

VULNERABILITÀ SISMICA  
E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI  
NUOVO METODO DI VALUTAZIONE SPEDITIVA



***ESSEBI Srl***

*Servizi di monitoraggi e diagnostica strutturale*

# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## COSA SI INTENDE PER VULNERABILITÀ SISMICA ?

VALUTARE LA CAPACITÀ DI RESISTENZA DI UNA STRUTTURA RISPETTO AD UN DATO TERREMOTO

NTC 2008 E CIRCOLARE 617/2009 ...  
(NTC 2012 IN FASE DI APPROVAZIONE)

INDICANO LA METODOLOGIA CON CUI ESEGUIRE TALE VALUTAZIONE

- ❑ CAP. 3: DEFINISCONO LA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO, OVVERO L'AZIONE SISMICA ATTESA PER DIFFERENTI PERIODI DI RITORNO
- ❑ CAP. 8: METODOLOGIE DI CALCOLO PER VALUTARE LA SICUREZZA STRUTTURALE DI EDIFICI ESISTENTI NEI CONFRONTI DELL' AZIONE SISMICA



SPETTRI DI RISPOSTA



FLUSSO DI LAVORO e  
CRITERI DI VERIFICA

# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## SPETTRI DI RISPOSTA

SONO L' AZIONE DI INPUT RISPETTO CUI VALUTARE LA SICUREZZA STRUTTURALE,  
DEFINITI IN TERMINI DI ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA

SONO DEFINITI DALLA NORMA SULLA BASE DI:

PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO



ACCELERAZIONE MAX AL SUOLO

TIPOLOGIA TOPOGRAFICA



OROGRAFIA SITO DI COSTRUZIONE

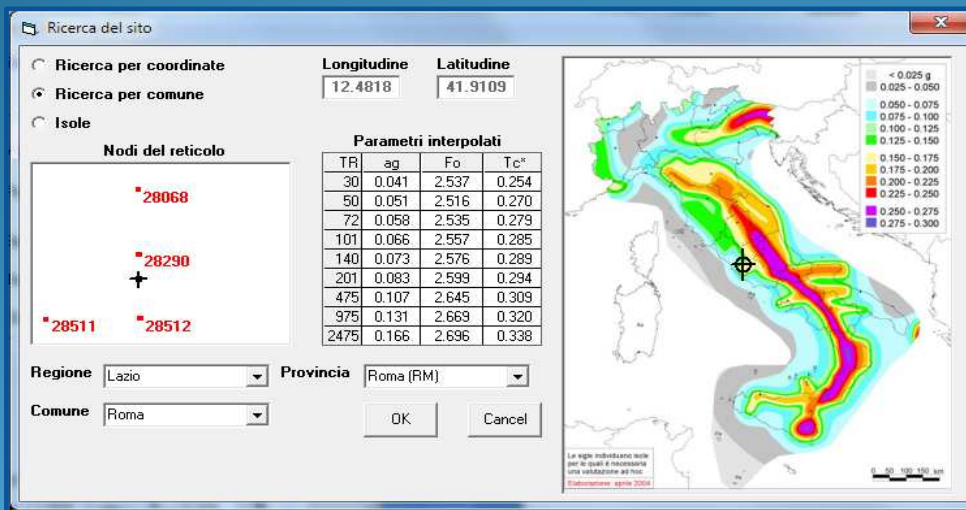
TIPOLOGIA DI SUOLO



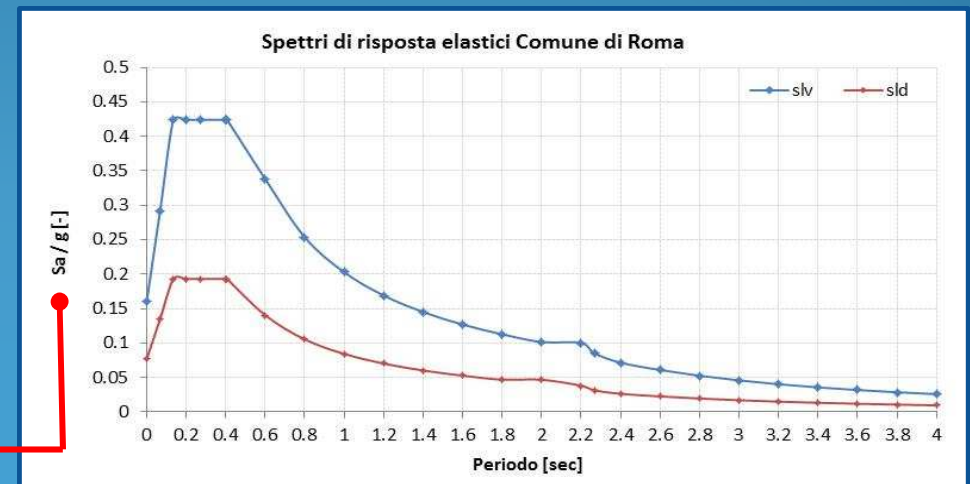
CATEGORIE DI TERRENO -  $V_s$



INDAGINE GEOFISICA



Valori accelerazione attesa normalizzati a g (acc. gravità)



# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## FLUSSO DI LAVORO PASSI NECESSARI PER UNA CORRETTA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

### PASSI:

- ❑ ACQUISIRE LA CONOSCENZA DELL'EDIFICIO
- ❑ SCHEMATIZZAZIONE MATEMATICA DELLA STRUTTURA
- ❑ ESECUZIONE DELLE ANALISI STRUTTURALI
- ❑ ESECUZIONE DELLE VERIFICHE DI RESISTENZA / DUTTILITÀ
- ❑ VALUTAZIONE DELL'ESITO DELLE VERIFICHE

### AZIONI:

INDAGINI STRUTTURALI

MODELLAZIONE F.E.M

INDICE DI RISCHIO

$PGA_{c,SLV}$  /  $PGA_{d,SLV}$

*Accelerazione al suolo dello spettro che provoca il superamento dello SLV*

*Accelerazione al suolo dello spettro SLV previsto per il sito dalla norme*

VULNERABILITÀ SISMICA  
E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

**IL METODO È AFFIDABILE ?  
SI, A CONDIZIONE CHE.....**

SI È RAGGIUNTA UNA ADEGUATA  
CONOSCENZA DELLA STRUTTURA



BUONA CAMPAGNA DI  
INDAGINI STRUTTURALI

IL MODELLO NUMERICO  
REALIZZATO PER I CALCOLI  
RAPPRESENTA IN MODO  
AFFIDABILE LE EFFETTIVE  
CONDIZIONI STRUTTURALI  
DELL'EDIFICIO OGGETTO DI  
ANALISI



TARATURA MODELLO NUMERICO  
COME?  
MEDIANTE UN CONFRONTO FRA  
CARATTERISTICHE DINAMICHE  
CALCOLATE E QUELLE MISURATE





# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI



NON SI PUÒ ESEGUIRE UNA DIAGNOSI SENZA CONOSCERE LO STATO  
DI SALUTE DEL PAZIENTE

## INDAGINI STRUTTURALI

CONOSCENZA CARPENTERIE  
STRUTTURALI

CONOSCENZA DETTAGLI  
COSTRUTTIVI

CONOSCENZA PACCHETTI  
STRUTTURALE E NON DEGLI  
ORIZZONTAMENTI

CONOSCENZA CARATTERISTICHE  
RESISTENZA MATERIALI

### PRO:

- *FORNISCONO I DATI DI INPUT  
FONDAMENTALI PER QUALSIVOGLIA  
VALUTAZIONE NUMERICA;*

### CONTRO:

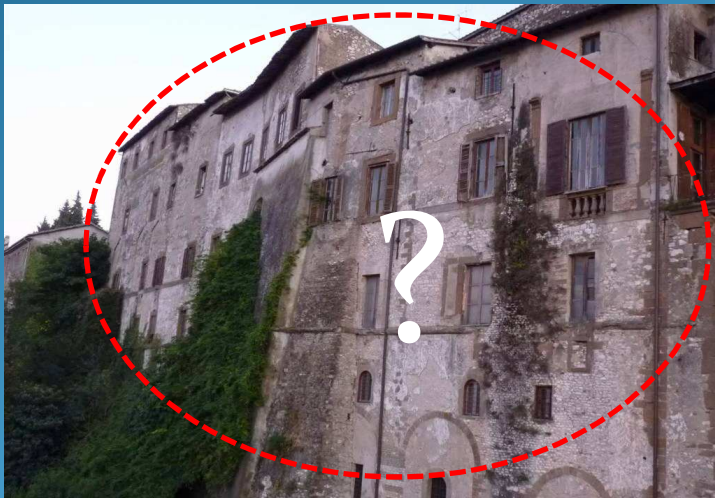
- *SONO COMMISURATE AL BUDGET  
DISPONIBILE;*
- *CREANO INTERFERENZE*
- *DANEGGIAMENTI LOCALI*

# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## MODELLO NUMERICO



- AGGREGATI EDILIZI
- EDIFICI STORICI IN CONTINUITÀ
- MODIFICHE INTERNE NON CENSITE  
(Apertura vani pareti portanti ecc..)
- AGGIUNTE PARZIALI IN EPOCHE  
SUCCESSIVE  
(ampliamenti, sopraelevazioni ecc..)



COME MODELLARE?

CRESCONO INCERTEZZE NELL'AFFIDABILITÀ DEL MODELLO NUMERICO



# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

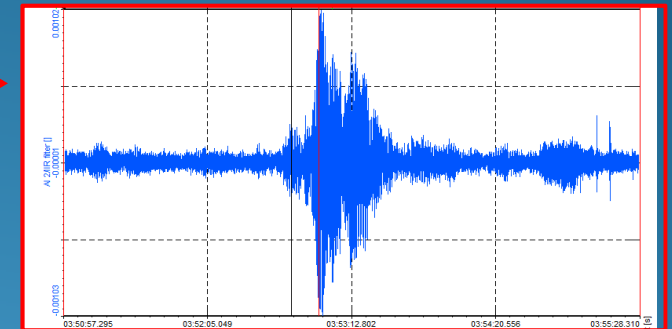
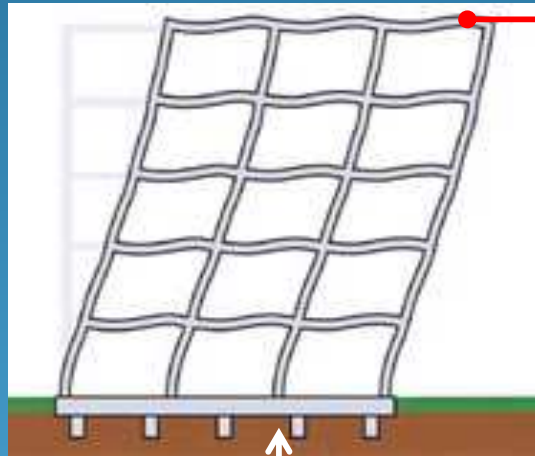
## BREVE DIGRESSIONE SULL'INGEGNERIA SISMICA

### 1. QUALI SONO GLI EFFETTI CHE IL TERREMOTO PROVOCA SU UNA COSTRUZIONE ?

Evento sismico



Oscillazione edificio



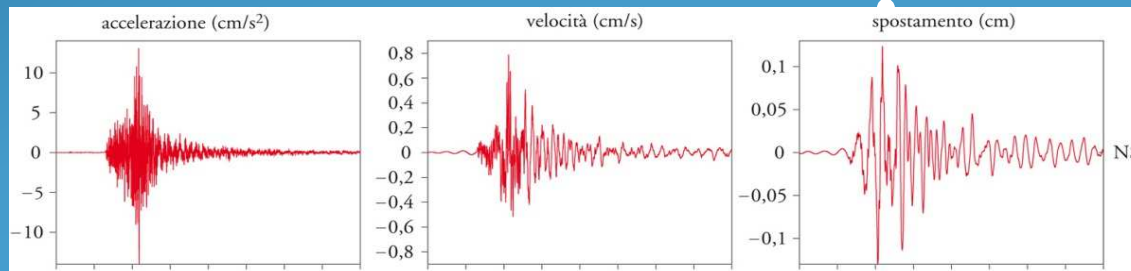
Accelerazioni

Massa edificio

### FORZE SISMICHE ORIZZONTALI

(Non contemplate nelle vecchie normative o non previste per le zone non considerate sismiche all'epoca di costruzione)

Oscillazione al suolo





# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## BREVE DIGRESSIONE SULL'INGEGNERIA SISMICA

### 2. *COME SI DETERMINANO LE FORZE SISMICHE ?*

LE FORZE CHE SI GENERANO NELL'EDIFICIO PER EFFETTO SISMICO  
SONO DI NATURA DINAMICA



LA SOLUZIONE DEL PROBLEMA FISICO CONSISTE NELLA RISOLUZIONE DI  
EQUAZIONI DI EQUILIBRIO IN CAMPO DINAMICO



METODI DI CALCOLO POSSIBILI RECEPITI NELLE NORME



SOLUZIONE DIRETTA DELLE EQUAZIONI  
DEL MOTO DINAMICHE  
*ANALISI TIME HISTORY*



SOLUZIONE MEDIANTE IL METODO  
DELLA DECOMPOSIZIONE MODALE  
*ANALISI MODALE  
CON SPETTRO DI RISPOSTA*

# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## BREVE DIGRESSIONE SULL'INGEGNERIA SISMICA

### 3. DA QUALI FATTORI DIPENDE L'INTENSITÀ DELLE FORZE SISMICHE ?

PER UN MEDESIMO EVENTO SISMICO DI UNA CERTA INTENSITÀ  
L'ENTITÀ DELLE FORZE SISMICHE CHE SI GENERANO IN UNA STRUTTURA  
DIPENDE DALLE CARATTERISTICHE OSCILLATORIE DELLA STRUTTURA STESSA



### CARATTERISTICHE MODALI

- PERIODI PROPRI DI OSCILLAZIONE
- FORME MODALI AI VARI PERIODI
- SMORZAMENTI

DIPENDONO DA:

- MASSE (*pesi elementi strutturali e carichi portati*)
- RIGIDEZZA (*tipologia strutturale, materiale, dimensione e disposizione elementi portanti*)



SONO CARATTERISTICHE PROPRIE DELLA STRUTTURA

VULNERABILITÀ SISMICA  
E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

CARATTERISTICHE MODALI

*COME SI POSSONO DETERMINARE ?*

METODO ANALITICO /  
NUMERICO



BASATO SU CALCOLI ESEGUITI SU  
UN MODELLO MATEMATICO DELLA  
STRUTTURA

(Modello ad elementi finiti)

METODO SPERIMENTALE



MISURE DI GRANDEZZE DINAMICHE  
(accelerazioni)

ESEGUITE DIRETTAMENTE SULLA  
STRUTTURA

ELABORATE MEDIANTE LA METODOLOGIA  
DELLA

ANALISI MODALE OPERATIVA

(OMA)



# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## CARATTERISTICHE MODALI

### *NEL CASO DI STRUTTURE ESISTENTI*

#### METODO ANALITICO / NUMERICO



- Necessita conoscenza della struttura (indagini strutturali, rilievo di dettaglio)
- Modello deve riuscire a riprodurre correttamente il comportamento della struttura in oggetto per fornire valutazioni attendibili

#### METODO SPERIMENTALE (OMA)



- Non necessita di indagini strutturali
- Non risulta invasivo
- Eseguitabile anche in condizioni di utilizzo della struttura
- Determina le effettive caratteristiche dinamiche della struttura nel suo stato attuale



**I RISULTATI SPERIMENTALI SONO QUINDI UTILI  
PER LA VERIFICA RISPONDENZA  
MODELLO DI CALCOLO / STRUTTURA ESISTENTE**

# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## NEI CASI IN CUI:

- ❑ SI NECESSITA DI UNA VALUTAZIONE SPEDITIVA (rapidità, costi contenuti) SENZA RINUNCIARE AD UN CALCOLO RIGOROSO;
- ❑ IMPOSSIBILITA' AD ESEGUIRE INDAGINI STRUTTURALI;
- ❑ ASSENZA / CARENZA PROGETTO ORIGINARIO;
- ❑ ELEVATE INCERTEZZE DI MODELLAZIONE

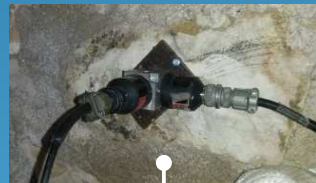
*Appare utile ricorrere a*

## DETERMINAZIONE CARATTERISTICHE DINAMICHE MEDIANTE METODO SPERIMENTALE (OMA)

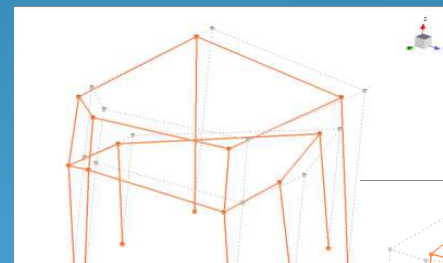
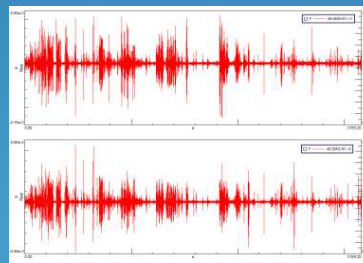
*Indagine dinamica S.M. delle Grazie – Castelli (Te)  
- Essebi 2016 -*



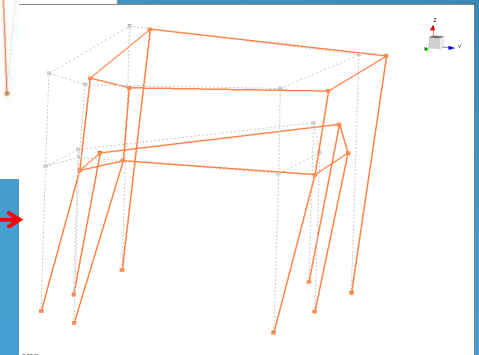
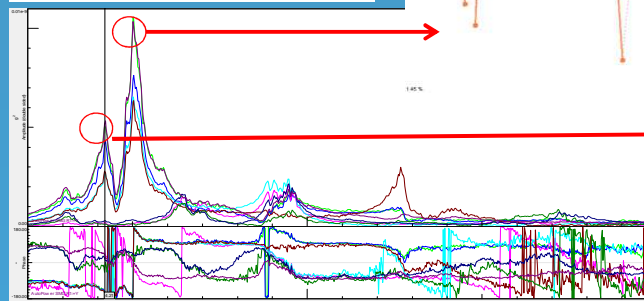
1) Edificio esistente



2) Misure in campo



3) Caratteristiche  
modali  
sperimentali



# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## RISULTATI MODALI DA METODO SPERIMENTALE OMA

POICHÉ LE CARATTERISTICHE MODALI SONO  
CARATTERISTICHE PROPRIE DI UNA STRUTTURA ( sono le sue «impronte digitali» )  
RISULTANO UTILI PER I SEGUENTI SCOPI:

### COSA:

1. CALIBRAZIONE MODELLI NUMERICI FEM;



2. INDICAZIONE SU QUANTO LA STRUTTURA È PREDISPOSTA AD ESSERE ECCITATA DA UN'AZIONE SISMICA



3. MONITORAGGIO STATO DI CONSERVAZIONE DELLA STRUTTURA NEL TEMPO;



4. VALUTAZIONE SPEDITIVA VULNERABILITÀ SISMICA



### COME:

*Confronto parametri modali teorici (fem) con parametri sperimentali (OMA)*

*Collocazione struttura su spettro di risposta di sito, in funzione dei periodi propri di oscillazione determinati sperimentalmente*

*Verifica mantenimento parametri modali nel tempo confrontando valori misurati in tempi successivi rispetto a valori misurati in un istante assunto come riferimento*

**Nuovo metodo proposto**



# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## VALUTAZIONE SPEDITIVA VULNERABILITÀ SISMICA

### 1) PROGETTO DELLA MISURA

*Definizione punti di misura (numero e collocazione);*

### 2) ESECUZIONE DELLE MISURE ACCELEROMETRICHE IN CAMPO

*Sensori accelerometrici di tipo sismico (basse frequenza, basso rumore spettrale, elevata sensibilità); condizionatori di segnale (elevata dinamica, campionamento simultaneo, basso rumore spettrale)*

### 3) POST PROCESSING DELLE MISURE MEDIANTE SOFTWARE DEDICATI ED ALGORITMI DI REGRESSIONE

*Analisi del segnale (funzioni Cross Power Spectrum) estrazione parametri modali (PolyMax) e validazione parametri determinati (AutoMAC – MPD, MPC)*

### 4) BREVE INDAGINE DOCUMENTALE/ SITO

*Acquisizione dimensioni plano-altimetriche edificio, tipologia orizzontamenti (eventuale indagine con termocamera) utili per stima delle masse sismiche*

**I PUNTI 1 – 4 SONO ORMAI PRASSI CONSOLIDATE E DA SOLI FORNISCONO GLI STRUMENTI UTILI ALLE VALUTAZIONI 1 – 3 DELLA SLIDE PRECEDENTE**



# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## VALUTAZIONE SPEDITIVA VULNERABILITÀ SISMICA

### APPLICAZIONE DEL METODO SPEDITIVO DI VERIFICA

*TALE METODO PREVEDE DI VERIFICARE IL LIVELLO DI AZIONE SISMICA TOLLERATO DALLA STRUTTURA AFFINCHÉ NON SI MANIFESTINO DANNEGGIAMENTI STRUTTURALI;*

*IL CRITERIO ADOTTATO PER LE VERIFICHE SI BASA SUL CONTROLLO DEL MASSIMO SPOSTAMENTO DI INTERPIANO (DRIFT);*

*SECONDO LE NORME NTC<sub>2008</sub>, IL CONTENIMENTO DEL DANNO STRUTTURALE PER EDIFICI ORDINARI (classe II) È VERIFICATO SE IL DRIFT RISULTA INFERIORE A:*

Stato limite	Ed. C.A	Ed. Muratura
Danno	0,005 h	0,003 h
Operatività	0,0033 h	0,002 h

*IL CALCOLO DEL DRIFT SI BASA SUL METODO DELL'ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA IN CUI, LE CARATTERISTICHE MODALI (PERIODI PROPRI E FORME MODALI) SONO QUELLI DETERMINATI SPERIMENTALMENTE;*

# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## VALUTAZIONE SPEDITIVA VULNERABILITÀ SISMICA

### APPLICAZIONE DEL METODO SPEDITIVO DI VERIFICA

*IL METODO TIENE IN CONTO L'INCREMENTO DEL VALORE DI PERIODO PROPRIO DI OSCILLAZIONE IN FUNZIONE DEL PROGREDIRE DEL DANNEGGIAMENTO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI (TAMPONAMENTI) MEDIANTE PROCEDURA ITERATIVA SU CURVE DI DECADIMENTO DELLA FREQUENZA DISPONIBILI IN LETTERATURA PER DIFFERENTI TIPOLOGIE DI TAMPONAMENTO;*

*TALE ASPETTO CONSENTE DI STIMARE CORRETTAMENTE GLI SPOSTAMENTI IN RELAZIONE ALL'EVOLVERE DEL DANNO;*

*UNITAMENTE AI VALORI DEL DRIFT È POSSIBILE DETERMINARE LE FORZE SISMICHE ATTESE A LIVELLO DI PIANO PER I VARI STATI LIMITE, UTILI PER UNA VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE GLOBALE E LOCALE (MECCANISMI DI PRIMO MODO PER LE COSTRUZIONI IN MURATURA) UNA VOLTA NOTE LE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI;*



# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## VALUTAZIONE SPEDITIVA VULNERABILITÀ SISMICA

### APPLICAZIONE DEL METODO SPEDITIVO DI VERIFICA

*IL RISULTATO FINALE CONSISTE NELLA PERCENTUALE DI AZIONE SISMICA TOLLERATA DALLA STRUTTURA PER MANTENERSI OPERATIVA, IN RAPPORTO ALL'AZIONE RICHIESTA DAGLI SPETTRI DI NORMA PER GLI STATI LIMITE DI OPERATIVITÀ E DI DANNO.*

#### VANTAGGI:

- *NON INVASIVO;*
- *IMPIEGO IMMEDIATO;*
- *ADATTO PER RAPIDO CENSIMENTO FABBRICATI AL FINE DI PIANIFICARE LE RISORSE IN VIRTÙ DEGLI EDIFICI PIÙ VULNERABILI E A MAGGIOR RISCHIO;*
- *SVARIATI UTILIZZI RISULTATI OMA UTILI PER APPROFONDIMENTI NUMERICI*

#### SVANTAGGI:

- *NON PUÒ ESEGUIRE LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI COLLASSO E SALVAGUARDIA DELLA VITA PER LE QUALI OCCORRE IL METODO NUMERICO NOTE LE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E DETTAGLI COSTRUTTIVI;*

# VULNERABILITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DI EDIFICI

## VALUTAZIONE SPEDITIVA VULNERABILITÀ SISMICA

### NOTA CONCLUSIVA

SI FA PRESENTE CHE IL METODO SPEDITIVO ILLUSTRATO NON VUOLE SOSTITUIRSI AI METODI DI CALCOLO INDICATI DALLA NORMATIVA SULLE COSTRUZIONI VIGENTE.

È DA CONSIDERarsi INVECE COME UN ULTERIORE METODO DI VERIFICA UTILE PER PROCEDERE CON UNA VALUTAZIONE SPEDITIVA, SUFFRAGATA DA UN CALCOLO RIGOROSO E SULLA BASE DELLE CARATTERISTICHE EFFETTIVE DELLA STRUTTURA.

TALE METODO RISULTA SCEVRO DA QUALSIVOGLIA SEMPLIFICAZIONE PARAMETRICA DERIVANTE DA MACRO CLASSIFICAZIONI SISMICHE BASATE SULLA TIPOLOGIA STRUTTURALE,

LE QUALI PRESENTANO UN INTRINSECO BASSO LIVELLO DI ACCURATEZZA IN QUANTO NON CONTEMPLANO LE EFFETTIVE CARATTERISTICHE FISICHE SPECIFICHE DELLA STRUTTURA DI VOLTA IN VOLTA INDAGATA.