

## VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA: INDICATORE DI RISCHIO IN TERMINI DI CARICHI VERTICALI $\zeta_v$

Le indicazioni normative del D.M. 17.1.2018 (§8.3) sulla valutazione della sicurezza di edifici esistenti includono il controllo dell'**indicatore di rischio in termini di carichi verticali  $\zeta_v$  (di natura statica)**, a fianco dell'indicatore di rischio sismico  $\zeta_E$ .

$\zeta_v$  è dato dal rapporto fra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile dalla parte di costruzione di cui viene valutata la sicurezza, ed il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

**$\zeta_v$  è quindi direttamente collegato alla destinazione d'uso della struttura** e alle eventuali restrizioni che debbono attuarsi quando il carico sostenibile assuma valori non compatibili con l'ipotesi originaria.

Mentre l'indicatore di rischio sismico  $\zeta_E$  è frutto di una valutazione del comportamento sismico della costruzione piuttosto complessa e articolata, consistente in più analisi affiancate (meccanismi di collasso, analisi modali, analisi statiche non lineari), **l'indicatore  $\zeta_v$  deriva da una valutazione riguardante singole 'parti di costruzione'**.

**Quando tuttavia l'intervento su un edificio esistente non consiste in una riparazione locale, ma in un miglioramento o in un adeguamento, l'analisi strutturale investe la costruzione nel suo complesso:**

D.M. 17.1.2018, §8.4.2: Intervento di miglioramento:

"La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme (...)"

Pertanto,  **$\zeta_v$  può essere interpretato, analogamente a  $\zeta_E$ , come valore rappresentativo dell'intervento**, e quindi necessariamente coincide **con quella parte della struttura** (struttura esaminata nel suo insieme, e quindi composta da più parti) **cui compete**, attraverso un appropriato modello di comportamento, **il valore più sfavorevole**.

Per 'parti' di struttura si dovranno intendere i diversi elementi strutturali costitutivi dell'edificio:

- (i) orizzontamenti (solai intermedi e di copertura),
- (ii) strutture portanti orizzontali (travi, capriate),
- (iii) strutture portanti verticali.

Nelle illustrazioni seguenti si riporta un estratto dalla modulistica predisposta dall'ufficio del Genio Civile di Macerata (in download da: [https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Costruzioni-in-Zona-Sismica#2139\\_Sede-Macerata](https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Costruzioni-in-Zona-Sismica#2139_Sede-Macerata))

**RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA**  
(P.to 8.3 D.M. 14.01.2018)  
**MIGLIORAMENTO / ADEGUAMENTO**

**1) DESCRIZIONE DEL FABBRICATO**

a) Stato conservativo (es.: stato deformativo degli orizzontamenti, eventuale quadro fessurativo, etc.)	
b) Tipologia costruttiva	
c) Classe d'uso	

**2) LIVELLO DI CONOSCENZA**

<input type="checkbox"/> LC1	Note eventuali:	
<input type="checkbox"/> LC2	Note eventuali:	
<input type="checkbox"/> LC3	Note eventuali:	

**2) DESCRIZIONE SINTETICA DELLA MOTIVAZIONE PER CUI È ESEGUITA LA VALUTAZIONE DI SICUREZZA (Capoverso 3 del punto 8.3 del D.M. 14.01.2018)**

■

**3) VERIFICA DEL SISTEMA DI FONDAZIONE**

<input type="checkbox"/>	Nella costruzione sono presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si sono prodotti nel passato;
<input type="checkbox"/>	Sono possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
<input type="checkbox"/>	Sono possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

**Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni:**

<input type="checkbox"/>	Sono state omesse specifiche indagini in quanto:	
<input type="checkbox"/>	Sono state effettuate le indagini riportate nella relazione:	

**4) VERIFICHE PER LA CLASSE D'USO IV:**

<input type="checkbox"/> SLE (§ 7.3.6 NTC 2018)	<input type="checkbox"/> SLU (§ 7.3.6 NTC 2018)
---	---

5) VERIFICHE DEL LIVELLO DI SICUREZZA:	
Miglioramento sismico (§ 8.4.2 NTC 2018)	
STATO ATTUALE	STATO DI PROGETTO
$\zeta_E =$ ■	$\zeta_E =$ ■
$\zeta_{v,i} =$ ■	$\zeta_{v,i} =$ ■
Incremento pari a ( $\Delta\zeta_E \geq 0,10$ ) per classi d'uso II e III	
( $\zeta_E \geq 0,6$ ) per classe d'uso III (edifici ad uso scolastico) e IV	
( $\zeta_E \geq 1$ ) per interventi con sistemi di isolamento	

Adeguamento sismico (§ 8.4.3 NTC 2018)	
STATO DI PROGETTO	
$\zeta_E =$ ■	$\zeta_{v,i} =$ ■

**6) DICHIARAZIONI SULL'USO DELLA COSTRUZIONE:**

- L'uso della sicurezza può continuare senza interventi, in quanto: ■;
- L'uso deve essere modificato (declassamento, cambio di destinazione d'uso e/o imposizione di limitazioni e/o cautele dell'uso), in quanto: ■;
- È necessario aumentare la sicurezza strutturale mediante i seguenti interventi, in quanto: ■

Data ■

**IL PROGETTISTA STRUTTURALE**

DOCUMENTO INFORMATICO FIRMATO DIGITALMENTE AI SENSI DEL TESTO UNICO D.P.R. 28 DICEMBRE 2000 N. 445, DEL D.LGS. 7 MARZO 2005 N. 82 E NORME COLLEGATE, IL QUALE SOSTITUISCE IL TESTO CARTACEO E LA FIRMA AUTOGRAFA.

**5) VERIFICHE DEL LIVELLO DI SICUREZZA:**

Miglioramento sismico (§ 8.4.2 NTC 2018)	
STATO ATTUALE	STATO DI PROGETTO
$\zeta_E =$ ■	$\zeta_E =$ ■
$\zeta_{v,i} =$ ■	$\zeta_{v,i} =$ ■
Incremento pari a ( $\Delta\zeta_E \geq 0,10$ ) per classi d'uso II e III	
( $\zeta_E \geq 0,6$ ) per classe d'uso III (edifici ad uso scolastico) e IV	
( $\zeta_E \geq 1$ ) per interventi con sistemi di isolamento	

Adeguamento sismico (§ 8.4.3 NTC 2018)	
STATO DI PROGETTO	
$\zeta_E =$ ■	$\zeta_{v,i} =$ ■

**(i) Orizzontamenti.**

Il valore di  $\zeta_v$  è facilmente determinabile: applicando il carico variabile  $Q_k$  previsto dalla Norma per la destinazione d'uso dell'ambiente cui il solaio appartiene, è immediato **accertare se esso è sopportabile, ossia se le verifiche di resistenza e deformabilità sono tutte soddisfatte.**

In caso negativo, si procede ricercando per tentativi il **carico 'sopportabile'  $Q_{ks}$**  (abbassandone il valore fino a trovare la completa soddisfazione delle verifiche) e infine calcolando  $\zeta_v$  come rapporto fra  $Q_{ks}$  e  $Q_k$ :  $\zeta_v = Q_{ks} / Q_k$ , necessariamente  $< 1$ .

Se la valutazione della sicurezza non si effettua nell'ambito di un progetto di intervento, ma consiste nella sola attestazione delle attuali capacità dell'edificio, a  $\zeta_v < 1$  **competerà una richiesta di restrizione d'uso**, con riduzione del carico  $Q_k$  tale da riportare  $\zeta_v$  su valori  $\geq 1$ .

Per strutture di solaio particolarmente carenti potrebbe essere impossibile definire un valore di  $Q_k$  cui

corrisponda  $\zeta_v \geq 1$ : in tali casi si dovrà agire anche sui carichi permanenti, modificando ove possibile il loro valore, oppure (più probabilmente) effettuando un intervento drastico sul solaio fino ad una sua sostituzione con una nuova struttura.

**(ii,iii) Elementi portanti principali orizzontali (travi, capriate, fasce murarie) e verticali (pilastri, pareti, maschi murari, volte).**

Dal risultato statico dell'**analisi sul modello complessivo** si ricavano i valori di  $\zeta_v$  competenti alle diverse parti strutturali.

Nello schema dello stato attuale, la verifica statica dell'edificio fornirà per ognuno degli N elementi costitutivi la capacità in termini di resistenza (e, per gli elementi orizzontali, di deformazione).

Il **confronto fra sollecitazione e resistenza** costituisce, per l'i-esimo elemento strutturale, il **coefficiente di sicurezza**  $\eta_i$  ( $i=1, \dots, N$ ) dell'elemento, che sarà  $\geq 1$  in caso di verifica soddisfatta:

$\eta_i = R / S$  (ad esempio: R = momento resistente; S = sollecitazione flessionale).

Se per tutti gli elementi strutturali le verifiche statiche risultano tutte soddisfatte,  $\zeta_v$  risulta implicitamente  $\geq 1$  e viene confermata la destinazione d'uso prevista.

**Se invece almeno per un elemento  $\eta_i < 1$ , occorre individuare il valore di  $\zeta_v$  allo stato attuale:** anch'esso risulterà inferiore ad 1 e quindi determinerà una **restrizione d'uso** (in caso di sola valutazione della sicurezza dello stato di fatto) oppure la messa a punto di un'adeguata tecnica di intervento per **ricorrersi a  $\zeta_v \geq 1$  allo stato di progetto.**

I valori di  $Q_k$  non sono legati linearmente ai coefficienti di sicurezza  $\eta$ .

Infatti:

(a) l'analisi dell'edificio sotto carichi statici verticali è un'analisi generalmente lineare, e quindi incrementando tutti i carichi variabili  $Q_k$  per i diversi solai con lo stesso coefficiente moltiplicativo (maggiore o minore di 1), le sollecitazioni S variano linearmente,

(b) ma la resistenza strutturale è governata da leggi non lineari; si pensi ad esempio per una parete muraria al legame fra momento resistente e tensione media normale (D.M. 17.1.2018: (7.8.2) in §7.8.2.2.1).

Quindi: S lineare con  $Q_k$ , R non lineare con  $Q_k \Rightarrow \eta$  **non lineare con  $Q_k$ .**

Inoltre, sul punto (a) si può osservare che i carichi  $Q_k$  possono variare fra diversi ambienti nell'ambito della stessa costruzione: pertanto non è sempre appropriato considerare un moltiplicatore comune fra carichi di diversa natura.

**Dai risultati dell'analisi statica lineare iniziale, che ha condotto a verifica non soddisfatta, non si può quindi immediatamente ricavare il valore del carico sopportabile  $Q_{ks}$ . Si procederà quindi per tentativi, modificando i valori di  $Q_k$  e rieseguendo l'analisi e le verifiche di sicurezza, fino ad ottenere coefficienti  $\eta$  tutti  $\geq 1$ :  $Q_{ks}$  è il carico variabile corrispondente a tale configurazione con verifica soddisfatta.**

A questo punto risulterà definito l'indicatore  $\zeta_v$ :

$$\zeta_v = Q_{ks} / Q_k$$

Queste analisi statiche per 'tentativi' potranno essere omesse qualora provando a considerare carico variabile nullo, la verifica di sicurezza risulti ancora non pienamente soddisfatta: ciò indica che i carichi permanenti di per sé sono eccessivi, e ne segue la necessità di modifiche strutturali degli elementi portanti per ottenere l'abilitazione ad una qualunque destinazione d'uso.

### Alcune considerazioni aggiuntive.

**① L'analisi sismica risulta non necessaria se la verifica non è soddisfatta per soli carichi permanenti.**

Poiché l'analisi sismica si basa su una combinazione diversa (senza  $\gamma G$  e  $\gamma Q$ , e riducendo i variabili alla quota parte  $\psi_2 Q$ ) la verifica sismica può essere teoricamente soddisfatta anche in presenza di verifica statica negativa. Ma **la condizione di verifica non soddisfatta per soli permanenti richiede una modifica strutturale e quindi l'analisi sismica sullo stato attuale acquista valore puramente convenzionale.**

Invece, con  $\zeta_v < 1$  in presenza di  $Q_{ks} > 0$ , l'analisi sismica, condotta con la quota parte di carico variabile  $\psi_2 \cdot Q_{ks}$ , è coerente con l'analisi statica, e l'indicatore di rischio sismico  $\zeta_E$  può essere normalmente calcolato per definire in modo completo, staticamente e sismicamente, lo stato attuale della costruzione. Per quanto esposto, quindi, nel calcolo sismico la quota parte di carico variabile eccedente quello sostenibile staticamente non dovrebbe essere considerata.

**② Negli edifici in muratura il carico permanente, ed in particolare il peso proprio delle strutture  $G_1$ , è di gran lunga prevalente sui carichi variabili.** La sensibilità del risultato statico riguardante le pareti murarie nei confronti delle variazioni di  $Q_k$  è minima e potrebbe considerarsi trascurabile.

**Si ritiene che  $\zeta_v$  possa quindi essere determinato sostanzialmente dalla verifica di sicurezza degli orizzontamenti (travi, solai, capriate).**

Ovviamente, per un progetto di miglioramento, l'analisi statica allo stato di progetto dovrà mostrare coefficienti  $\eta_i$  tutti non inferiori ai corrispondenti dello stato attuale, e in caso di adeguamento tutti i coefficienti  $\eta_i$  dovranno essere  $\geq 1$ .

**③ Alcuni elementi strutturali, come le volte in muratura, sono sensibili nei confronti del carico verticale, manifestando instabilità statica se essi vengono ridotti.**

A fronte di una verifica statica non soddisfatta, la ricerca di  $Q_{ks}$  (valore sopportabile, inteso come valore cui corrisponde verifica soddisfatta) potrebbe condurre a valori superiori a  $Q_k$  invece che inferiori.

E' evidente che in questi casi la definizione di  $\zeta_v$  come rapporto fra carico sostenibile  $Q_{ks}$  e carico di riferimento  $Q_k$  perde significato.  $\zeta_v$  verrà definito, se necessario, sulla base degli altri elementi strutturali (ad es. pareti d'imposta della volta), oppure più semplicemente **si studierà uno stato di progetto compatibile con le esigenze d'uso**, tale cioè che le verifiche statiche risultino tutte pienamente soddisfatte.