



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI NAPOLI FEDERICO II

# **Il rischio delle strutture progettate secondo le NTC: come e perché.**

**Iunio Iervolino**

## Il progetto rischio-implicito NTC 2015-2017

1. Valutare il tasso (probabilità) di fallimento annuale (funzionalità impedita e collasso globale) per edifici progettati secondo le correnti norme tecniche (NTC 08-18).
2. La progettazione è avvenuta per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e per stato limite di danno limitato (SLD) secondo i metodi più comuni nella pratica professionale.
3. Si sono considerate cinque tipologie costruttive: muratura, cemento armato ordinario e prefabbricato, acciaio, edifici isolati alla base.
4. Si sono considerati cinque siti in Italia (e due categorie di suolo A e C).
5. La valutazione del tasso di fallimento è avvenuta integrando le curve di pericolosità con i risultati di analisi dinamiche non lineari, secondo un approccio allo stato dell'arte della ricerca.



UNIVERSITÀ DEGLI  
STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II



IUSS  
Scuola Universitaria Superiore Pavia



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



Università degli Studi  
Basilicata



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

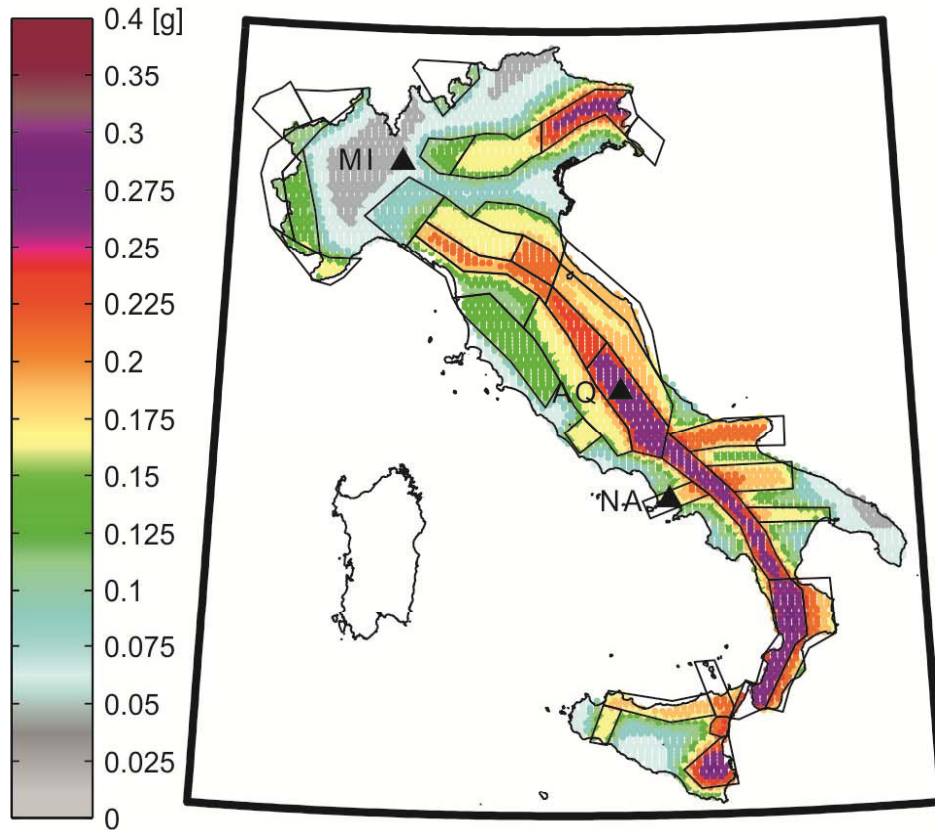


UNIVERSITÀ  
DI CAMERINO

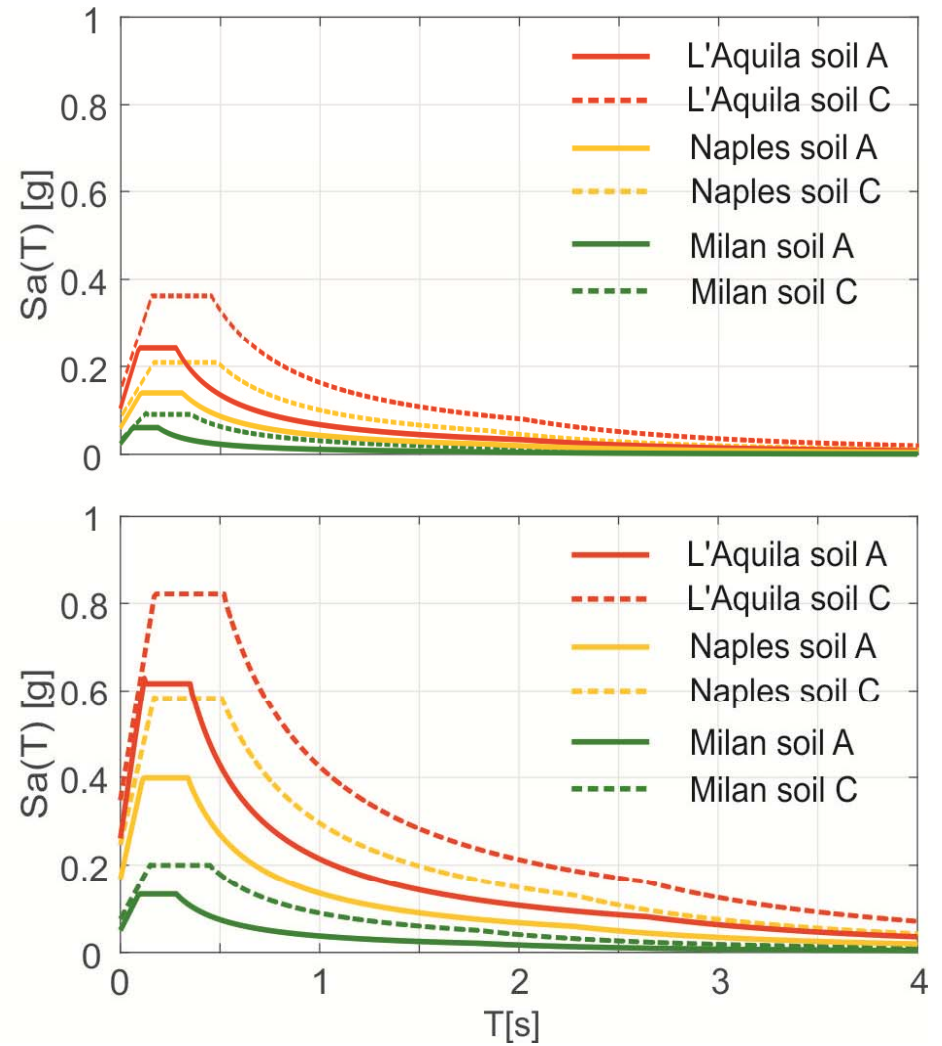


Università degli Studi di Pavia

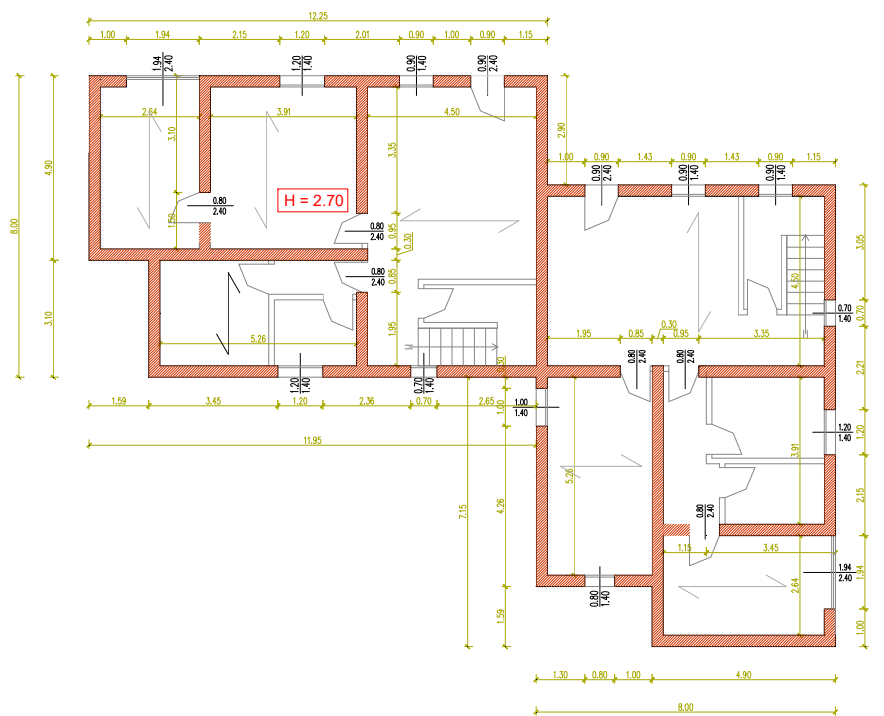
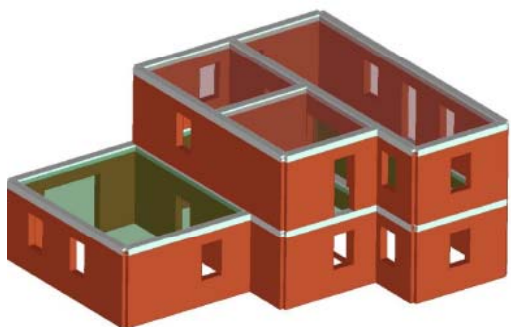
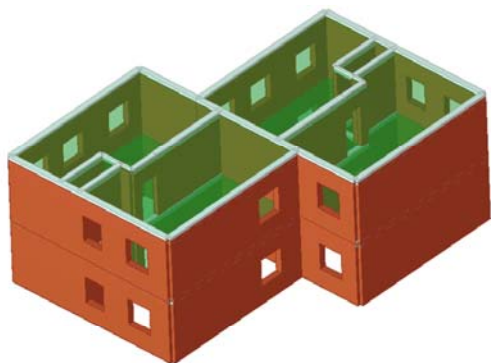
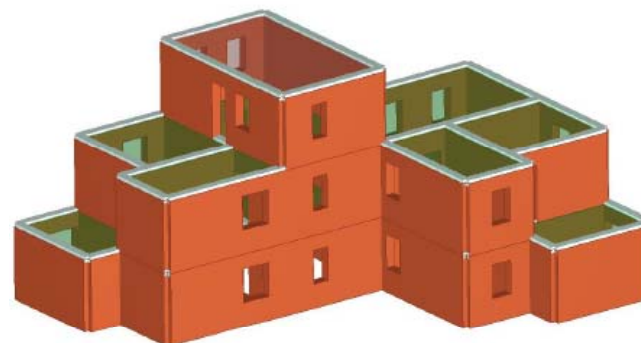
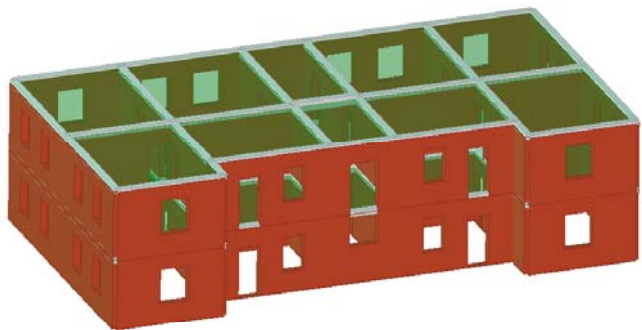
# Siti e stati-limite



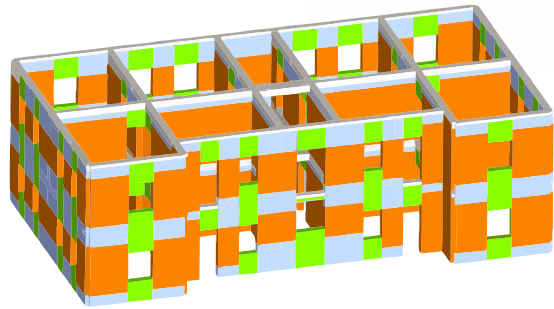
Site	PGA (475) [g] (Soil A-type)	PGA (475) [g] (Soil C-type)
Milano	0.0495	0.0743
Napoli	0.1668	0.24338
L'Aquila	0.2607	0.3451



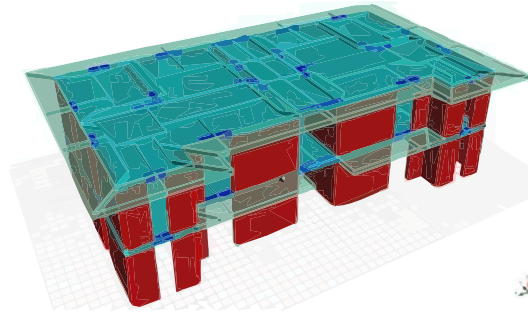
# URM – Edifici in muratura (1/2)



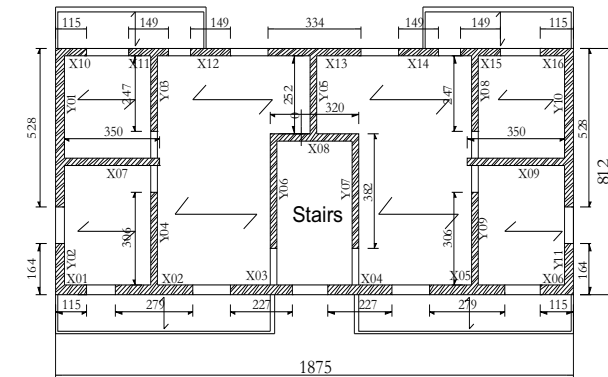
## URM – Edifici in muratura (2/2)



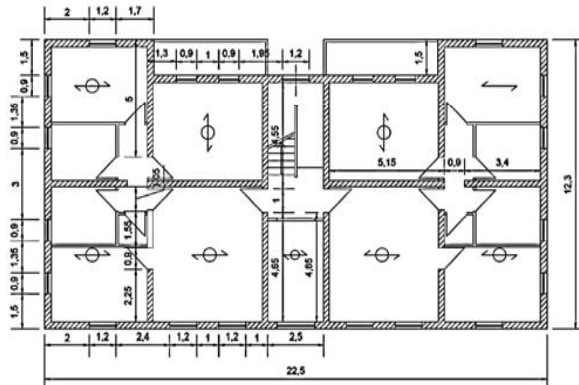
(a)



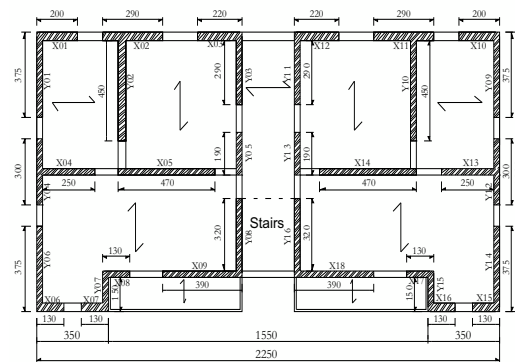
(c)



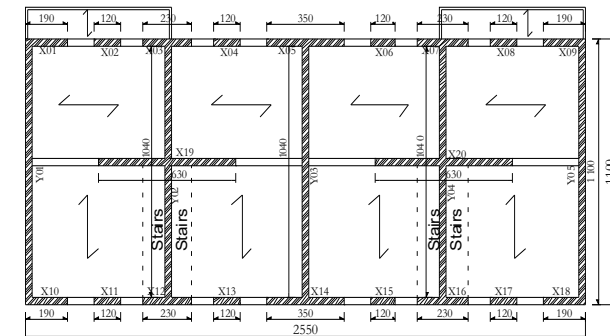
(e)



(b)



(d)

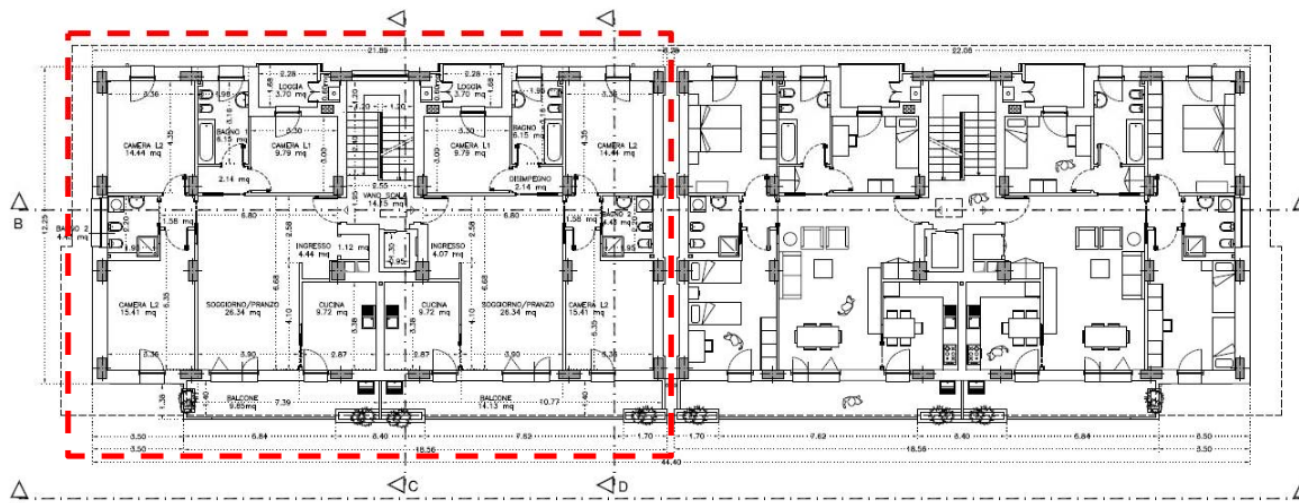


(f)

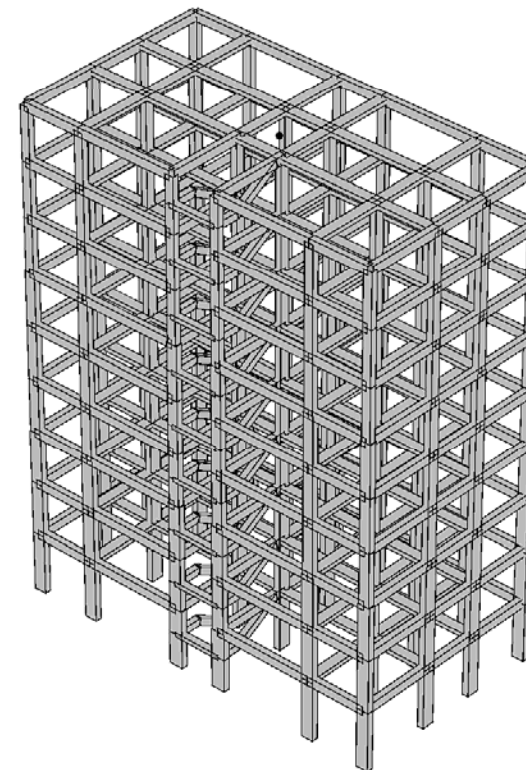
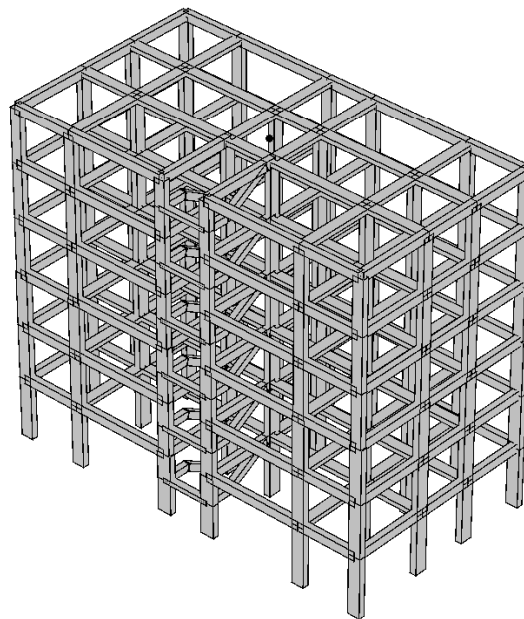
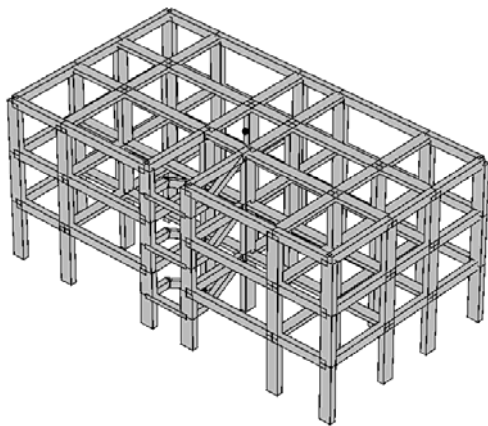
1. Edifici a due e tre piani.
2. Regolari e irregolari.
3. Progettazione con edificio semplice, telaio equivalente ( $q = 3.6$ ) e approccio statico non lineare.
4. Modellazione e analisi in TREMURI.



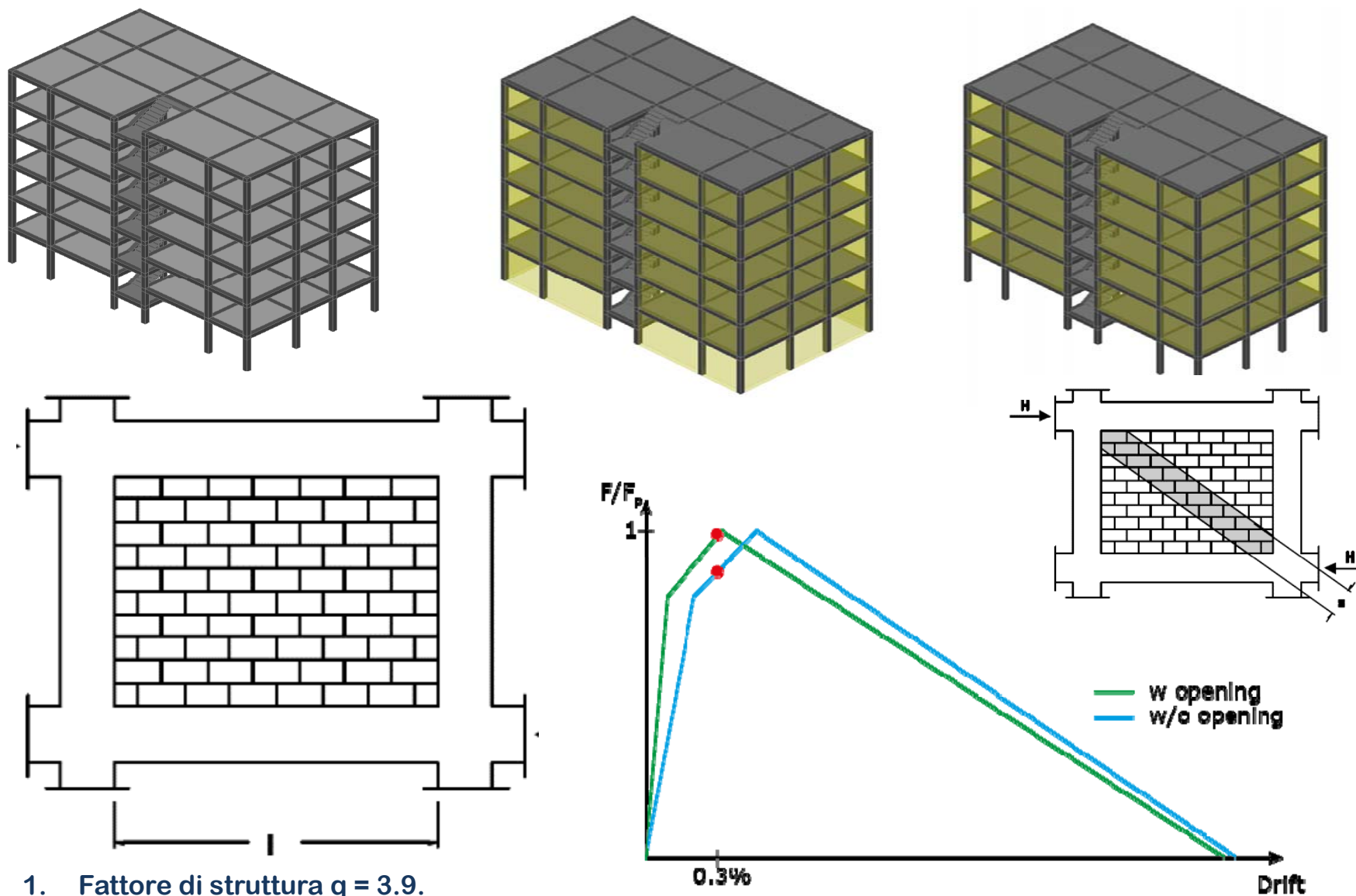
## Edifici in cemento armato ordinario (1/2)



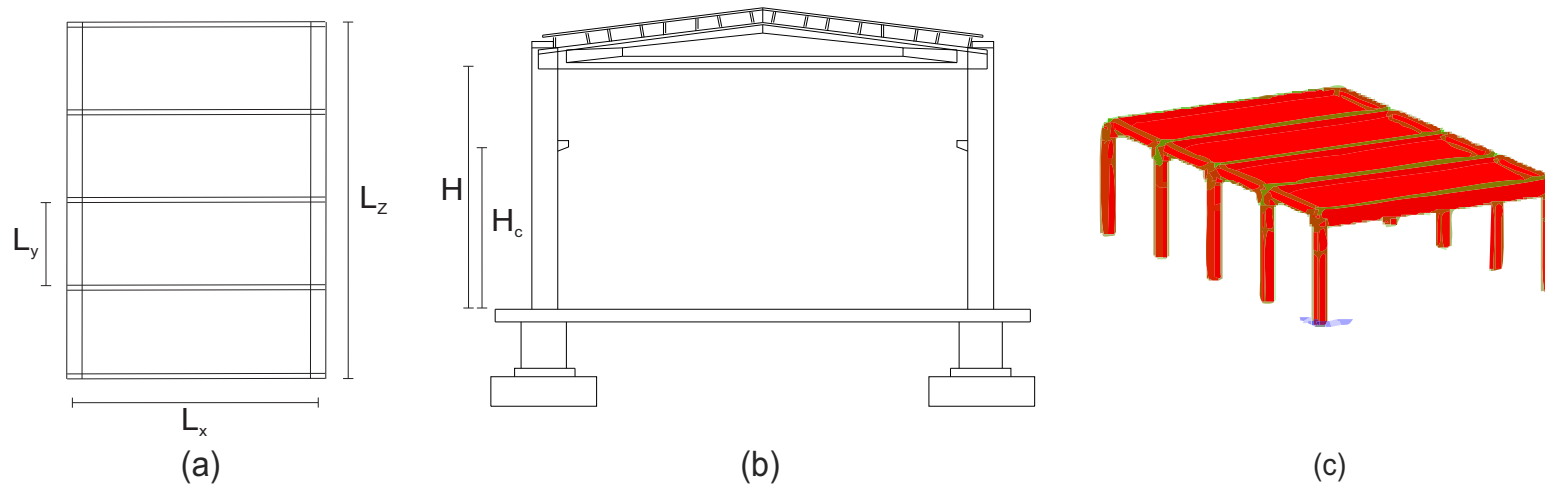
Superficie di piano: **252 m<sup>2</sup>**  
Tipologia copertura: **piana**  
Tipologia scala: **a ginocchio**



## Edifici in cemento armato ordinario (2/2)



# Edifici industriali monopiano in CA prefabbricato

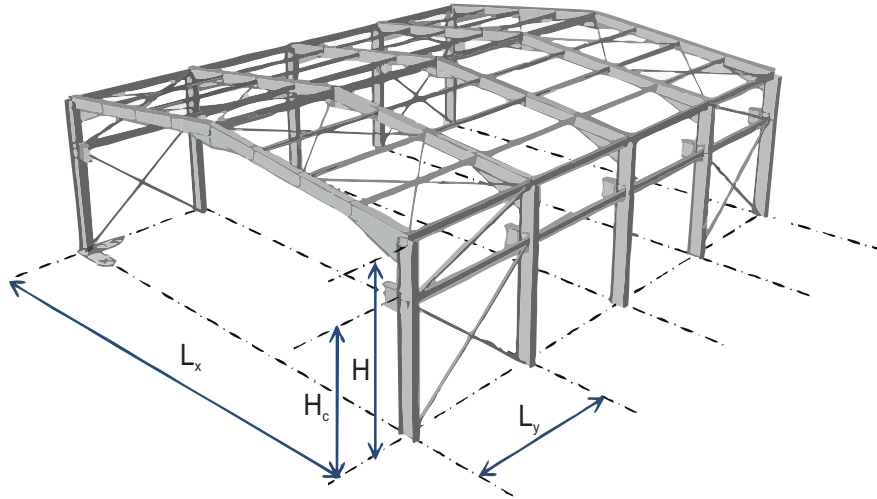


Geometry	Lx [m]	Ly [m]	H [m]	Hc [m]
1	15	6	6	4.5
2	20	8	6	4.5
3	15	6	9	7.5
4	20	8	9	7.5

- Fattore di struttura  $q_h = 2.5$ ,  $q_v = 1.5$ ;
- Modellazione e analisi in OPENSEES.



# Edifici industriali monopiano in acciaio



	Snow	Wind	EQ	EQ
Sito	$q_s$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$a_{g,SLV}$	$a_{g,SLD}$
Milano	1.20	0.39	0.050	0.024
L'Aquila	1.31	0.61	0.261	0.104
Napoli	0.48	0.46	0.168	0.060

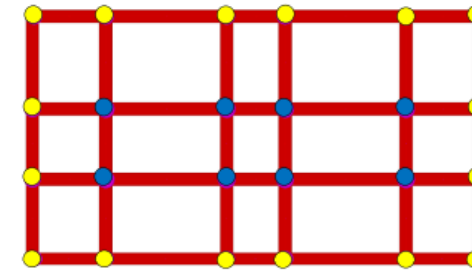
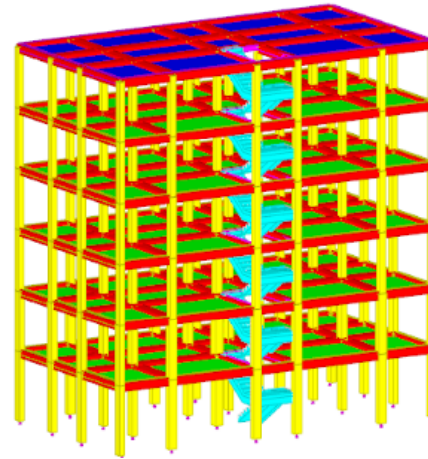
Geometry	Lx [m]	Ly [m]	H [m]	Hc [m]
1	20	6	6	4.5
2	20	8	6	4.5
3	30	6	9	6
4	30	8	9	6

1. Fattore di struttura  $q = 4$ ;

2. Modellazione e analisi in OPENSEES.

# Edifici isolati alla base

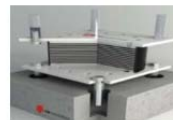
	dispositivi	$T_{is}$ (s)
ISOLATORI ELASTOMERICI	n.18 SI-S 600/128 n.6 700/130	2,04
	n. 16 SI-S 550/154 n.8 600/150	2,46
ISOLATORI ELASTOMERICI E SLITTE	n. 16 SI-S 650/180 n. 8 slitte	2.84
	n. 16 SI-S 600/152 n. 8 slitte	2.84
	n. 16 SI-S 600/176 n. 8 slitte	3.04
	n. 16 SI-S 700/180 n. 8 slitte	2.66
FRICTION PENDULUM	n. 24 dispositivi R=3100	2.49
	n.24 dispositivi R=3700	3.37



● Slitta  
● HDRB



**HDRB**



**SLITTA**

**HDRB**



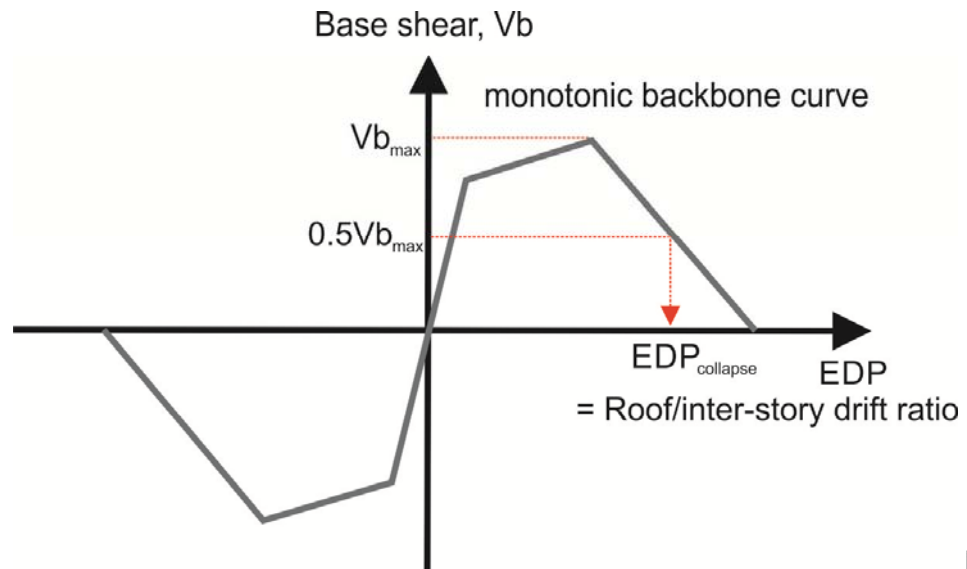
1. Fattore di struttura  $q = 1.5;$
2. Modellazione e analisi in OPENSEES.

## Tavola sinottica dei casi analizzati

		MI	CL	RM	NA	AQ	
<b>Cemento Armato</b> 42 casi	RC	<i>Soil A</i>	---	---	---	9-story (BF/PF/IF)	
		<i>Soil C</i>	3/6/9-story (BF/PF/IF)	6-story (BF/PF/IF)	6-story (BF/PF/IF)	3/6/9-story (BF/PF/IF) ModUnc	3/6/9-story (BF/PF/IF)
<b>Muratura</b> 84 casi	URM	<i>Soil A</i>	2/3-story, regular/irre- gular	2/3-story, regular	2/3-story, regular ModUnc	2/3-story, regular/irre- gular	2/3-story, regular ModUnc
		<i>Soil C</i>	2/3-story, regular/irre- gular	2/3-story, regular/irre- gular	2/3-story, regular/irre- gular	2/3-story, regular/irre- gular	2/3-story, regular/irregular
<b>Cemento Armato</b> prefabbricato 24 casi	PRC	<i>Soil A</i>	1-story, geometry 1/2/3/4	---	---	1-story, geometry 1/2/3/4	1-story, geometry 1/2/3/4
		<i>Soil C</i>	1-story, geometry 1/2/3/4	---	---	1-story, geometry 1/2/3/4	1-story, geometry 1/2/3/4
<b>Acciaio</b> 24 casi	S	<i>Soil A</i>	1-story, geometry 1/2/3/4	---	---	1-story, geometry 1/2/3/4	1-story, geometry 1/2/3/4
		<i>Soil C</i>	1-story, geometry 1/2/3/4	---	---	1-story, geometry 1/2/3/4	1-story, geometry 1/2/3/4
<b>Isolamento alla</b> base 11 casi	BI	<i>Soil A</i>	---	---	---	---	---
		<i>Soil C</i>	---	---	---	---	6-story, HDRB/HDRB+Sli- der/DCFP (11 configurations)

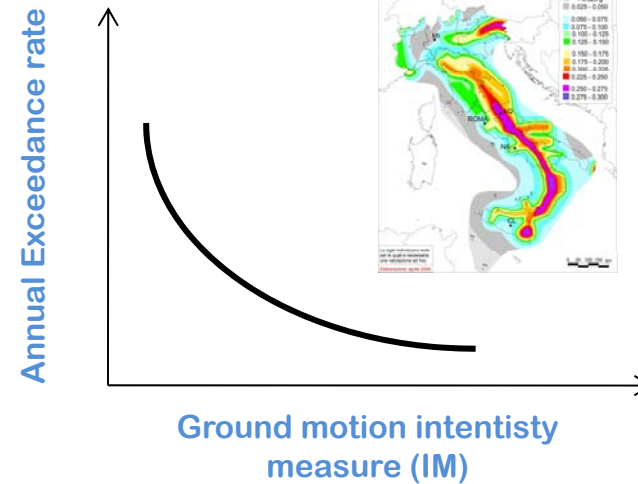
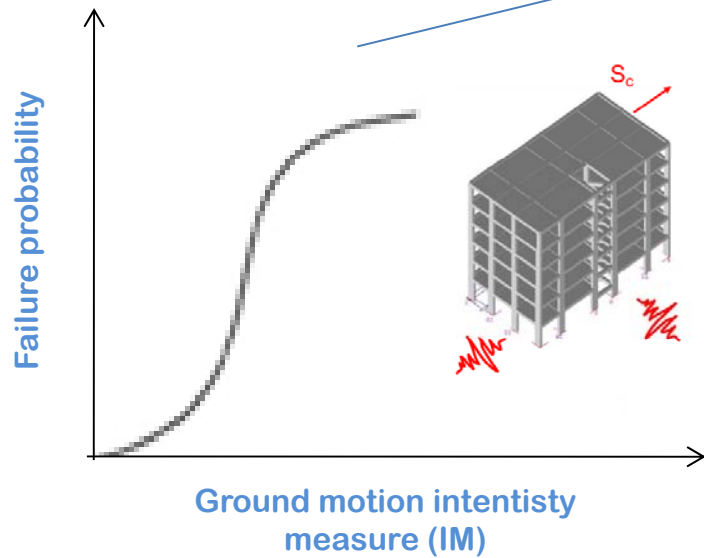
# Criteri di fallimento

## Global collapse



# Schema di calcolo del rischio

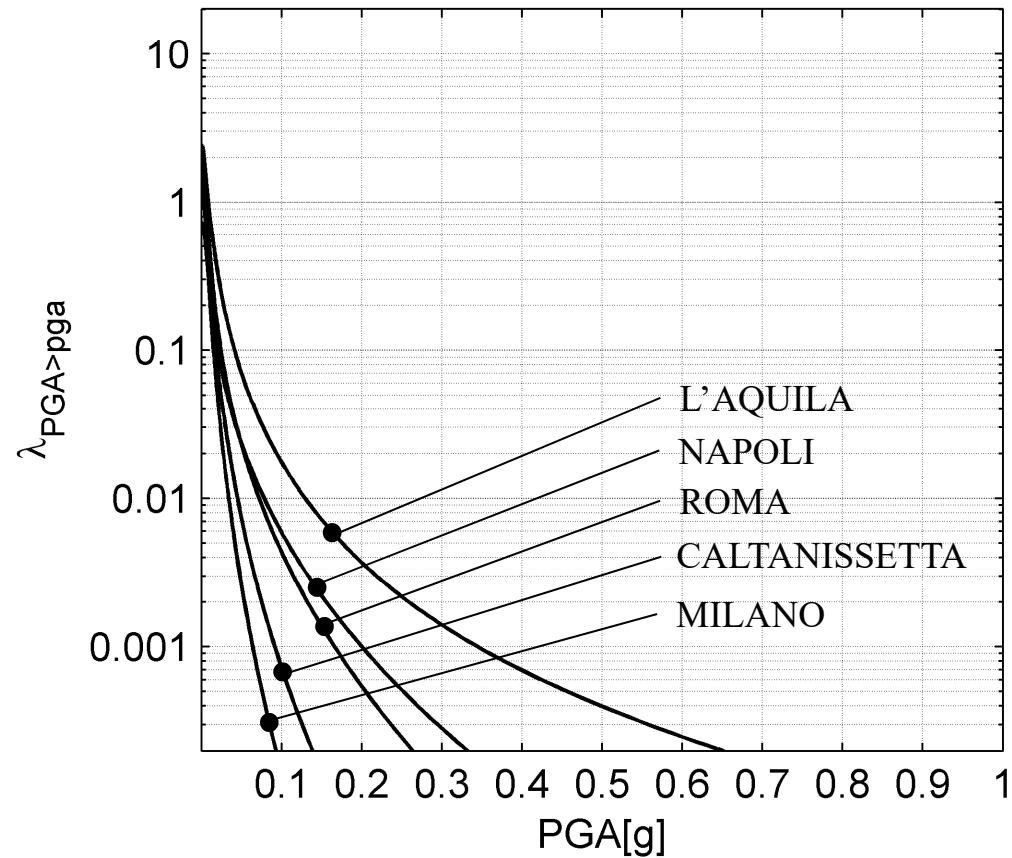
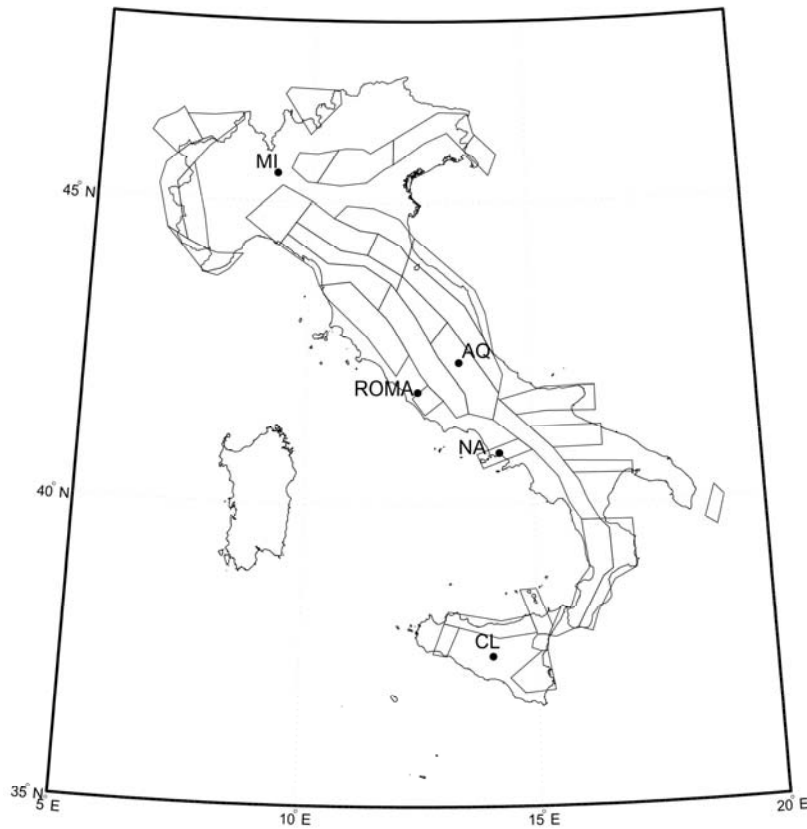
**Annual failure rate**  $\lambda_f = \int_{sa} P[f | Sa(T) = sa] \cdot \left| d\lambda_{Sa(T) > sa} \right|$



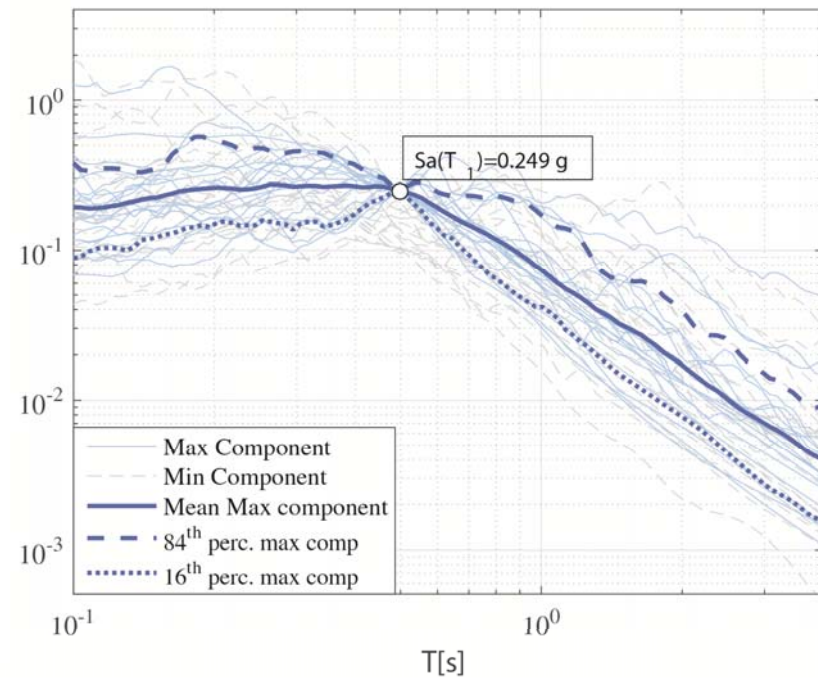
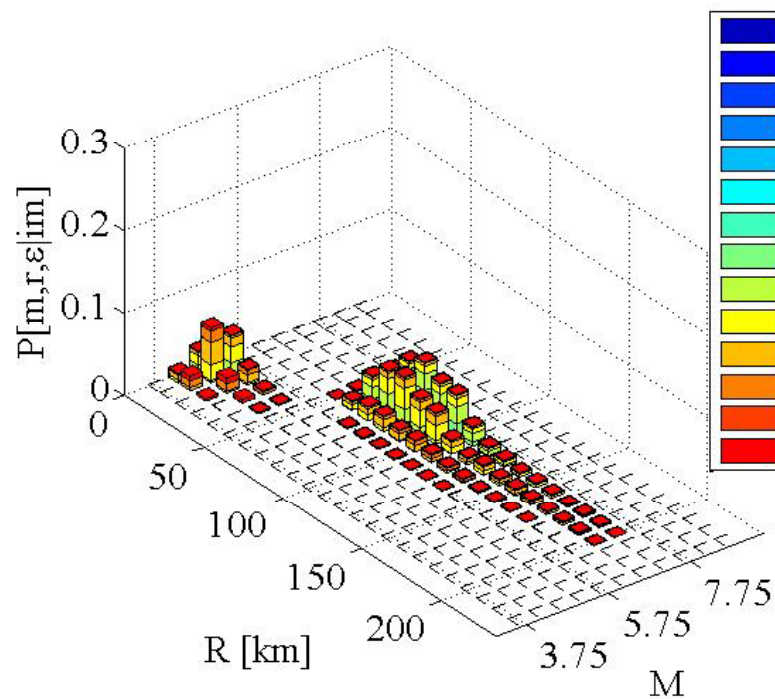


# Hazard analysis at all sites (hazard curves stopped at IM with 100,000 years return period)

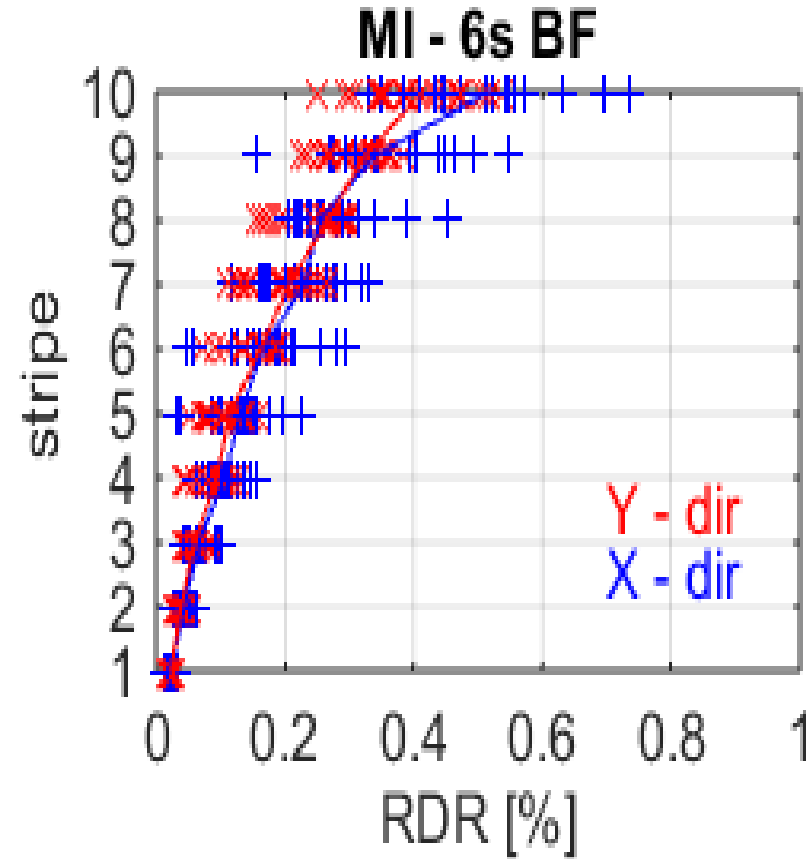
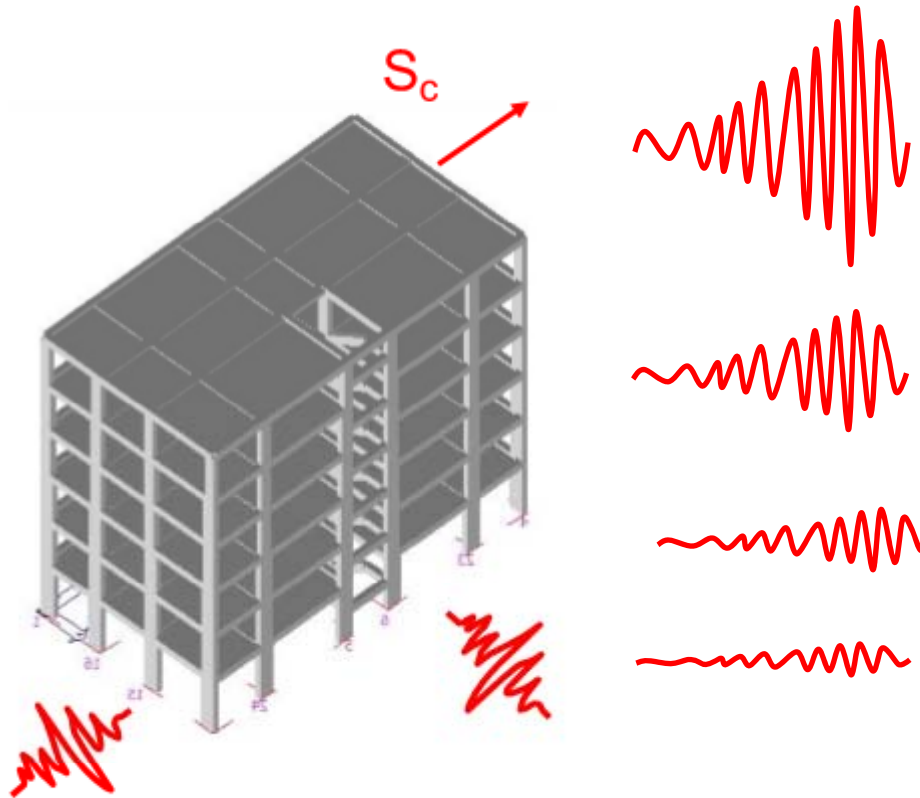
$$\lambda_{Sa(T) > sa} = \sum_{R_{min}}^{R_{max}} \sum_{M_{min}}^{M_{max}} P[Sa(T) > sa / m, r] \cdot \nu_{M=m, R=r}$$



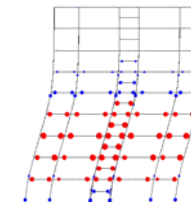
## Accelerogrammi selezionati secondo il metodo del conditional spectrum: compatibili con lo spettro dei terremoti che causano l'occorrenza della misura di intensità di interesse



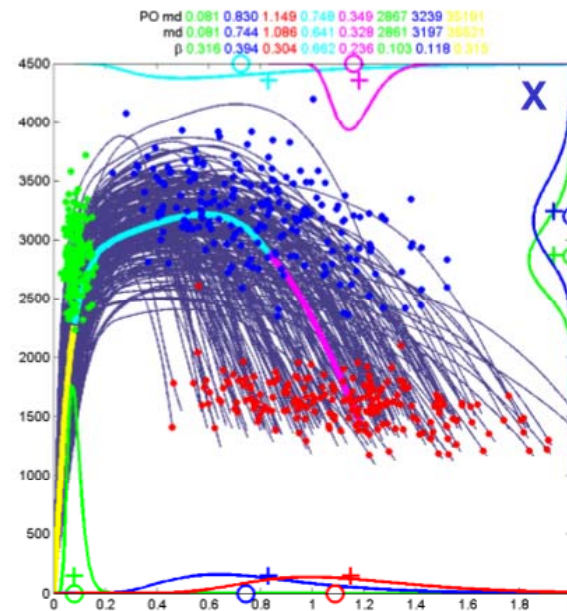
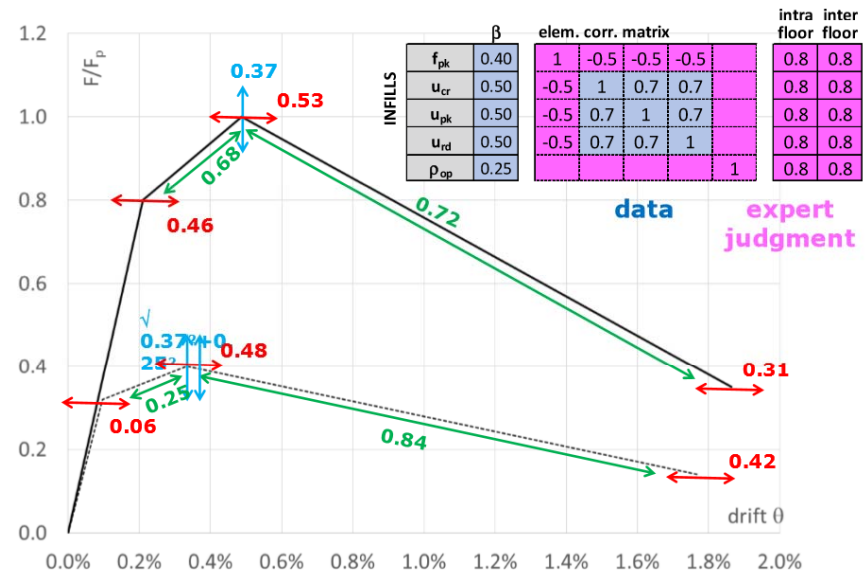
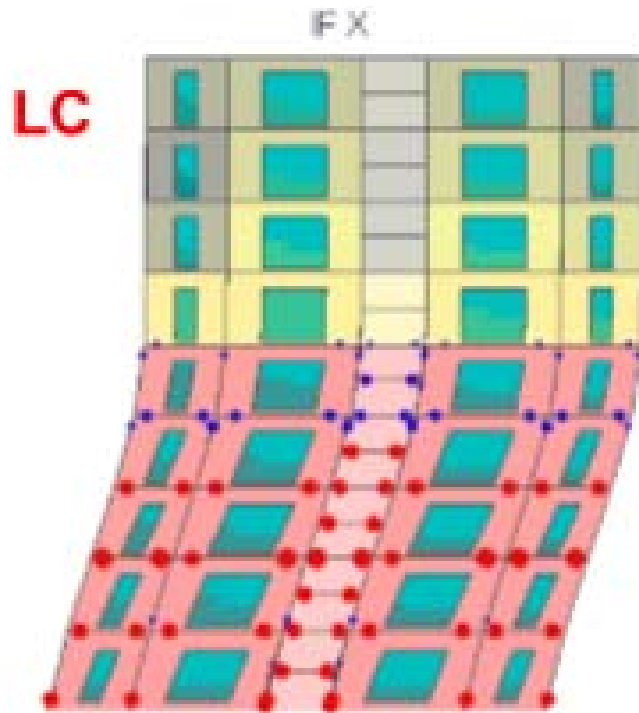
# Analisi dinamica multi-stripe



$$P[f | Sa(T) = sa] = \left\{ 1 - \Phi \left[ \frac{\log(edp_f) - \mu_{\log(EDP|Sa(T)=sa)}}{\sigma_{\log(EDP|Sa(T)=sa)}} \right] \right\} \left( 1 - \frac{N_{col,Sa(T)=sa}}{N_{tot,Sa(T)=sa}} \right) + \frac{N_{col,Sa(T)=sa}}{N_{tot,Sa(T)=sa}}$$



# Incerteza di modello



## Collasso globale – suolo C

	C-type		
	Milan	Naples	L'Aquila
URM	1.02E-05	1.15E-04	8.41E-04
PRC	1.00E-05	2.80E-05	9.98E-05
RC	1.08E-05	1.38E-05	8.56E-05
S	1.00E-05	1.05E-05	1.12E-04
BI	-	8.59E-05	6.93E-04



## Danno che impedisce l'uso – suolo C

	C-type		
	Milan	Naples	L'Aquila
URM	7.20E-05	6.27E-03	9.18E-03
PRC	6.06E-05	2.54E-03	6.01E-03
RC	1.02E-04	3.82E-03	1.03E-02
S	4.29E-05	2.10E-03	5.04E-03
BI	-	1.67E-04	1.35E-03

## Le conclusioni principali del progetto

1. Nonostante l'omogeneità del periodo di ritorno delle azioni sismiche di progetto e delle scelte altre scelte progettuali, l'affidabilità strutturale sismica tende a diminuire con la pericolosità sismica (di ordini di grandezza).
2. Per i siti meno pericolosi, i tassi di fallimento sono così bassi che è possibile fornire solo un limite superiore al tasso effettivo; d'altra parte, i tassi di fallimento degli edifici nei siti più pericolosi sono, in alcuni casi, paragonabili al tasso annuo di superamento dell'intensità sismica di progetto.
3. La modellazione dell'incertezza e l'interazione struttura-suolo hanno un impatto relativamente minore sul rischio di fallimento valutato.

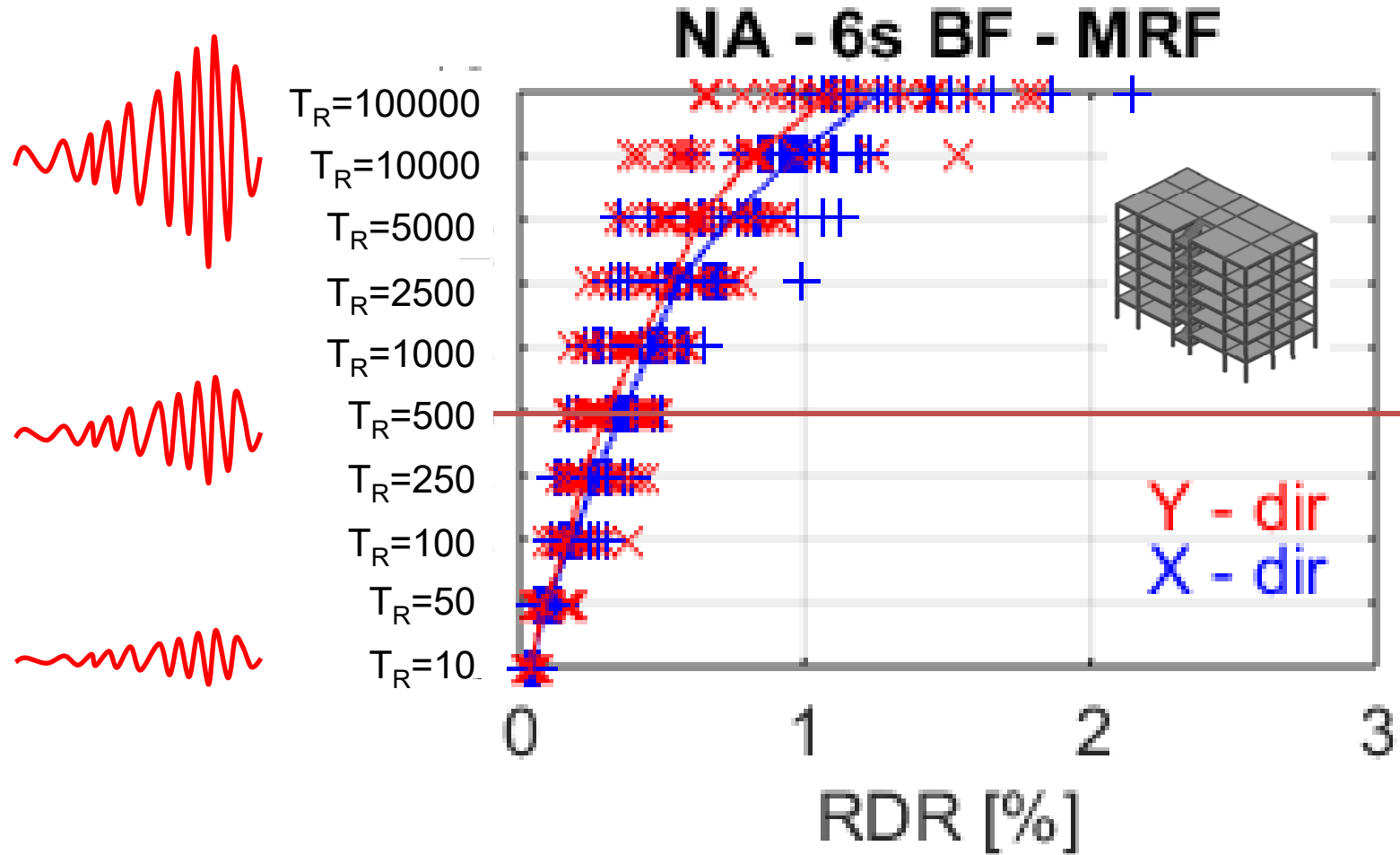


### Foreword to the Special Issue for the RINTC (The Implicit Seismic Risk of Code-Conforming Structures) Project

Lunic Iervolino <sup>a</sup> and Mauro Dolce <sup>b</sup>

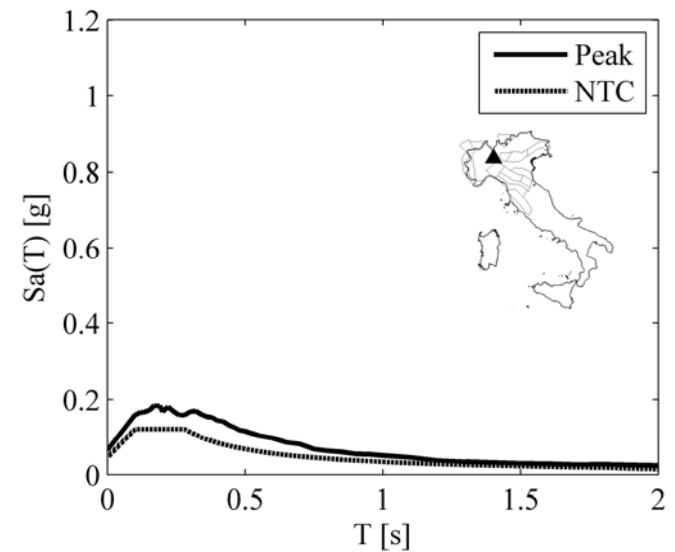
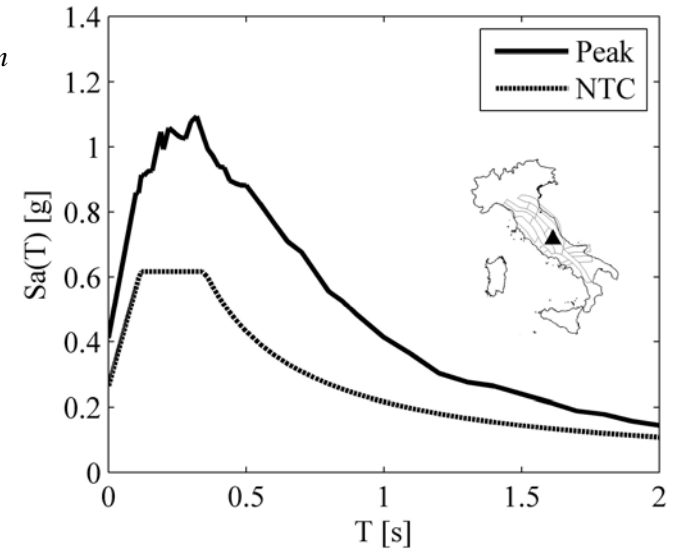
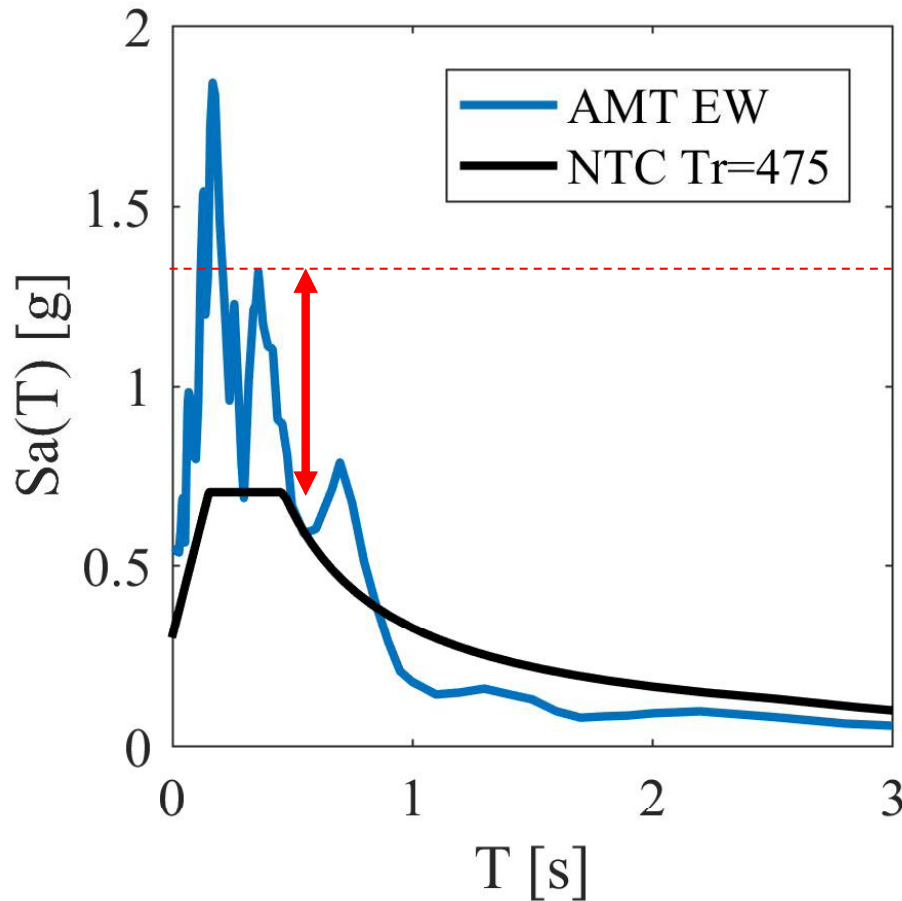
<sup>a</sup>Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Naples, Italy; <sup>b</sup>Dipartimento della Protezione Civile, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Rome, Italy

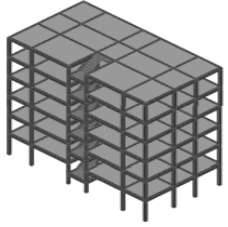
# La prestazione strutturale per intensità diverse



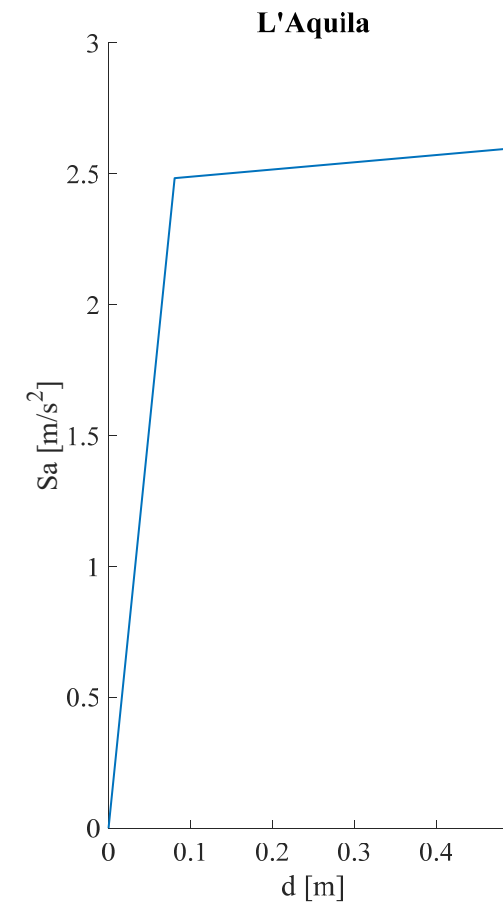
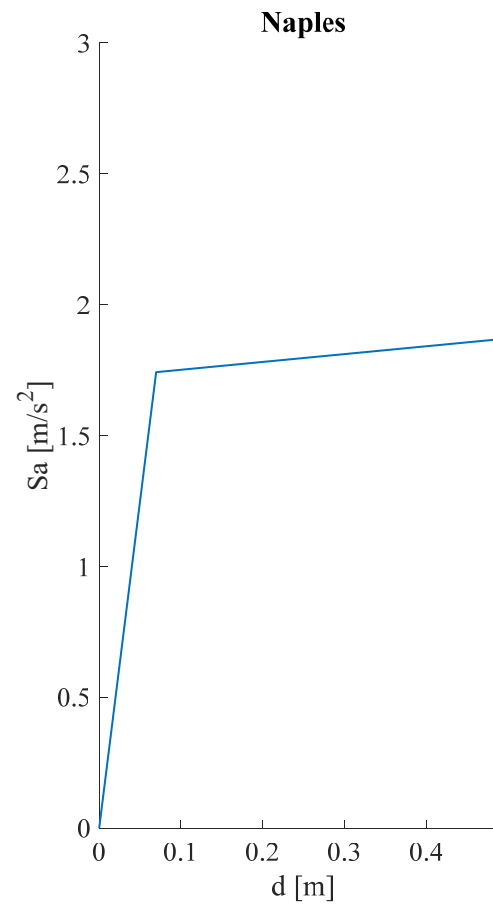
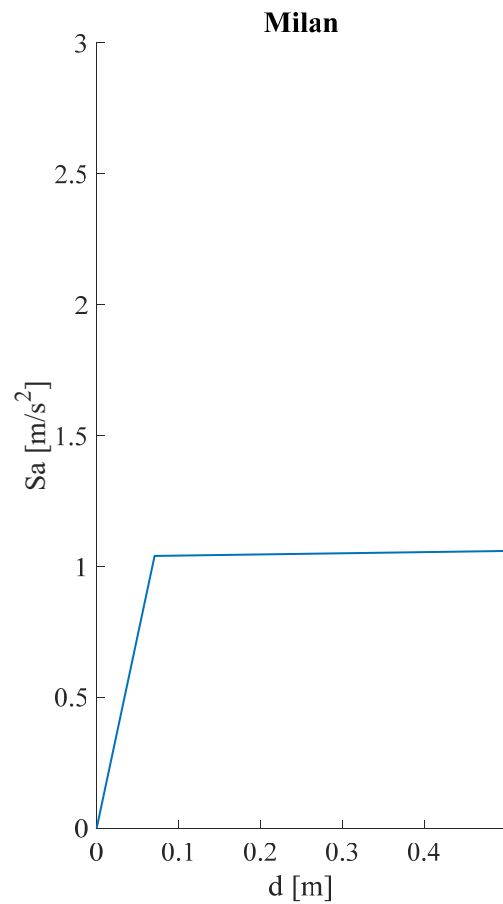
# Il picco oltre la soglia (1/2)

$$E[Sa(T) | Sa(T) > sa_{T_r=475}] = \iint_{M,R} e^{\mu_{m,r}} \cdot \int_{\frac{\log(sa_{T_r=475}) - \mu_{m,r}}{\sigma}}^{+\infty} e^{\sigma \cdot \varepsilon} \cdot f_{M,R,\varepsilon | Sa(T) > sa_{T_r=475}}(m,r,\varepsilon) \cdot d\varepsilon \cdot dr \cdot dm$$

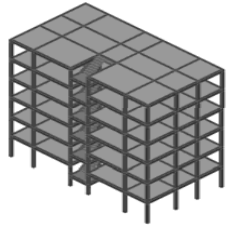




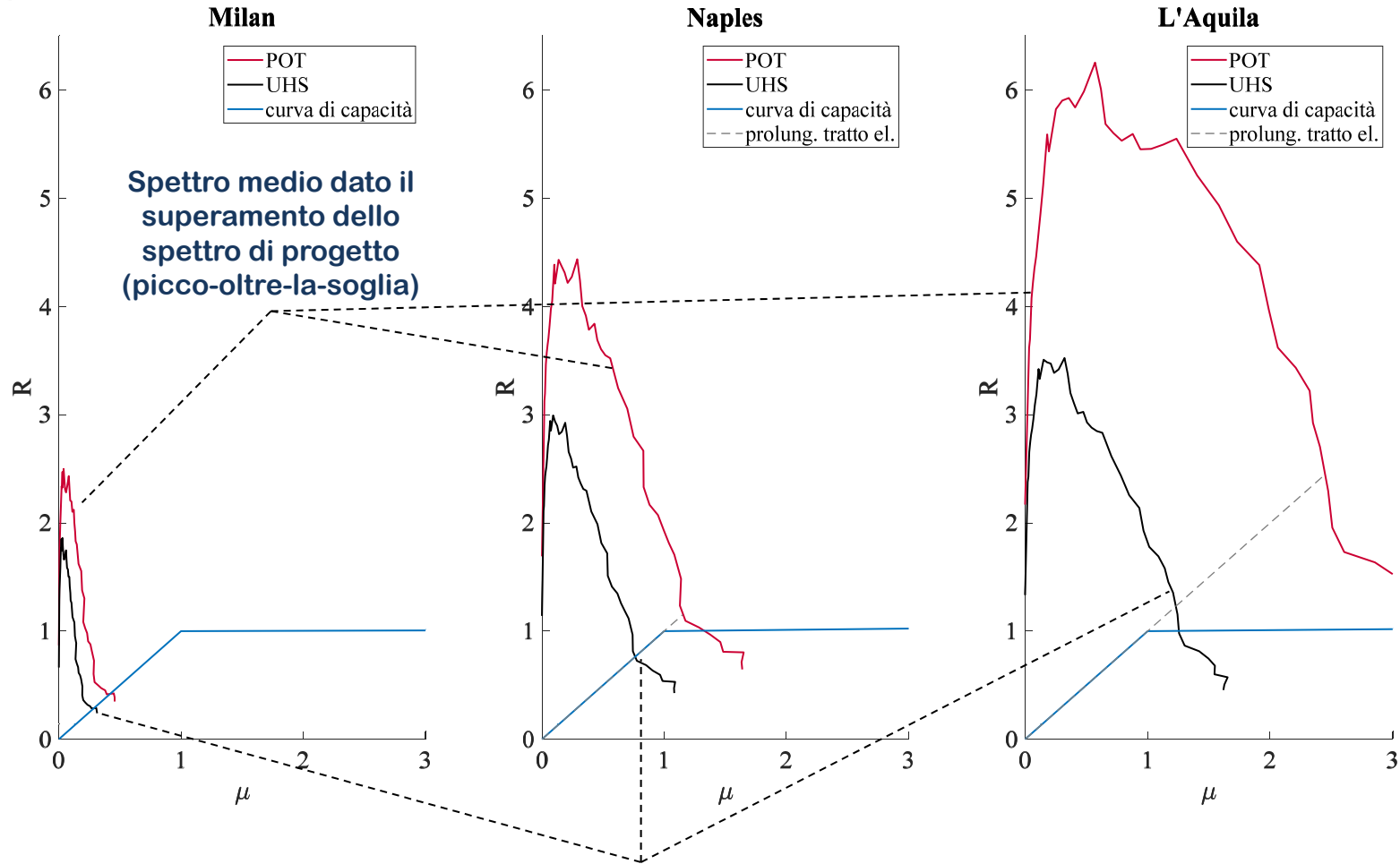
## Edificio RC 6 piani nudo (1/2)







# Edificio RC 6 piani nudo (2/2)



Spettro di progetto ( $T_R=475$  anni)

# Conclusioni

**L'affidabilità strutturale sismica delle strutture progettate secondo le NTC tende a diminuire (di ordini di grandezza) al crescere della pericolosità sismica.**

**Questo perché:**

- 1. le regole progettuali (e.g., minimi) portano dimensionamento relativo non proporzionale delle strutture nei siti a più bassa pericolosità;**
- 2. il moto al suolo oltre quello corrispondente al periodo di ritorno di progetto (per definizione non considerato) è sostanzialmente diverso tra i siti a bassa e alta pericolosità, e più gravoso in questi ultimi.**



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI NAPOLI FEDERICO II

# **Il rischio delle strutture progettate secondo le NTC: come e perché.**

**Iunio Iervolino**