

# Protezione civile: verso una governance più forte per la riduzione del rischio

Webinar sulla valutazione dell'operatività in emergenza nella Regione Siciliana

30 giugno 2021

## Operatività strutturale degli edifici strategici

*Daniele Spina*

*Dipartimento della Protezione Civile*

*Giuseppe Occhipinti*

*CNR - IGAG*



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT

## Edifici strategici ES del CT di Lentini:



ES1 - COM Comune di Lentini



ES2 – Presidio ospedaliero di Lentini



ES3 - VVF Augusta

# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

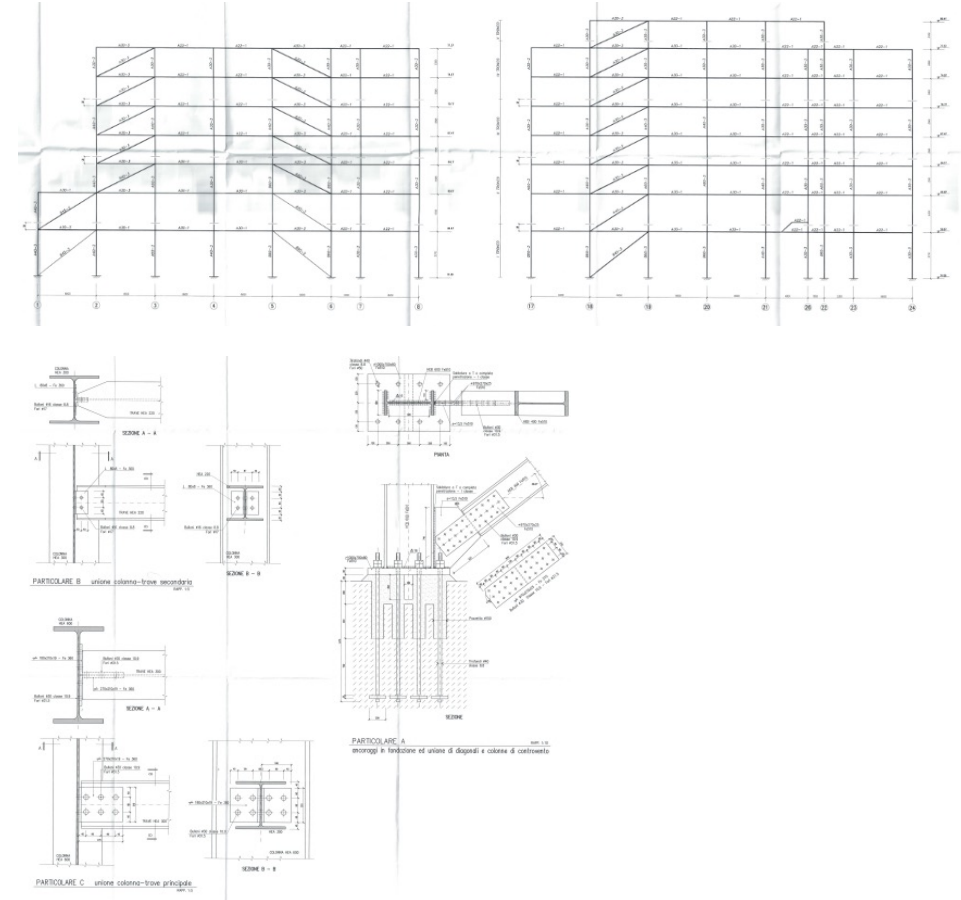
MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT

**Dati minimi** da reperire:

- Tipologia costruttiva
- Planimetrie
- Quote di interpiano
- Tipo di tamponature



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

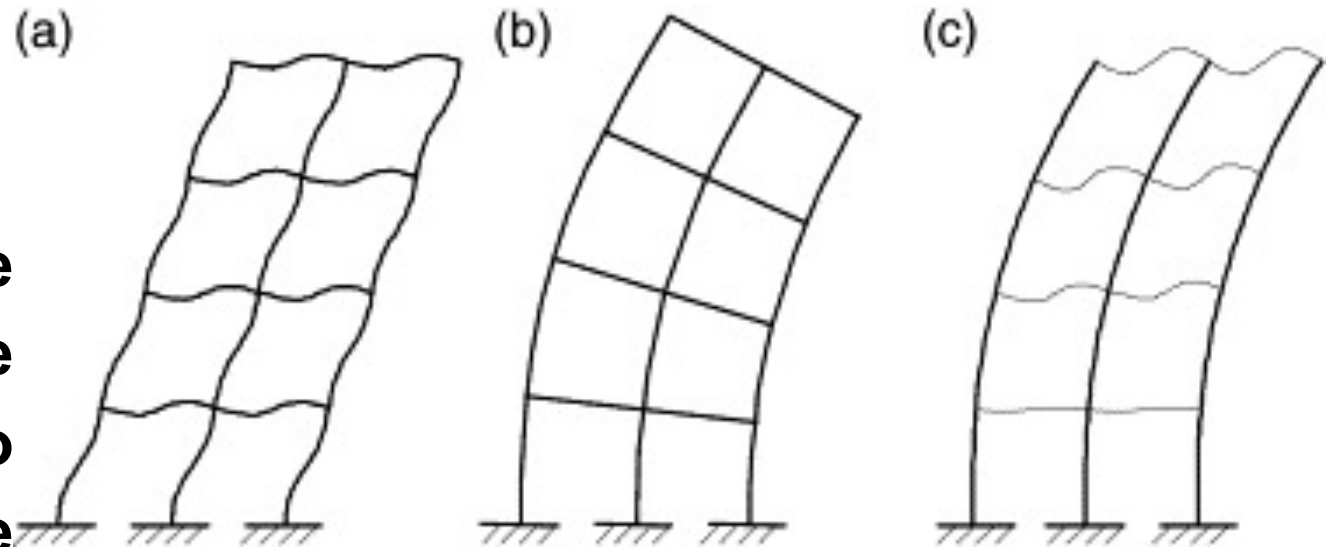
GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT

Un edificio multipiano può avere generalmente un comportamento prevalente a:

a) Taglio b) Flessione c) Misto

**Le proprietà dinamiche delle strutture vengono ricavate sperimentalmente attraverso tecniche di identificazione dinamica (Operational Modal Analysis).**



2D



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

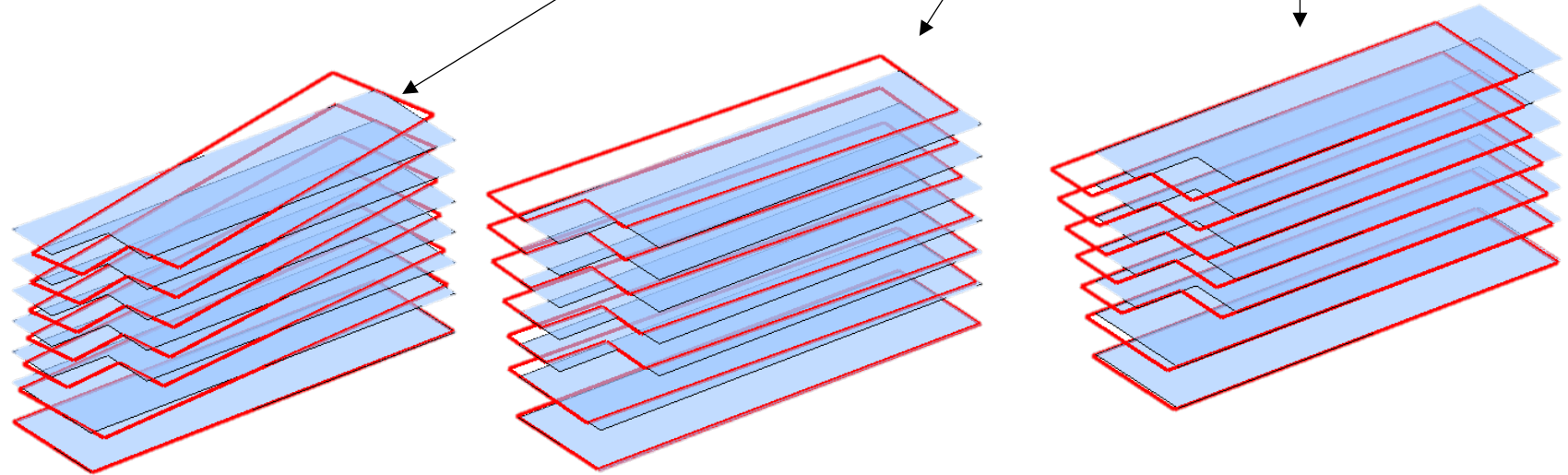
MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT

Nello spazio i **modi**  
**sono più articolati**  
ma posso essere  
sempre determinati  
tramite l'identificazione  
dinamica.

PROGRESSIVO MODO	I	II	III
TIPO MODO	Rotazionale Z	Traslazionale Y	Traslazionale X
FREQUENZA (Hz)	2.0	2.6	3.2



Ricostruzione modi ES2

3D

# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

# SELEZIONE ES

## REPERIMENTO DOCUMENTAZIONE

## IDENTIFICAZIONE DINAMICA

# MODELLAZIONE SMAV

## GENERAZIONE CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT

Secondo una discretizzazione a **multipoligoni** dell'approccio **SMAV<sup>[1a-1b]</sup>** si può agevolmente interpretare il **comportamento deformabile del solaio** nel suo piano.



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

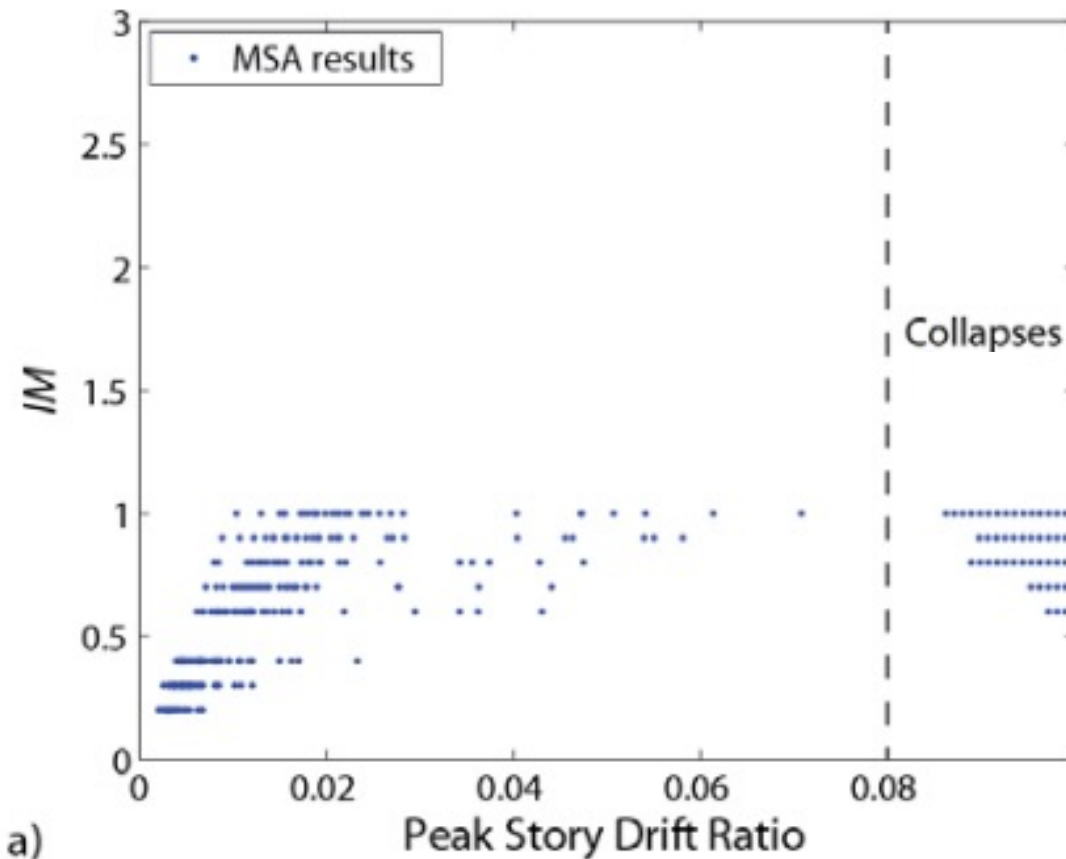
REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT



Le curve di fragilità sono state generate secondo un approccio discreto definito **Multiple Stripes Analysis (MSA<sup>[2]</sup>)**

I valori di IM sono scansionati in maniera discreta, **m valori IM**, e per ognuno vengono elaborate, **n analisi**.

**Basso onere computazionale.**

Efficient analytical fragility function fitting using dynamic structural analysis Jack W. Bakera) M.EERI

# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

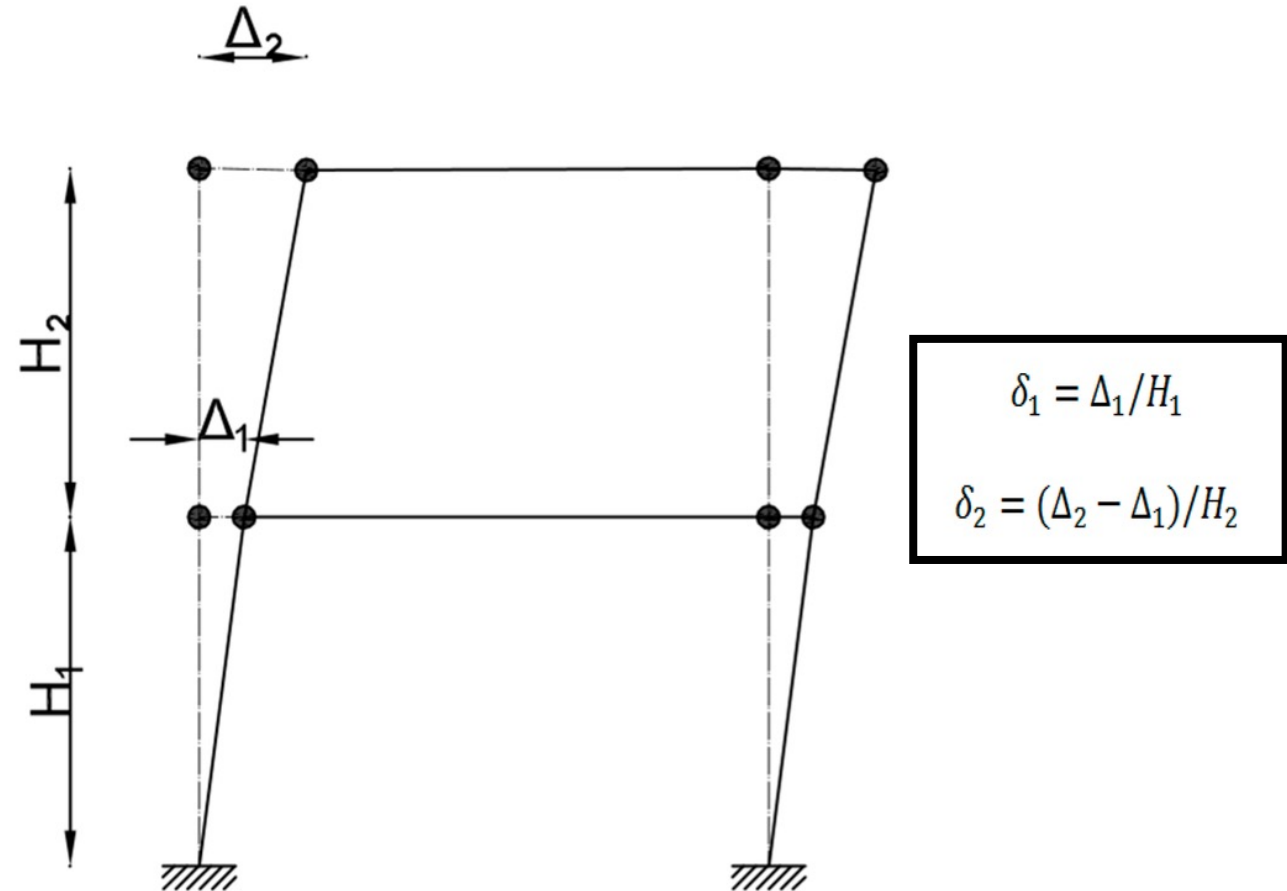
IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT

Tra i numerosi **parametri di danno** si adotta quello definito come **interstorey drift**<sup>[3]</sup> o spostamento adimensionalizzato di interpiano.





# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

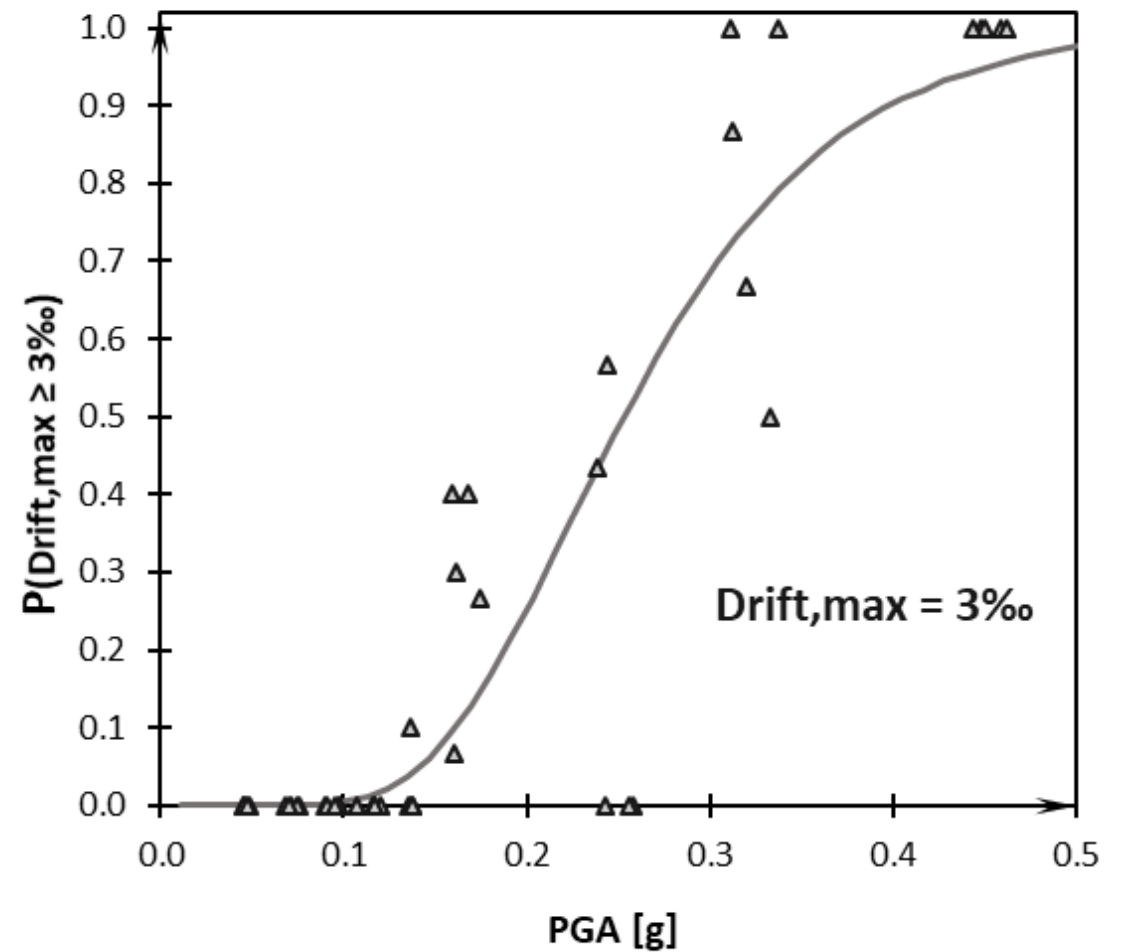
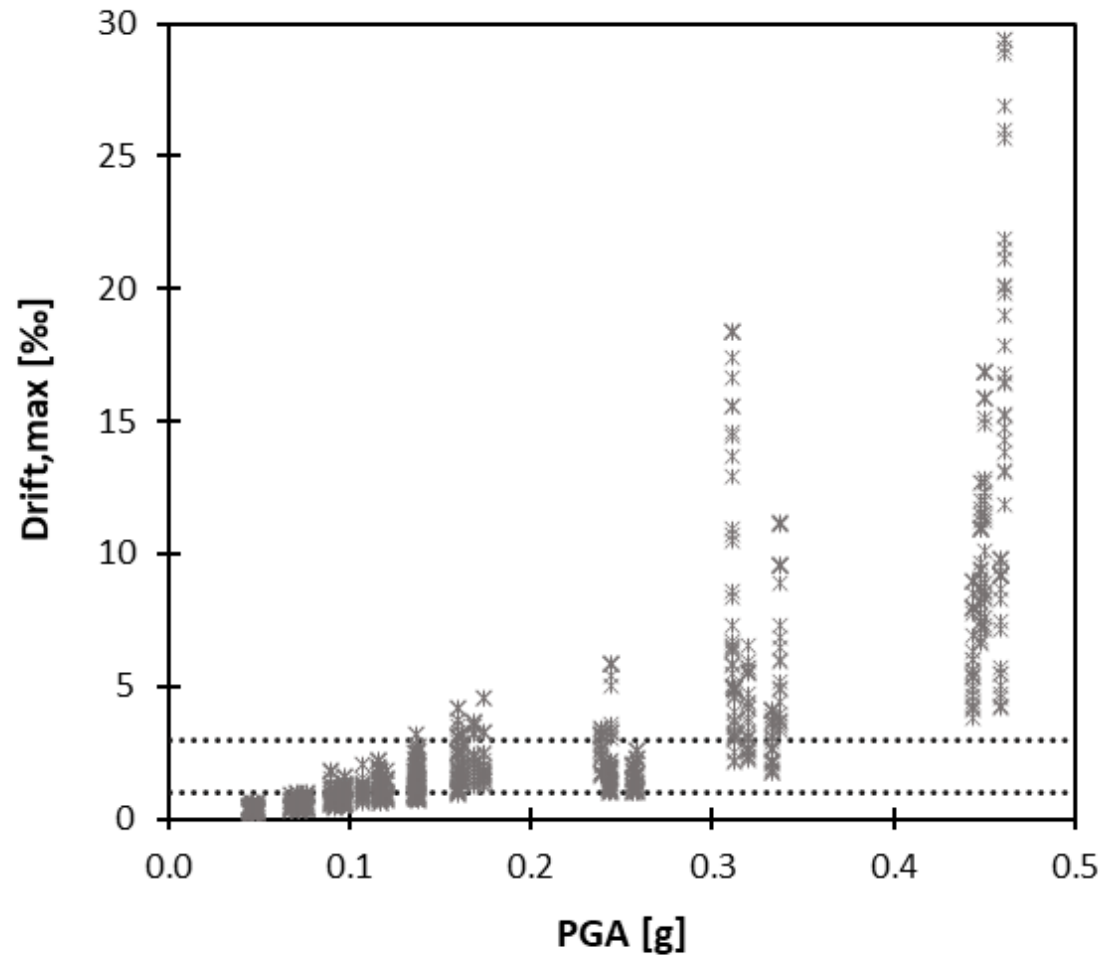
REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

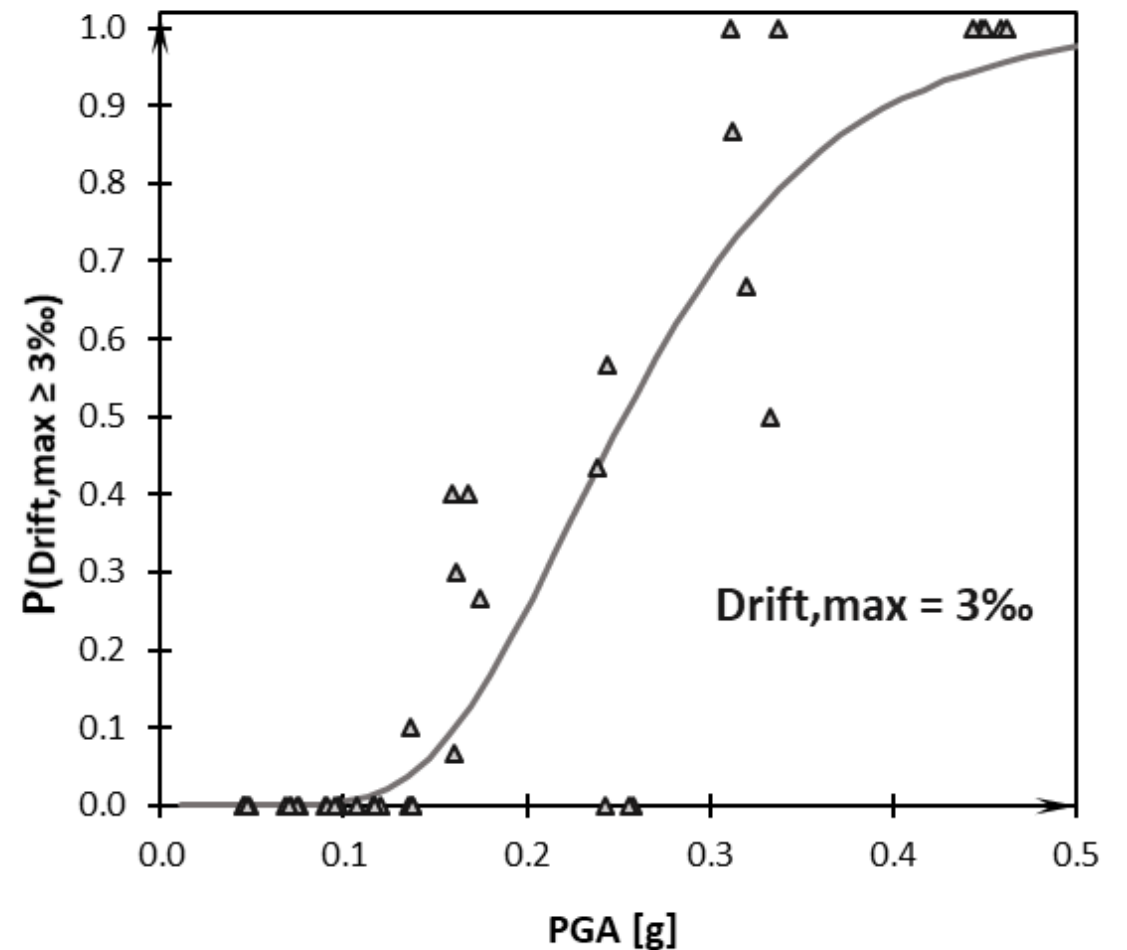
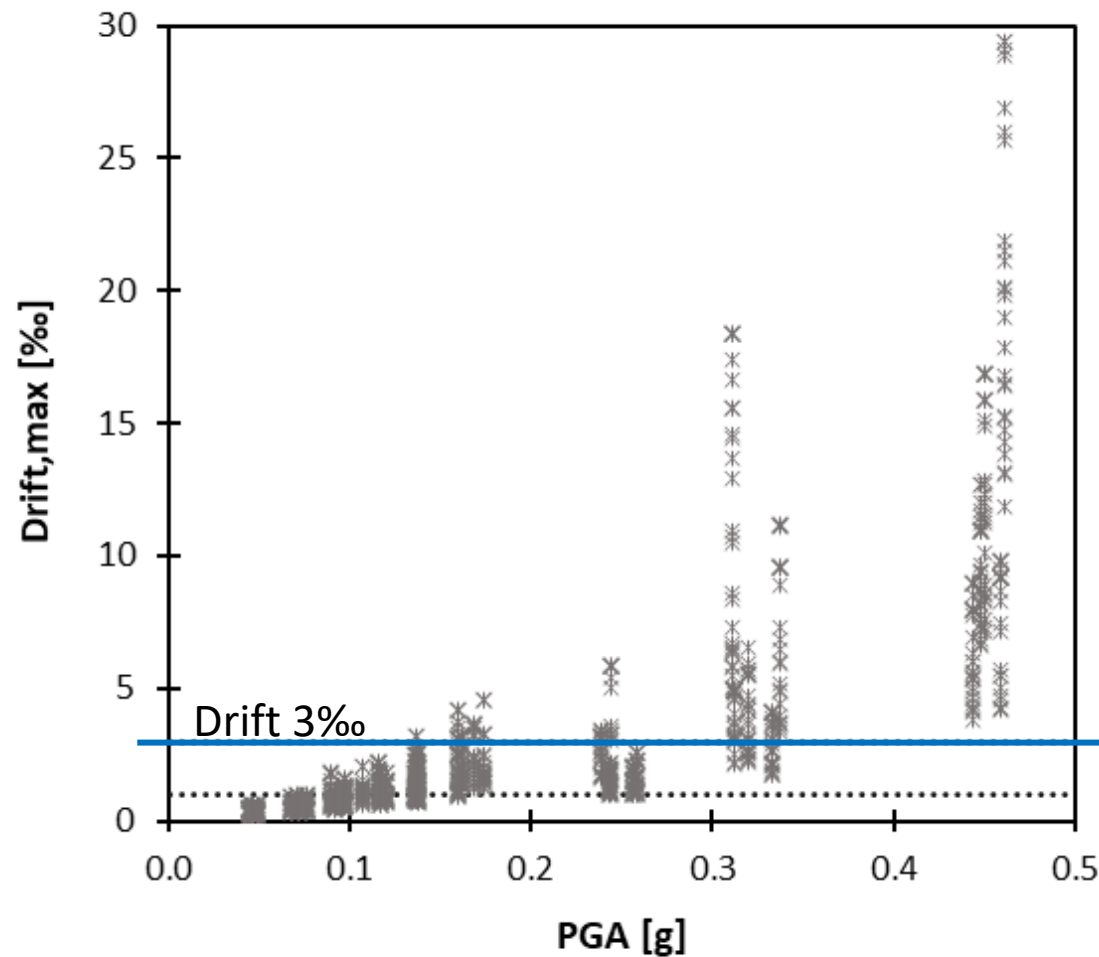
REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

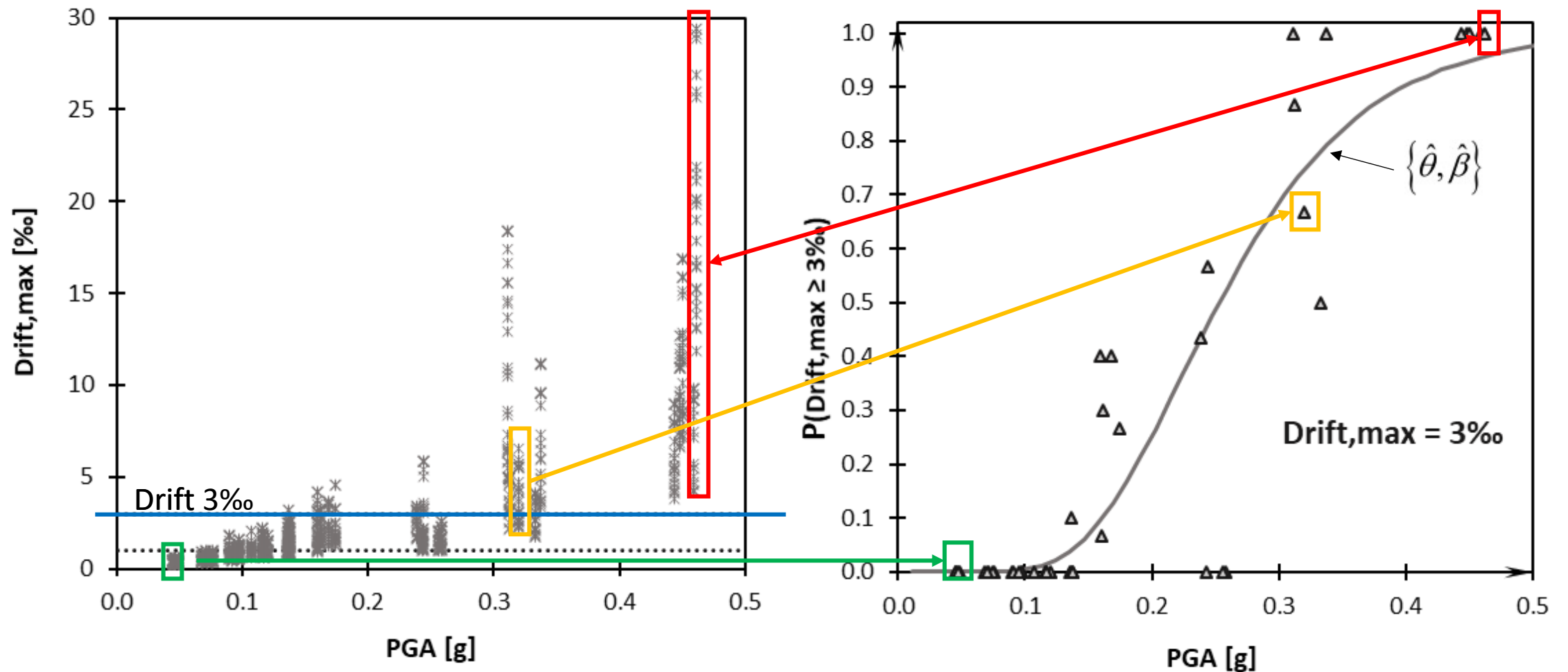
REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

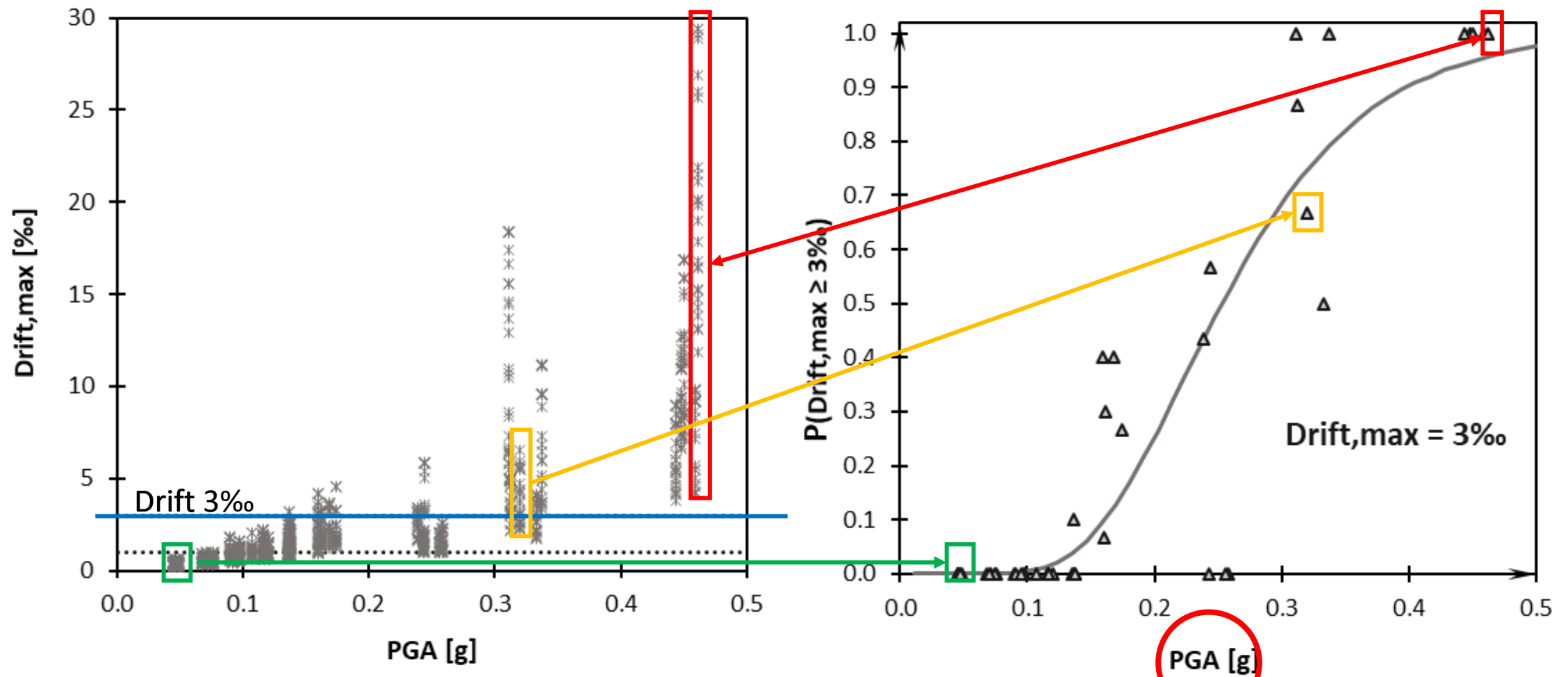
REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

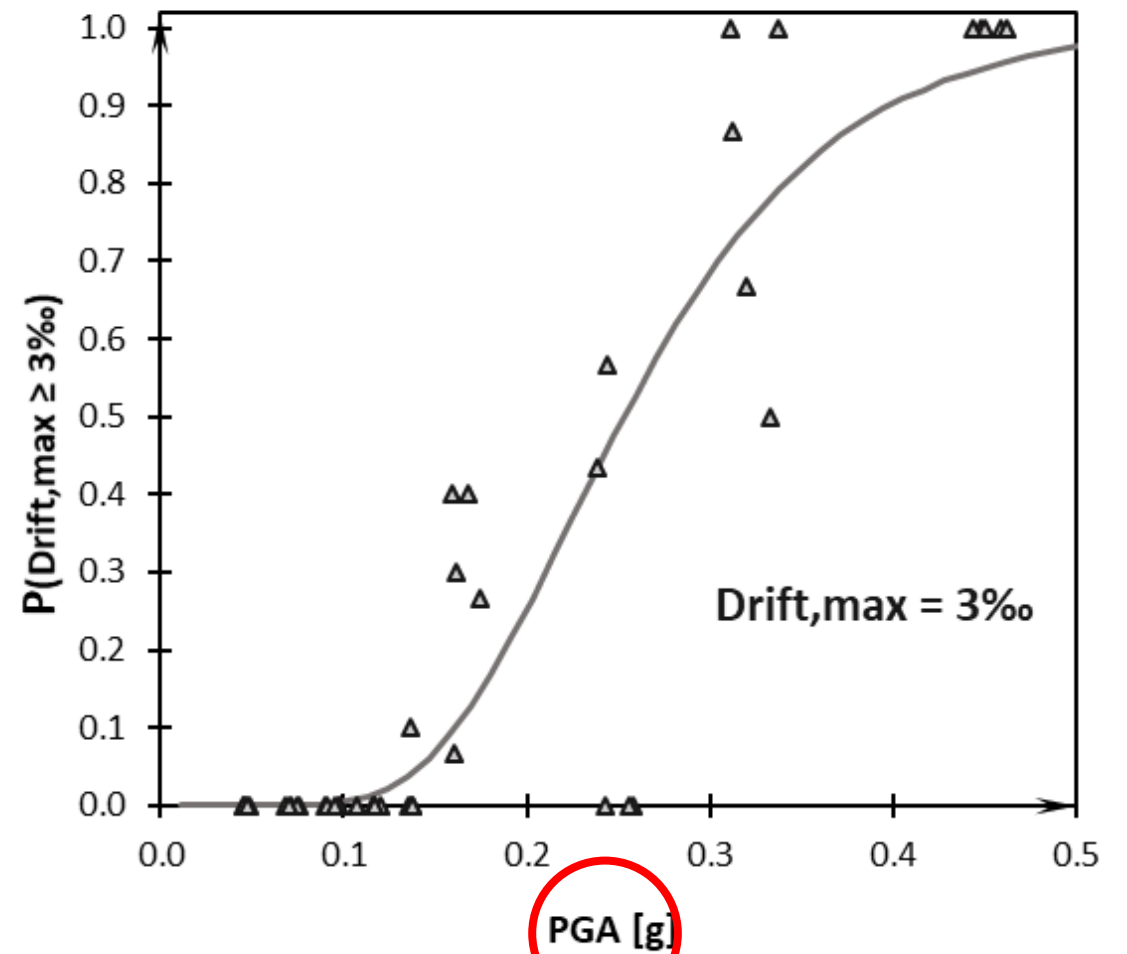
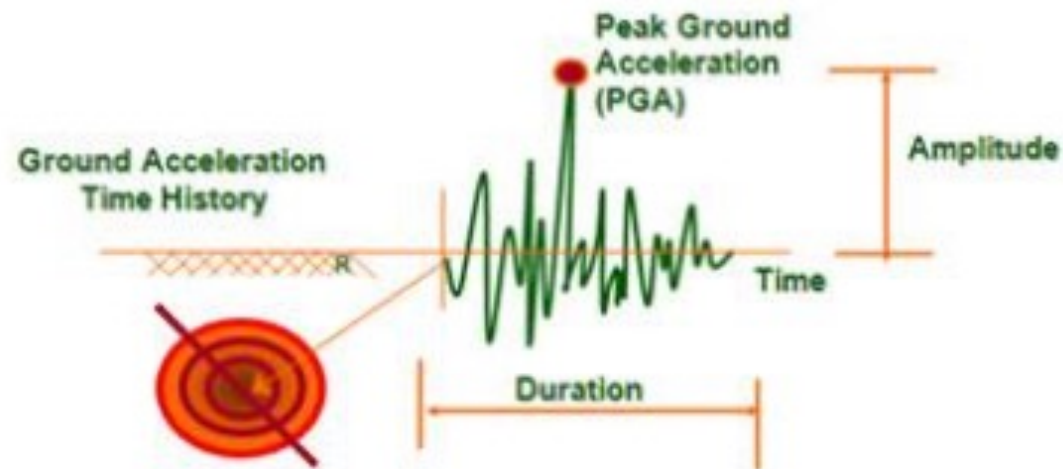
REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT





# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT

L'uso del parametro PGA è la scelta migliore?

La **PGA** non sempre correla adeguatamente la **pericolosità** con gli **danno**.



Amatrice

# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

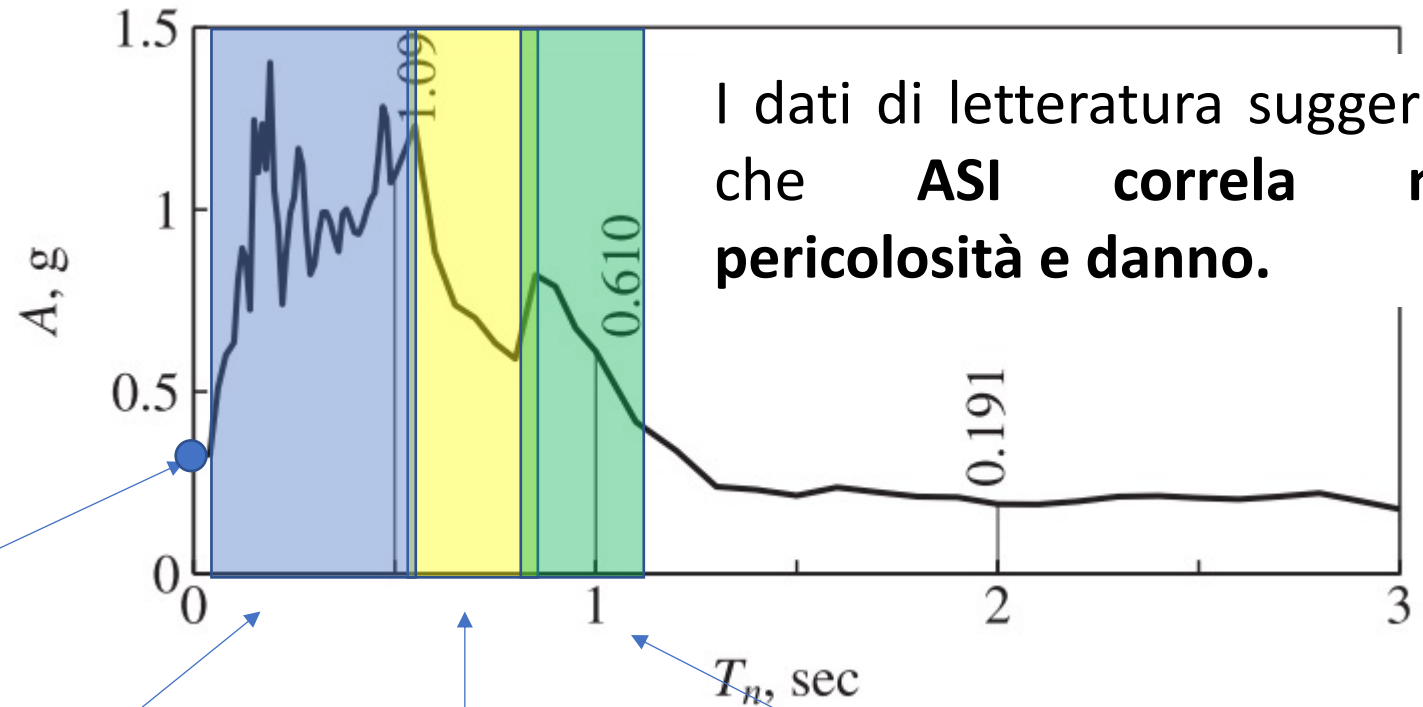
IOCT

Acceleration

Spectrum

Intensity ASI<sup>[4]</sup>:

$$ASI_{T_a-T_b} = \int_{T_a}^{T_b} S_a(\xi, T) dT$$



PGA

Ta=0.1  
Tb=0.5

Ta=0.4  
Tb=0.8

Ta=0.7  
Tb=1.1

# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

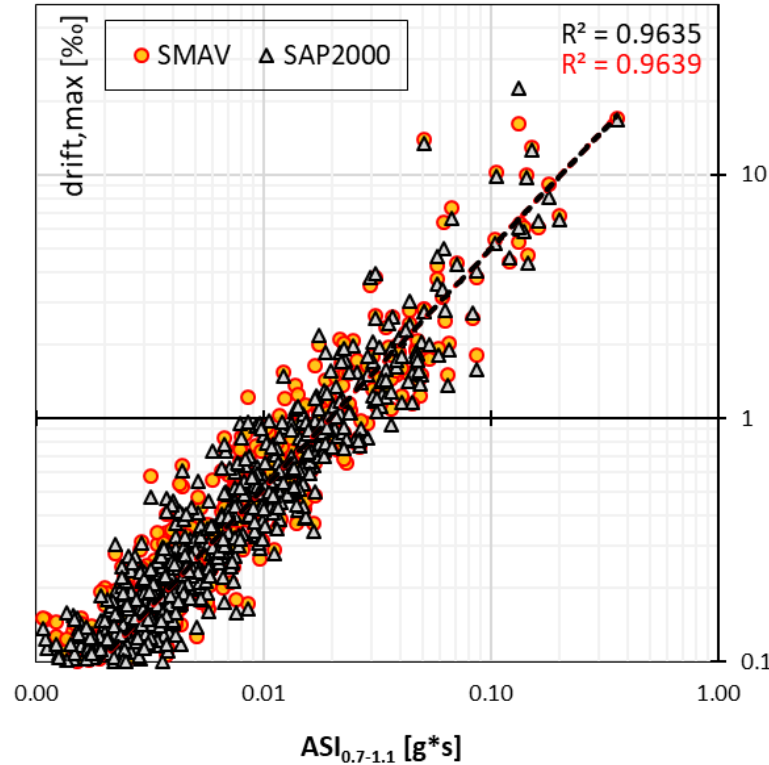
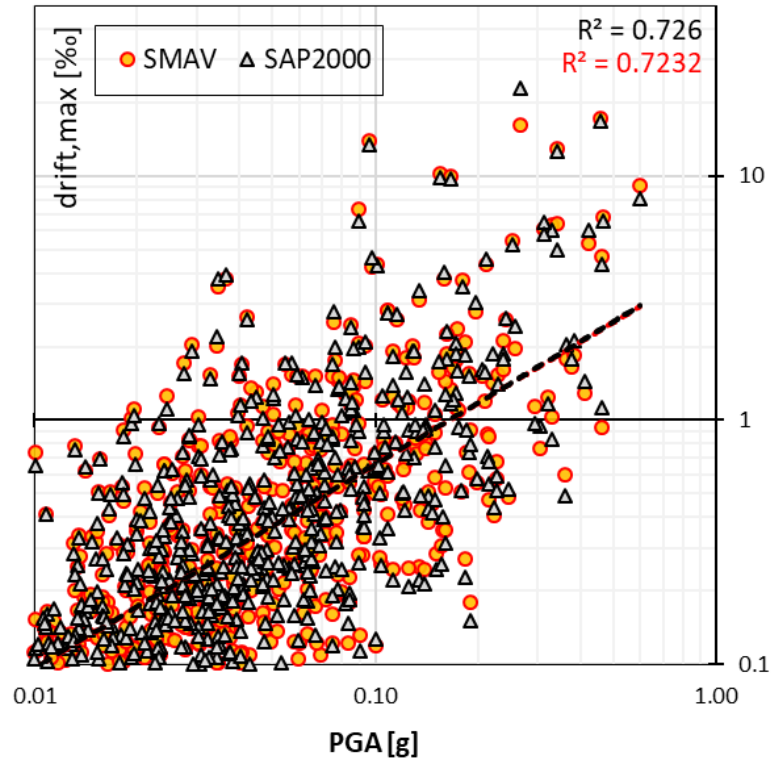
REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

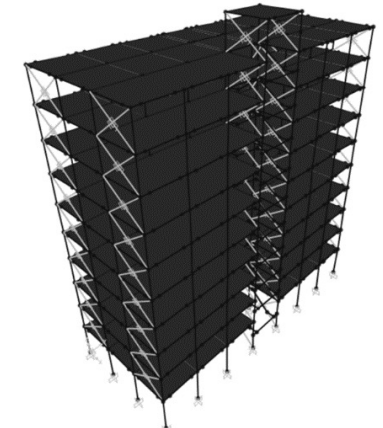
MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

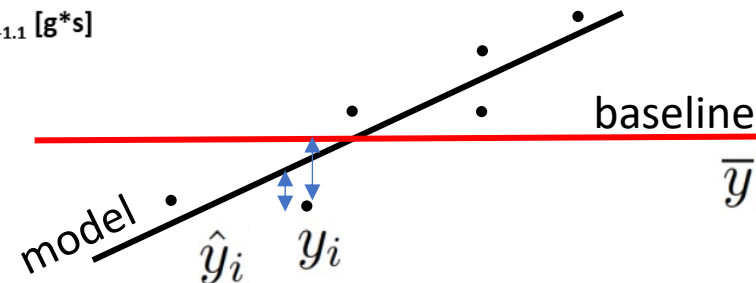
IOCT



R2 mostra la minore dispersione di dati se espressi in ASI [5]



$$R^2 = 1 - \frac{SS_{RES}}{SS_{TOT}} = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE  
ES

REPERIMENTO  
DOCUMENTAZIONE

IDENTIFICAZIONE  
DINAMICA

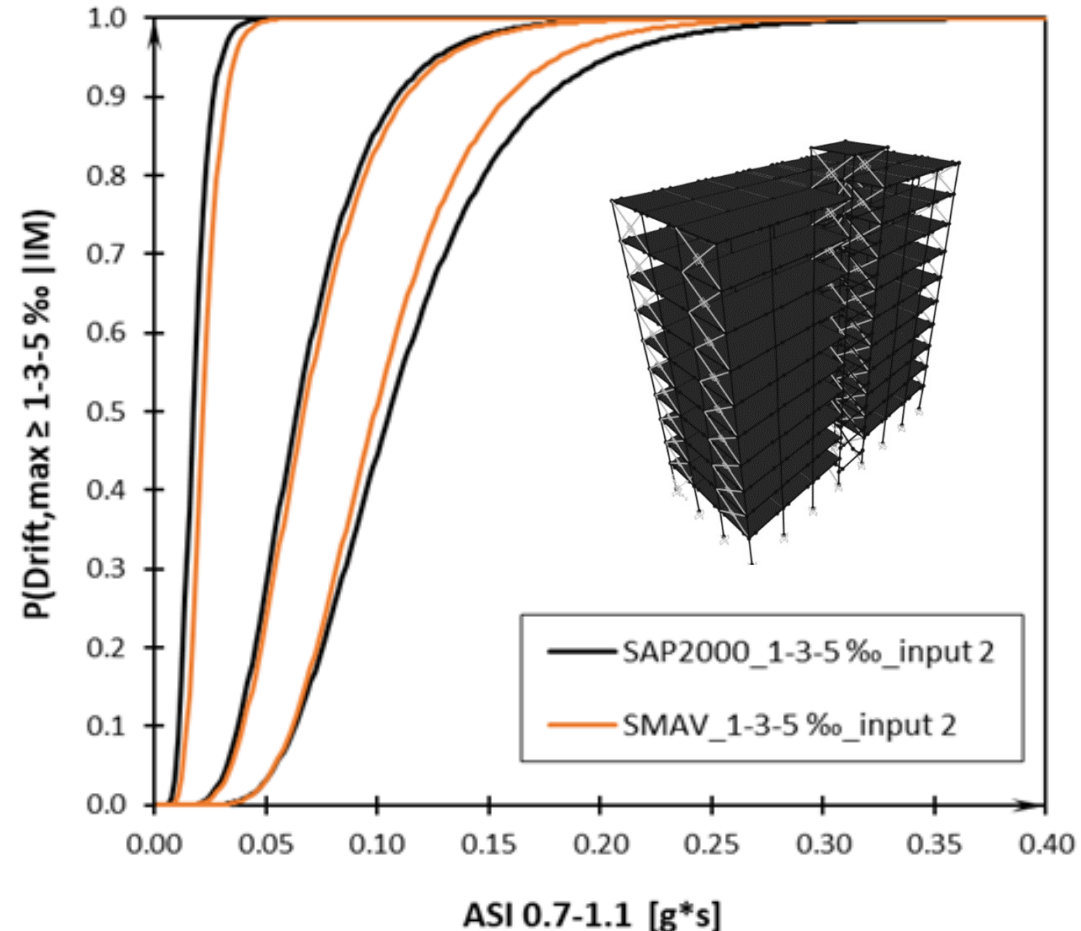
MODELLAZIONE  
SMAV

GENERAZIONE  
CURVE DI FRAGILITÀ

IOCT

La **procedura** è stata **validata**<sup>[5]</sup> confrontando i risultati con modellazioni più sofisticate.

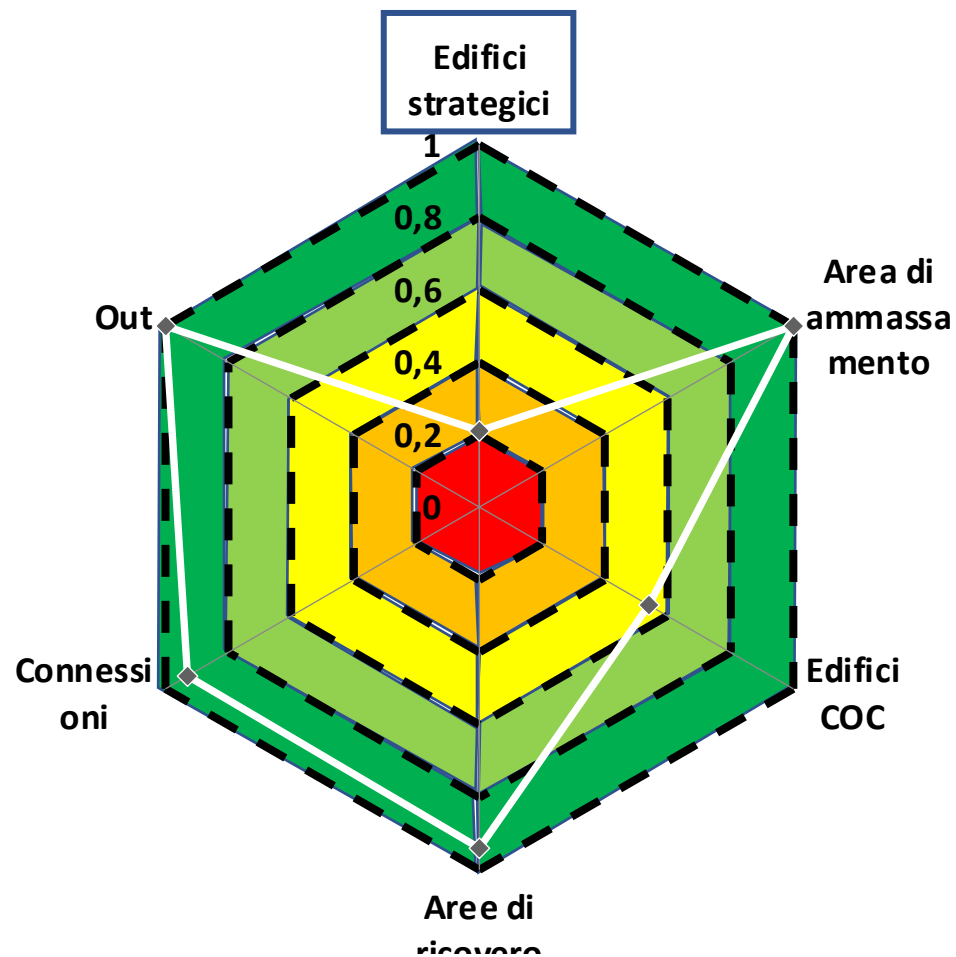
- **SMAV lineare equivalente**
- **FEM dinamica nonlineare**





# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

SELEZIONE ES	REPERIMENTO DOCUMENTAZIONE	IDENTIFICAZIONE DINAMICA	MODELLAZIONE SMAV	GENERAZIONE CURVE DI FRAGILITÀ	IOCT
-----------------	-------------------------------	-----------------------------	----------------------	-----------------------------------	------



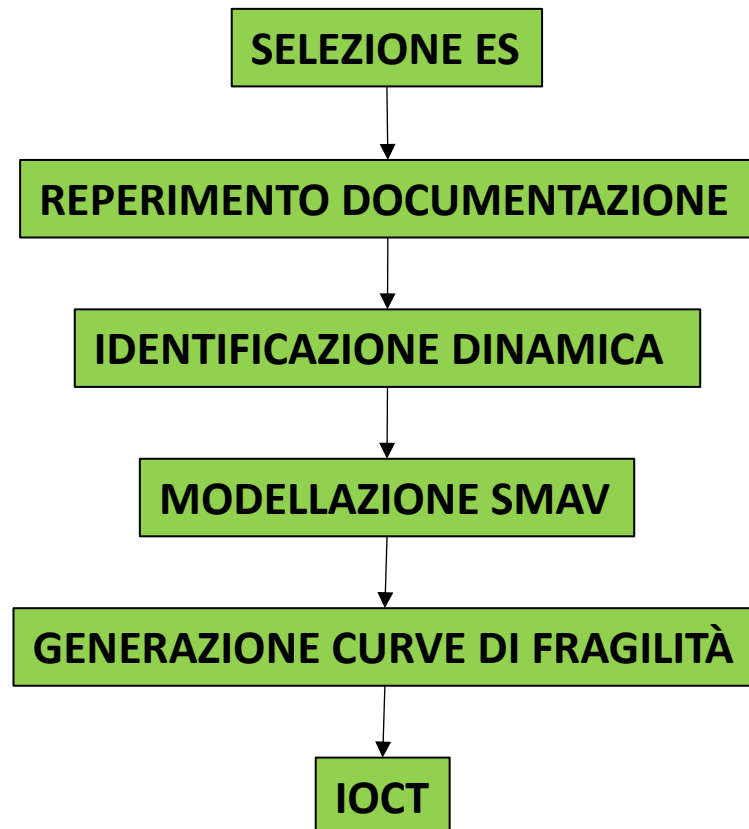
CLASSE	INDICE
A	0.8 - 1.0
B	0.6 - 0.8
C	0.4 - 0.6
D	0.2 - 0.4
E	0 - 0.2

Le curve di fragilità contribuiscono alla definizione quantitativa del parametro IOCT.



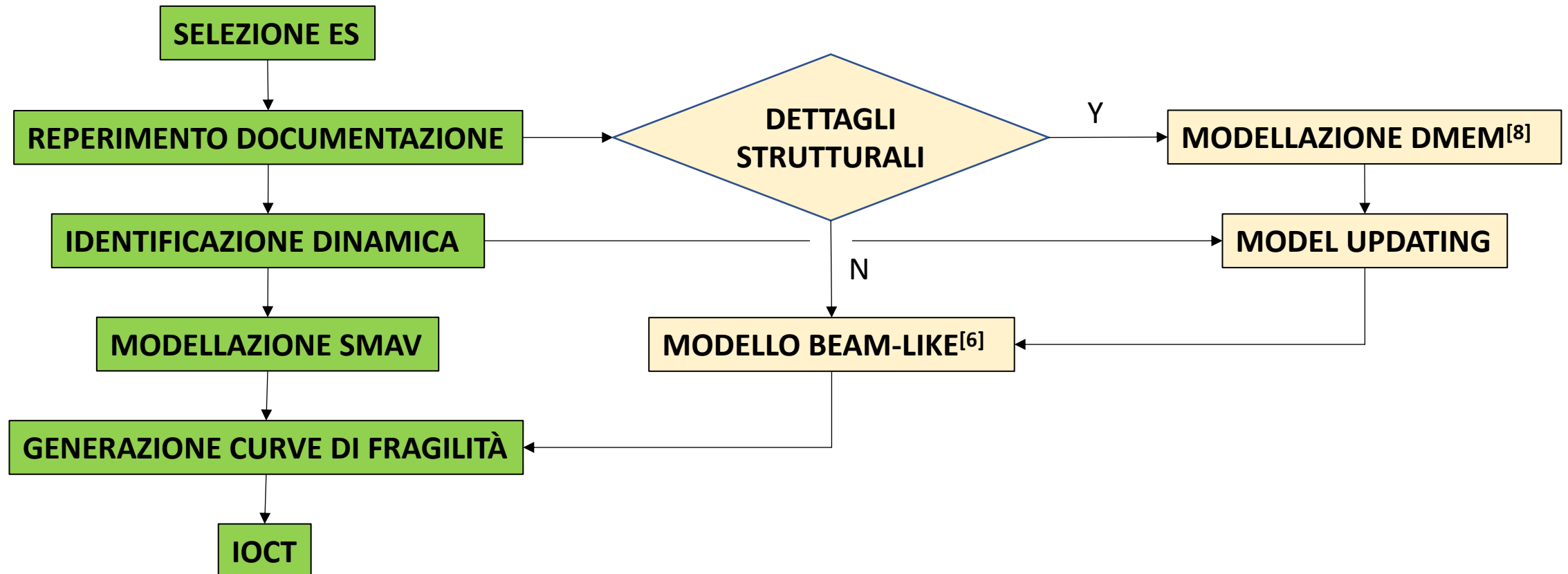
# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

## *APPROFONDIMENTI RELATIVI AD ASPETTI DI MODELLAZIONE NUMERICA*



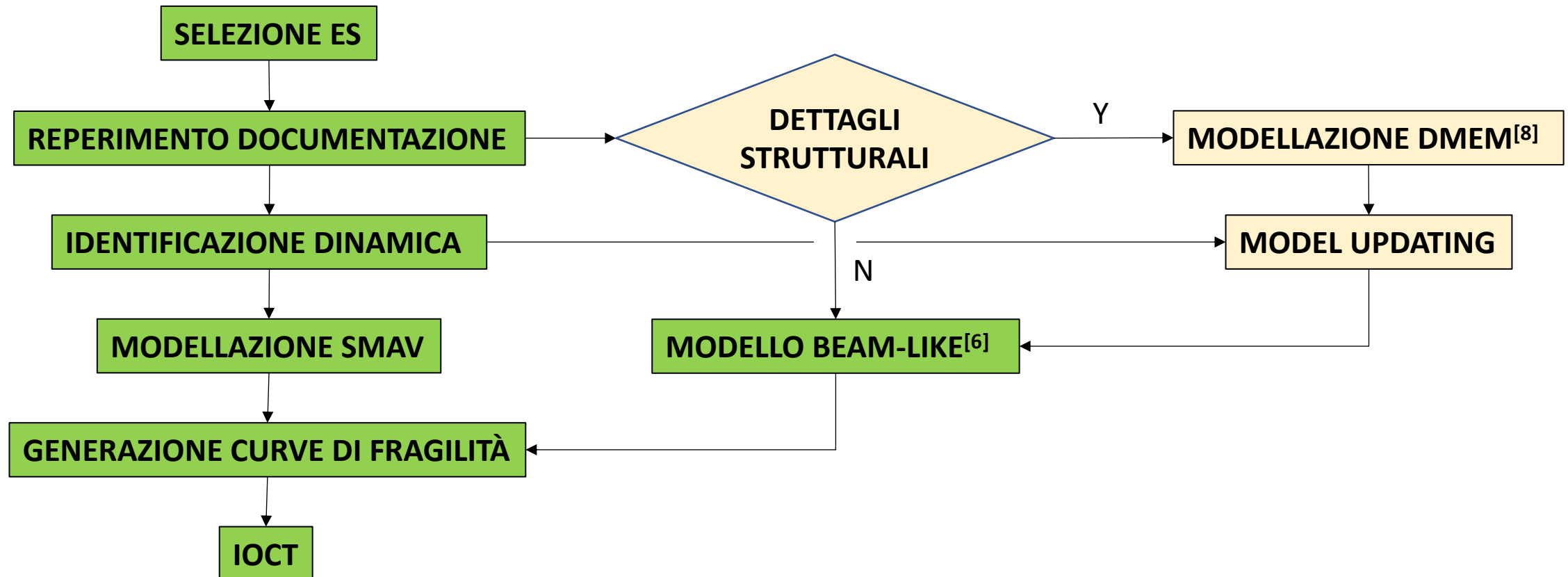
# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

## APPROFONDIMENTI RELATIVI AD ASPETTI DI MODELLAZIONE NUMERICA



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

## APPROFONDIMENTI RELATIVI AD ASPETTI DI MODELLAZIONE NUMERICA



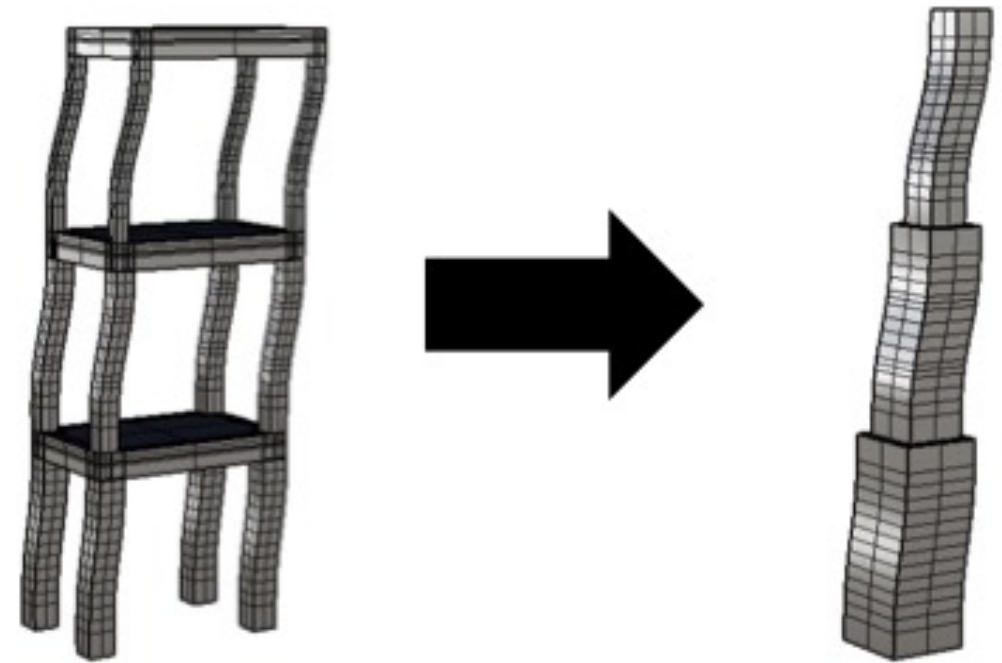
# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

## APPROFONDIMENTI RELATIVI AD ASPETTI DI MODELLAZIONE NUMERICA

Modello alternativo a quelli già in uso:

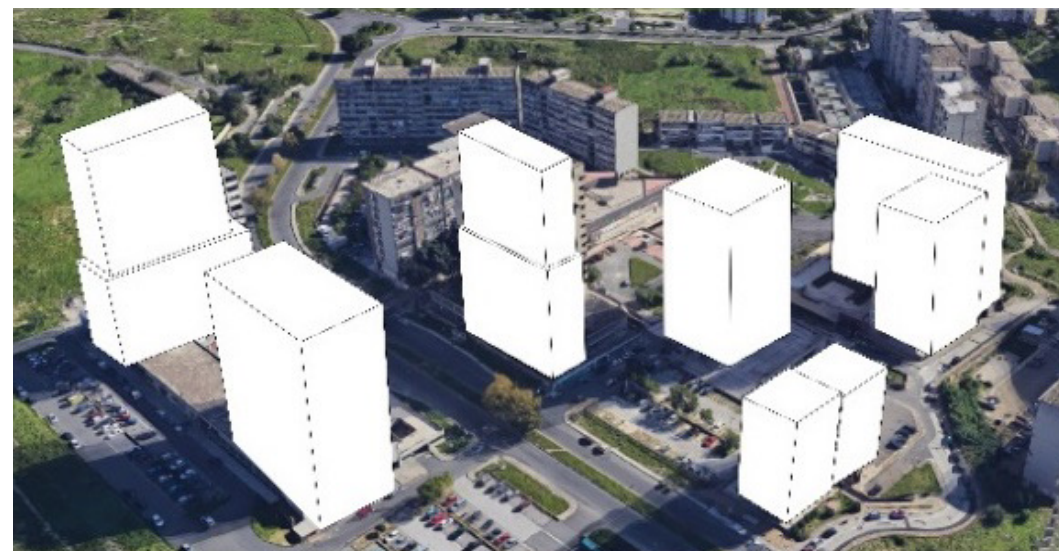
**Modello a trave equivalente (BLM o Beam Like Model)<sup>[6]</sup>.**

Il modello a trave equivalente interpreta la struttura 3D riducendola ad una **trave a mensola** deformabile a per taglio, similmente a come si comporta l'edificio in caso di sisma.



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

## *APPROFONDIMENTI RELATIVI AD ASPETTI DI MODELLAZIONE NUMERICA*



Il modello può interpretare il comportamento di edifici in ca multipiano anche con poche informazioni, calibrandolo su proprietà dinamiche.

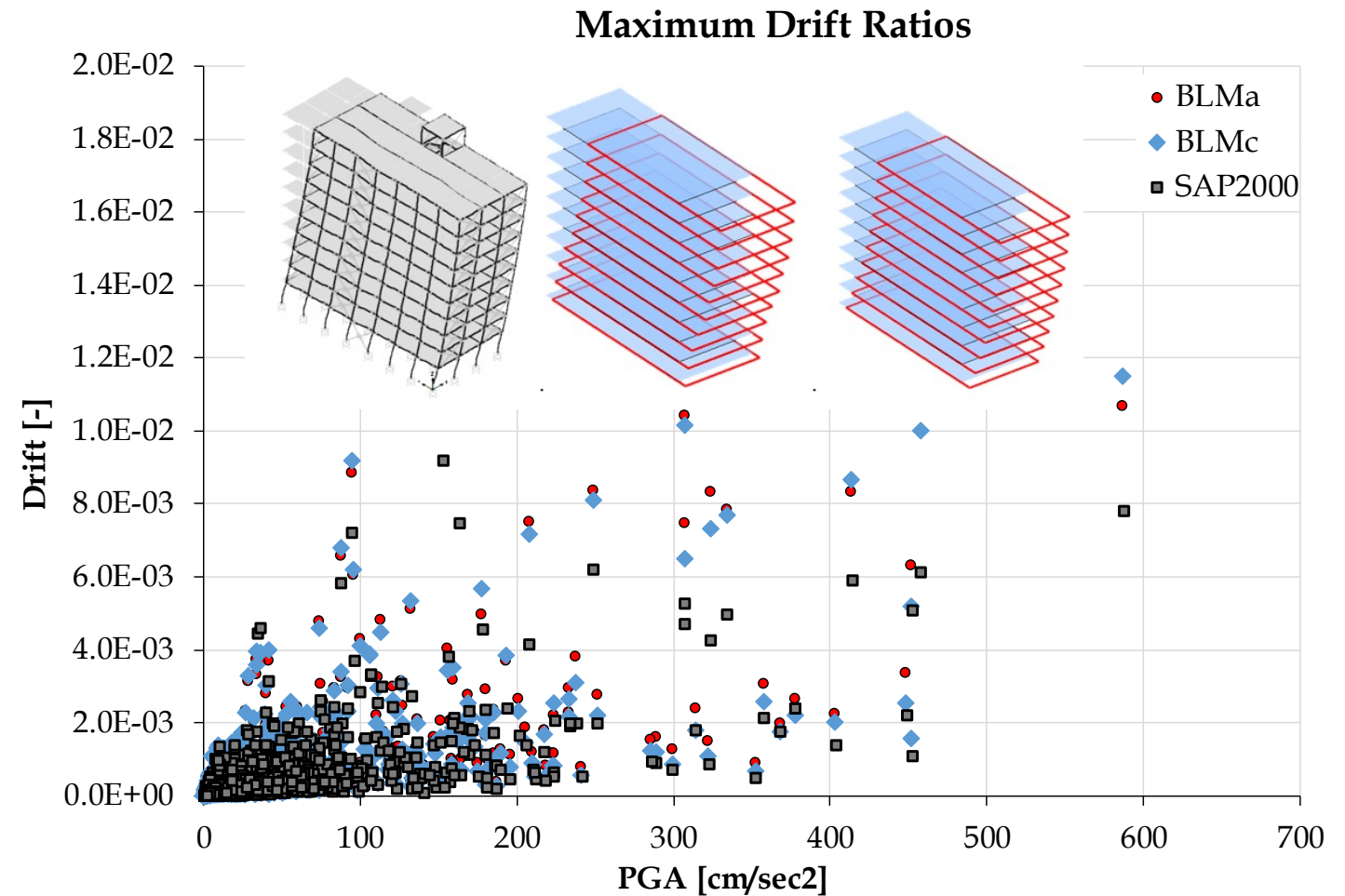


# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

## APPROFONDIMENTI RELATIVI AD ASPETTI DI MODELLAZIONE NUMERICA

### Confronto con dati numerici<sup>[7]</sup>:

- Modello FEM Analisi dinamica nonlineare.
- Modello BLM A analisi lineare, calibrato su identificazione dinamica completa.
- Modello BLM B analisi lineare, calibrato su identificazione solo ultimo impalcato.

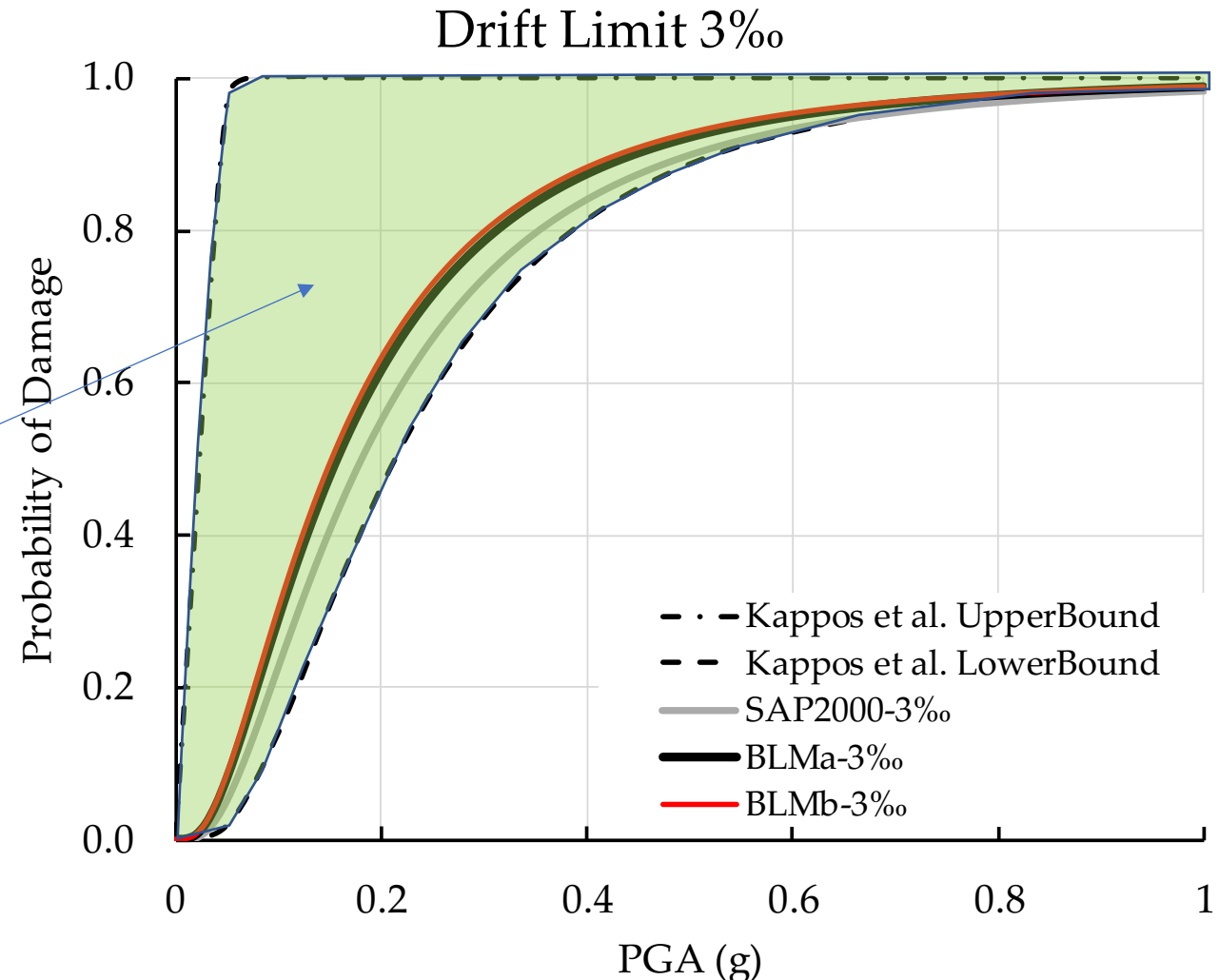


# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

## APPROFONDIMENTI RELATIVI AD ASPETTI DI MODELLAZIONE NUMERICA

Confronto con dati di letteratura<sup>[7]</sup>:

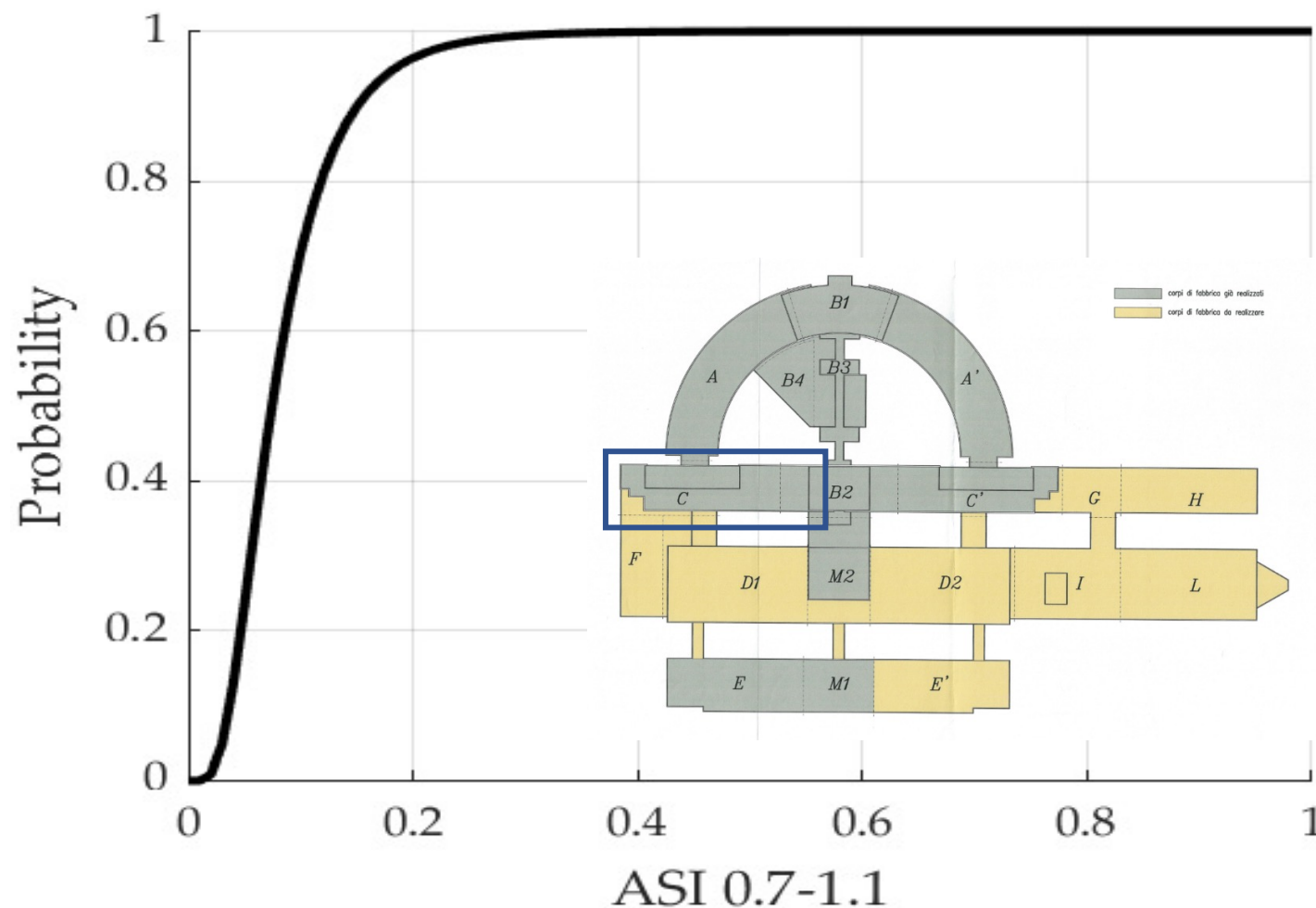
Intervallo delle curve di fragilità per edifici in ca multipiano non progettati per azioni sismiche<sup>[9-10]</sup>



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

## APPROFONDIMENTI RELATIVI AD ASPETTI DI MODELLAZIONE NUMERICA

ES2 LENTINI



# OPERATIVITÀ STRUTTURALE DEGLI EDIFICI STRATEGICI NEL CONTESTO DI LENTINI

## *CONCLUSIONE ATTIVITÀ SVOLTE NELLA REGIONE SICILIANA*

- Nel Contesto Territoriale della Regione Siciliana **sono stati individuati 3 edifici con funzione strategica** denominati ES;
- Ogni edificio è stato caratterizzato tramite **campagne di identificazione dinamica** (frequenze, modi, smorzamenti);
- Ogni edificio è stato interpretato tramite la metodologia **SMAV**;
- I modelli SMAV sono stati adoperati per la generazione di **curve di fragilità** secondo un approccio sviluppato da IGAG-CNR;
- Sviluppo di **modelli alternativi o modelli a trave equivalente (BLM o BeamLike Model)** in uso in condizioni critiche.

## Riferimenti bibliografici

- [1a] D. Spina, G. Acunzo, N. Fiorini, F. Mori and M. Dolce, "A probabilistic simplified seismic model of masonry buildings based on ambient vibrations," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 985-1007, 2019.
- [1b] D. Spina, G. Acunzo, N. Fiorini, F. Mori and M. Dolce, "A probabilistic simplified Seismic Model from Ambient Vibrations (SMAV) of existing reinforced concrete buildings," *Engineering Structures*, vol. 238, 2021
- [2] J. M. Baker, «Efficient Analytical Fragility Function Fitting Using Dynamic Structural Analysis,» *Earthquake Spectra*, vol. 31, n. 1, pp. 579-599, 2015.
- [3] Applied Technology Council, «ATC-58: Engineering Demand Parameters for Structural Framing Systems, Phase 2, Task 2.2.,» n. February 2014, 2004.
- [4] J. Von Thun, L. Rochim, G. Scott e J. Wilson, «Earthquake ground motion for design and analysis of dams.,» *Earth. Eng. and Soil Dyn. II, Rec. Adv. in Ground Motion Eval*, ASCE, New York, 1988.
- [5] V. Vacca, G. Occhipinti, F. Mori e Spina.D., «SMAV analysis for the fragility curves of civil protection strategic buildings.».
- [6] A. Greco, I. Fiore, G. Occhipinti, S. Caddemi, D. Spina e I. Calì, «An Equivalent Non-uniform Beam-like Model for Dynamic Analysis of Multi-storey Irregular Buildings,» 2020.
- [7] G. Occhipinti, V. Vacca, F. Mori, S. Caddemi, I. Calì e Spina.D., «Multistorey building fragility curves by means of an equivalent beam like model [submitted]».
- [8] I. Calì, M. Marletta e B. Pantò, «Un semplice macro-elemento per la valutazione della vulnerabilità sismica di edifici in muratura,» in *11th Convegno Nazionale 'L'Ingegneria Sismica in Italia' 25 -29 Gennaio*, Genova, 2004.
- [9] A. J. Kappos, C. Panagiotopoulos, G. Panagopoulos e E. Papadopoulos, «WP4 □ Reinforce Concrete Buildings (Level 1 and Level 2 analysis). RISK-UE,,» 2003.
- [10] A. J. Kappos, G. Panagopoulos, C. Panagiotopoulos e G. Penelis, «A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings,» *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 4, n. 4, pp. 391-413, 2006.