(x) = a \cdot S_a^b$$

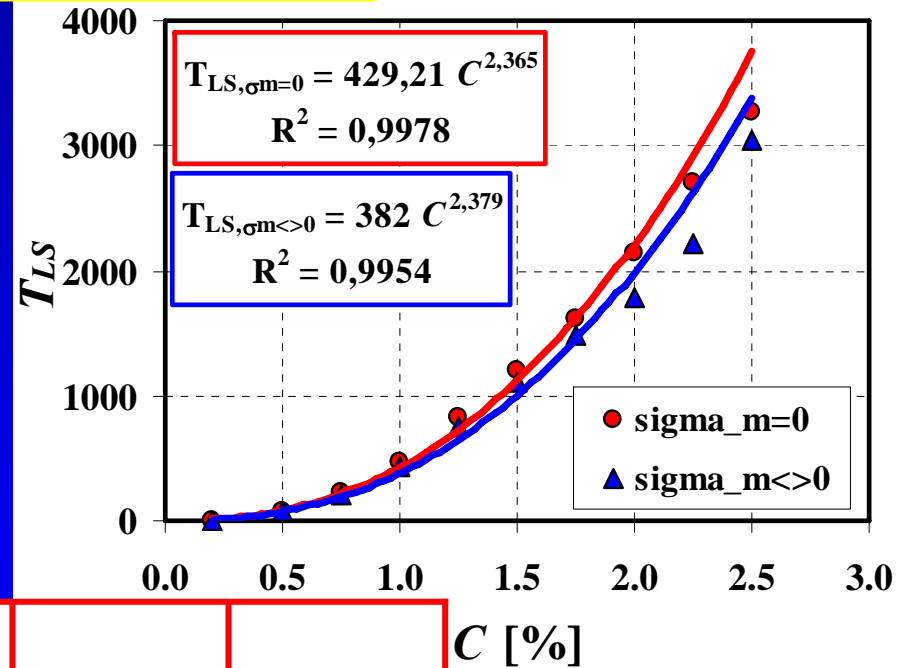
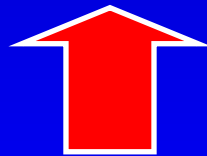
Distribuzione lognormale

c) Distribuzione lognormale della capacità

**Eq. PEER**

$$H_{LS} = k_0 \left( \frac{\eta C}{a} \right)^{-\frac{k}{b}} \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{k^2}{b^2} \cdot \beta_{D|Sa}^2 \right] \rightarrow T_{LS} = 1/H_{LS}$$

$$H_{LS,RU} > 1.10 H_{LS,\sigma m}$$



Livello prestazionale	C [%]	$H_{LS \sigma m=0}$	$H_{LS \sigma m \neq 0}$	$T_{LS \sigma m=0}$	$T_{LS \sigma m \neq 0}$
Fully Operational	0,20	0,11685	0,14286	9	7
Operational	0,50	0,01193	0,01316	84	76
Life Safe	1,50	0,00083	0,00090	1211	1107
Near Collapse	2,50	0,00031	0,00033	3272	3033

- La **LEGGE DI DISTRIBUZIONE STATISTICA** che approssima in modo migliore i risultati ottenuti in termini di **resistenza flessionale dei collegamenti semirigidi** analizzati è di tipo **LOGNORMALE**.
- La **DISPERSIONE**  $\beta_{D|S_a}$  non è costante al variare di  $S_a$ , ma tende a crescere al crescere di  $S_a$ .
  - Con riferimento all'influenza della variabilità della resistenza flessionale dei nodi sulla risposta strutturale, tale variabilità comporta un aumento non trascurabile della dispersione della risposta sismica strutturale rispetto al caso in cui si consideri solo il sisma come variabile aleatoria, essendo i nodi a parziale ripristino di resistenza.
- Tale dispersione incide in maniera non significativamente determinante sulla **valutazione della FREQUENZA MEDIA ANNUA DI SUPERAMENTO DI UNO STATO LIMITE**, ottenendo per quest'ultima un **INCREMENTO DI CIRCA IL 10%** rispetto a quelli ottenuti nel caso in cui tale variabilità venga trascurata.
- Con riferimento allo stato limite "Near Collapse",  $H_{LS}$  assume un valore pari a 0.00031, circa 3 volte il limite massimo, 0.0001, previsto dal **NTUC 2005**. Tale risultato, considerando che il caso esaminato rappresenta una soluzione strutturale progettata secondo i codici più avanzati (Eurocodice 8) impone una riflessione ai fini di UN'ACCURATA DEFINIZIONE PROBABILISTICA DELLA SICUREZZA STRUTTURALE ANCHE IN ZONA SISMICA.