

# Valutazione Tecnica della Vulnerabilità Sismica del Sistema Costruttivo W4

*Autore:*

*Ing. Strutturale e Geotecnico  
Salvatore Virzi*

## Premessa

Secondo i dati della Protezione Civile, i danni economici causati dagli ultimi eventi sismici si possono stimare in circa 80 miliardi di euro, mentre il numero di vittime ammonterebbe a circa 2000 in 50 anni.

Per tali ragioni e per il naturale processo di aggiornamento della Normativa in materia di Costruzioni, stiamo assistendo giorno dopo giorno ad un mutamento, sia delle tecniche costruttive che dei materiali impiegati in edilizia, attraverso la scelta di soluzioni e tecnologie più performanti e sicure per l'uomo.

La seguente breve trattazione ha lo scopo di comprovare attraverso simulazioni numerico computazionali in campo non lineare (*analisi di spinta push over*) e considerazioni di tipo tecnico, che è sempre possibile raggiungere degli alti livelli di sicurezza sismica quando **concezione strutturale e innovazione del sistema costruttivo** convergono nell'**unico comune obiettivo**.



### PRINCIPALI TERREMOTI NEGLI ULTIMI 50 ANNI

Evento	Vittime	Senza tetto
Belice (1968)	360	57 mila
Friuli (1976)	939	80 mila
Irpinia (1980)	2914	400 mila
Sicilia (1990)	17	15 mila
Umbria e Marche (1997)	11	40 mila
Molise (2002)	30	3 mila
Abruzzo (2009)	308	80 mila
Emilia Romagna (2012)	27	5 mila
Centro Italia (2016)	298	65 mila

## Peculiarità dell'edificio analizzato

La struttura qui sottoposta a verifica riguarda uno degli innumerevoli edifici ormai realizzati in Nord Italia mediante il *Sistema Costruttivo Brevettato di Walls srl*.

Si tratta nello specifico di un edificio di tipo unifamiliare avente struttura portante a telaio e orizzontamenti in cemento armato. Il sistema strutturale è parte integrante dell'involucro, poiché inglobato all'interno dei casseri in EPS a rimanere, i pilastri hanno un passo di circa 2/metro, poiché costituiscono elemento verticale resistente e tamponamento al tempo stesso.

Le aperture possono essere posizionate in maniera del tutto libera, poiché da cielo a terra non



interrompono in alcun modo la continuità strutturale.

La composizione edilizia è volutamente caratterizzata da una geometria che potrebbe apparire regolare a prima vista, ma che strutturalmente non lo è a causa della non uniformità in elevazione.

La mancanza di regolarità strutturale è spesso il motivo per cui il reale comportamento sismico di una costruzione non è esattamente quello che ci si aspetta da una trattazione semplificata, bisogna quindi ricorrere a strumenti più complessi che ci possano permettere di andare oltre la teoria elastica, passando attraverso modellazioni più spinte (e sicuramente *più realistiche*), in grado di tener conto della non linearità dei materiali costituenti gli elementi soggetti a sollecitazioni sismiche (dissipazione di energia e duttilità dovute a eventuale formazione di cerniere plastiche, con conseguenti modifiche dell'input sismico).

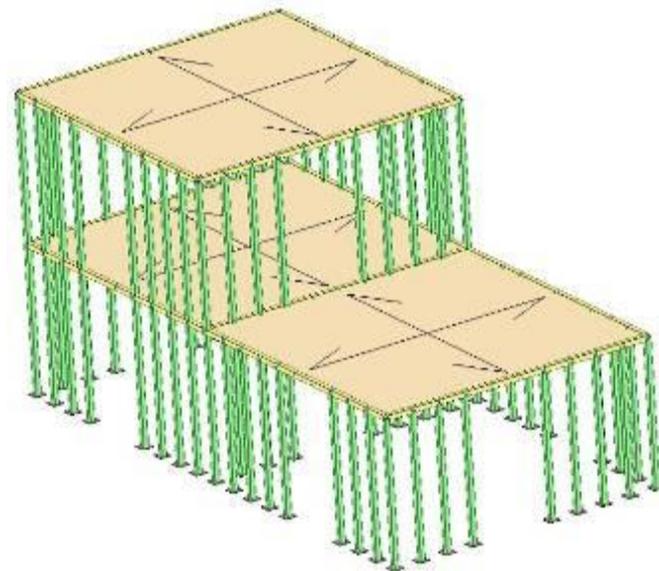
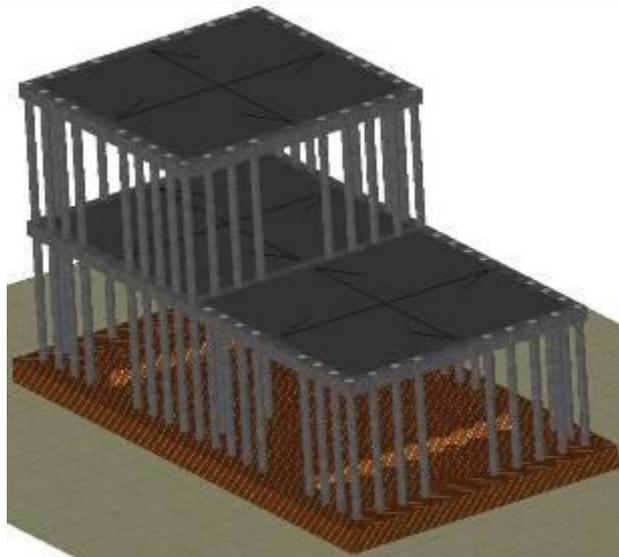
### Modello di calcolo e Analisi svolte

La Normativa Tecnica per le Costruzioni (cap. 7 delle NTC) ci permette di progettare edifici nuovi (ed eventualmente di verificare anche quelli già esistenti) utilizzando il fattore di struttura  $q$  derivante da analisi e modelli di calcolo non lineari (nello specifico di tipo *push over*), in modo da poter determinare il più realisticamente possibile lo spettro di progetto di normativa che ci riguarda (e senza il quale non riusciremmo ad individuare l'esatta intensità del taglio di piano sollecitante).

La modellazione è stata implementata mediante software di calcolo ai macroelementi *3DMacro*<sup>®</sup> fornito dall'Azienda **Gruppo Sismica** e utilizzato spesso in ambito di ricerca per la valutazione della vulnerabilità sismica di edifici nuovi ed esistenti con struttura sia in cemento armato e sia in muratura.

Gli elementi trave e pilastro sono inseriti mediante *frames 3D* in grado di sviluppare una determinata cerniera plastica una volta raggiunta la soglia di danneggiamento e in modo da aggiornare la matrice di rigidezza dell'intera struttura.

Gli impalcati sono invece modellati in modo da avere la rigidezza di piano derivante dalla geometria del solaio.

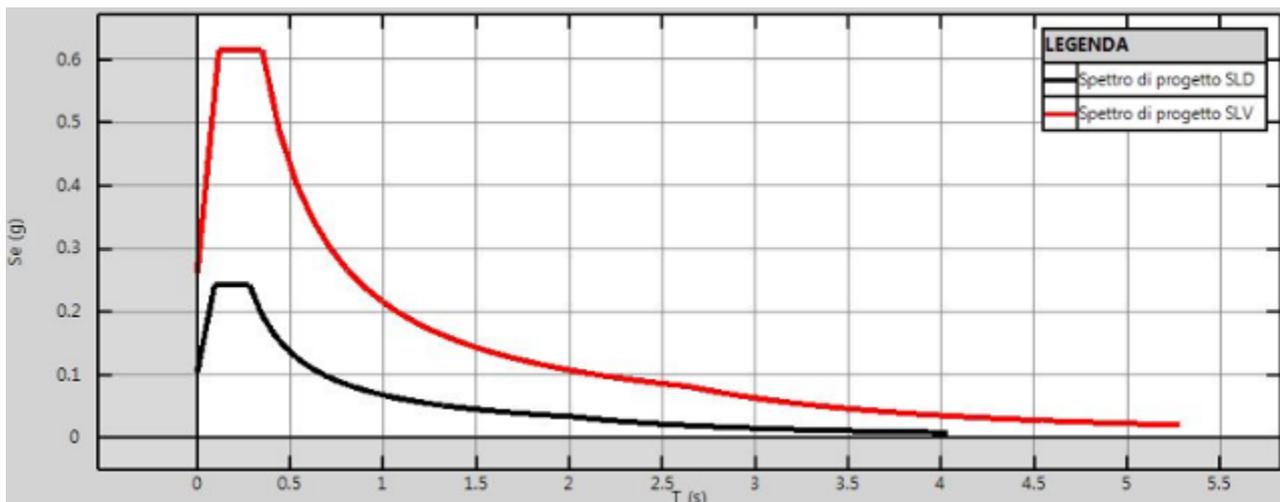


## Sollecitazioni e Verifiche Sismiche

La scelta dell'input sismico a cui fare riferimento è stata influenzata dagli ultimi eventi tellurici e dalla classificazione sismica odierna del territorio italiano, che mette (ad esempio) L'Aquila tra le zone con più alta probabilità che si verifichi un evento di severa intensità. Il sito per cui si è optato vuole avere qui solamente carattere di rappresentatività, in quanto altri potrebbero essere i parametri sismici con cui ci si sarebbe potuti confrontare giungendo a livelli di severità non dissimili da quelle qui considerate.

Sito di costruzione	<b>Aquila, L' - [AQ]</b> Abruzzo 42° 21' 59" N; 13° 22' 0" E
---------------------	--

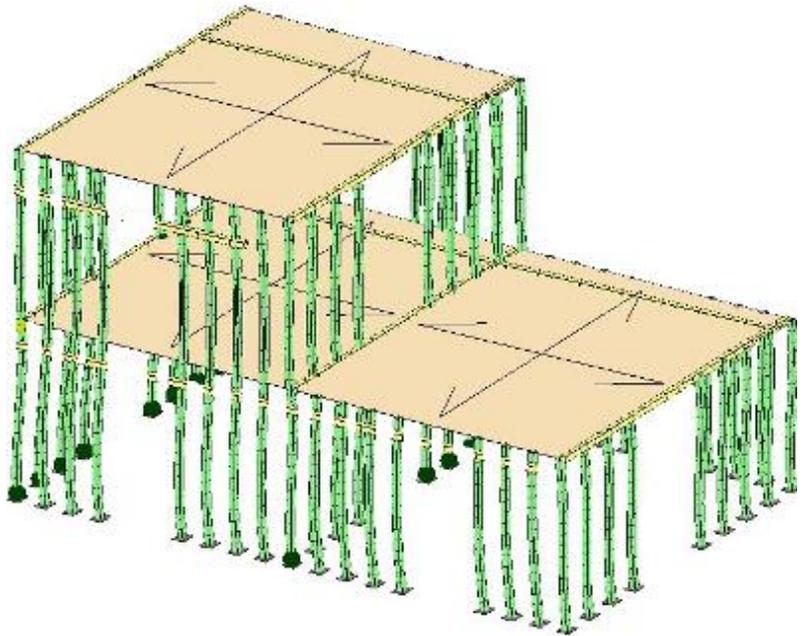
Stato limite	P [%]*	$T_r$	PGA	$F_0$	$T^*$	$\eta$	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$
 SLO	81	30	0.0788	2.4	0.27	1	1	0.09	0.27	1.92
 SLD	63	50	0.104	2.33	0.28	1	1	0.0934	0.28	2.02
 SLV	10	474	0.261	2.36	0.35	1	1	0.117	0.35	2.64
 SLC	5	974	0.334	2.4	0.36	1	1	0.12	0.36	2.94



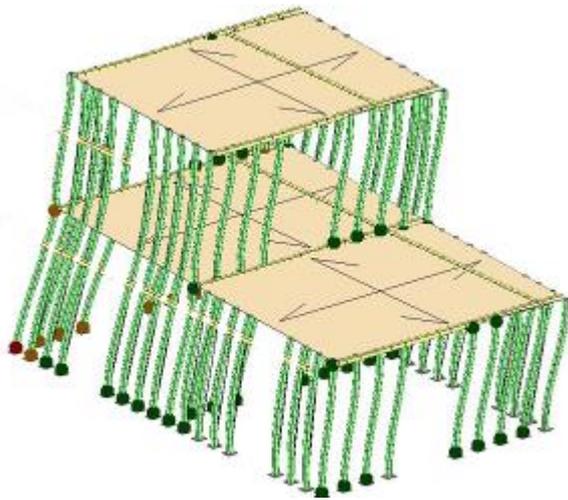
## Valutazione e Stima delle Analisi effettuate

Le deformate visualizzate nella colonna di destra (amplificate di un fattore pari a 50) mostrano il modello di struttura una volta sottoposto a sisma con intensità crescente e nelle due direzioni rispettivamente ortogonali (in questo caso le combinazioni di carico pseudo triangolari inverse e proporzionali alle masse risultavano pressoché simili).

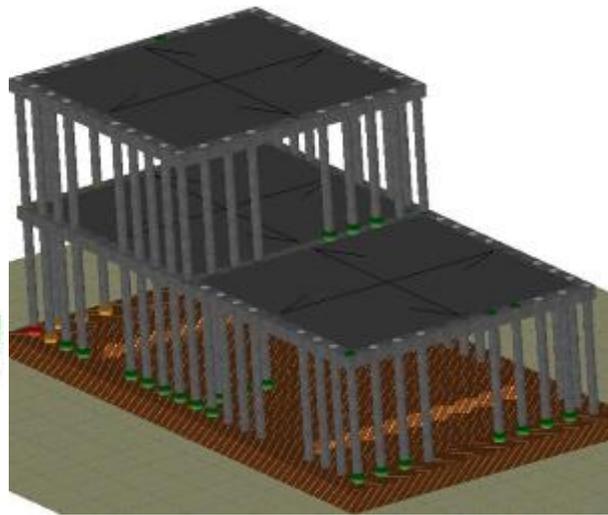
Come è possibile osservare, il grado di danneggiamento della struttura parte dal piede dei pilastri fino ad arrivare al collasso finale, tale comportamento (o modo di rispondere al sisma) è da prediligere (come anche dichiarato dalla comunità scientifica), poiché quando ancora nella struttura a collassare sono soltanto i nodi di base, questa può ancora presumersi in grado di resistere senza causare crolli, né rischio per la vita degli occupanti.



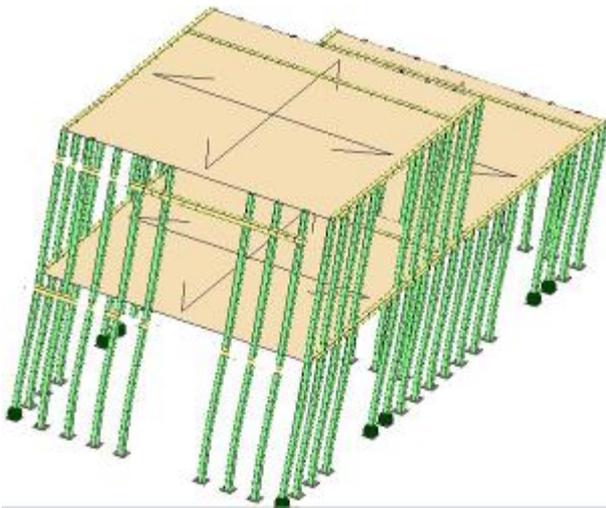
Sisma X - Livello di danneggiamento iniziale



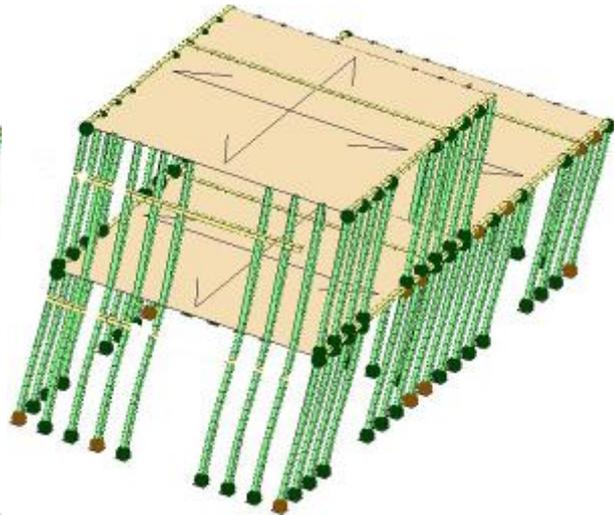
Sisma X - Livello di danneggiamento finale



Sisma X - Livello di danneggiamento finale



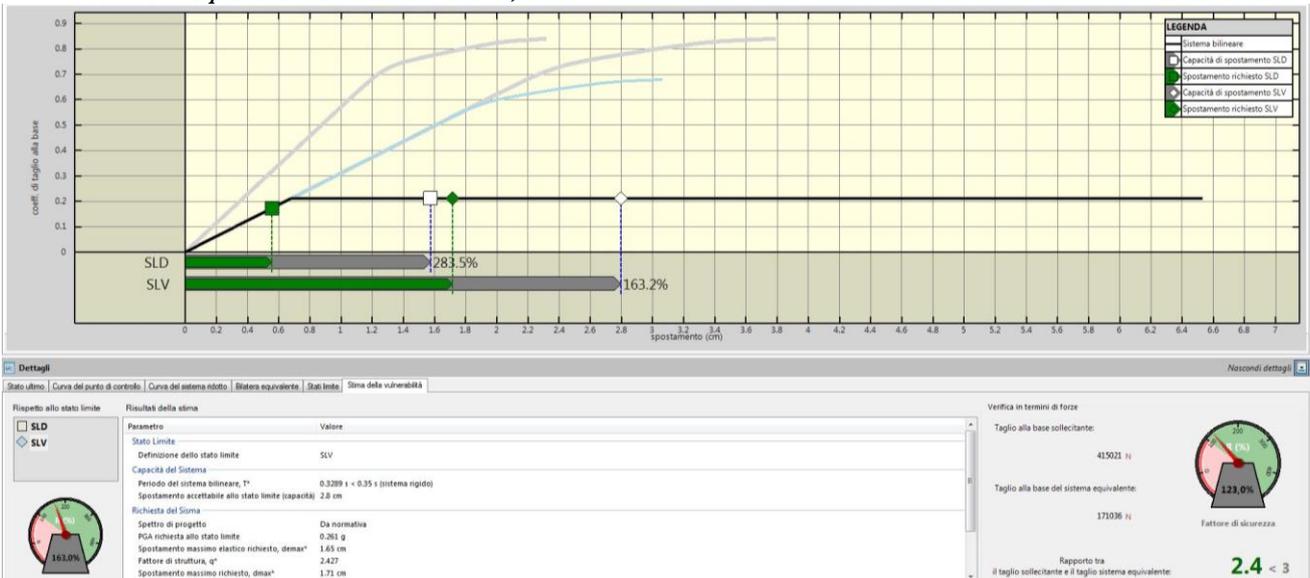
Sisma Y - Livello di danneggiamento iniziale



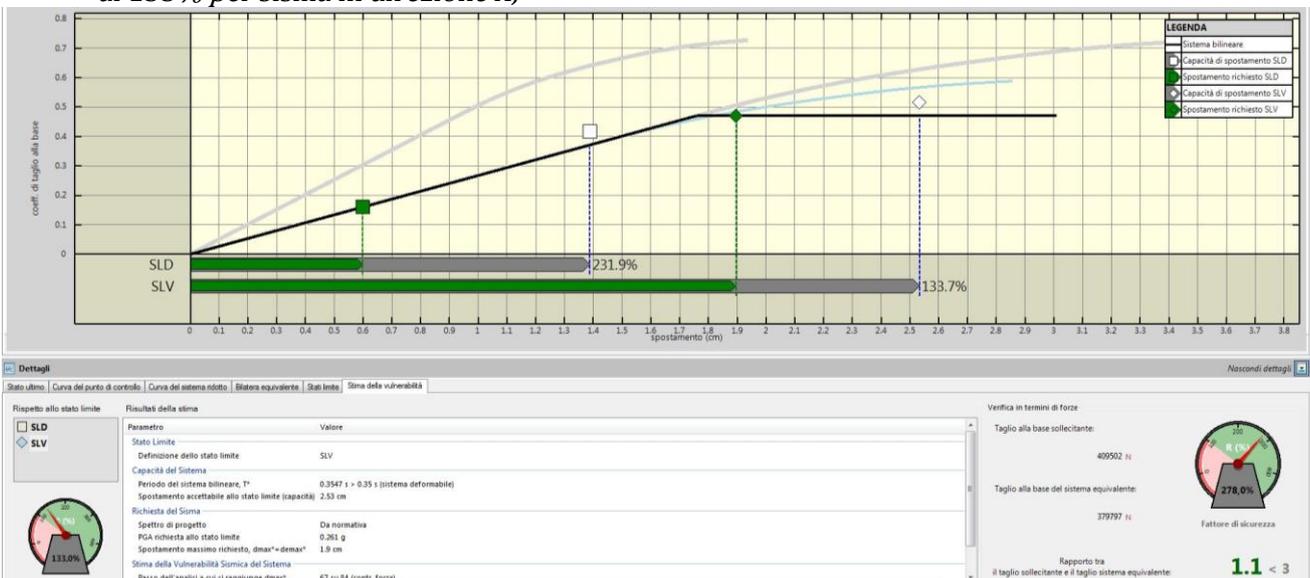
Sisma Y - Livello di danneggiamento finale

Le stime di vulnerabilità risultanti dalle analisi vanno ben oltre la piena sicurezza, portandosi:

- al 163% per sisma in direzione Y;



- al 133% per sisma in direzione X;



## Indicatori di rischio

Per i progettisti e gli addetti ai lavori si riportano di seguito gli indicatori di rischio (in base alla PGA e in base al tempo Tr) desunti dalle analisi svolte:

### *Indicatori di rischio (PGA)*

Evento	PGA (g)	PGA <sub>CLO</sub> /PGA <sub>DLO</sub>	PGA <sub>CLD</sub> /PGA <sub>DLD</sub>	PGA <sub>CLV</sub> /PGA <sub>DLV</sub>	PGA <sub>CLC</sub> /PGA <sub>DLC</sub>
Rotazione di snervamento in un'asta	0.185	2.347	1.778	0.710	0.554
3/4 della rotazione ultima in un'asta	0.336	4.266	3.231	1.291	1.007
Rottura a flessione in un'asta	0.379	4.803	3.638	1.454	1.134
Analisi globale della vulnerabilita' sismica in termini di forza	0.322	--	--	1.236	--
- Direzione Y	0.322	--	--	1.236	--
- Direzione X	0.452	--	--	1.736	--
Analisi globale della vulnerabilita' sismica (SLD)	0.241	--	2.318	--	--
- Direzione Y	0.295	--	2.837	--	--
- Direzione X	0.241	--	2.318	--	--
Analisi globale della vulnerabilita' sismica (SLV)	0.348	--	--	1.336	--
- Direzione Y	0.421	--	--	1.616	--
- Direzione X	0.348	--	--	1.336	--

#### *Legenda:*

Evento: evento di crisi monitorato;

PGA: accelerazione al suolo;

PGA<sub>CLO</sub>/PGA<sub>DLO</sub>: indicatore di rischio relativo al rapporto di PGA per lo SLO;

PGA<sub>CLD</sub>/PGA<sub>DLD</sub>: indicatore di rischio relativo al rapporto di PGA per lo SLD;

PGA<sub>CLV</sub>/PGA<sub>DLV</sub>: indicatore di rischio relativo al rapporto di PGA per lo SLV;

PGA<sub>CLC</sub>/PGA<sub>DLC</sub>: indicatore di rischio relativo al rapporto di PGA per lo SLC.

*Indicatori di rischio (Tr)*

Evento	Tr (anni)	(TR <sub>CLO</sub> /TR <sub>DLO</sub> ) <sup>a</sup>	(TR <sub>CLD</sub> /TR <sub>DLD</sub> ) <sup>a</sup>	(TR <sub>CLV</sub> /TR <sub>DLV</sub> ) <sup>a</sup>	(TR <sub>CLC</sub> /TR <sub>DLC</sub> ) <sup>a</sup>
Rotazione di snervamento in un'asta	188	2.124	1.719	0.683	0.508
3/4 della rotazione ultima in un'asta	996	4.221	3.417	1.357	1.009
Rottura a flessione in un'asta	1435	4.904	3.971	1.577	1.172
Analisi globale della vulnerabilita' sismica in termini di forza	877.849	--	--	1.288	--
- Direzione Y	877.849	--	--	1.288	--
- Direzione X	2475	--	--	1.288	--
Analisi globale della vulnerabilita' sismica (SLD)	384.502	--	2.310	--	--
- Direzione Y	682.107	--	2.924	--	--
- Direzione X	384.502	--	2.310	--	--
Analisi globale della vulnerabilita' sismica (SLV)	1107.55	--	--	1.417	--
- Direzione Y	1988.18	--	--	1.803	--
- Direzione X	1107.55	--	--	1.417	--

*Legenda:*

Evento: evento di crisi monitorato;

Tr: periodo di ritorno

(TR<sub>CLO</sub>/TR<sub>DLO</sub>)<sup>a</sup>: indicatore di rischio relativo al rapporto di Tr per lo SLO;

(TR<sub>CLD</sub>/TR<sub>DLD</sub>)<sup>a</sup>: indicatore di rischio relativo al rapporto di Tr per lo SLD;

(TR<sub>CLV</sub>/TR<sub>DLV</sub>)<sup>a</sup>: indicatore di rischio relativo al rapporto di Tr per lo SLV;

(TR<sub>CLC</sub>/TR<sub>DLC</sub>)<sup>a</sup>: indicatore di rischio relativo al rapporto di Tr per lo SLC.

### Considerazioni conclusive

Nella trattazione sin qui esposta si è accennato soltanto alle caratteristiche della struttura analizzata, senza scendere nei particolari che riguardano le analisi dei carichi considerati ne le caratteristiche dei materiali. E' chiaro che voler introdurre tutte le fasi che hanno portato alla modellazione sarebbe stato alquanto fuorviante.

Quella di implementare una struttura avente sistema costruttivo a telaio è stata una scelta voluta al fine di poter presentare i report nella maniera più semplice e lineare possibile.

Nel caso in cui si avesse voluto raggiungere risultati ancora più performanti o qualora si renda necessario correggere effetti torsionali indesiderati, si sarebbe ad esempio potuto introdurre nella struttura dei setti in c.a., in modo da trasferire lo sforzo sismico verso taluni elementi più resistenti o ancora, degli elementi tubolari metallici in modo da risultarne una struttura mista in acciaio-clc.

**Il sistema costruttivo W4GW lascia ampia libertà al progettista, poiché risultano innumerevoli le soluzioni che potrebbero essere costruttivamente realizzate pur risultando globalmente verificate nei confronti della sicurezza statica e sismica dell' intero edificio, e senza tra l'altro precludere le prestazioni di comfort energetico e ambientale richieste a monte.**

In conclusione, le verifiche condotte e il riepilogo presentato sotto forma di indicatori di rischio mostrano una performance eccellente nei confronti anche di terremoti molto severi, a tal proposito, potrebbe essere possibile immaginare di ubicare la medesima struttura presso altri comuni d'Italia, per vedere quali sarebbero stati i risultati raggiungibili:

SITO DI COSTRUZIONE	GRADO DI SICUREZZA SISMICA MINIMA RAGGIUNGIBILE IN ASSENZA DI DANNO <i>(STRUTTURA ANCORA IN CAMPO ELASTICO)</i>	GRADO DI SICUREZZA SISMICA MINIMA RAGGIUNGIBILE ALLO SLU [%]
REGGIO EMILIA	123%	166%
NAPOLI	120%	171%
ROMA	171%	241%
MILANO	497%	700%
GENOVA	347%	489%
TORINO	390%	550%
AMATRICE	105%	142%
VENEZIA	333%	470%
BARI	357%	503%

## BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- 3DMacro 2012. "3D software di calcolo per la vulnerabilità sismica degli edifici in muratura". Gruppo Sismica s.r.l., Catania, Italia. Release 3.0, Novembre 2012. Manuale Teorico", versione 1.11103101, disponibile sul sito [www.3DMacro.it](http://www.3DMacro.it);
- Calìo I, Cannizzaro F., Pantò B., 2012. "A macroelement approach for modeling the nonlinear behaviour of monumental buildings under static and seismic loadings". 15th World Conference on Earthquake Engineering 24-28 September;
- Calìo, F. Cannizzaro, E. D'Amore, M. Marletta, B. Pantò (2008)  
Un nuovo approccio ai macro-elementi per la stima della resistenza sismica di edificio in struttura mista muratura-calcestruzzo armato: applicazioni ad un caso di studio.  
*Atti Convegno ReLUIS: "Valutazione e Riduzione della Vulnerabilità Sismica di Edifici Esistenti in C.A." Roma 29-30 Maggio 2008.*  
*A cura di E. Cosenza, G. Manfredi, G. Monti - Polimetrica International Scientific Publisher;*