

PON GOVERNANCE 2014-2020

**Riduzione del rischio sismico, vulcanico
e idrogeologico ai fini di protezione civile**



PON SISMICO - FASE 4 - IOCT

Valutazione dell'operatività strutturale del CT:

Operatività degli edifici per IOCT

PON GOVERNANCE 2014-2020

**Riduzione del rischio sismico, vulcanico
e idrogeologico ai fini di protezione civile**

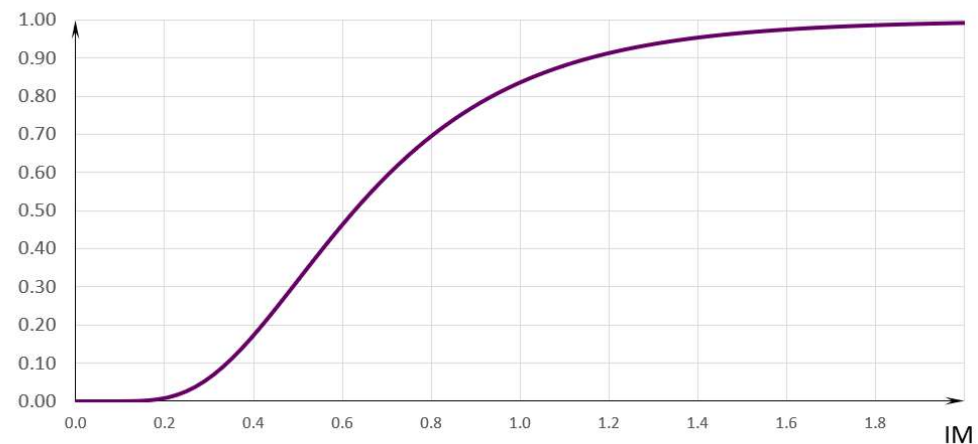


OGGETTI FISICI DA VALUTARE

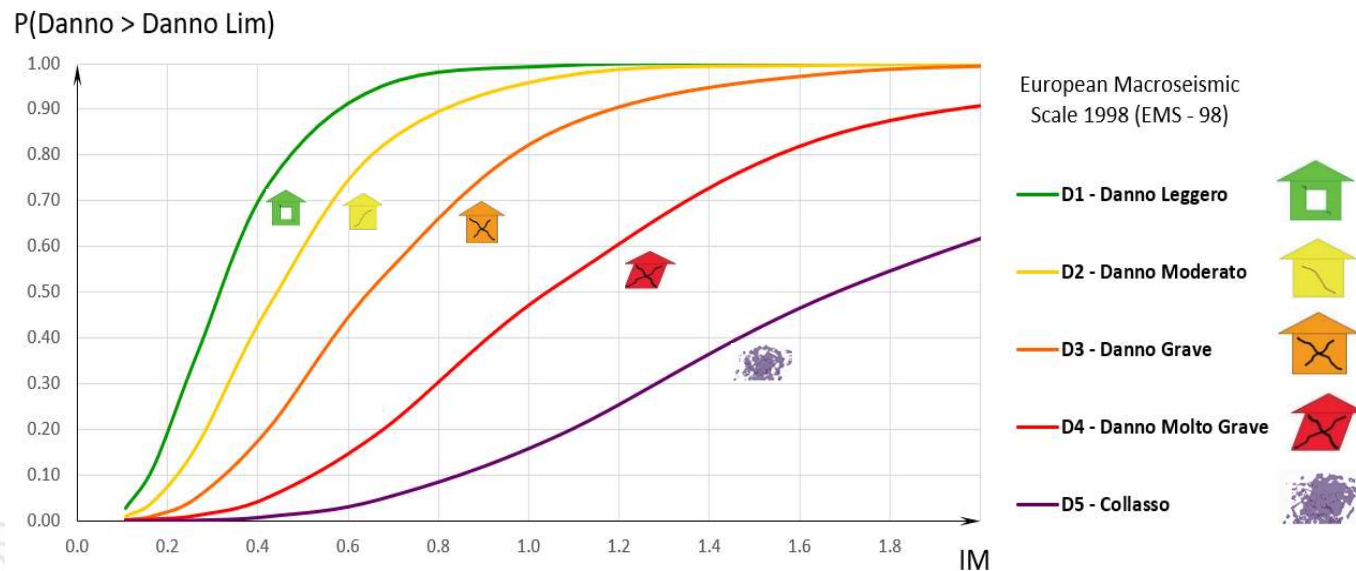
Edifici strategici fondamentali ES1, ES2, ES3
COC
Edifici interferenti
Aree di emergenza
Infrastrutture di connessione

- Tutti gli oggetti fisici del sistema vengono sintetizzati, in termini di vulnerabilità, tramite curve di fragilità.
- La curva di fragilità fornisce la probabilità (P) di un edificio soggetto ad un input sismico di assegnata intensità (IM), di superare un determinato livello di danno.

$P(\text{Danno} > \text{Danno Lim})$



- È dunque possibile costruire più curve di fragilità per lo stesso edificio, una per ciascun livello di danno richiesto (D1-D5).
- Ai fini della valutazione di IOCT si farà riferimento solo ed esclusivamente alla curva di fragilità relativa al danno moderato (D2) per gli edifici strategici e alla curva relativa al collasso (D5) per gli edifici interferenti

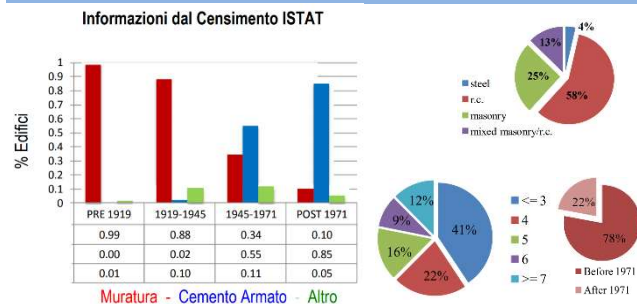


APPROCCIO SEMPLIFICATO	APPROCCIO AVANZATO
Approcci di letteratura ad es. * Syner-G Project - 2013 * Lagomarsino - 2006	SMAV (Spina e Mori – 2015)
La vulnerabilità del singolo edificio è legata alle sue caratteristiche tipologiche (strutturali e costruttive in generale) individuate in classi di fabbricati a comportamento omogeneo.	La vulnerabilità del singolo edificio è legata a grandezze intrinseche della struttura (frequenze proprie e forme modali) misurate tramite indagini in-situ.



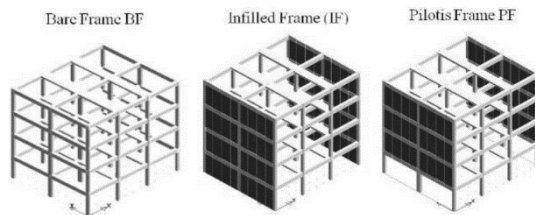
PON SISMICO - FASE 4 – IOCT **OPERATIVITA' DEGLI EDIFICI | approcci semplificati**

A- ANALISI DEL COSTRUITO



B- INDIVIDUAZIONE DELLE TIPOLOGIE EDILIZIE RICORRENTI E RAPPRESENTATIVE DEL COSTRUITO

C- MODELLI DI EDIFICI PROTOTIPO

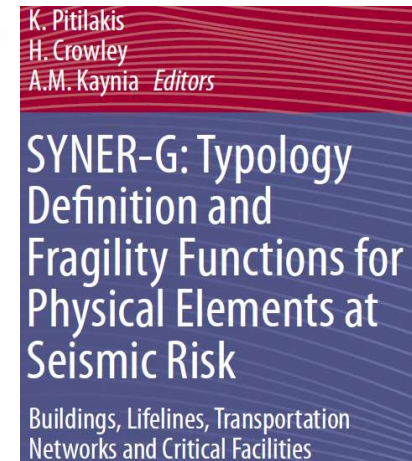
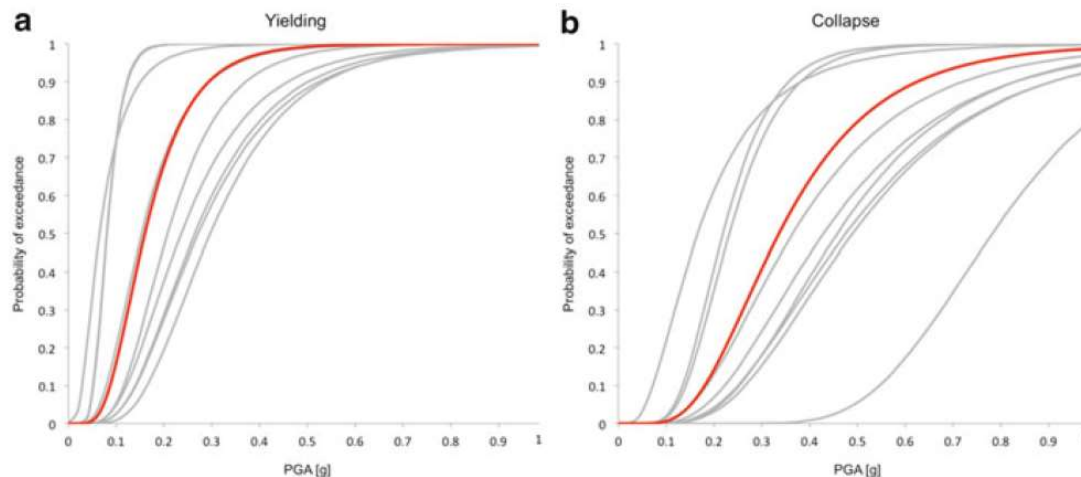


D- ANALISI DI VULNERABILITA'

E- CURVE DI FRAGILITA'

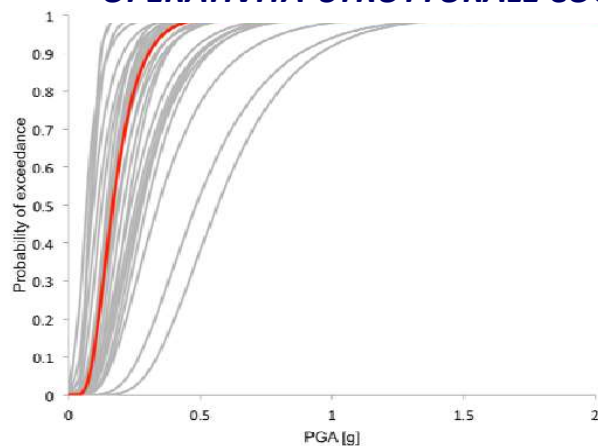
Le curve di fragilità del progetto Syner-G hanno la peculiarità di riassumere in una curva media i tanti modelli esistenti in letteratura.

Si utilizzano le curve «yielding» (danno D2) per la valutazione dell'operatività strutturale degli edifici strategici e le curve «collapse» (danno D5) per la valutazione della probabilità di crollo degli edifici interferenti

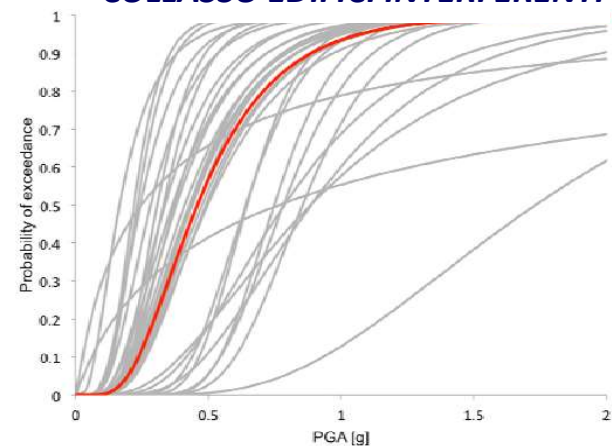


EDIFICI in C.A.

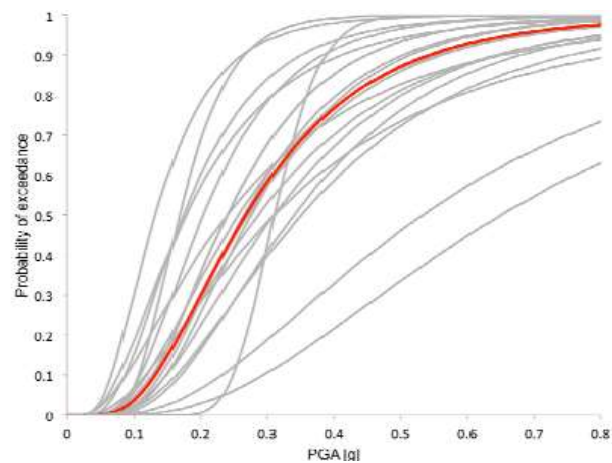
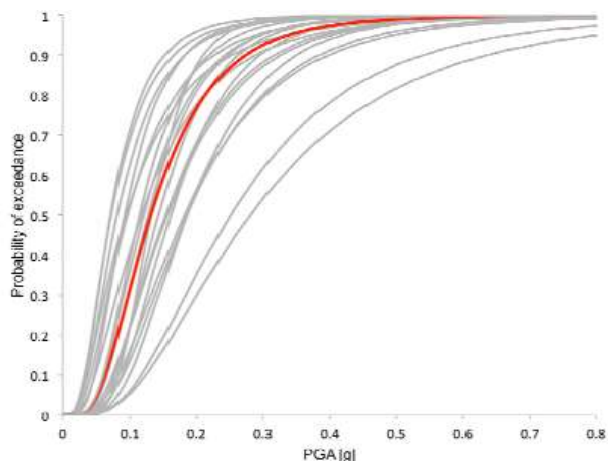
**Curva «Yielding»
OPERATIVITA' STRUTTURALE COC**



**Curva «Collapse»
COLLASSO EDIFICI INTERFERENTI**



EDIFICI in MURATURA

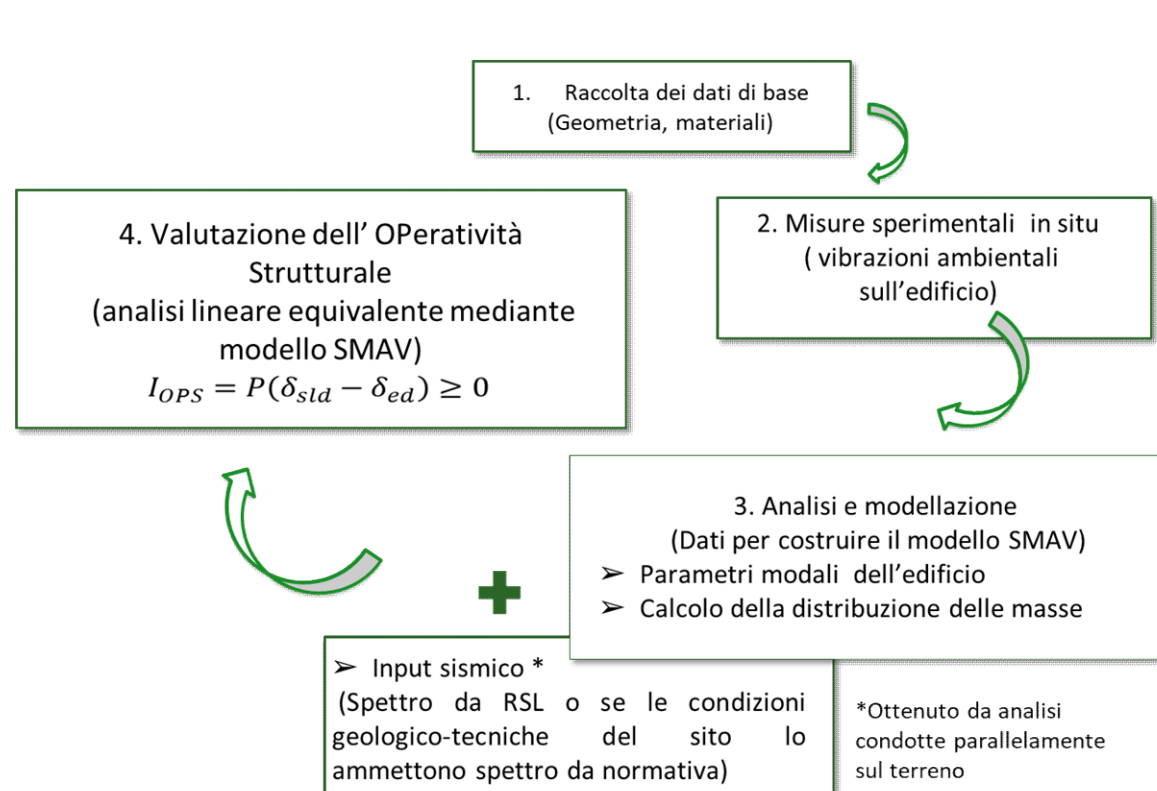


La metodologia SMAV (Mori e Spina – 2015)

- Per la valutazione dell'operatività strutturale degli edifici strategici utilizziamo una curva di fragilità ricavata attraverso un **approccio avanzato**
- La curva di fragilità viene ricavata attraverso la metodologia **Seismic Model from Ambient Vibrations (SMAV)** basata sulle misure delle vibrazioni ambientali in **tutti** i piani dell'edificio eseguite in condizioni di normale utilizzo (non a seguito di un terremoto)
- Con la metodologia SMAV si ottiene un **Indice di Operatività Strutturale (IOPS)** che esprime la probabilità che l'edificio sia operativo (cioè utilizzabile dal punto di vista strutturale) a seguito del terremoto atteso al sito per un dato periodo di ritorno (questo indice non viene utilizzato nella valutazione complessiva IOCT).

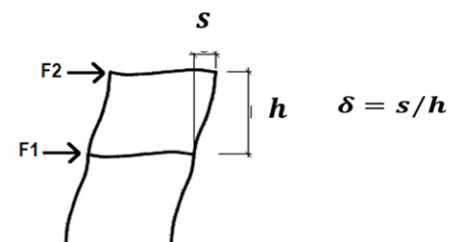


La metodologia SMAV: le fasi operative



La metodologia SMAV – La costruzione del modello matematico

La valutazione è condotta con un **approccio in spostamenti** in cui il parametro di controllo del livello di danno è il **drift di interpiano** δ , coerentemente con quanto previsto dalle normative vigenti.



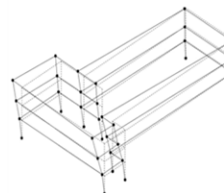
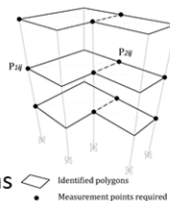
$$\delta = \frac{s}{h} \longrightarrow s = \Gamma \cdot \phi \cdot S_d(f)$$

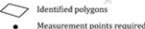
Coefficiente di partecipazione modale, funzione del calcolo della distribuzione delle masse e delle forme modali

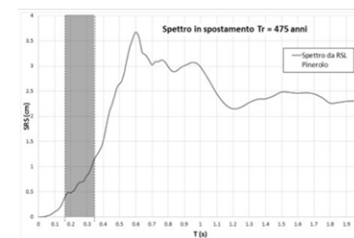
Gli spostamenti modali, funzione dell'identificazione dei parametri modali

Lo spostamento di progetto, funzione sia dell'input sismico (spettro di risposta) sia delle frequenze identificate (intervallo in grigio)

modello MRP*



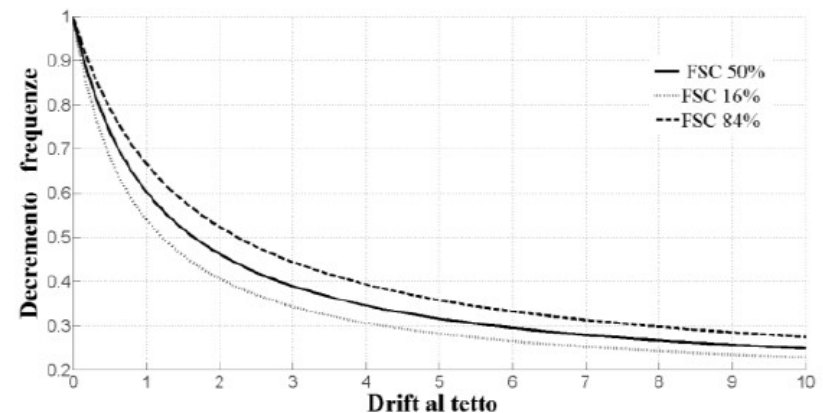
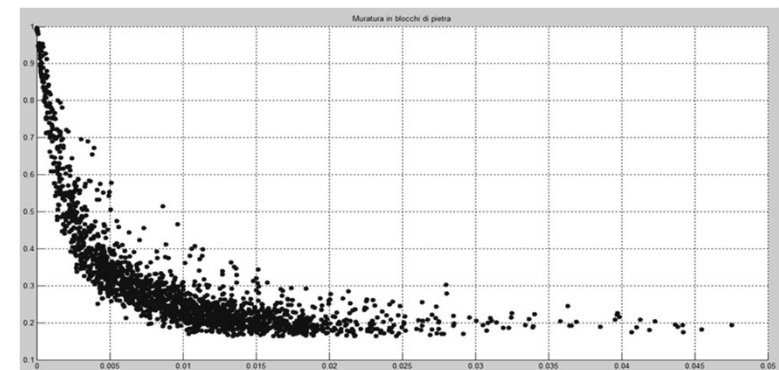
(*)Multi Rigid Polygons 



N.B. Tutti i termini presenti nella formula sono risultanti dalle analisi condotte in Fase3.

La metodologia SMAV – Le curve di degrado per l'analisi lineare equivalente

- La **risposta** dinamica di un edificio durante un terremoto è solitamente **non lineare in funzione del livello di deformazione raggiunto**. Ciò produce una riduzione delle frequenze di risonanza dell'edificio rispetto a quelle determinate attraverso le misure di vibrazione ambientale.
- Per tener conto di questo fenomeno la metodologia SMAV utilizza **curve di degrado in drop di frequenza - drift** per ciascuna tipologia strutturale che forniscono, per un dato valore del drift al tetto, la riduzione di frequenza che ha una certa probabilità di essere superata (**16%, 50% e 86%**)
- Le curve sono ottenute attraverso modelli meccanici semplificati e con esse si conducono delle analisi iterative ottenendo il **massimo drift** che ha una certa probabilità di essere superato (Analisi lineare equivalente)



Nell'ambito del progetto PON sono state sviluppate due procedure volte a:

- 1. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV**
- 2. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV con misure ridotte**



1. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV

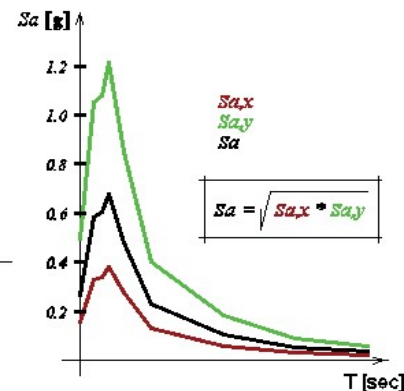
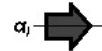
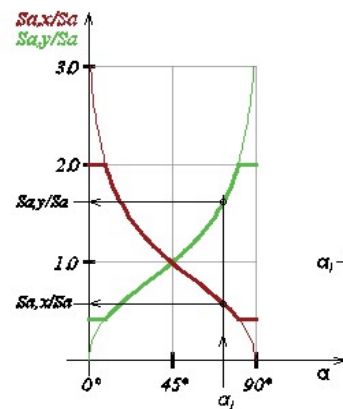
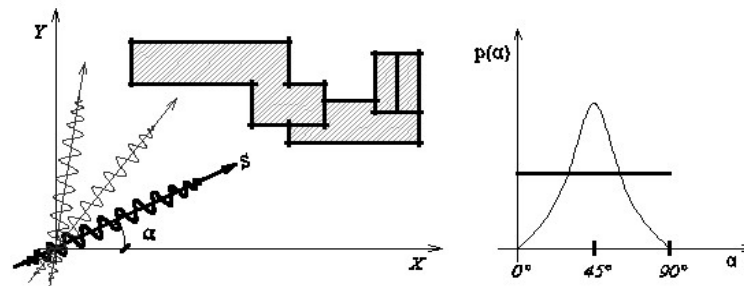
Le fasi:

- A. proiezione degli spettri di risposta *shakefield** in media geometrica nelle due direzioni con introduzione della variabile aleatoria α
- B. Automatizzazione delle analisi di pericolosità nel software dedicato SMAV e costruzione delle curve di fragilità

* È la metodologia utilizzata per generare le misure di intensità sismiche nella valutazione IOCT



1. **definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV**
 - A. proiezione nelle due direzioni degli spettri di risposta *shakefield* forniti in media geometrica con introduzione della variabile aleatoria α

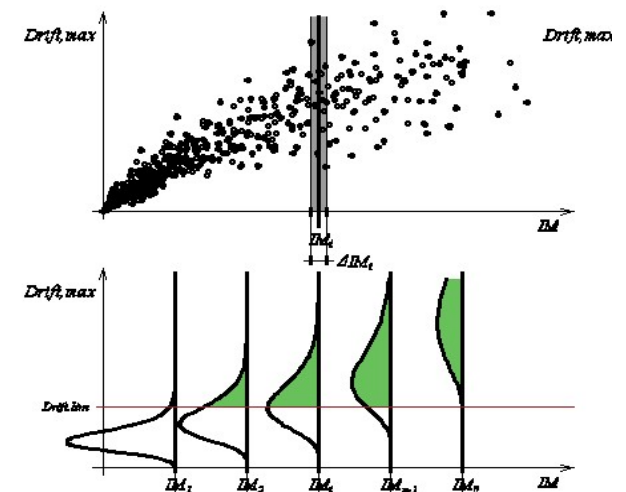


1. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV

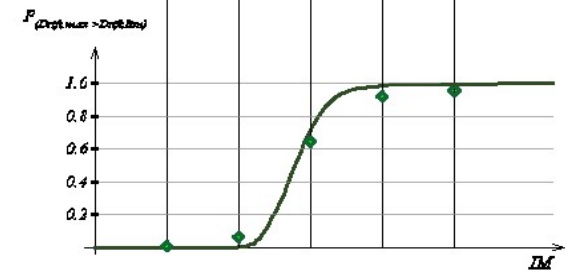
B. Automatizzazione delle analisi di pericolosità nel software dedicato SMAV (VaSCO.smaV) e costruzione delle curve di fragilità



2 ANALISI VaSCO.smaV

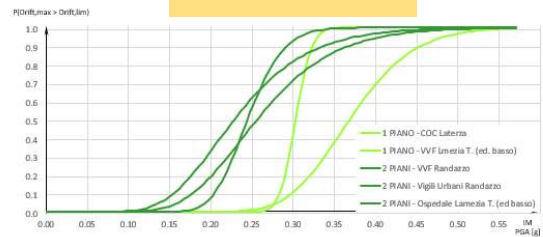


3 COSTRUZIONE CURVA DI FRAGILITA'

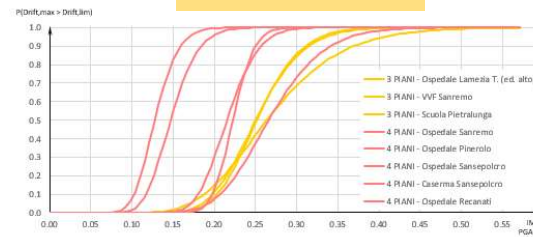


1. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV – i test sugli edifici di una sperimentazione sul territorio nazionale (2015)

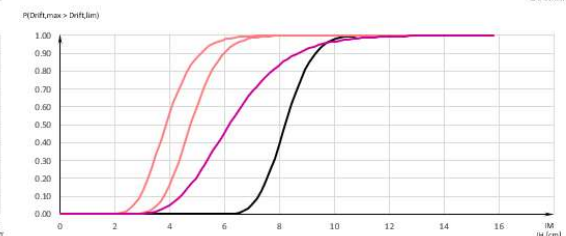
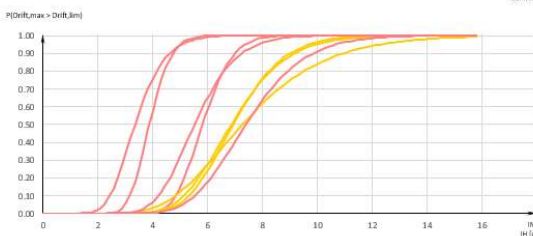
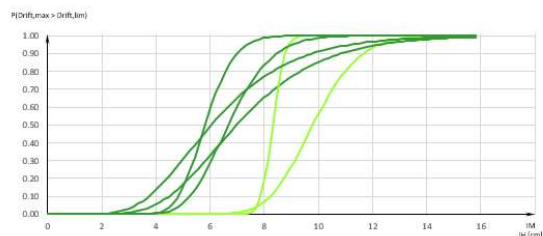
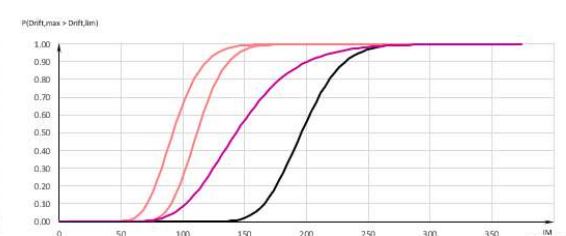
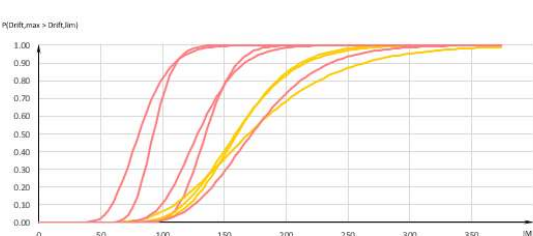
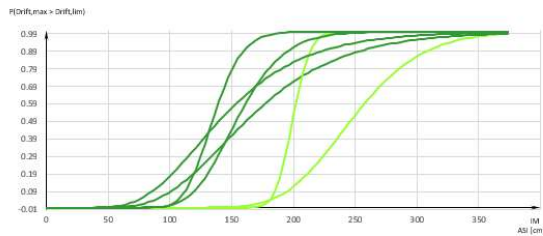
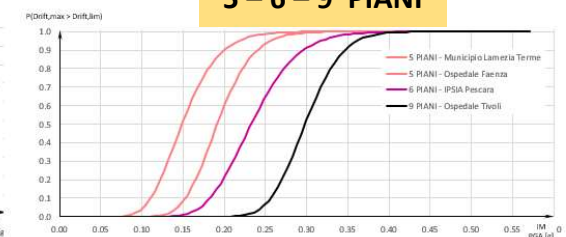
1 – 2 PIANI



3 – 4 PIANI



5 – 6 – 9 PIANI



2. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV con misure ridotte

- Nell'ottica di un'applicazione della metodologia **a scala nazionale in maniera estensiva** e al fine di una ottimizzazione dei costi a fronte di una minima perdita di accuratezza si è indagata la possibilità di ridurre il numero di piani monitorati
- La riduzione dei piani monitorati obbliga la scelta di una metodologia di interpolazione al fine di ricostruire la forma modale più prossima a quella ottenibile dal monitoraggio completo



2. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV con misure ridotte

Le fasi:

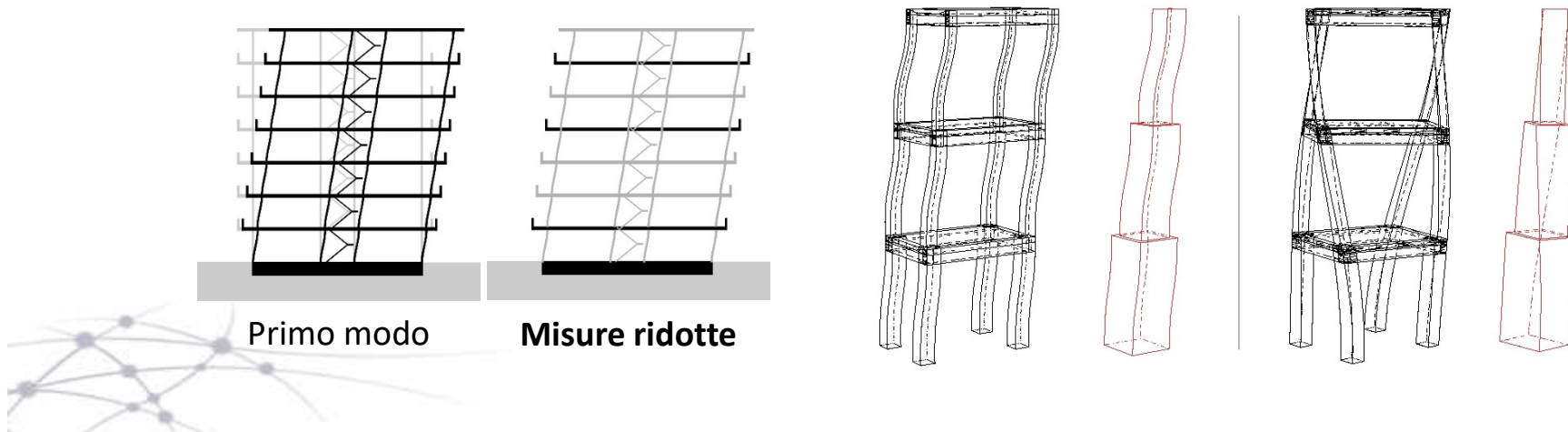
- A. Omogeneizzazione dell'edificio ad un modello a trave equivalente
- B. Stima delle proprietà modali del modello a trave equivalente attraverso tool sviluppato in MATLAB
- C. Ricostruzione delle forme modali nei piani non misurati
- D. Costruzione della curva di fragilità con la metodologia del punto 1



2. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV con misure ridotte

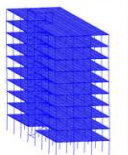
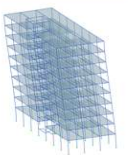
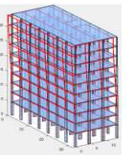
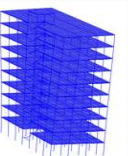
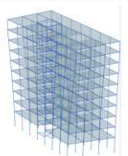
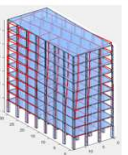
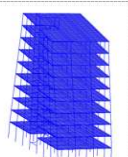
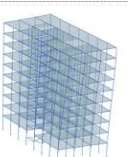
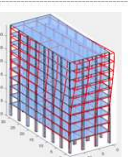
A. Omogeneizzazione dell'edificio ad un modello a trave equivalente:

Tramite un processo di omogeneizzazione, le caratteristiche elastiche dell'intero edificio vengono condensate ed il suo comportamento assimilato a quello di una trave equivalente.



2. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV con misure ridotte

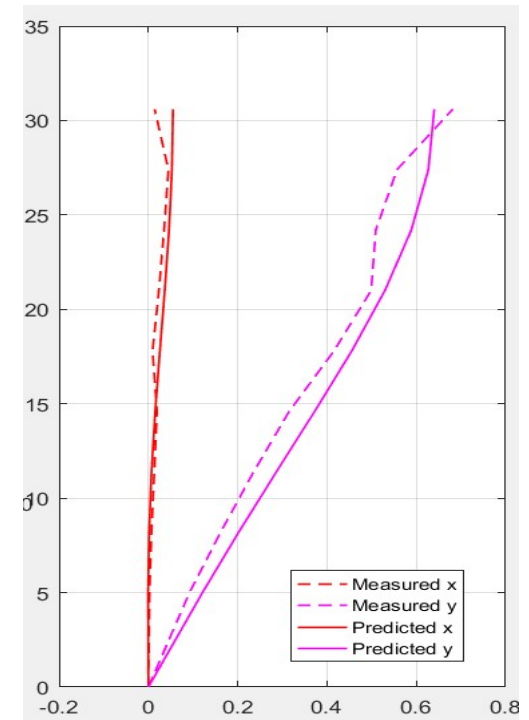
B. Stima delle proprietà modali del modello a trave equivalente tramite un tool appositamente sviluppato in MATLAB e testato con altri software come SAP2000 e ADAPTIC

ADAPTIC	SAP2000	MATLAB
		
PERIOD (SEC) 2.162	PERIOD (SEC) 2.169	PERIOD (SEC) 2.107
		
PERIOD (SEC) 1.809	PERIOD (SEC) 1.707	PERIOD (SEC) 1.814
		
PERIOD (SEC) 1.761	PERIOD (SEC) 1.628	PERIOD (SEC) 1.743



2. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV con misure ridotte

C. Ricostruzione delle forme modali nei piani non misurati con algoritmo di minimizzazione di una funzione obiettivo



$$FunzioneObiettivo = \left(1 - \sum_{j=1}^N \frac{|\varphi_j^{calc} \cdot \varphi_j^{OMA}|^2}{(\varphi_j^{calc} \cdot \varphi_j^{calc})(\varphi_j^{OMA} \cdot \varphi_j^{OMA})} \right)$$

2. definire una curva di fragilità specifica dell'edificio attraverso la metodologia SMAV con misure ridotte

D. Costruzione della curva di fragilità attraverso la metodologia del punto 1.

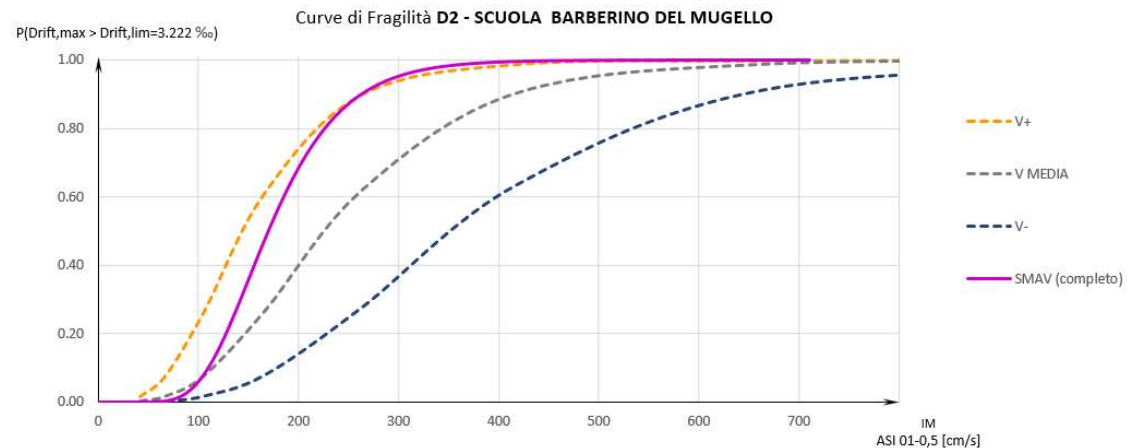


CURVE DI FRAGILITA'
Validazioni e confronti
finali

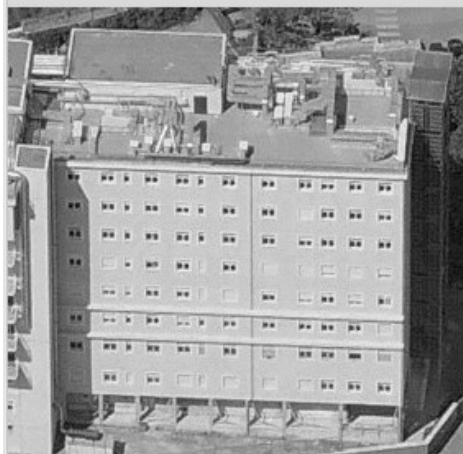


Scuola primaria "Lorenzo de' Medici"
Barberino di Mugello

- Classe di vulnerabilità C (edifici in c.a. con telai senza protezione sismica).
- Edificio con 2 piani.
- Danno D2
- IM: ASI 0.1-0.5 s

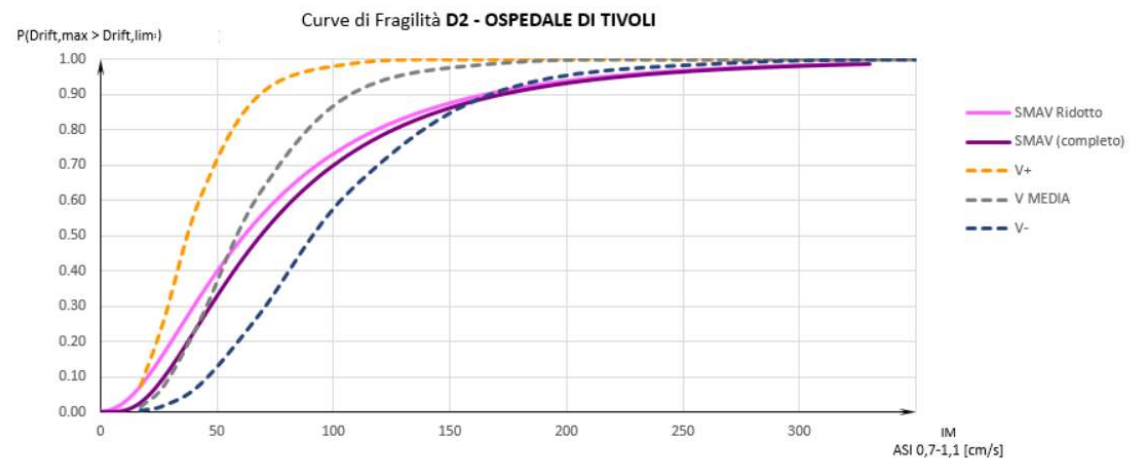


CURVE DI FRAGILITA'
Validazioni e confronti
finali

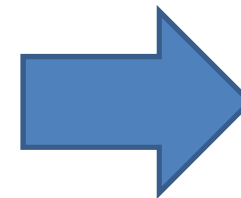
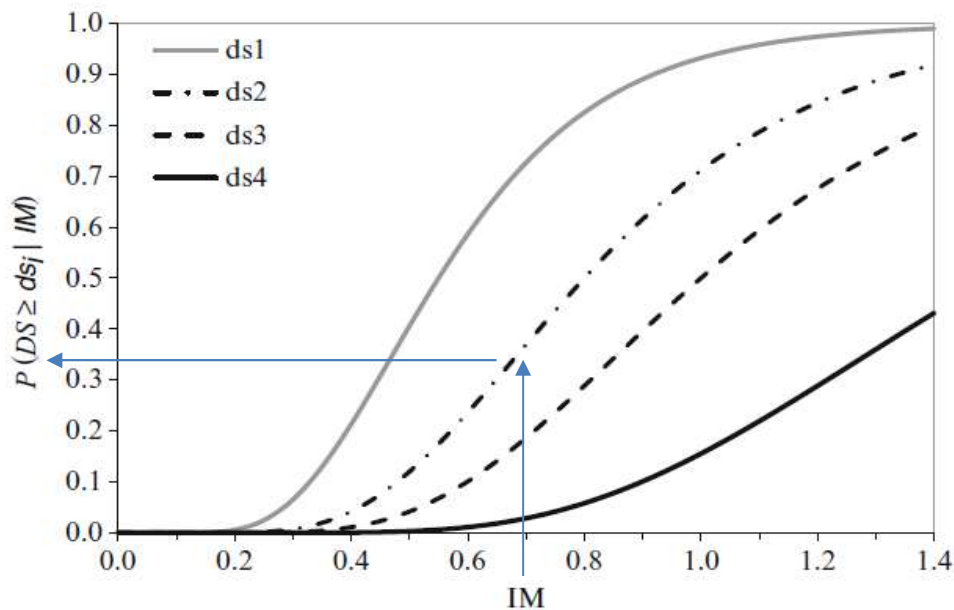


Ospedale "san Giovanni Apostolo"
Tivoli

- Classe di vulnerabilità C (edifici in c.a. con telai senza protezione sismica).
- Edificio con 9 piani.
- Danno D2
- IM: ASI 0.7-1.1 s



La probabilità di operatività (P) del singolo edificio calcolata sulla curva di fragilità al danno D2 o D5 per la misura di intensità IM viene utilizzata per la valutazione IOCT complessiva del sistema a rete



Valutazione
IOCT

