

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Il presente stralcio di relazione vuole essere di ausilio ai tecnici interessati alle “verifiche tecniche”, denominate anche “valutazioni di sicurezza”, da eseguire in conformità alle indicazioni definite dalla Regione Emilia Romagna tramite la Deliberazione della Giunta Regionale 23 giugno 2008, n. 936 - Programma delle verifiche tecniche e piano degli interventi di adeguamento e miglioramento sismico previsto all’art. 1, comma 4, lettera c) dell’OPCM 3362/2004 e s.m.i. (annualità 2005).

Lo spirito con cui viene pubblicato il presente stralcio di relazione è lo stesso che ha contraddistinto gli incontri seminariali di novembre 2008 e gennaio 2009, quindi l’intento è quello di fornire chiarimenti ed esemplificazioni per una redazione “condivisa” delle verifiche tecniche. Si ritiene opportuno ricordare ed evidenziare che, presentando ogni costruzione oggetto di verifica proprie caratteristiche, la presente esemplificazione ha esclusivamente valenza per quanto riguarda l’approccio.

La costruzione in parola è stata oggetto di un lavoro svolto nell’ambito di “Casi Studio”, individuati dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, finalizzati alla redazione di linee guida per lo svolgimento di verifiche tecniche su edifici esistenti.

Le valutazioni di sicurezza originali, svolte nel 2007, vennero eseguite da:

ing. Alessandro Amadori
ing. Nicola Cosentino
geom. Paolo Fantoni

L’aggiornamento, del presente capitolo, redatto al fine di renderlo coerente con quanto previsto dalla D.G.R. 23 giugno 2008, n.936 (in particolare con il Decreto 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", in essa richiamato) è stato curato da:

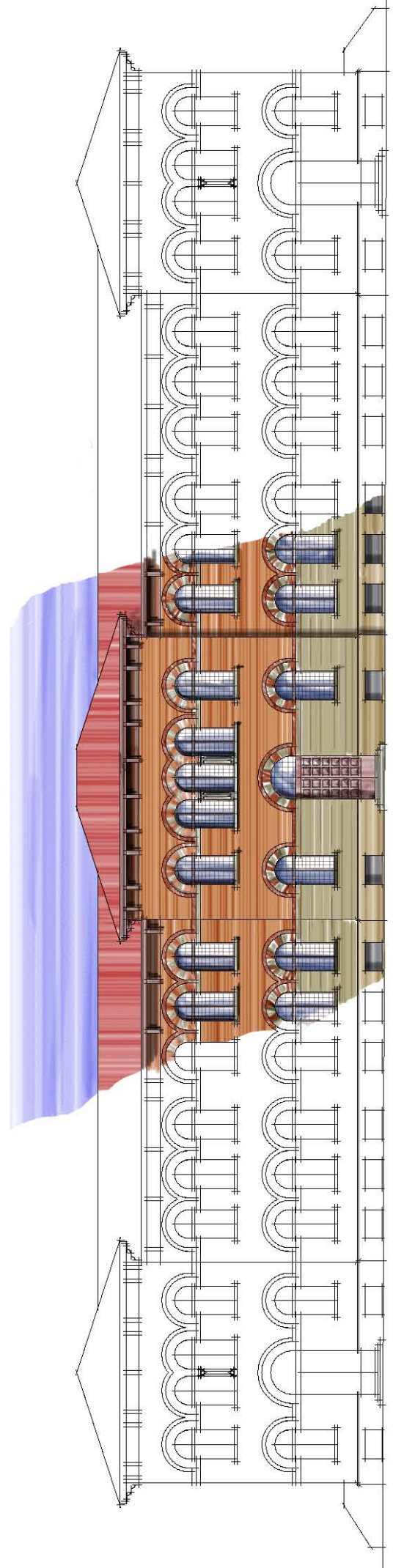
ing. Alessandro Amadori
geom. Paolo Fantoni
referente RER: ing. Giovanni Manieri

SCUOLA ELEMENTARE “E. DE AMICIS”

Viale della Libertà n.21,23,25 - Forlì

RELAZIONE GENERALE

4. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO



pagina intenzionalmente bianca

4 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Le “*NTC08*” permettono di descrivere l’azione sismica sia mediante accelerogrammi sia mediante spettri di risposta; per il complesso edilizio in parola si assumono questi ultimi.

Per quanto riguarda la classificazione sismica si ricorda che la Regione Emilia Romagna (v. Delibera della Giunta n. 1435 del 2003) ha assunto quella di prima applicazione stabilita nell’Allegato 1 dell’“*OPCM 3274*”, quindi il territorio del Comune di Forlì ricade in zona 2¹.

Per quanto attiene la determinazione delle azioni sismiche le “*NTC08*” individuano, quale elemento di conoscenza primario, la “pericolosità sismica di base” riferita al sito di costruzione con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} .²

L’input sismico viene definito innanzitutto ai sensi delle “*NTC08*” quindi, considerando che l’edificio in oggetto rientra tra i beni architettonici di valore storico artistico, è opportuno valutare anche quanto contenuto nella “*D-BC*”.³

4.1 Vita nominale, classi d’uso e periodo di riferimento

Le “*NTC08*”⁴ definiscono le azioni sismiche su ciascuna costruzione in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d’uso C_U .

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

La vita nominale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per la costruzione in esame si è assunta una vita nominale V_N pari a 50 anni⁵.

¹ Tutte le norme tecniche precedenti alle “*NTC08*”, seppur in modo formalmente diverso, definivano l’azione sismica sulla base della suddivisione del territorio in quattro zone (o categorie) associando a ciascuna di esse un valore dell’accelerazione orizzontale. Una delle principali modifiche introdotte dalle “*NTC08*” è quella di scollegare la determinazione dell’azione sismica dalla classificazione, la quale assume quindi prevalentemente importanza in merito agli aspetti amministrativi.

² L’approccio delle “*NTC08*” è sganciato dalla classificazione e prevede di partire da una “pericolosità sismica di base”, riferita al sito di costruzione, “definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A) ... con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} ...”. La predetta pericolosità sismica viene determinata sulla base dei dati riportati nella Tabella 1 dell’“Allegato A alle norme tecniche per le costruzioni: pericolosità sismica” delle “*NTC08*”; detti dati provengono da quelli pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

³ Al punto C2.4.2 la “*Circ09*” indica che “Per edifici il cui collasso può determinare danni significativi al patrimonio storico, artistico e culturale (quali ad esempio musei, biblioteche, chiese) vale quanto riportato nella “Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni” del 12.10.2007 e ss.mm.ii.”.

⁴ Vedi punto 2.4.3 delle “*NTC08*”.

⁵ Vedi punto 2.4.1 e Tabella 2.4.I delle “*NTC08*”.

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, trattandosi di “Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi”, la costruzione ricade in classe d’uso III; conseguentemente il coefficiente d’uso C_U risulta pari a 1.5⁶.

Ne risulta che il periodo di riferimento V_R è pari a 75 anni.

4.2 Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

Non essendo la costruzione fondata su sottosuolo “rigido” (di categoria “A”), è necessario tenere conto oltre alle condizioni topografiche, delle condizioni stratigrafiche.

Non avendo eseguito analisi specifiche finalizzate alla definizione dell'azione sismica di progetto, per quanto riguarda gli effetti stratigrafici, si utilizza l’approccio semplificato indicato al punto 3.2.2. delle “*NTC08*” che si basa sull’individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Il sottosuolo su cui sorge la costruzione in esame appartiene alla categoria “C” in quanto il valore della V_{S30} , ottenuto grazie ad una Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW), è risultato pari a 227 m/s; per un maggior dettaglio si rimanda alla relazione geotecnica allegata. Sempre in detta relazione viene precisato che non siamo in presenza di terreni suscettibili di liquefazione.

L’identificazione della categoria di sottosuolo permette di definire i coefficienti S_S (coeff. di amplificazione stratigrafica) e C_C ⁷ (coeff. che individua il periodo, dello spettro, corrispondente all’inizio del tratto a velocità costante) di cui si forniranno precisazioni nel seguito.

La categoria topografica, definita al punto 3.2.2. delle “*NTC08*”, è la T1 in quanto la configurazione della superficie su cui insiste la costruzione in questione è pianeggiante; il coefficiente di amplificazione topografica S_T ⁸ viene quindi assunto pari all’unità.

4.3 Stati limite e relative probabilità di superamento

Il punto 3.2.1 delle “*NTC08*” definisce, nei confronti delle azioni sismiche, quattro stati limite. Gli SLE vengono suddivisi in Stato Limite di Operatività (SLO) e Stato Limite di Danno (SLD); gli SLU in Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e Stato Limite di Collasso (SLC). Ad ogni stato limite considerato viene associata la relativa probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} ⁹ cui riferirsi per individuare l’azione sismica.

⁶ Vedi capitolo 2 della presente relazione.

⁷ Vedi punto 3.2.3.2.1 e Tabella 3.2.V delle “*NTC08*”.

⁸ Vedi punti 3.2.2, 3.2.3.2.1 e Tabelle 3.2.IV, 3.2.VI delle “*NTC08*”.

⁹ Si riporta la Tabella 3.2.I della “*NTC08*”.

Lo Stato Limite di Operatività¹⁰, introdotto dalle “NTC08”, si riferisce alle opere che debbono restare operative durante e subito dopo il terremoto (ospedali, caserme, centri della protezione civile, etc.); considerato inoltre che la costruzione in questione è esistente, la presente valutazione della sicurezza non prende in esame il predetto Stato Limite di Esercizio.

Sebbene il primo capoverso del punto 8.3 delle “NTC08” indichi che la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU¹¹, si ritiene opportuno valutare le risorse della struttura nei confronti dello Stato Limite di Danno.

Le Verifiche agli SLU, precisa il secondo capoverso del punto 8.3. delle “NTC08”, possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC). La “Circ09”, nel punto C8.3, precisa che fornisce istruzioni, per lo Stato Limite di Collasso, solo per costruzioni di calcestruzzo armato o di acciaio. Per i motivi esposti la presente valutazione prende in esame, quale SLU, lo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Si precisa inoltre che, secondo quanto indicato al punto 7.2.1 delle “NTC08”, le caratteristiche della costruzione in oggetto consentono di non considerare la componente verticale dell’azione sismica nella modellazione globale.

Le forme spettrali corrispondenti ai diversi Stati Limite di riferimento vengono definite in funzione delle relative probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , e dei parametri su sito di riferimento rigido orizzontale a_g , F_0 e T^*_C ,¹² riferiti al sito su cui sorge il complesso scolastico in parola.

Essendo consuetudine utilizzare, quale parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il relativo periodo di ritorno T_R , si ricorda che quest’ultimo, fissata la vita di riferimento V_R ¹³ e la probabilità di superamento P_{VR} (associata a ciascuno degli stati limite), è determinabile mediante la seguente relazione.

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Stati limite		P_{VR}
SLE	SLO	81%
	SLD	63%
SLU	SLV	10%
	SLC	5%

¹⁰ Vedi punto C3.2.1 della “Circ09”.

¹¹ Sempre il primo capoverso del punto 8.3 precisa che “..nel caso in cui si effettui la verifica anche nei confronti degli SLE i relativi livelli di prestazione possono essere stabiliti dal Progettista di concerto con il Committente.”

¹² a_g è l’accelerazione orizzontale massima del sito; F_0 è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T^*_C è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

¹³ Vedi punto 4.1 della presente relazione.

I valori di a_g , F_0 e T_C^* sono stati determinati mediante il foglio elettronico “Spettri-NTC ver.1.03”, disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, partendo dalle coordinate geografiche già riportate in precedenza (ED50: latitudine 44°.22167, longitudine 12°.05233).

Detti valori, riportati nella tabella 4.1, sono stati determinati utilizzando sia il metodo della “media ponderata” (definito dalle “NTC08”) sia quello della “superficie rigata” (esposto nella “Circ09”); per il sito in esame si sono ottenuti valori pressoché coincidenti.

A titolo esemplificativo si riporta, nella figura 4.1, l’andamento dell’accelerazione al crescere del tempo di ritorno.

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.065	2.404	0.263
50	0.083	2.396	0.272
72	0.098	2.392	0.278
101	0.113	2.414	0.281
140	0.130	2.418	0.283
201	0.150	2.406	0.289
475	0.204	2.416	0.305
975	0.256	2.472	0.317
2475	0.332	2.561	0.332

Tab. 4-1: Parametri azione sismica

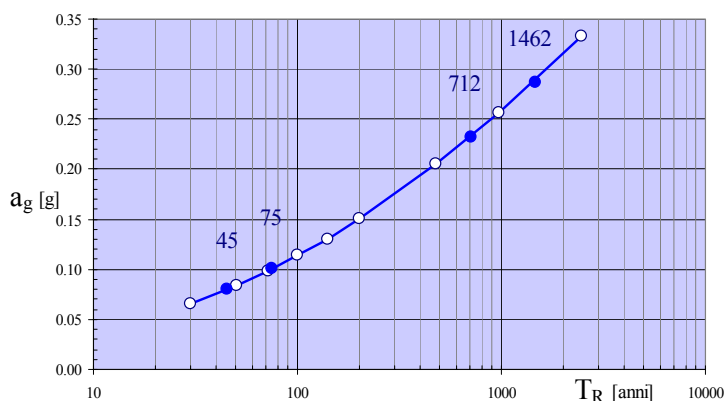


Fig. 4.1: Diagramma a_g - T_R .

Quando la pericolosità sismica ottenuta non contempla il periodo di ritorno T_R di interesse, si procede per interpolazione utilizzando le espressioni riportate nell’allegato A alle “NTC08”¹⁴.

La tabella seguente riporta i parametri, riferiti al caso in esame, che definiscono le forme spettrali associate ai diversi Stati Limite.

STATI LIMITE		P_{VR} [-]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [-]
SLE	SLO	81%	45	0.079	2.398	0.270
	SLD	63%	75	0.100	2.395	0.279
SLU	SLV	10%	712	0.232	2.448	0.312
	SLC	5%	1462	0.287	2.511	0.323

Tab. 4-2: Parametri per la definizione dell’azione sismica degli Stati Limite definiti dalle “NTC08”.

¹⁴ Vedi espressione [2] Allegato A alle “NTC08”.

4.4 Spettri di risposta

Con riferimento all'ubicazione del complesso scolastico in oggetto, sono state valutate le condizioni topografiche e stratigrafiche e sono stati determinati i parametri (riportati nella tabella 4.2) legati alla pericolosità sismica. A questo punto, per definire gli spettri di risposta, occorre determinare i parametri riportati nella tabella seguente con riferimento ai soli stati limite presi in considerazione per le analisi.

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_O [-]	T^*_C [-]	C_C [-]	S_S [-]	S_T [-]	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
SLV	712	0.232	2.450	0.312	1.54	1.36	1	0.16	0.48	2.53
SLD	75	0.100	2.395	0.279	1.60	1.50	1	0.15	0.45	2.00

dove:

T_R periodo di ritorno;

a_g accelerazione orizzontale massima del sito;

F_O valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

C_C coefficiente funzione della categoria di sottosuolo che modifica il valore di T_C ;

S_S coefficiente stratigrafico¹⁵ (categoria di sottosuolo C);

S_T coefficiente topografico¹⁶ (categoria topografica T_1);

$S = S_S \cdot S_T$ coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

T_B , T_C e T_D periodi che separano i diversi rami dello spettro.

Gli spettri di risposta, per i vari stati limite, risultano quindi quelli riportati nella seguente fig. 4.2.

¹⁵ Per le espressioni di S_S e di C_C vedasi Tabella 3.2.V delle "NTC08".

¹⁶ Per la valutazione di S_T vedasi Tabella 3.2.IV e Tabella 3.2.VI delle "NTC08". Nel caso in esame non sussistono elementi per operare una tale amplificazione.

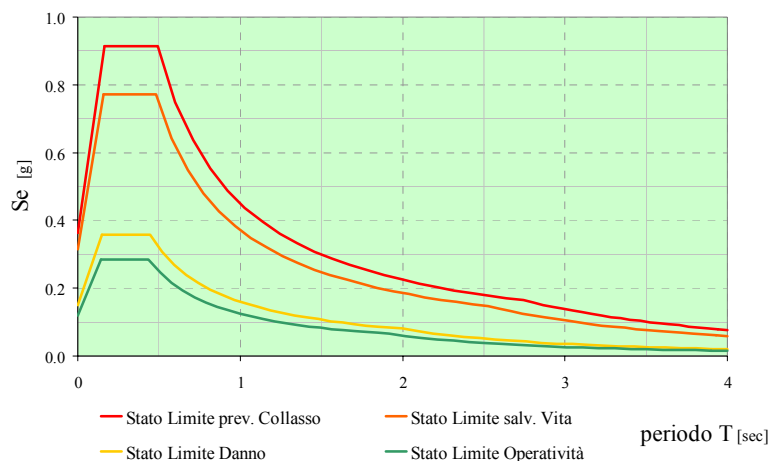


Fig. 4.2: Spettri degli Stati Limite definiti dalle “NTC08”.

Spettro di progetto per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV)

Per le analisi dinamiche o statiche in campo lineare, il punto 3.2.3.5 delle “NTC08” definisce lo spettro per le verifiche agli stati limite ultimi mettendo in conto le capacità dissipative delle strutture attraverso il fattore di struttura q che, per edifici esistenti, è definito nel punto C8.7.1.2 della “Circ09”. Per il complesso in esame si ha:

- rapporto α_u/α_1 definito senza condurre una analisi statica non lineare¹⁷ $\alpha_u/\alpha_1 = 1.8$
- fattore $q = 1.5 \alpha_u/\alpha_1$ per edifici in muratura ordinaria non regolari in altezza¹⁸ $q = 2.7$

Lo spettro di risposta per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita è riportato nella successiva fig. 4.3.

Spettro di progetto per lo stato limite di danno (SLD)

Il punto 3.2.3.4 delle “NTC08” dichiara che “Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata”. Di conseguenza, per lo SLD, lo spettro di progetto coincide con quello elastico rappresentato nella fig. 4.3.

¹⁷ Punto 7.8.1.3 delle “NTC08”.

¹⁸ Secondo quanto indicato al punto 7.2.2 delle “NTC08”, la struttura non risulta regolare in altezza in quanto presenta una variazione di rigidità delle pareti, fra un piano e l’altro, superiore a quella definita nel punto stesso.

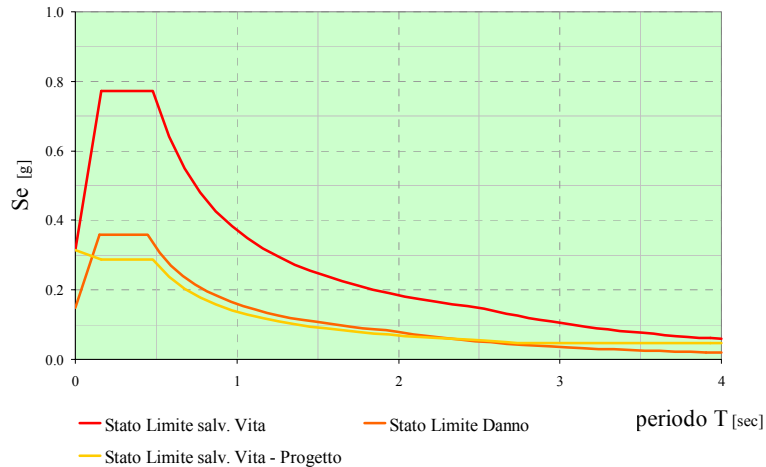


Fig. 4.3: Componente orizzontale dello spettro di risposta in accelerazione ai sensi delle “NTC08”.

4.5 Combinazione dell’azione sismica con le altre azioni

La combinazione dell’azione sismica con le altre azioni¹⁹, riportata al punto 2.5.3 delle “NTC08”, per l’aggregato in esame si può semplificare (mancando azioni di pretensione e/o precompressione) come segue:

$$E + G_1 + G_2 + \sum_j (\psi_{2j} \cdot Q_{kj})$$

dove:

E è l’azione sismica per lo stato limite in esame

G1, G2 sono i carichi permanenti rispettivamente strutturali e non strutturali;

ψ_{2j} sono i coefficiente di combinazione delle azioni variabili Q_{kj}

Q_{kj} sono i valori caratteristici dei carichi variabili Q_{kj}

Gli effetti dell’azione sismica sono stati valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali mediante la relazione²⁰:

$$G_1 + G_2 + \sum_j (\psi_{2j} \cdot Q_{kj})$$

¹⁹ Vedi relazione 2.5.5 delle “NTC08”.

²⁰ Vedi relazione 3.2.17 delle “NTC08”.

4.6 Azione sismica secondo la Direttiva sui beni culturali “D-BC”

Come già evidenziato in precedenza l’edificio in questione rientra tra i beni architettonici di valore storico artistico, conseguentemente risulta necessario tener conto della Direttiva sui beni culturali.

Tuttavia, per quanto riguarda la definizione dell’azione sismica, le due norme (“D-BC” e “NTC08”) utilizzano modalità di approccio differenti; non è quindi chiaro quale debba prevalere. Essendo in corso un confronto sull’argomento si ritiene inopportuno avanzare ipotesi che potrebbero indurre in errori o confusione. Si integrerà, su questo aspetto, il presente “caso studio” non appena vi sarà un’interpretazione condivisa.