

L'Attività ReLUIS (Consorzio della Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e Strutturale) degli ultimi dieci anni sul tema degli edifici prefabbricati



Prof. Ing. Gennaro Magliulo

(gennaro.magliulo@unina.it)

Professore Associato,
Dip. di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università di Napoli Federico II

Con la collaborazione
dell'Ing. Chiara Di Salvatore

Re.LUIS è il consorzio della rete dei laboratori universitari italiani di ingegneria sismica e strutturale.



- University of Basilicata
- University of Naples Federico II
- University of Pavia
- University of Trento

- Politecnico di Bari
- Università degli Studi di Bergamo
- Università degli Studi di Bologna
- Università degli Studi di Brescia
- Università degli Studi di Cagliari
- Università degli Studi di Calabria
- Università degli Studi di Camerino
- Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale
- Università degli Studi di Catania
- Università degli Studi di Chieti-Pescara
- Università degli Studi di Ferrara
- Università degli Studi di Firenze
- Università degli Studi di Genova
- Università degli Studi di L'Aquila
- Università degli Studi di Messina
- Politecnico of Milano
- Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
- Università degli Studi di Molise
- Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli
- Università degli Studi di Napoli Parthenope

- Università degli Studi di Padova
- Università degli Studi di Palermo
- Università degli Studi di Parma
- Università degli Studi di Perugia
- Università degli Studi di Pisa
- Università degli Studi delle Marche
- Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria
- Università degli Studi di Roma Sapienza
- Università degli Studi di Roma Tor Vergata
- Università degli Studi di Salento
- Università degli Studi di Salerno
- Università degli Studi di Sannio
- Università degli Studi di Sassari
- Politecnico di Torino
- Università degli Studi di Trieste
- Università degli Studi di Udine
- Università degli Studi Nicolò Cusano
- Università degli Studi di Venezia
- AGI (Associazione Geotecnica Italiana)
- Eucentre
- INGV (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia)
- CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) – Istituto per le Tecnologie delle Costruzioni

Re.LUIS è il consorzio della rete dei laboratori universitari italiani di ingegneria sismica e strutturale.

- Attività di ricerca numerica e sperimentale, specialmente nell'ambito della prevenzione del rischio sismico
- Supporto alle emergenze sismiche
- Supporto nella stesura di codici e linee guida
- Valutazione dell'efficacia di codici e linee guida esistenti
- Sviluppo di database e software di calcolo, aperti e fruibili a tutti
- Divulgazione scientifica

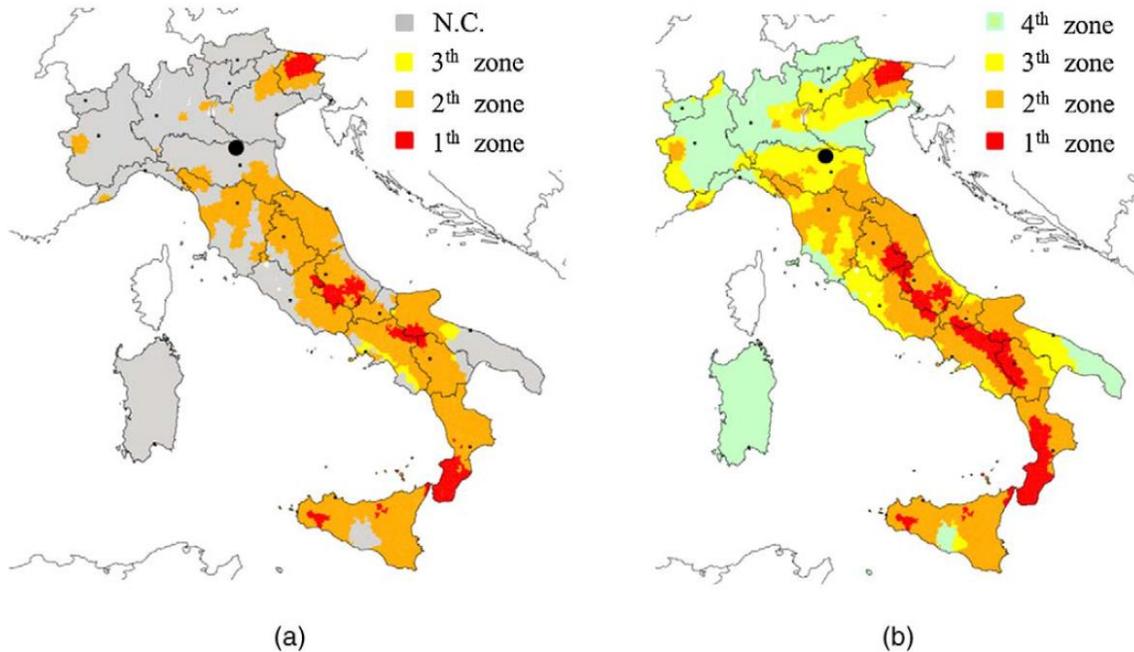


Il lavoro e l'attività di ricerca Re.LUIS sulle **strutture prefabricate in cemento armato** negli ultimi dieci anni ha riguardato:

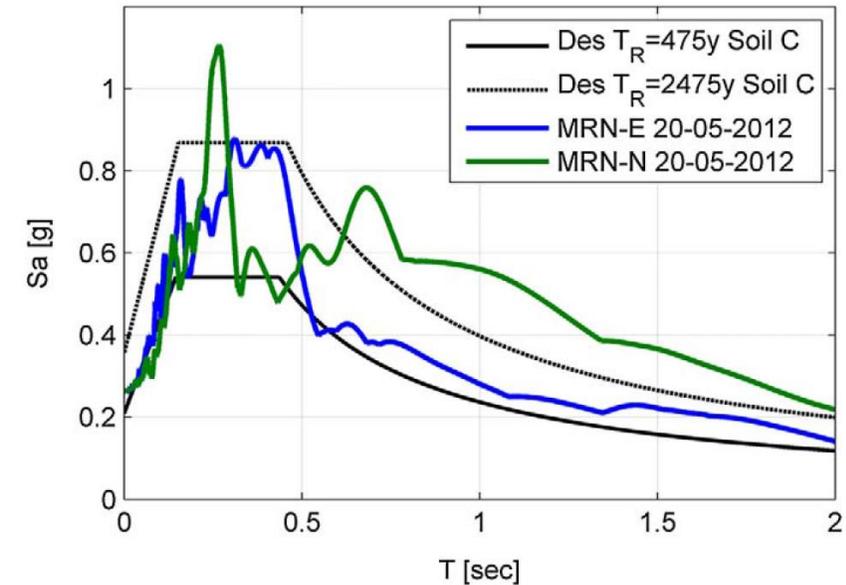
- Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici*
- Scheda di valutazione di danno e agibilità post-sisma per edifici a struttura prefabbricata o di grande luce (GL-Aedes)*
- Valutazione sismica di strutture monopiano in cemento armato prefabbricate conformi alle nuove normative (RINTC project)*
- Valutazione sismica di strutture monopiano in cemento armato prefabbricate esistenti (RINTC-E project)*
- Adeguamento/miglioramento di strutture monopiano in cemento armato prefabbricate esistenti (WP3 – Task2) – in progress*
- Valutazione sismica di massima per strutture in cemento armato prefabbricate ad uso della polizia di stato (DPS-DCSTLGP) – in progress*

Linee di indirizzo per interventi locali e globali (2012)

L'ultima zonazione sismica in Italia risale al 2003, con l'OPCM 3274. Questo aggiornamento ha determinato la presenza sul territorio italiano di un gran numero di edifici progettati e costruiti, anche in tempi relativamente recenti, senza l'adozione di criteri anti-sismici. Tra queste costruzioni, particolari criticità sono state mostrate da edifici, per lo più a destinazione industriale, costituiti da elementi in cemento armato prefabbricati. Tale vulnerabilità è stata chiaramente evidenziata a seguito degli eventi sismici del 2012 in Emilia-Romagna (Mirandola).



Classificazione delle zone sismiche in Italia a) prima e b) dopo il 2003. (Magliulo et al., 2014)



Spettro di risposta elastico del terremoto del 20 Maggio 2012 a Mirandola. (Magliulo et al., 2014)

Linee di indirizzo per interventi locali e globali (2012)

Criticità riscontrate negli edifici in cemento armato prefabbricati a seguito degli eventi sismici del 2012 in Emilia:

- ❑ Assenza di connessioni meccaniche tra elementi strutturali (e.g., tra trave e colonna)
- ❑ Connessioni meccaniche inadeguate tra elementi strutturali e tra pannelli e struttura
- ❑ Pilastri privi di adeguati dettagli sismici
- ❑ Scaffalature prive di opportuni controventamenti



Linee di indirizzo per interventi locali e globali (2012)

Per risolvere i suddetti problemi, opportuni interventi sono proposti nel documento.

Per ciascuno di essi, viene fornita una scheda sintetica e sistematica per il dimensionamento, la cantierizzazione e l'esecuzione dell'intervento. La scheda consta delle seguenti parti:

- Obiettivi
- Casi di applicazione
- Fasi realizzative
- Disegni e particolari costruttivi
- Vantaggi
- Svantaggi
- Procedura speditiva per il dimensionamento

N.ID. TP-1	COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO MEDIANTE PERNO IN ACCIAIO
<p>Obiettivi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento del vincolo tra pilastro e trave, impedendo la caduta della trave dal pilastro. - Mantenimento dello schema statico preesistente. <p>Casi di applicazione</p> <ul style="list-style-type: none"> - La trave è semplicemente appoggiata alla testa del pilastro, senza alcun dispositivo meccanico che ne impedisca la caduta. - Qualora fosse già presente un perno, esso non è in grado di trasferire le azioni derivanti dal sisma di progetto. <p>Fasi realizzative</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Prima di forare qualsiasi elemento, individuare mediante pacometro le zone prive di armatura. 2. Foratura della trave e del pilastro in corrispondenza dell'intersezione fra i due elementi. Nel caso sia già presente il foro prevederne un eventuale incremento di diametro. 3. Posizionamento di un profilo di supporto al perno agganciato al pilastro mediante barre di ancoraggio inghisate con resina. Tale operazione è necessaria soltanto nel caso in cui la sola forcilla fosse danneggiata o non fosse sufficiente per le azioni di progetto. 4. Inserimento del perno di collegamento all'interno del foro e fissaggio mediante dado e controdado per consentire la libera rotazione degli elementi. 	
<p>Dimensionamento</p> <p>Dimensionare il collegamento per garantire il trasferimento di una forza orizzontale f_i pari al prodotto tra la massa di competenza w_i/g dell'elemento da collegare (massa dell'elemento e masse corrispondenti ai carichi permanenti strutturali e non strutturali da esso portati), moltiplicato per la pseudo-accelerazione spettrale $S_a(T_1)$ corrispondente al periodo fondamentale T_1 della struttura. Considerando poi la presenza di un secondo collegamento all'estremità opposta della trave, la forza di progetto f_i deve essere dimezzata.</p> $f_i = \frac{1}{2} w_i \cdot S_a(T_1) / g$	

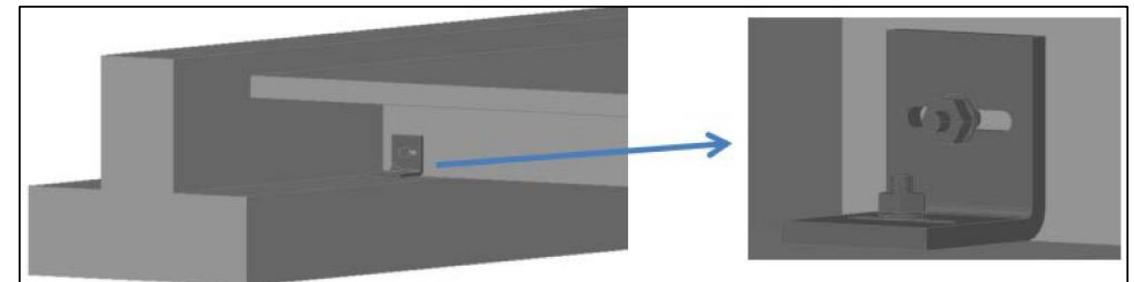
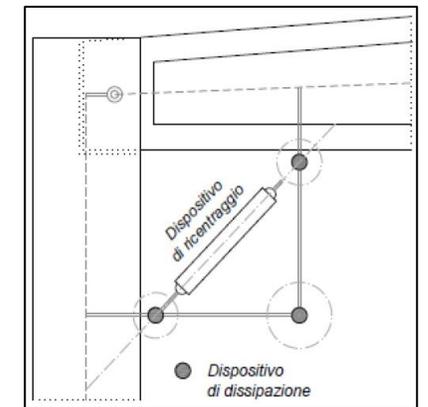
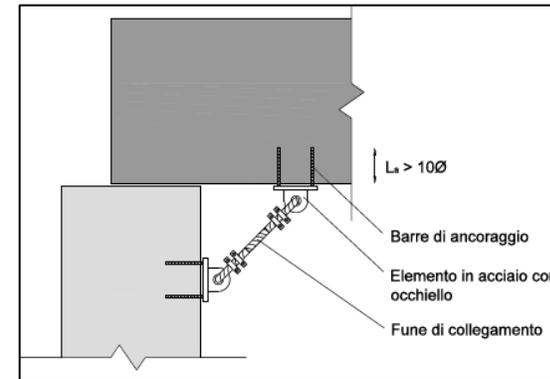
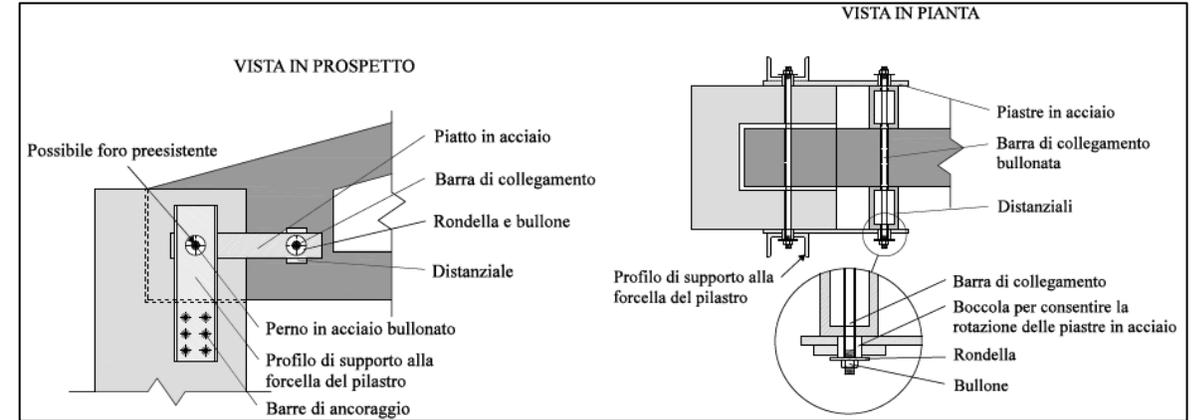
<p>VISTA IN PROSPETTO</p> <p>Possibile foro preesistente</p> <p>Perno in acciaio bullonato</p> <p>Profilo di supporto alla forcilla del pilastro</p> <p>Barre di ancoraggio</p>	<p>VISTA IN PROSPETTO</p> <p>Possibile foro preesistente</p> <p>Perno in acciaio bullonato</p>
<p>VISTA IN PIANTA</p> <p>Perno in acciaio</p> <p>Rondella</p> <p>Dado e controdado</p> <p>Profilo di supporto alla forcilla del pilastro</p>	<p>VISTA IN PIANTA</p> <p>Perno in acciaio</p> <p>Rondella</p> <p>Dado e controdado</p>
<p>Vantaggi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Semplicità esecutiva. - Velocità di messa in opera. - Mantenimento dello schema statico originale. - Utilizzabile come soluzione di pronto intervento. <p>Svantaggi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deve essere valutata con attenzione ed adeguata la resistenza della forcilla entro la quale è inserita la trave. 	

Linee di indirizzo per interventi locali e globali (2012)

Criteri d'intervento

1. Interventi in assenza di connessioni meccaniche:

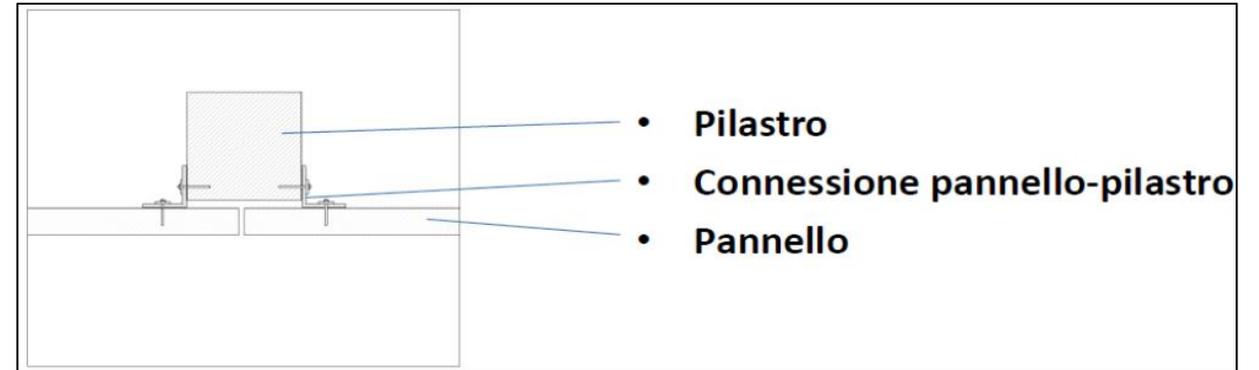
- Evitare la perdita d'appoggio
- Non modificare lo schema statico preesistente
- Impedire la torsione della trave
- Limitare o impedire spostamenti relativi tra gli elementi connessi
- Garantire adeguati copriferri



Criteri d'intervento

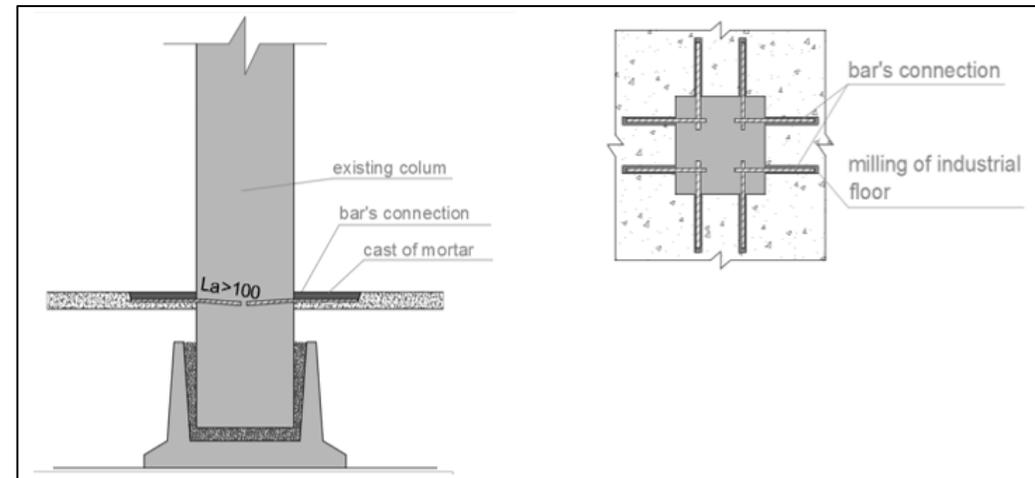
2. Interventi per pannelli di tamponatura sprovvisti di adeguate connessioni:

- Impedire il ribaltamento
- Permettere spostamenti orizzontali relativi tra pannelli e struttura, in modo da evitare l'interazione dinamica tra essi



3. Interventi in caso di fondazioni inadeguate:

- Garantire sufficiente rigidezza
- Garantire sufficiente resistenza (in accordo ai criteri di gerarchia delle resistenze)

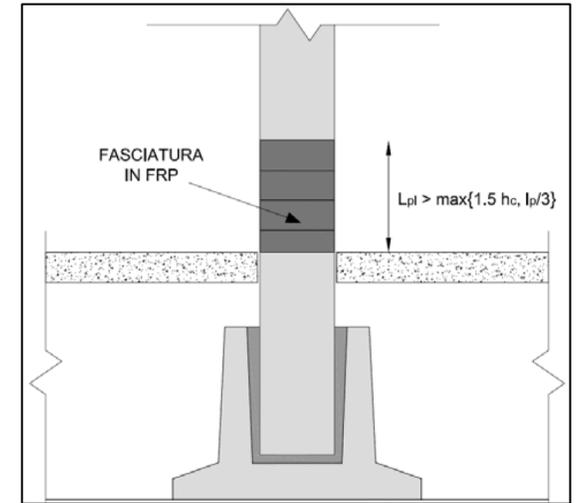
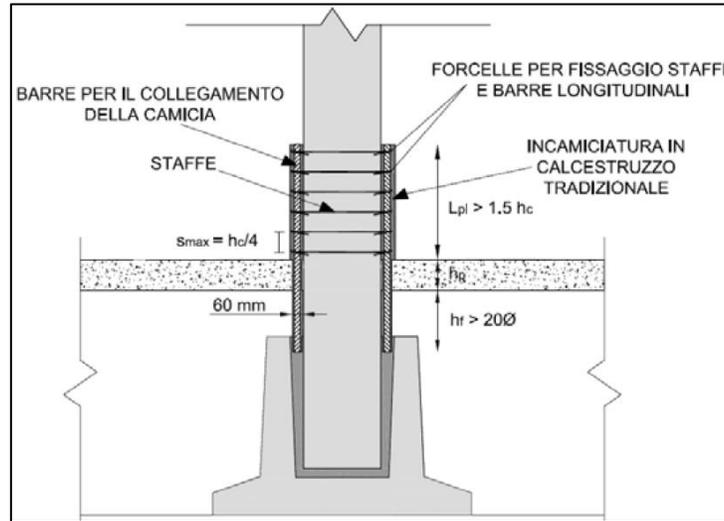


Linee di indirizzo per interventi locali e globali (2012)

Criteri d'intervento

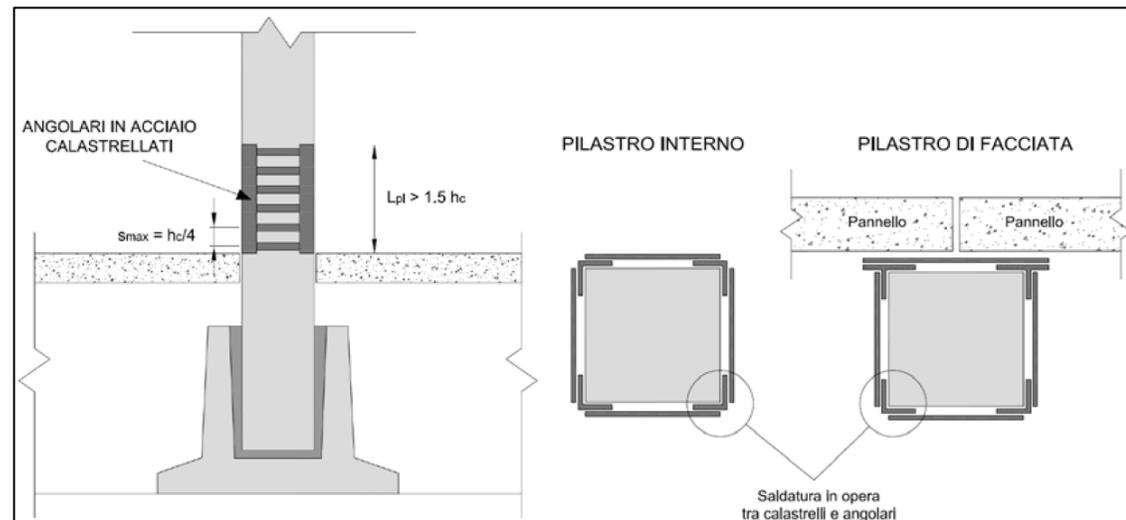
4. Interventi su elementi verticali:

- Garantire adeguata rigidezza
- Garantire adeguata resistenza
- Garantire adeguata duttilità



5. Scaffalature:

- Soddisfare le verifiche statiche e sismiche



Scheda GL-AeDES (2012-2014)



SCHEDE DI VALUTAZIONE DI DANNO E AGIBILITÀ POST-SISMA PER EDIFICI A STRUTTURA PREFABBRICATA O DI GRANDE LUCE

(GL-AeDES 01/2014)

Gruppo di Lavoro - Decreto del Capo Dipartimento Rep. 827 del 5 marzo 2012



Sezione 1: Identificazione edificio

Sezione 2: A) Descrizione edificio

B) Presenza di blocchi aggiunti alla struttura principale

SEZIONE 2A - DESCRIZIONE EDIFICIO								
Dati metrici			Età (max 4)	Uso - esposizione				
N° Piani totali con interrati <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> ≥5	Altezza media di piano (m) <input type="radio"/> <3.50 <input type="radio"/> 3.5÷4.99 <input type="radio"/> 5.0÷6.99 <input type="radio"/> 7.0÷9.99 <input type="radio"/> 10.0÷14.00 <input type="radio"/> >14.00	Superficie media di piano (m²) A <input type="radio"/> ≤200 L <input type="radio"/> 2500÷3000 B <input type="radio"/> 200÷250 M <input type="radio"/> 3000÷3500 C <input type="radio"/> 250÷300 N <input type="radio"/> 3500÷4000 D <input type="radio"/> 300÷400 O <input type="radio"/> 4000÷4500 E <input type="radio"/> 400÷500 P <input type="radio"/> 4500÷5000 F <input type="radio"/> 500÷650 Q <input type="radio"/> 5500÷6000 G <input type="radio"/> 650÷900 R <input type="radio"/> 6000÷7000 H <input type="radio"/> 900÷1200 S <input type="radio"/> 7000÷10000 I <input type="radio"/> 1200÷1600 T <input type="radio"/> 10000÷15000 J <input type="radio"/> 1600÷2000 U <input type="radio"/> 15000÷20000 K <input type="radio"/> 2000÷2500 V <input type="radio"/> >20000		Costruzione e ristrutturazione 1 <input type="checkbox"/> ≤ 1950 2 <input type="checkbox"/> ≤ 51÷61 3 <input type="checkbox"/> ≤ 62÷71 4 <input type="checkbox"/> ≤ 72÷75 5 <input type="checkbox"/> ≤ 76÷81 6 <input type="checkbox"/> ≤ 82÷86 7 <input type="checkbox"/> ≤ 87÷91 8 <input type="checkbox"/> ≤ 92÷96 9 <input type="checkbox"/> ≤ 97÷01 10 <input type="checkbox"/> ≤ 02÷08 11 <input type="checkbox"/> ≤ 09÷11 12 <input type="checkbox"/> > 2011	Uso A <input type="checkbox"/> Residenziale B <input type="checkbox"/> Produttivo C <input type="checkbox"/> Commercio D <input type="checkbox"/> Uffici E <input type="checkbox"/> Serv. pubbl. F <input type="checkbox"/> Deposito G <input type="checkbox"/> Strategico H <input type="checkbox"/> Turist. ricett. I <input type="checkbox"/> Parcheggio J <input type="checkbox"/> Attr. sportive K <input type="checkbox"/> Spazi espos.	Numero unità d'uso [][] [][]	Utilizzazione A <input type="radio"/> >65% B <input type="radio"/> 30÷65% C <input type="radio"/> <30 D <input type="checkbox"/> Non utilizz. E <input type="checkbox"/> In costruz. F <input type="checkbox"/> Non finito G <input type="checkbox"/> Abbandonato	Occupanti ordinari [][][][] Numero max [][][][]
		Piani interrati A <input type="radio"/> 0 B <input type="radio"/> 1 C <input type="radio"/> 2 D <input type="radio"/> ≥3	Altezza massima libera pilastri <input type="radio"/> Valore (m): [][][][][]	Proprietà A <input type="checkbox"/> Pubblica B <input type="checkbox"/> Privata [][][][]% [][][][]%				

SEZIONE 2B - PRESENZA DI BLOCCHI AGGIUNTI ALLA STRUTTURA PRINCIPALE																				
Assenti <input type="radio"/>																				
ID Blocco aggiunto		A		B		C		D		E										
Posizione	Interna	<input type="checkbox"/>																		
	Esterna	<input type="checkbox"/>																		
Materiale: Struttura Verticale - Struttura Orizzontale	1 C.A. prefabbricato	<input type="checkbox"/>																		
	2 C.A. in opera	<input type="checkbox"/>																		
	3 Muratura	<input type="checkbox"/>																		
	4 Acciaio	<input type="checkbox"/>																		
	5 Legno	<input type="checkbox"/>																		
	6 Misto acciaio-clc	<input type="checkbox"/>																		
	7 Altro (specificare)																			
N° Piani	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]										
Altezza totale del blocco (m)	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]										
Superficie media del piano (m²)	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]										
Altezza interpiano (m)	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]	[][][][]										
Funzione (*)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	<input type="checkbox"/>																			
ID Scheda AeDES compilata (se necessaria)	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]	[][][]
(*) Funzione																				
1. Uso analogo alla funzione principale																				
2. Deposito																				
3. Ufficio																				
4. Collegamento																				
5. Altro (specificare)																				
Connessione con la struttura principale e tra i blocchi																				
	0	A	B	C	D	E														
A	[][]																			
B	[][]	[][]																		
C	[][]	[][]	[][]																	
D	[][]	[][]	[][]	[][]																
E	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]															
1=solidale 2=affiancato 3=giuntato																				

Scheda AeDES (2012-2014)



SCHEDE DI VALUTAZIONE DI DANNO E AGIBILITÀ POST-SISMA PER EDIFICI A STRUTTURA PREFABBRICATA O DI GRANDE LUCE

(GL-AeDES 01/2014)

Gruppo di Lavoro - Decreto del Capo Dipartimento Rep. 827 del 5 marzo 2012



- Sezione 3:**
- A) Tipologia edificio
 - B) Copertura
 - C) Regolarità
 - D) Tipologia connessioni, pannelli, carichi speciali, altri elementi non strutturali

SEZIONE 3A - TIPOLOGIA DELL'EDIFICIO (risposta multipla)

Materiale	Elem. vert.		Elem. orizz. intern.		Copertura	
	A	B	B	C	C	C
1 C.A. prefabbricato	<input type="checkbox"/>					
2 C.A. in opera	<input type="checkbox"/>					
3 Acciaio	<input type="checkbox"/>					
4 Legno	<input type="checkbox"/>					
5 Muratura	<input type="checkbox"/>					
6 Miste acciaio - cts	<input type="checkbox"/>					
7 Altri materiali (specificare)						

Tipologia di fondazione	Modalità di approfondimento							
	Non identificata	Presunta	Da interviste	Da elaborato	Ispezione diretta	Fondazione diretta	Fondazione indiretta	
	A	B	C	D	E	F	G	
1 Non identificata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2 Plinti isolati	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3 Plinti collegati	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4 Travi rovesce	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5 Plinba	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

SEZIONE 3B - COPERTURA (risposta multipla)

Luce max. L > 10 m. SI NO N° ordini copertura: Presenza controventi di falda: SI NO

Elementi primari	Orizzontali				Inclinati				Elementi di chiusura								Presenza di catene	Elementi spingenti
	Set. Cost.	Set. Var.	Set. Cost.	Set. Var.	Non identif.	A tutto piano	A solo inclinato	A shed	Con tegoli affianc.	Con tegoli distanz.	Volta	Elementi leggeri	SI	NO				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	SI	NO				
1 Non identificati	<input type="checkbox"/>																	
2 Membrat. piena	<input type="checkbox"/>																	
3 Cass. o scat.	<input type="checkbox"/>																	
4 Reticolati	<input type="checkbox"/>																	
5 Altri (specificare)													<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				

SEZIONE 3C - REGOLARITÀ

	Regolarità in pianta		Regolarità in elevazione	
	SI	NO	SI	NO
1 Pianta compatta e simmetrica (e.g. non regolari forme in pianta a L, T, U, E, P, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 Tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza e assenza di slittamento di piano	<input type="checkbox"/>
2 Rapporto tra lato maggiore e lato minore in pianta < 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 Tamponatura esterna (pannelli) uniformemente distribuita in altezza e assenza di fenestre a nastro	<input type="checkbox"/>
3 Rientranze in pianta che non superano il 5% dell'area totale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Regolarità in elevazione solo per strutture pluripiano	
4 Tamponatura esterna uniformemente e simmetricamente distribuita	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3 Massa uniforme tra i livelli (e.g. assenza di variazioni oltre il 50% tra la massa di un livello rispetto a quello adiacente)	<input type="checkbox"/>
5 Assenza di nuclei o Mocchi eccentrici	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4 Rientri sezioni orizzontali non maggiori del 10% rispetto all'orizzontamento sottostante	<input type="checkbox"/>
6 Disposizione simmetrica di pareti di taglio continue (setti) e reticolati (controventi verticali)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5 Rientro sezione orizz. di ogni orizzontamento non maggiore del 30% del primo orizzontamento	<input type="checkbox"/>

SEZIONE 3D - TIPOLOGIA CONNESSIONI, PANNELLI, CARICHI SPECIALI, ALTRI ELEMENTI NON STRUTTURALI

Connessioni	Modalità di approfondimento					Pannelli di tamponatura			
	Non identificata	Presunta	Da interviste	Da elaborato	Ispezione diretta	1	2		
Tipologia di connessione	A	B	C	D	E	Assenti	3		
1 Pilastro/parete - fondazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4		
1 a Cerniera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5		
1 b Semi-incastro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6		
1 c Incastro (es. plinti a bicchiere, pozzetti)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7		
1 d Altro (specificare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8		
2 Trave - pilastro/parete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9		
2 a Appoggio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10		
2 b Cerniera (es. barre verticali su mensola)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11		
2 c Semi-incastro (es. parz. resistenti a flessione)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12		
2 d Incastro (es. emulazione c.a. in opera)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13		
2 e A travi contigue collegate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14		
3 Impalcato - trave	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15		
3 a Appoggio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A		
3 b Cerniera (es. inserti metallici a secco)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	B		
3 c Semi-incastro (es. parz. resistenti a flessione)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Carichi speciali		
3 d Incastro (es. emulazione c.a. in opera)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	Carroponte
4 Copertura - trave / Copertura - pilastro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	Gru a sbalzo
4 a Appoggio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	Soppalchi caricati
4 b Cerniera (es. inserti metallici a secco)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	Scafalature vincolate alla struttura
4 c Semi-incastro (es. parz. resistenti a flessione)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	Scafalature non vincolate alla struttura
4 d Incastro (es. emulazione c.a. in opera)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	Macchinari su impalcato o su copertura
5 Pilastro/parete - pilastro/parete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	Altro (specificare)
5 a Connessioni metalliche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Altri elementi non strutturali		
5 b Emulazione c.a. in opera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	Serbatoi
5 c Altro (specificare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	Tubazioni
6 Pannello - struttura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	Silos
6 a Sistema isostatico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	Presenza materiali pericolosi
6 b Sistema integrato	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	Passerelle di collegamento impianti
6 c Sistema dissipativo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	Altro (specificare)

Scheda AeDES (2012-2014)



SCHEDE DI VALUTAZIONE DI DANNO E AGIBILITÀ POST-SISMA PER EDIFICI A STRUTTURA PREFABBRICATA O DI GRANDE LUCE

(GL-AeDES 01/2014)

Gruppo di Lavoro - Decreto del Capo Dipartimento Rep. 827 del 5 marzo 2012



- Sezione 4:** Danni ai componenti strutturali e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti
- Sezione 5:** Danni ai componenti non strutturali e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti
- Sezione 6:** Pericolo esterno indotto da altre costruzioni, reti, versanti e provvedimenti di pronto intervento eseguiti
- Sezione 7:** Terreno e fondazioni
- Sezione 8:** Giudizio di agibilità
- Sezione 9:** Note

SEZIONE 4 - DANNI AI COMPONENTI STRUTTURALI E PROVVEDIMENTI DI PRONTO INTERVENTO (P.I.) ESEGUITI

Componente strutturale e danno pre-esistente	Danno ⁽¹⁾										Provvedimenti di pronto intervento eseguiti						
	D4 - D5 Gravissimo			D2 - D3 Medio grave			D1 Leggero				Nullo	Nessuno	Demolizioni	Legature	Riparazioni	Puntellature	Barriere di protezione
	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3	>2/3	1/3 - 2/3	<1/3								
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	A	B	C	D	E	F		
1 Pilastr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
2 Travi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
3 Pareti portanti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
4 Controventi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
5 Impalcati	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
6 Scale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
7 Copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
8 Danno pre-esistente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											

SEZIONE 5 - DANNI AD ELEMENTI NON STRUTTURALI E PROVVEDIMENTI DI PRONTO INTERVENTO (P.I.) ESEGUITI

Elementi primari	Tipo di danno	Presenza danno	Provvedimenti di pronto intervento eseguiti					
			Nessuno	Demolizioni	Puntelli	Riparazioni	Divieto di accesso	Barriere protettive
			A	B	C	D	E	F
1	Pannelli di facciata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Pannelli divisorii interni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

...

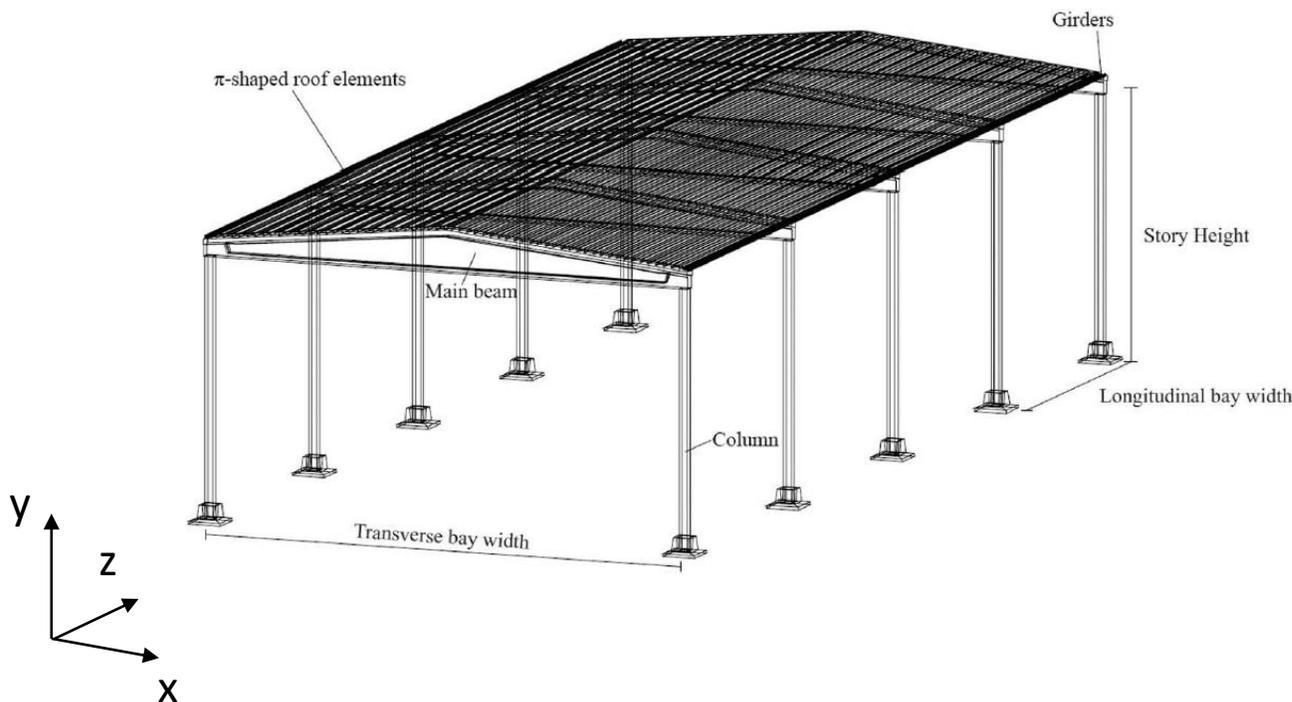
SEZIONE 8 - GIUDIZIO DI AGIBILITÀ

8-A Valutazione del rischio					8-B Esito	
Rischio	Esterno (Sez. 6)	Strutturale (Sez. 3 e 4)	Non strutturale (Sez. 5)	Geotecnico (Sez. 7)		
Basso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A	Edificio ISPEZIONATO <input type="checkbox"/>
Basso con provvedimenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	B	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (in tutto o in parte) ma AGIBILE con provvedimenti di P.I. (1) <input type="checkbox"/>
Alto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C	Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE (2) <input type="checkbox"/>
					D	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento (3) <input type="checkbox"/>
					E	Edificio INAGIBILE (4) <input type="checkbox"/>
					F	Edificio INAGIBILE per rischio esterno (5) <input type="checkbox"/>

...

Progetto RINTC (2015-2018)

Il **progetto RINTC** ha avuto come obiettivo la valutazione della sicurezza sismica di edifici progettati secondo le normative attualmente vigenti in Italia. In merito alle strutture prefabbricate in cemento armato, gli edifici monopiano sono stati scelti come tipologia più rappresentativa per questa classe di strutture.

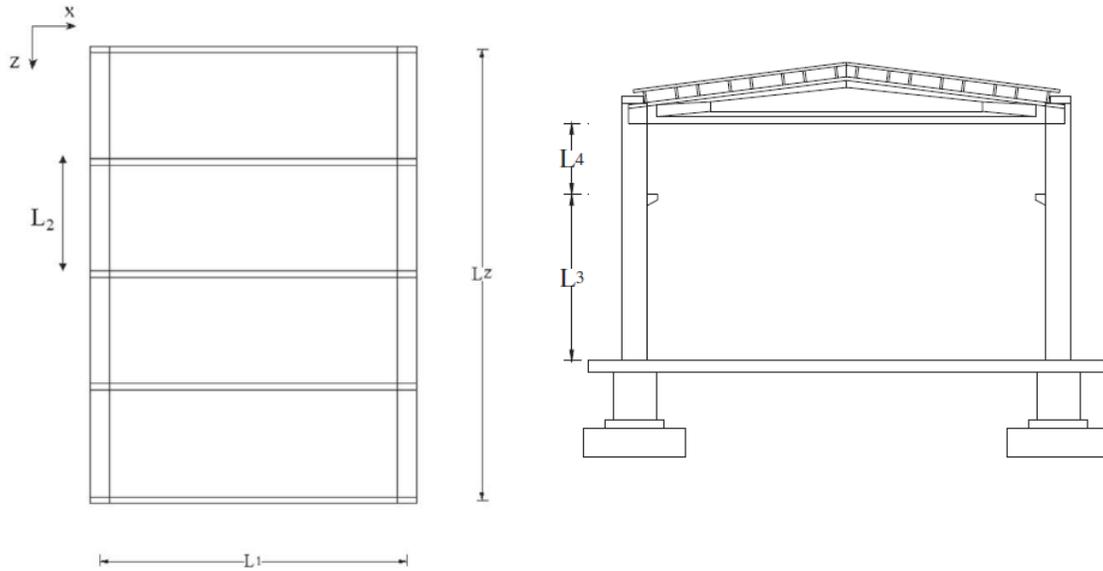


- Tegoli binervati precompressi
- Travi principali a sezione variabile precomprese, lungo la direzione x
- Travi secondarie lungo la direzione z
- Pilastrici con schema a mensola
- Fondazioni a bicchiere con travi di connessione
- Connessione spinottata tra travi principali e pilastrici

Progetto RINTC (2015-2018)

Analisi parametrica

Quattro differenti configurazioni geometriche sono state considerate al fine di valutare l'influenza dei diversi parametri sulla risposta sismica della struttura.



Tre siti a pericolosità crescente sono stati considerati:

- Milano (MI)
- Napoli (NA)
- L'Aquila (AQ)

Due tipi di sottosuolo sono stati ipotizzati:

- Sottosuolo tipo A
- Sottosuolo tipo C

Geometry		L_1 [m]	L_2 [m]	L_z [m]	L_3 [m]	L_4 [m]	H_{tot} [m]
1	SS	15.00	6.00	24.00	4.50	1.50	6.00
2		20.00	8.00	32.00	4.50	1.50	6.00
3	LS	15.00	6.00	24.00	7.50	1.50	9.00
4		20.00	8.00	32.00	7.50	1.50	9.00

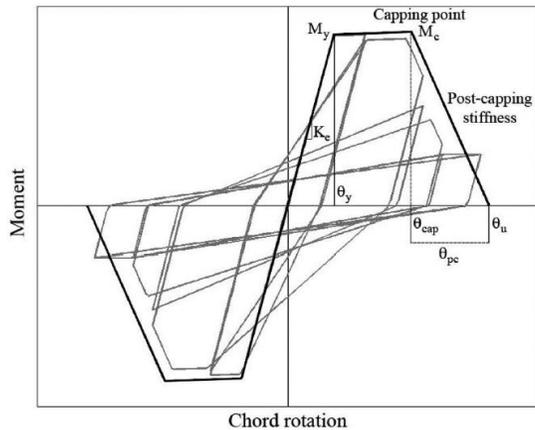
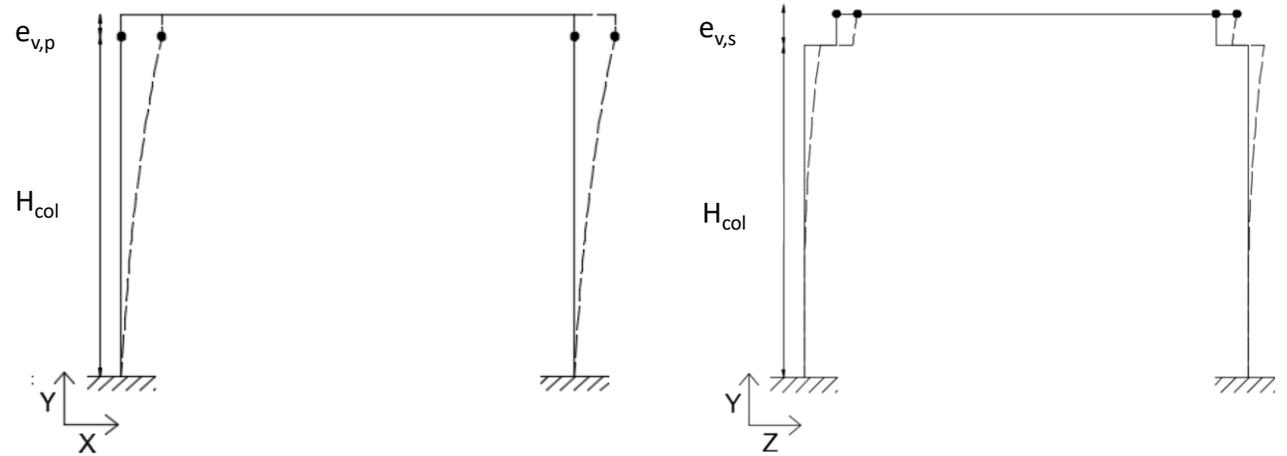
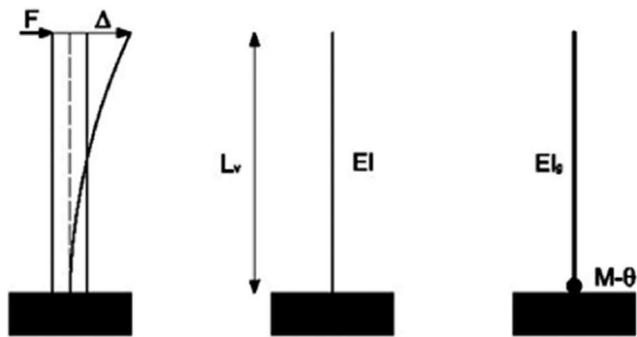
H1

H2

Progetto RINTC (2015-2018)

Modellazione numerica non lineare

La modellazione delle strutture è stata eseguita assumendo un approccio a plasticità concentrata, ovvero localizzando la risposta non lineare della struttura alla base dei pilastri.



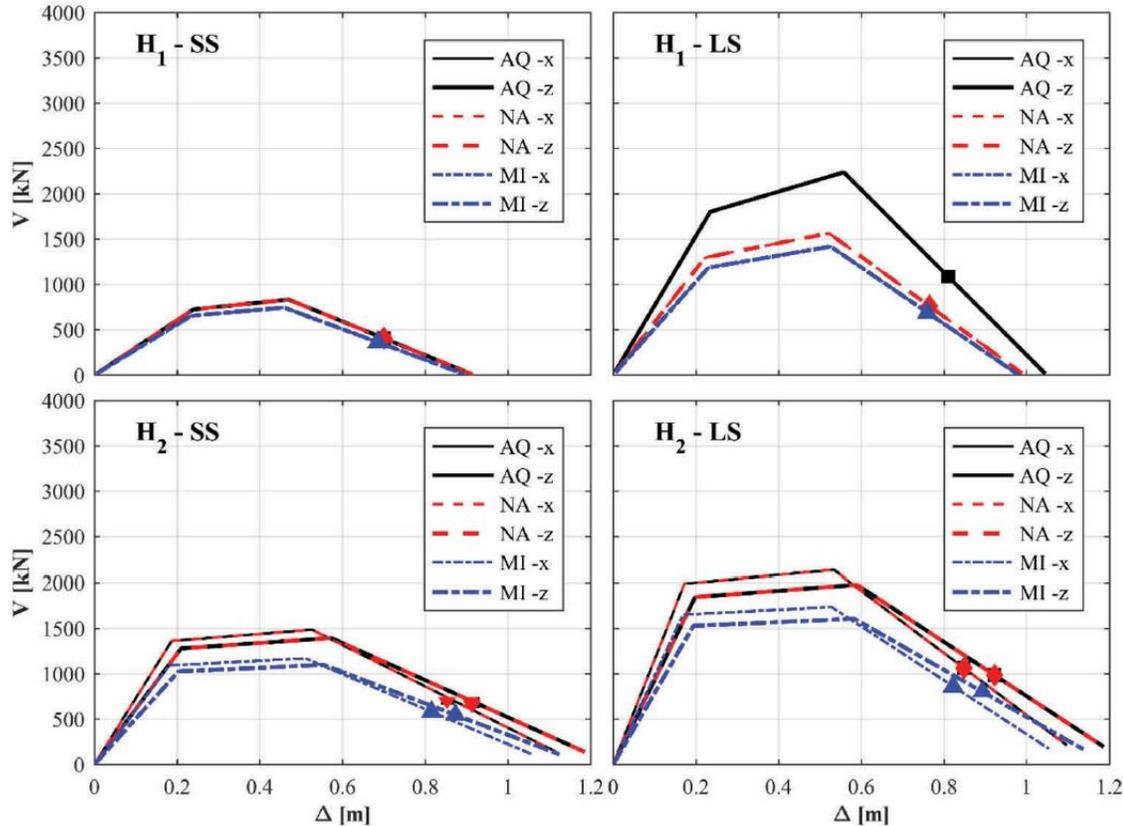
Fischinger et al. (2008)
Ibarra et al. (2005)

				$M_x = M_z$	T_x	T_z				
				[t]	[s]	[s]				
H ₁	SS	Soil A	AQ	377	2.19	2.19	Soil C	377	1.50	1.50
			NA	377	2.19	2.19		377	1.91	1.91
			MI	377	2.27	2.27		377	2.27	2.27
LS	Soil A	AQ	544	1.67	1.67	Soil C	544	1.48	1.48	
		NA	544	1.90	1.90		544	1.58	1.58	
		MI	544	2.01	2.01		544	2.01	2.01	
H ₂	SS	Soil A	AQ	515	1.63	1.78	Soil C	544	1.16	1.26
			NA	515	1.63	1.78		515	1.63	1.78
			MI	515	1.78	1.94		515	1.78	1.94
LS	Soil A	AQ	802	1.61	1.79	Soil C	813	1.29	1.44	
		NA	802	1.61	1.79		813	1.52	1.70	
		MI	802	1.74	1.94		802	1.74	1.94	

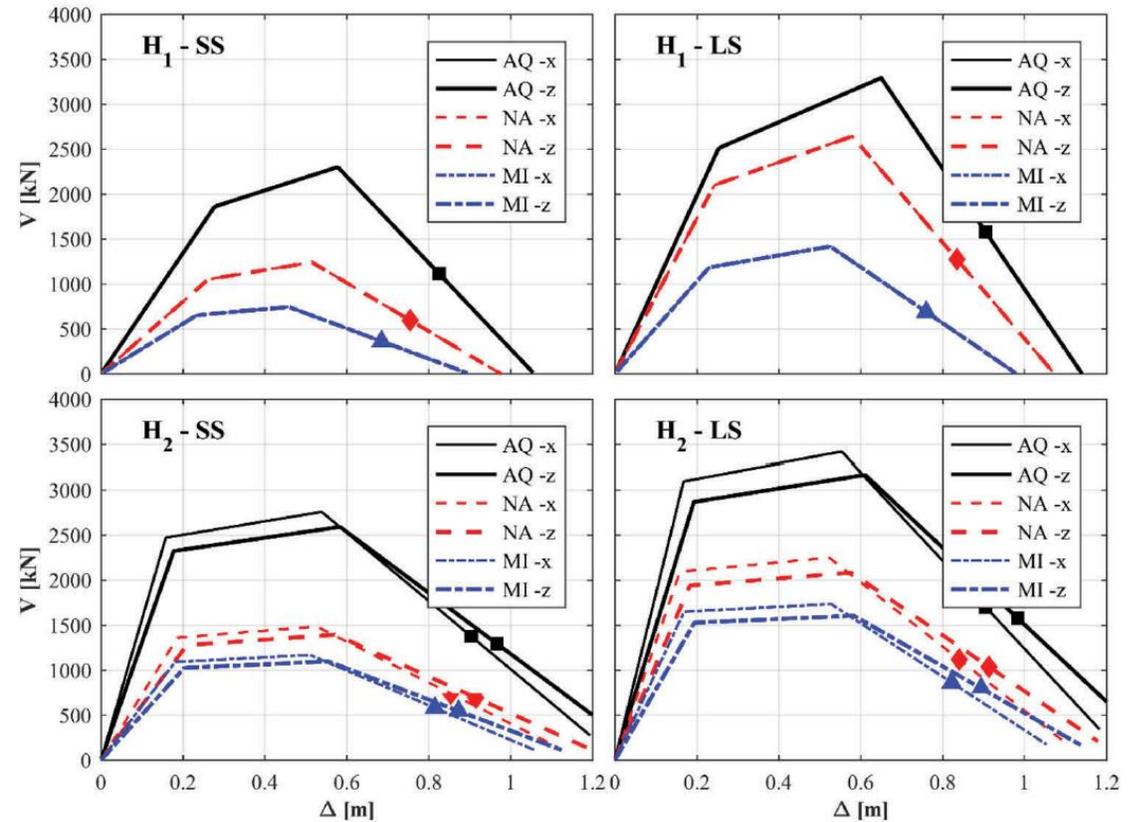
Progetto RINTC (2015-2018)

Analisi statiche non lineari (analisi di pushover)

Sottosuolo tipo A



Sottosuolo tipo C



Damage limit state: 1% H

Collapse limit state:

Global failure: spostamento in testa corrispondente ad un degrado del 50% della resistenza al picco

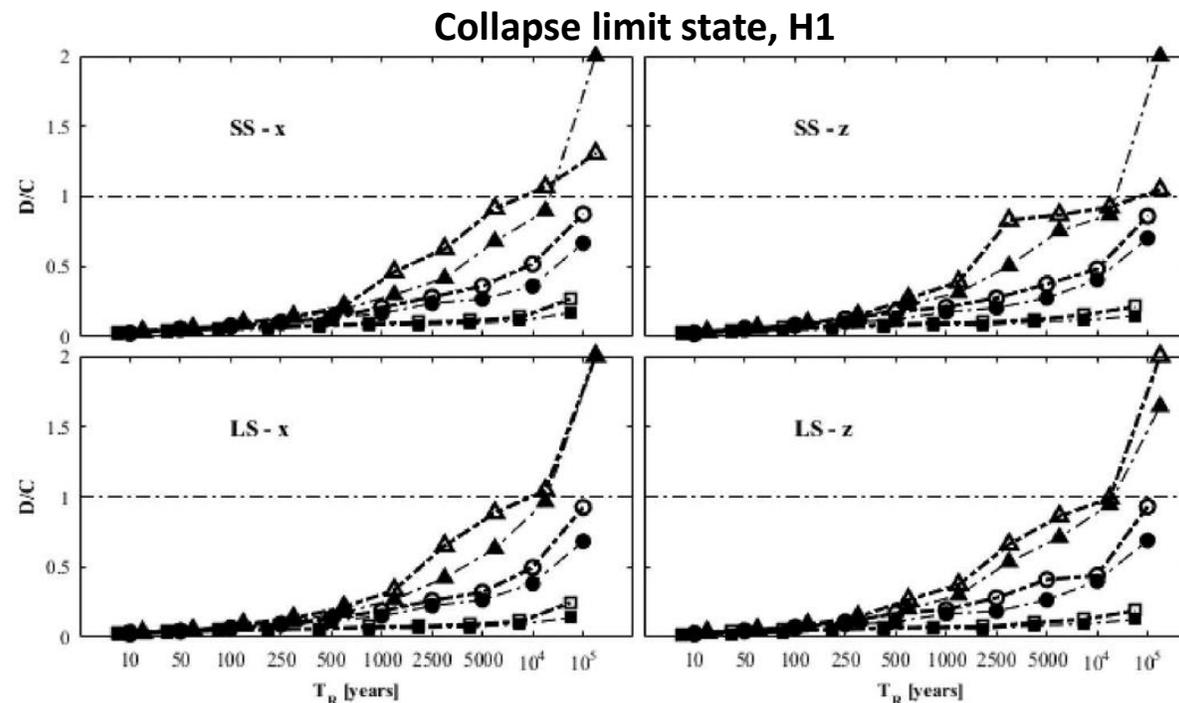
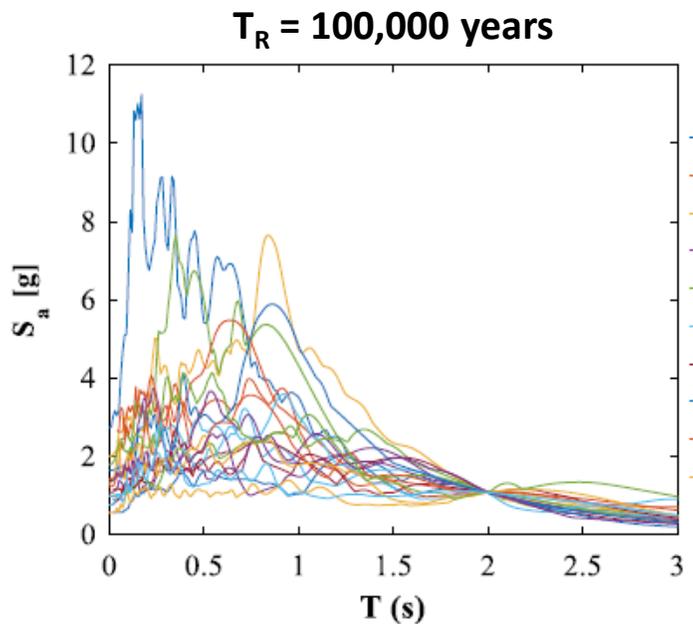
Local failure: collasso a taglio della connessione spinottata, V_{Rd} da Safecast (2012)

Progetto RINTC (2015-2018)

Analisi dinamiche non lineari (approccio multi-stripe)

Le analisi dinamiche non lineari sono state eseguite considerando dieci livelli crescenti di intensità sismica, corrispondenti a dieci livelli crescenti di period di ritorno T_R . Per ciascun livello, venti input sismici sono stati selezionati in accordo al metodo dello spettro condizionale (stesso valore di $S_a(T1)$).

I risultati sono stati rappresentati in termini di rapporti domanda-capacità.



- ▲ L'Aquila – suolo A
- Napoli – suolo A
- Milano – suolo A
- △ L'Aquila – suolo C
- Napoli – suolo C
- Milano – suolo C

Conclusioni

Le attuali linee guida italiane di progettazione presuppongono una resistenza al taglio delle connessioni a spinotto che è quasi due volte più grande delle attuali formule affidabili identificate in letteratura.

Analisi dinamiche non lineari di strutture prefabbricate conformi alle attuali normative mostrano rapporti di domanda-capacità che sono notevolmente inferiori a quelli allo stato limite di danno da codice (cioè, considerando input sismici che hanno un periodo di ritorno di 50 anni, e assumendo 1% del drift come soglia di stato limite di danno).

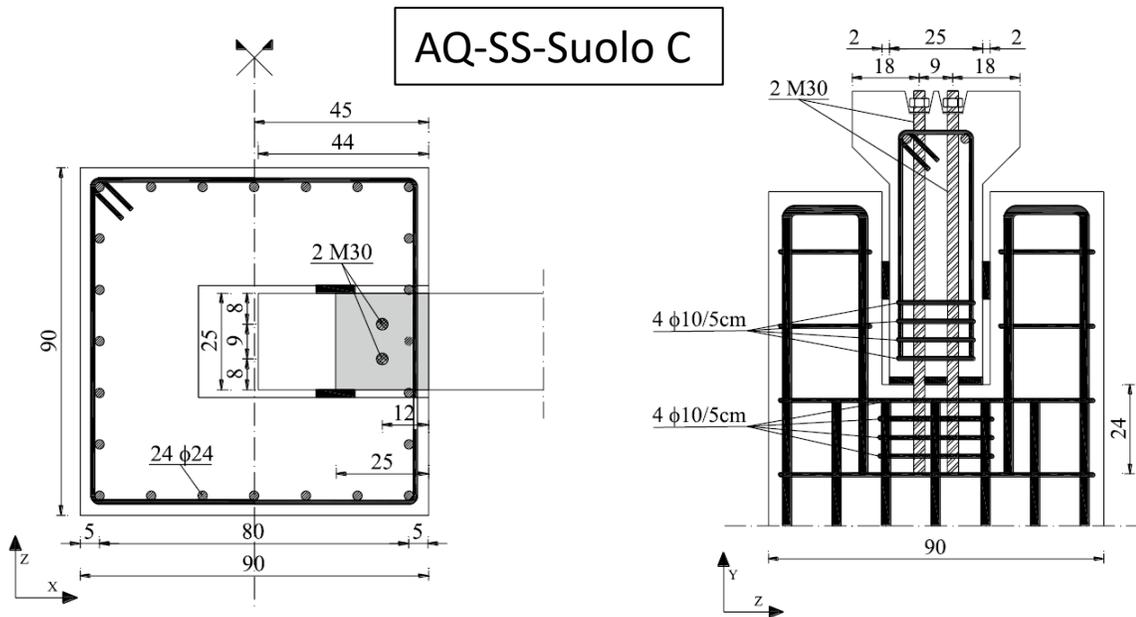
Analisi dinamiche non lineari di strutture prefabbricate conformi alle attuali normative mostrano rapporti di domanda-capacità che sono sostanzialmente inferiori a quelli allo stato limite di collasso del codice (cioè, considerando i record con un periodo di ritorno di 975 anni e un collasso delle connessioni a spinotto).

La progettazione di edifici prefabbricati monopiano in cemento armato secondo il codice edilizio italiano non garantisce rapporti di domanda-capacità uniformi poiché il livello di rischio sismico varia. Questo risultato è principalmente attribuito a determinati requisiti minimi imposti, responsabili di diversi livelli di sovraresistenza.

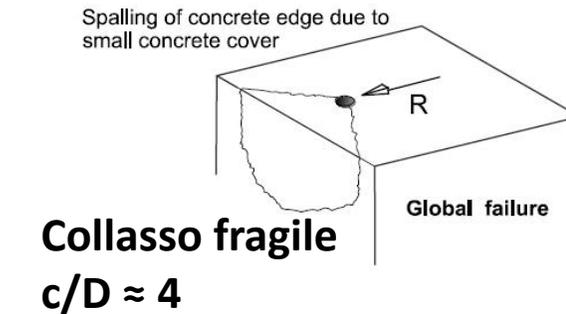
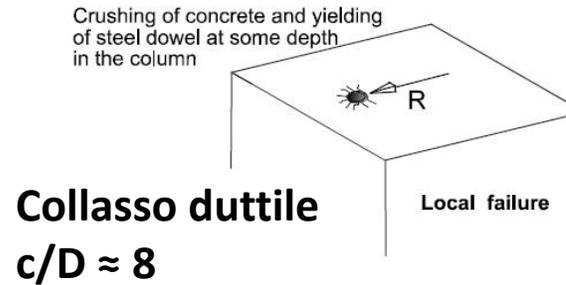
Progetto RINTC (2015-2018)

Conessioni spinottate

Dato il ruolo cruciale delle connessioni per le strutture prefabbricate in cemento armato, uno studio è stato condotto sulle loro modalità di collasso e sulle relative resistenze fornite. Strutture identiche al caso precedente sono state considerate.



$$V_R^{beam/column} = \min(V_R^{ductile}, V_R^{brittle})$$
$$V_R^{conn} = \min(V_R^{beam}, V_R^{column})$$



Collasso duttile

1. Vintzeleou and Tassios (1986) - monotonic

$$V_{R,mono}^{V\&T} = n \cdot 1.3 \cdot d_b^2 \cdot \sqrt{f_y \cdot f_c}$$

2. Vintzeleou and Tassios (1986-1987) - cyclic

$$V_{R,cycl}^{V\&T} = 0.5 \cdot V_{R,mono}^{V\&T}$$

3. SAFECAST guidelines (2012)

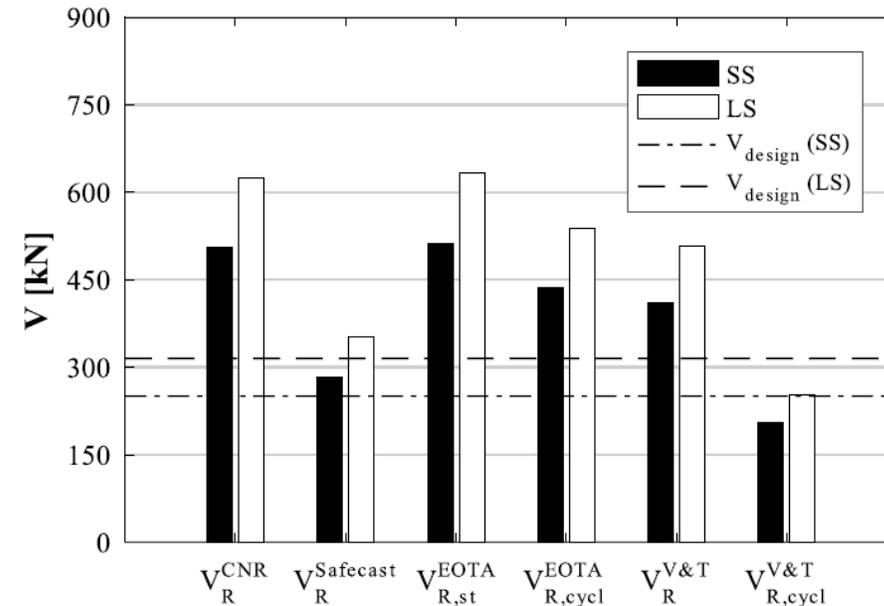
$$V_R^{Safecast} = n \cdot 0.9 \cdot d_b^2 \cdot \sqrt{f_y \cdot f_c \cdot (1 - \alpha^2)}$$

4. EOTA (2012) - monotonic

$$V_{R,mono}^{EOTA} = n \cdot 0.5 \cdot A_s \cdot f_u$$

5. EOTA (2012) - cyclic

$$V_{R,cycl}^{EOTA} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{seism} \cdot V_{R,mono}^{EOTA}$$



Trascurando la resistenza fornita dalla formula di Vintzeleou and Tassios (1987) per carichi ciclici, che risulta troppo conservativa, la minima resistenza a taglio della connessione spinottata è data da **SAFECAST (2012)**.

Progetto RINTC (2015-2018)

Collasso fragile

1. Vintzeleou and Tassios (1986) - monotonic

$$V_R^{V\&T,bott} = 5 \cdot f_{ctm} \cdot c \cdot d_b \cdot \frac{c}{0.66 \cdot c + d_b}$$

$$V_R^{V\&T,side} = 2 \cdot f_{ctm} \cdot b_{ct} \cdot d_b$$

2. SAFECAST guidelines (2012)

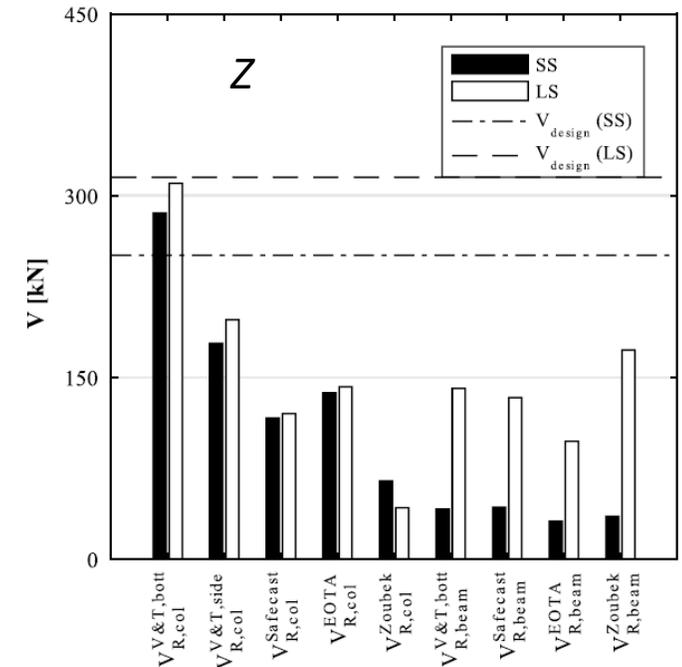
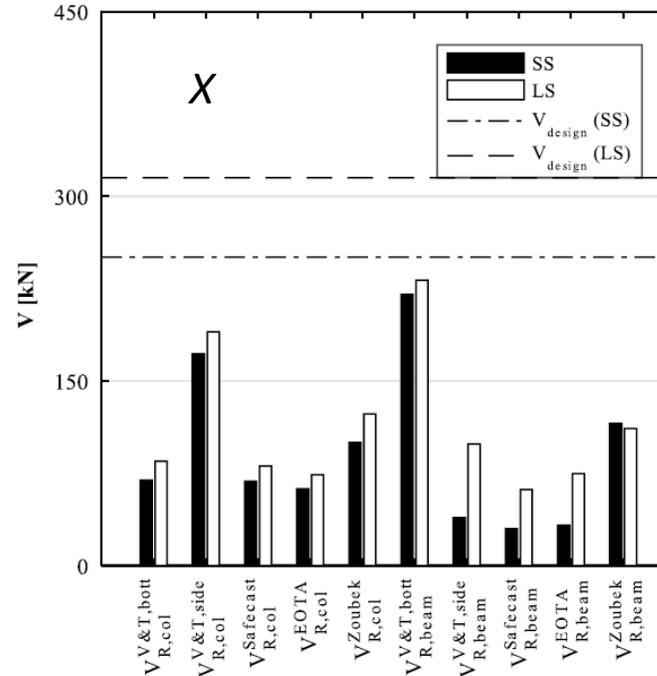
$$V_R^{Safecast} = 1.4 \cdot k \cdot d_b^\alpha \cdot h_d^\beta \cdot \sqrt{f_c \cdot c^3 \cdot \psi_{re}}$$

3. EOTA (2012) - monotonic

$$V_{R,mono}^{EOTA} = k_1 \cdot d_b^\alpha \cdot h_d^\beta \cdot \sqrt{f_c} \cdot c^{1.5} \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V}$$

4. EOTA (2012) - cyclic

$$V_{R,cycl}^{EOTA} = \alpha_{seism} \cdot \alpha_{gap} \cdot V_{R,mono}^{EOTA}$$



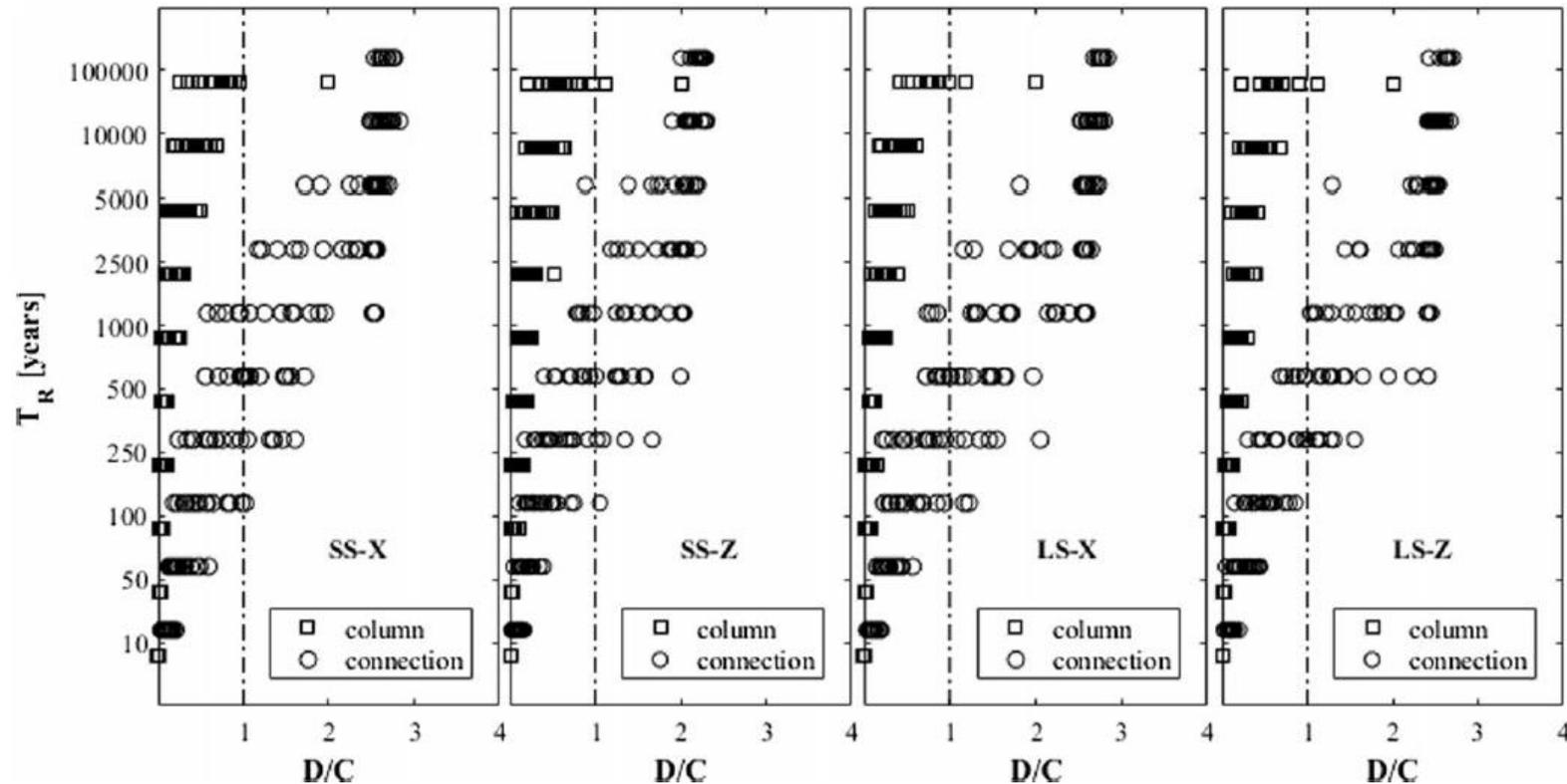
Come atteso, I risultati confermano che, in entrambe le direzioni, le connessioni spinottate, caratterizzate da un esiguo copriferro, sono **sottodimensionate**.

Progetto RINTC (2015-2018)

Valutazione sismica

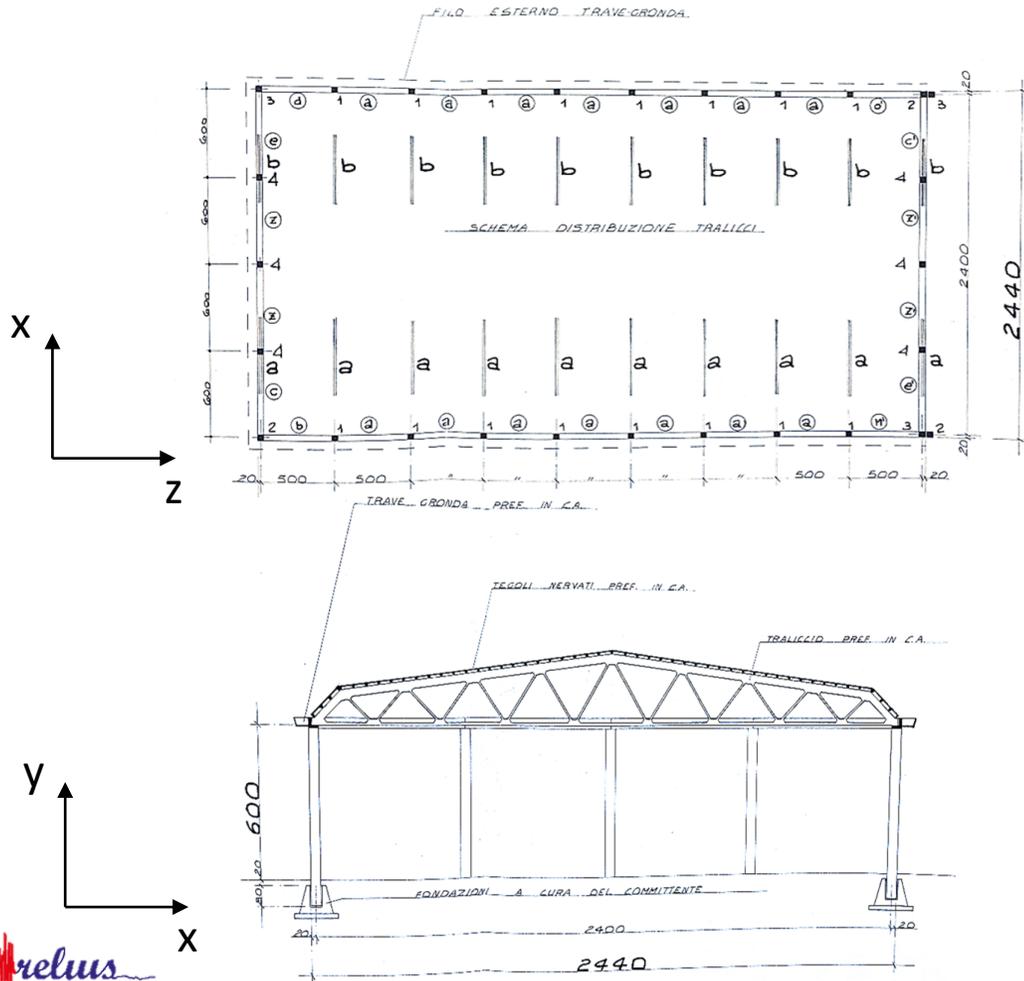
Sono state eseguite analisi dinamiche non lineari multi-stripe, considerando due diversi criteri di collasso: spostamento in testa dei pilastri (criterio globale) e resistenza a taglio delle connessioni spinottate (criterio locale). Per quest'ultima, è stato considerato il valore minimo fornito dalle precedenti formule.

AQ – Soil C



Progetto RINTC-E (2019-2021)

Il **progetto RINTC-E** ha avuto come obiettivo la valutazione della sicurezza sismica di edifici progettati secondo le passate normative vigenti in Italia. In merito alle strutture prefabbricate in cemento armato, una struttura monopiano esistente vicino Napoli è stata considerata e ri-progettata per tre diversi siti a pericolosità crescente (Milano, Napoli and L'Aquila). Il sottosuolo è stato assunto di tipo C.

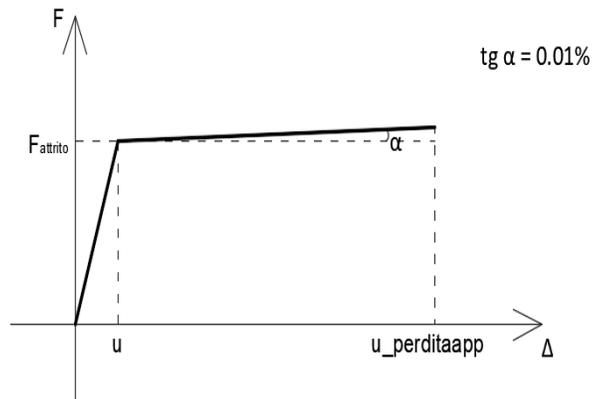


- Tegoli binervati precompressi
- Travi principali reticolari precomprese lungo la direzione x.
- Travi di gronda secondarie lungo tutto il perimetro
- Pilastri con schema a mensola
- Fondazioni a bicchiere isolate
- Connessione ad attrito tra trave principale e pilastro
- Tamponature in mattoni

Modellazione non lineare

La struttura è stata modellata sia come nuda che come tamponata.

Particolare attenzione è stata riservata alle connessioni ad attrito, la cui risposta sotto azioni sismiche orizzontali è stata modellata esplicitamente.



- Tensione verticale σ_v

$$\sigma_v = \frac{F}{A_r}$$

- Fattore di forma S

$$S = \frac{a * b}{2 * s * (a + b)}$$

- Deformazione assiale $\frac{\Delta s}{s}$

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{\sigma_v}{5 * G * S^2 + 3 * \sigma_v}$$

- Rigidezza k

$$k = \frac{\sigma_v * s * A}{5 * G * S^2 + 3 * \sigma_v}$$

- Valore del coefficiente d'attrito (Magliulo et al., 2010)

$$\begin{aligned} \mu &= 0.49 && \text{per } \sigma_v \leq 0.14 \text{ N/mm}^2 \\ \mu &= 0.1 + \frac{0.055}{\sigma_v} && \text{per } 0.14 \leq \sigma_v \leq 5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

- Forza d'attrito F_{attrito}

$$F_{\text{attrito}} = F * \mu$$

- Spostamento da perdita di appoggio

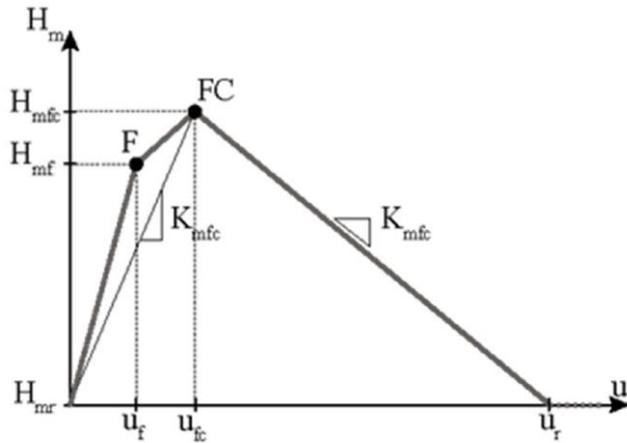
$$(u_{\text{perditaapp}} - u) = 28 \text{ cm in direzione X}$$

$$(u_{\text{perditaapp}} - u) = 18 \text{ cm in direzione Z}$$

CNR10018/1999

Modellazione non lineare

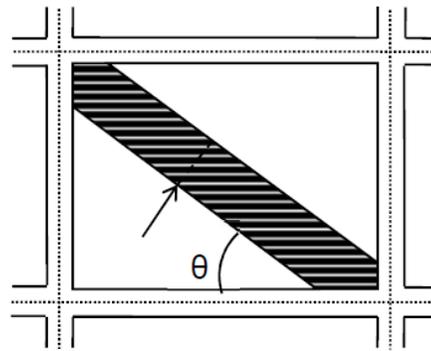
La tamponatura è stata modellata con un approccio a puntoni diagonali concentrici (macro-modellazione), seguendo il modello di Decanini et al. (2004).



$$H_{mfc} = (\sigma)_{min} e \omega \cos \theta$$

$$K_{mfc} = \frac{E_m e \omega}{d} \cos^2 \theta$$

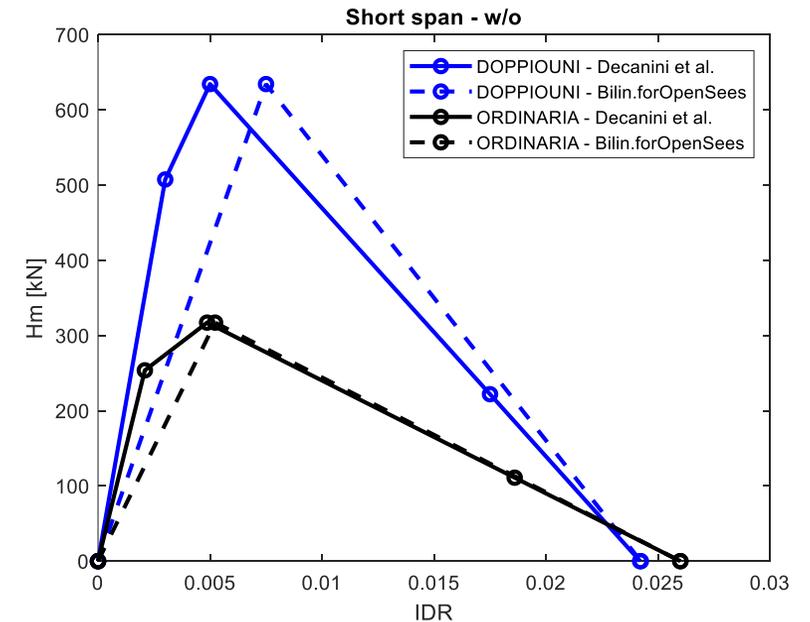
Con: d lunghezza puntone
e spessore tamponatura
1.18xHmfc fattore di amplificazione



ω = strut width for solid infill

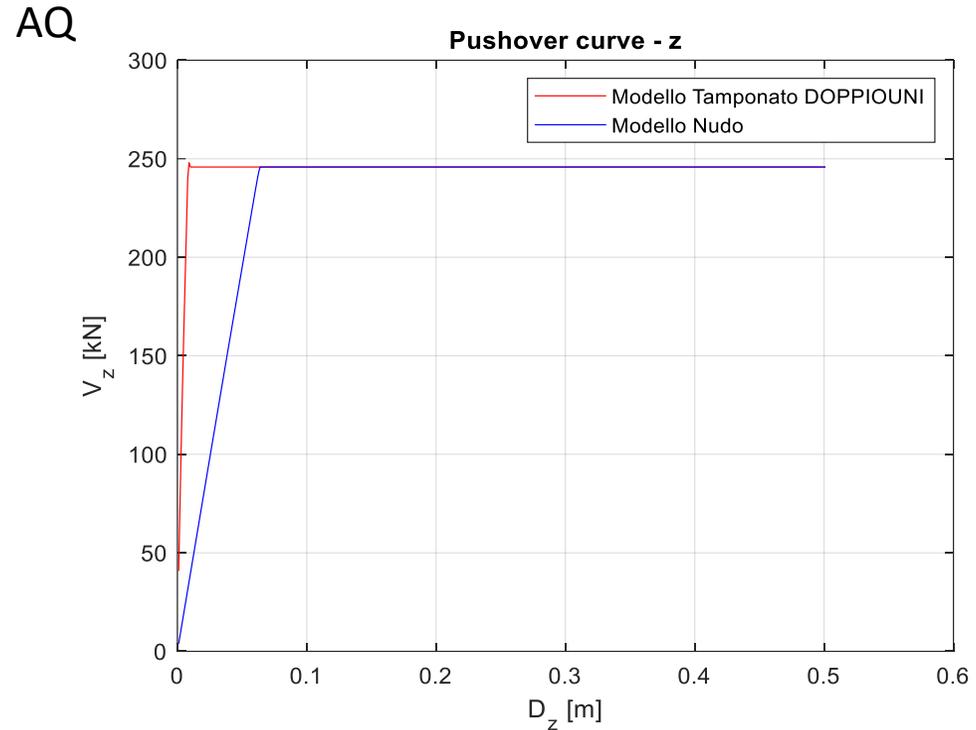
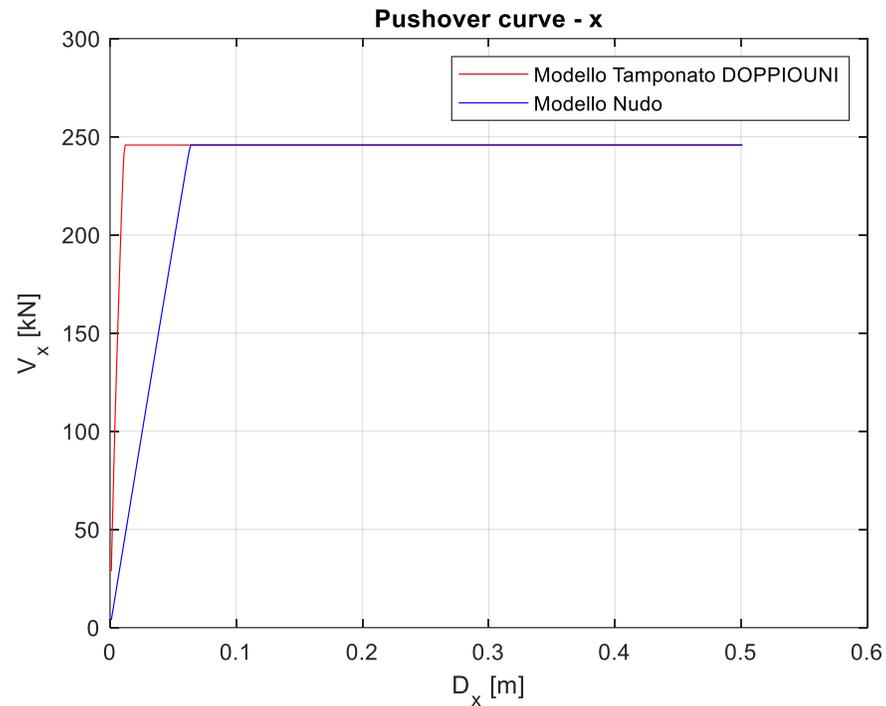
$$\omega = \left(\frac{K_1}{\lambda h} + K_2 \right) d$$

$$\lambda h = \sqrt[4]{\frac{E_m e \sin(2\theta)}{4E_c I h_m}} h$$



Progetto RINTC-E (2019-2021)

Analisi statica non lineare (analisi di pushover)



Per tutti i siti, in entrambe le direzioni e per entrambi i modelli analizzati (struttura nuda e struttura tamponata), le connessioni ad attrito si rivelano essere la più grande fonte di vulnerabilità sismica, condizionando la modalità di collasso delle strutture.

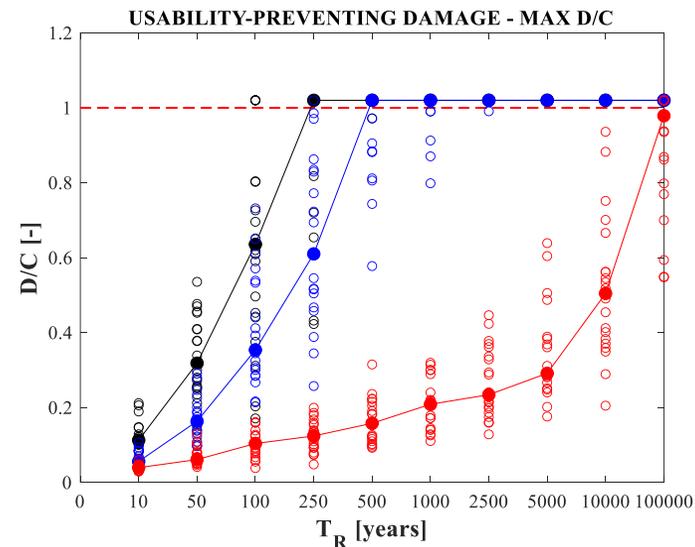
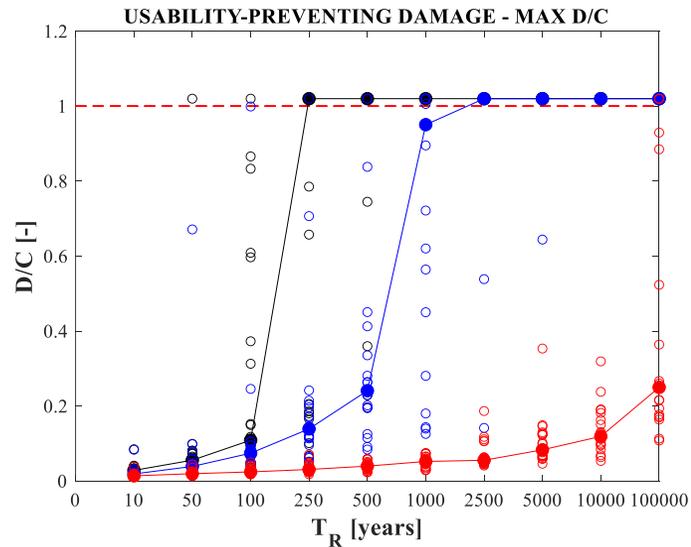
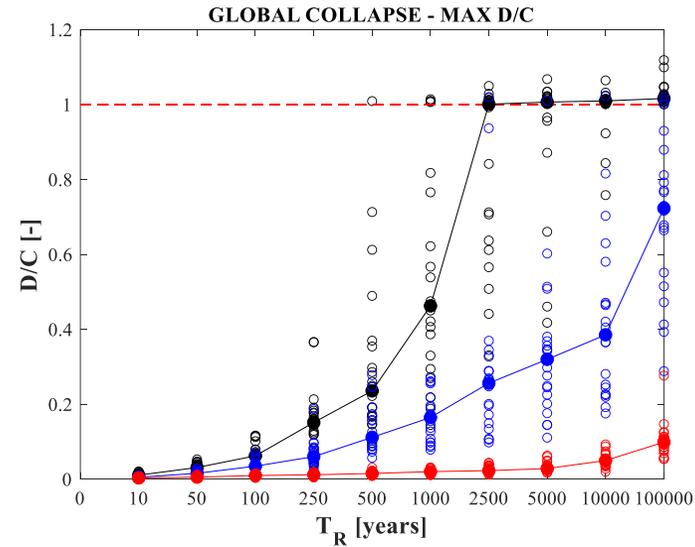
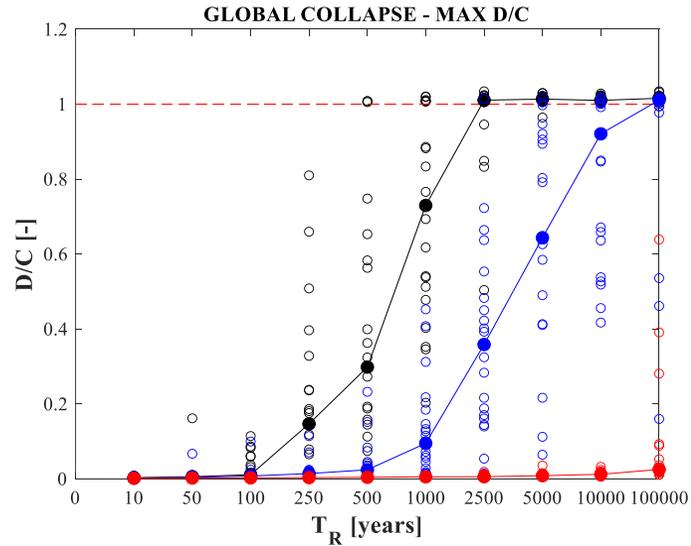
Global Collapse Condition - $u = u_{\text{perditaapp}}$ (Perdita d'appoggio)

Usability-Preventing Damage Condition - $u = 0.10 u_{\text{perditaapp}}$ (Scorrimento significativo)

Progetto RINTC-E (2019-2021)

Analisi dinamiche non lineari (approccio multi-stripe)

- L'Aquila
- Napoli
- Milano

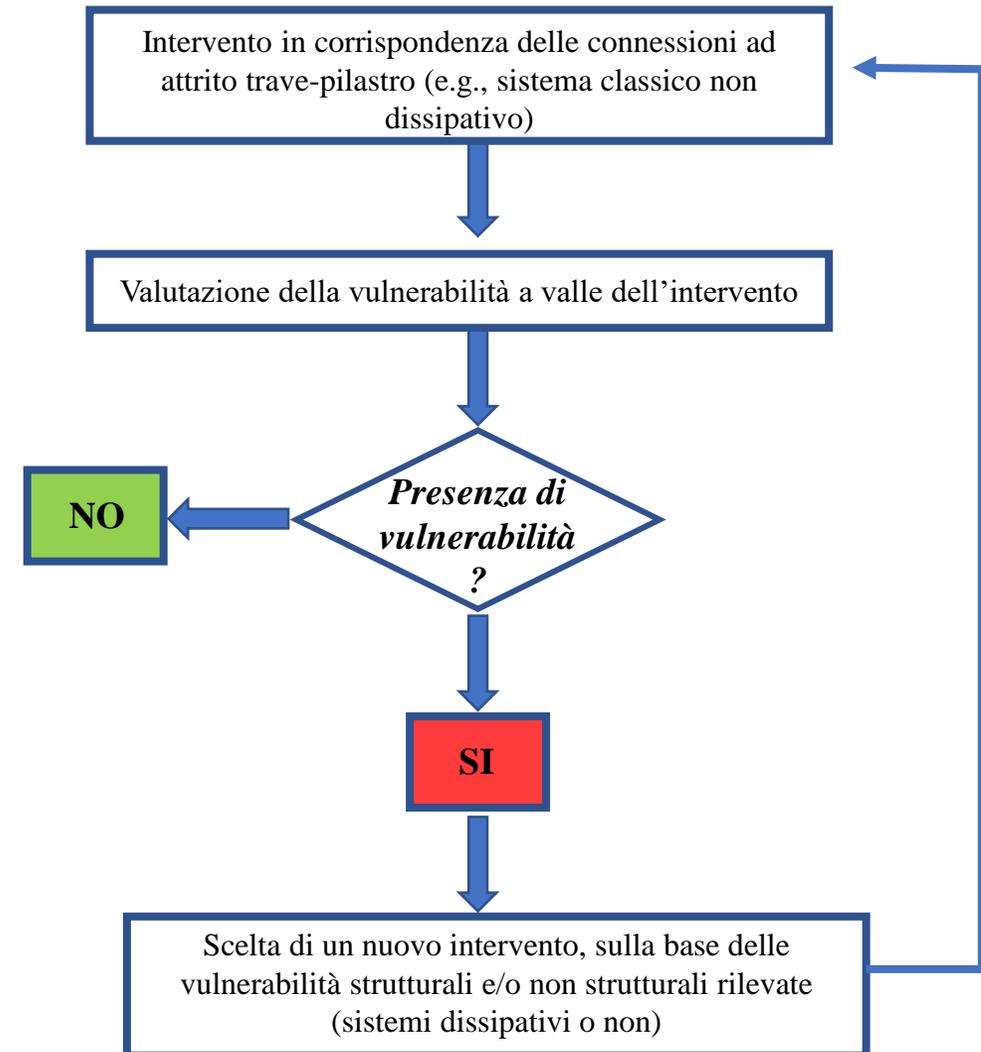


Interventi di adeguamento/miglioramento di strutture prefabbricate in cemento armato esistenti

Alla luce dei risultati del precedente progetto RINTC-E, **interventi di adeguamento/miglioramento/rinforzo locale** saranno proposti al fine di risolvere le criticità emerse per le strutture prefabbricate in cemento armato esistenti analizzate. In particolare, gli interventi avranno l'obiettivo specifico di ridurre in modo sequenziale le varie vulnerabilità sismiche evidenziate nel corso del precedente progetto o in corso d'opera.

A valle della loro implementazione nel modello numerico dell'edificio nella sua configurazione originale, nuovi rapporti Domanda/Capacità saranno valutati per ciascuna tecnica di intervento proposta.

I risultati potranno rappresentare un utile strumento per i professionisti che si trovano a dover fronteggiare la scelta sul tipo di intervento ottimale da eseguire su una struttura prefabbricata in cemento armato.



Accordo DPS – Re.LUIS (2021-2022)

Valutazione sismica di massima per strutture in cemento armato prefabbricate ad uso della Polizia di Stato (DPS)



Polizia di Stato

L' Accordo ha per oggetto la realizzazione delle attività volte a:

- Definizione della vulnerabilità sismica degli edifici ad uso della polizia di stato, secondo criteri inter-tipologie quanto più possibile omogenei
- Definizione dei criteri di prioritizzazione, che identificheranno le strutture su cui vi è urgenza di intervento a causa di significative vulnerabilità sismiche riscontrate
- Elaborazione di uno strumento di supporto tecnico delle attività della DCSTLGP connesse alla prevenzione del rischio sismico.

1.Raccolta dati

2.Modellazione strutturale

3.Spettro di capacità

4.Identificazione qualitativa e quantitativa degli stati di danno

5.Determinazione della PGA corrispondente, ovvero PGA_c



$$C/D = PGA_c / PGA_d$$

Grazie per la cortese attenzione

Prof. Ing. Gennaro Magliulo (gennaro.magliulo@unina.it)

Professore Associato,
Dip. di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università di Napoli Federico II