



Stefano Lenci, Enrico Quagliarini,
Francesco Clementi*, Francesco Latini

vulnerabilità

Primi risultati di ricerca scientifica inerente la valutazione del rischio sismico dell'edilizia scolastica del dopo guerra

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura
*Corrispondente: francesco.clementi@univpm.it

1. Oggetto

Il ricco patrimonio di edilizia scolastica esistente del dopo guerra presente in Italia ci ha portato ad analizzare alcuni casi di studio.

In questo contributo si presentano i primi risultati di ricerca riguardanti lo studio di vulnerabilità sismica di una scuola realizzata negli anni '60 con telaio in cemento armato composta da due plessi separati da un giunto: "plesso vecchio" e "ampliamento". Sono state fatte delle campagne di indagini in situ per verificare la rispondenza: geometrica,

tecnologica e le proprietà dei materiali rispetto alle informazioni presenti nel progetto originale. Le due porzioni di edificio, aventi solai flessibili nel piano, sono state studiate separatamente. Le analisi sono state condotte secondo la normativa nazionale NTC2008. La valutazione di vulnerabilità sismica è stata condotta per il plesso vecchio con un'analisi di tipo pushover mentre l'ampliamento è stato studiato con analisi dinamica lineare con spettro di progetto.

2. Descrizione generale dell'opera

Il Complesso scolastico è stato realizzato in due momenti differenti (Figura 2.1) : il "Plesso vecchio" risalente al 1960-61, poi nella seconda metà degli anni '60 è stato fatto un ampliamento. Realizzato con scheletro in c.a., composto da elementi pilastro e trave, è costituito da tre piani (Tab. 2.1): uno seminterrato, uno rialzato e un primo (ciascun solaio è in latero-cemento). La copertura, non praticabile, è piana. Il plesso vecchio è caratterizzato

un portico di ingresso avente una superficie coperta di circa 100mq e un'altezza di interpiano di circa 3.30m.

La fondazione del plesso vecchio è realizzata in plinti di dimensioni variabile collegati tra loro da cordoli. La fondazione dell'ampliamento è realizzata da travi a T rovesce.

I due corpi sono separati tra loro da un giunto. Le due strutture verranno studiate separatamente.

3. Caratteristiche materiali impiegati

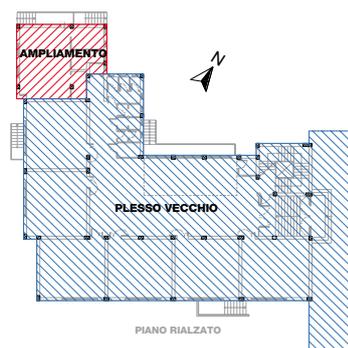
Nel plesso vecchio sono state fatte prove di caratterizzazione dei materiali, che hanno portato l'impiego nel modello di valori di resistenze del calcestruzzo differenti per ogni elevazione sia per le travi che per i pilastri, mentre per l'acciaio è stato considerato

un unico valore per le travi e anche per i pilastri. Nell'ampliamento non sono state fatte prove in situ, i materiali adottati hanno caratteristiche usuali per l'epoca: un cemento di tipo 730, barre d'armatura per i pilastri di tipo lisce Aq50 e per travi tipo TOR.

4. Azione sismica

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali è stato ricavato secondo il § 3.2.3.2.1 NTC2008 (Tab. 4.1, Grafico 4.1).

n° piano	Altezza interpiano m	Superficie Plesso Vecchio m ²	Superficie Ampliamento m ²
Piano seminterrato	0	500	60
Piano rialzato	2.90	500	60
Piano primo	3.30	500	60
Piano secondo	3.70	590	75



Tab. 2. 1:
Caratteristiche principali dell'edificio.

Figura 2. 1:
Pianta della seconda elevazione. In blu in plesso vecchio e in rosso l'ampliamento.

5. Modellazione della struttura

Per quanto riguarda il plesso vecchio (Figura 5.1 a) si è adottata un'analisi statica non lineare. La struttura è supposta incastrata alla base in corrispondenza delle fondazioni, i solai sono considerati flessibili nel loro piano [cfr. 7.2.6 NTC2008]. Si è utilizzato il software Midas Gen 2012 vs. 3.1 che adotta il modello a plasticità concentrata, con cerniere plastiche a flessione e a taglio secondo la formulazione prevista dall'EC8. Le verifiche globali sono effettuate tramite pushover mentre le verifiche locali eseguite in termini di rotazione rispetto

alla corda allo snervamento (SLD) e in condizioni ultime (SLV) per gli elementi duttili, mentre per i meccanismi fragili in termini di taglio resistente per travi, pilastri e pannelli nodali (SLV).

L' ampliamento (Figura 5.1 b) è stato studiato tramite un'analisi modale con spettro di risposta di progetto ed impalcati deformabili in quanto non sussistono del condizioni del §7.2.6 della NTC2008. La modellazione è sempre a telaio con elementi trave e pilastro elastici lineari incastrati alla base.

Tab.4.1:
Parametri sismici scuola

Parametri sismici			
Vita Nominale (Anni)	100	Classe d'uso	IV
Longitudine (Grd)	13.2176	Latitudine (Grd)	43.7102
Categoria Suolo	C	Coeff. Condiz. Topogr.	1

Grafico. 4.1:
Spettro elastico SLV

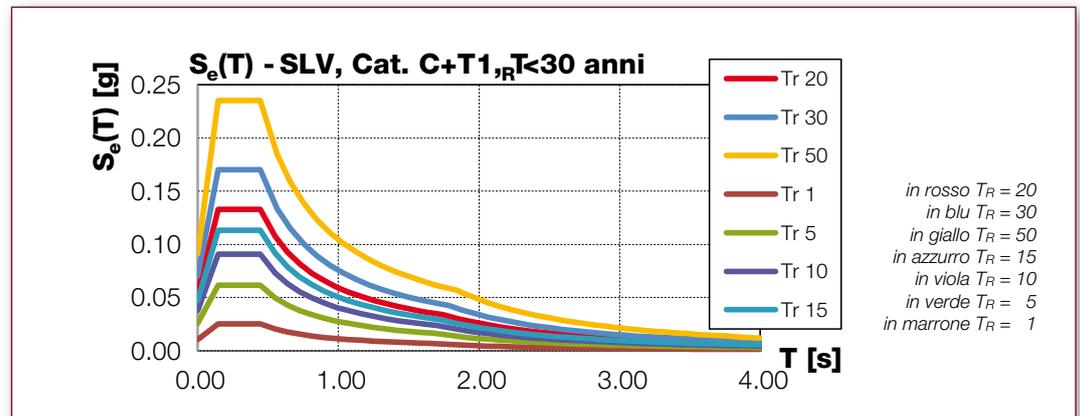
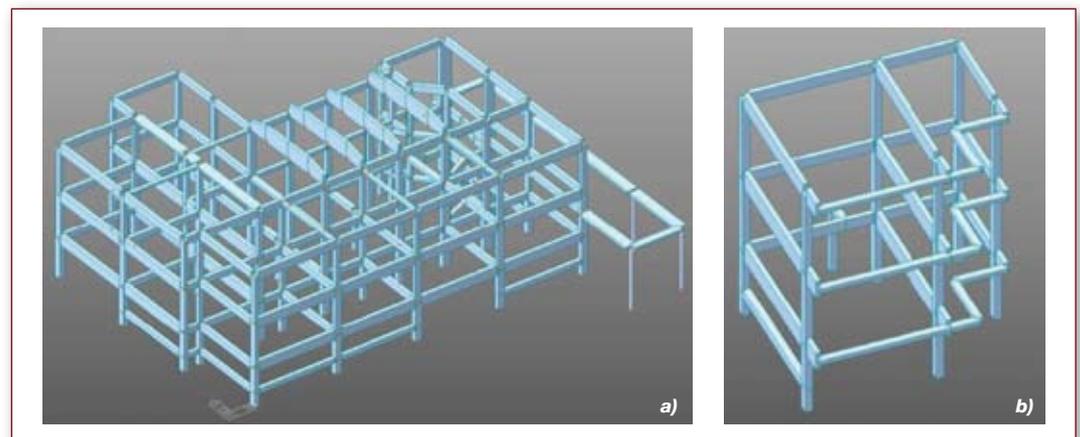


Figura 5.1:
a) Vista 3D del modello riguardante il plesso vecchio;
b) Vista 3D del modello riguardante l'ampliamento.



Come già accennato per l'analisi statica non lineare si è utilizzata una modellazione a plasticità concentrata. In particolare si è fatto riferimento alla formulazione presente nei §§C8.7.2.5 e C8A.6.1 della Circolare n°617.

Per quanto riguarda le cerniere plastiche dei pilastri si è fatto uso di cerniere elasto-plastiche con interazione, i.e. PMM, come riportato nella Figura 5.2. I limiti elastici e ultimi sono calcolati secondo

le equazioni [8.7.2.1a] e [C8A.6.1]. Visti i ferri liscii e la mancanza di opportuni dettagli costruttivi antisismici si è ridotto il valore della Θ_u di un coefficiente 0.85.

Per quanto riguarda il taglio sono state implementate cerniere concentrate elasto-fragili con valore al limite elastico calcolato secondo l'eq. [4.1.20] della NTC2008. Un esempio di cerniera a taglio utilizzata nella modellazione è riportata in Figura 5.3.

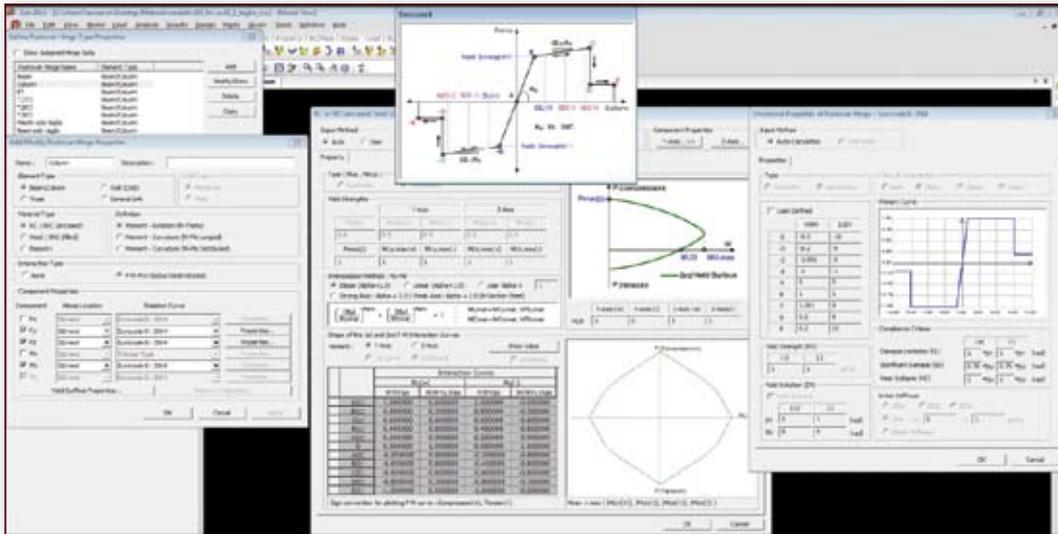


Figura 5.2: Cerniera di interazione a pressoflessione deviata.

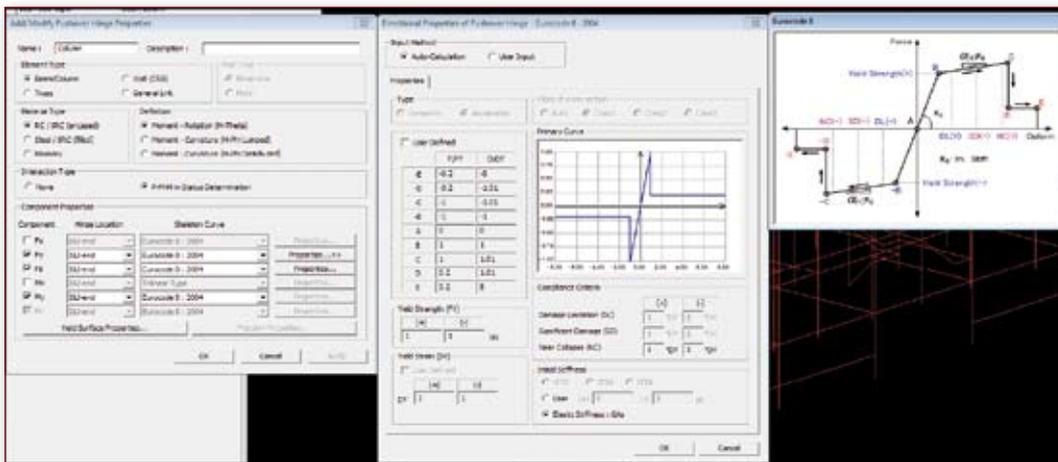


Figura 5.3: Cerniera a taglio.

Sono state condotte analisi lineari e non lineari (pushover) sulle due strutture supponendo l'impalcato non rigido nel proprio piano.

5.1 Analisi dinamica lineare con spettro di progetto

Tale analisi è stata adottata per l'ampliamento. Poiché si tratta di un'analisi dinamica lineare non ci sono particolari controlli dei requisiti di ammissibilità del metodo. L'impalcato è deformabile nel proprio piano e per questo risulta non applicabile l'eccentricità accidentale. Per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi si è utilizzata una combinazione quadratica completa, i.e. CQC. Gli elementi duttili sono stati verificati con $q=2$ mentre gli elementi fragili con $q=1.5$.

5.2 Analisi statica non lineare (pushover)

Sono state eseguite 8 analisi pushover nel solo

plesso vecchio poiché non sono stati applicati gli effetti torsionali accidentali per la presenza del piano deformabile.

Le distribuzioni considerate sono state scelte tenendo conto che la struttura del plesso vecchio si presenta irregolare in pianta e in altezza:

1. Distribuzione principale:

proporzionale alla distribuzione dei taglio di piano calcolati in un'analisi dinamica lineare a patto che il periodo fondamentale della struttura è superiore a T_C . L'applicazione di questa distribuzione è possibile, per la nuova bozza delle NTC2012, a qualsiasi tipo di struttura (regolare o non) a prescindere dal periodo della struttura.

2. Distribuzione secondaria:

uniforme proporzionale alle masse di piano.

6. Indice di rischio (I_R)

Per lo studio della vulnerabilità sismica del plesso vecchio (Tabella 6.1) l'indicatore di rischio è stato valutato per tre differenti situazioni:

1. elementi/meccanismi duttili con riferimento alla rotazione rispetto alla corda in condizioni ultime allo SLV;
2. elementi/meccanismi fragili con riferimento alla sollecitazione di taglio in travi e pilastri e nei pannelli nodali allo SLV;
3. elementi/meccanismi duttili con riferimento alla rotazione rispetto alla corda allo snervamento allo SLD.

Distribuzione	$T_{R,D}$ SLV	$T_{R,C}$ Duttili SLV	Indice Duttili SLV	$T_{R,C}$ Fragili SLV	Indice Fragili SLV	$T_{R,C}$ Duttili SLD	$T_{R,D}$ SLD	Indice Duttili SLD
Seconda distribuzione +X	712.5	20	0.23	5	0.13	1	75	0.17
Seconda distribuzione +Y	712.5	20	0.23	5	0.13	1	75	0.17
Prima distribuzione +X	712.5	100	0.45	5	0.13	1	75	0.17
Prima distribuzione +Y	712.5	20	0.23	5	0.13	1	75	0.17
Seconda distribuzione -X	712.5	20	0.23	5	0.13	1	75	0.17
Seconda distribuzione -Y	712.5	20	0.23	5	0.13	1	75	0.17
Prima distribuzione -X	712.5	100	0.45	5	0.13	1	75	0.17
Prima distribuzione -Y	712.5	20	0.23	5	0.13	1	75	0.17

Tab.6.1: Sintesi delle verifiche di vulnerabilità sismiche in termini di indice di rischio.

Tab.6.2: Sintesi delle verifiche di vulnerabilità sismiche in termini di indice di rischio.

Analisi modale con spettro di progetto con fattore di struttura	$T_{R,D}$ SLV	$T_{R,C}$ Duttili SLV	Indice Duttili SLV	$T_{R,C}$ Fragili SLV	Indice Fragili SLV
q=2.0, elementi duttili	712.5	5	0.13		
q=1.5, elementi fragili	712.5			5	0.13

L'indicatore di rischio è definito in base al rapporto tra i periodi di ritorno di Capacità $T_{R,C}$ e di Domanda $T_{R,D}$ i quali, per non restituire valori fuori scala

rispetto a quelli ottenibili col rapporto fra le accelerazioni, va elevato alla 0.41:

$$I_{R_SL} = \left(\frac{T_{R,C}}{T_{R,D}} \right)^{0.41} \quad (6.1)$$

Nell'ampliamento l'indicatore di rischio è stato valutato per due differenti situazioni:

1. elementi/meccanismi duttili in termini di resistenza flessionale allo SLV;
2. elementi/meccanismi fragili in termini di resistenza a taglio e a trazione-diagonale e com-

pressione diagonale per i nodi, entrambi allo SLV.

L'espressione con cui è stato valutato l'indice di rischio è sempre la (6.1), mentre gli indici di rischio sono riassunti in Tabella 6.2.

7. Conclusioni

In questo contributo si presentano i primi risultati di ricerca di una più vasta problematica serie di casi di studio di vulnerabilità sismica di edilizia scolastica. La scuola, realizzata negli anni '60 con telaio in cemento armato, è composta da due plessi separati da un giunto: "plesso vecchio" e "ampliamento". I due corpi sono stati studiati separatamente.

La struttura del plesso vecchio presenta un diffuso danneggiamento "flessionale" nella parte centrale un attimo dopo l'attingimento del massimo taglio alla base. Non è possibile individuare un chiaro comportamento di "piano soffice" (meccanismo globale fragile) in tale struttura.

I risultati principali che si evincono dall'analisi modale con spettro di risposta effettuata sull'ampliamento vede una struttura discretamente sollecitata nei vari elementi, duttili e fragili, con una ridotta capacità di ridistribuire i carichi a seguito di plasticizzazioni vista la presenza di numerosi elementi a sbalzo.

Dai risultati presentati nel paragrafo precedente si evince che entrambi gli edifici presentano significative carenze di capacità all'azione sismica sia per i meccanismi duttili che fragili.