

## Dalla *Firmitas* alla progettazione della sicurezza strutturale

Devid Falliano, PhD Researcher, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino  
[devid.falliano@polito.it](mailto:devid.falliano@polito.it)

Luciana Restuccia, Assistant Professor, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino  
[luciana.restuccia@polito.it](mailto:luciana.restuccia@polito.it)

### INTRODUZIONE

Nel settore delle costruzioni, alla luce degli eventi occorsi durante gli ultimi anni, uno degli argomenti che desta un crescente interesse – tanto in campo accademico quanto in campo professionale - è certamente quello della sicurezza strutturale, legata in maniera indissolubile al concetto di degrado. Tale tematica introduce un aspetto di non secondaria importanza e cioè la ricerca di strategie efficaci, economicamente convenienti ed opportune da adottare per fronteggiare tale complessa e multidisciplinare questione [1].

Senza pretese di esaustività e con lo scopo di aumentare la sensibilità verso tali tematiche, gli autori si propongono di accompagnare i lettori con articoli a cadenza mensile, che permettano loro di trovare lo spunto per personali ricerche e di foggare una propria idea critica sull'argomento.

L'attenzione nei confronti del patrimonio edilizio ed infrastrutturale italiano si ripropone all'interesse dell'opinione pubblica soltanto a seguito di eventi catastrofici come terremoti o crolli improvvisi [2]. C'è però un'altra preoccupante realtà – silente ma ugualmente allarmante – che è quella della vetustà del patrimonio edilizio ed infrastrutturale italiano. Ci si rende conto della portata della questione se si pensa che la metà degli edifici e delle infrastrutture esistenti ha ormai esaurito (molti di essi anche da parecchio tempo) la “vita nominale” per cui erano stati progettati: edifici condominiali, ponti, autostrade, scuole, etc. sono figli del “miracolo economico italiano” degli anni '50 e '60 e, pertanto, hanno esaurito “il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali” [3].

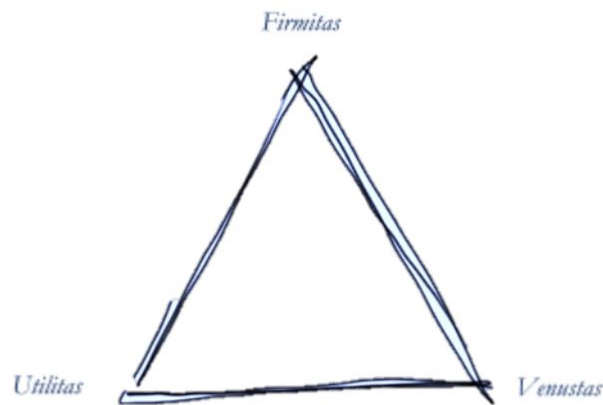
Da ciò si deduce facilmente che, trascorso tale lasso di tempo, a meno di interventi straordinari di manutenzione, è molto più probabile incorrere in sostanziali problemi strutturali e in repentini degni delle prestazioni dei materiali con cui l'opera è stata realizzata.

In questo contesto estremamente variegato e suscettibile di infiniti e multidisciplinari argomenti ed approfondimenti, che non possono certo esulare dalle nuove strategie del *Green Deal* Europeo cui il mondo delle costruzioni dovrà fare riferimento, ci è sembrato opportuno partire con una breve panoramica sui concetti base della sicurezza strutturale, che sarà declinata secondo i concetti del degrado e della durabilità delle opere negli articoli a venire.

### LA CONCEZIONE DELLA **SICUREZZA STRUTTURALE**

Le costruzioni, fin dai tempi più antichi, hanno dovuto soddisfare la necessità di sicurezza in termini di stabilità e protezione. Vitruvio nella seconda metà del I secolo a.C. definisce per la prima volta i canoni delle costruzioni architettoniche: i requisiti da possedere sono la *Firmitas* (solidità strutturale), l'*Utilitas* (utilità) e la *Venustas* (bellezza): non esiste un aspetto prevalente rispetto ad un altro, i tre requisiti devono dialogare tra loro in maniera armonica. La differenza però risiede nel fatto che la *Firmitas* è l'unico parametro

oggettivo, garantito dall'applicazione di regole empiriche tramandate di epoca in epoca dai mastri costruttori. Quindi, l'esperienza come unica base oggettiva su cui affidarsi per garantire i requisiti di solidità e stabilità alle costruzioni. In tali termini, l'arte del costruire era legata indissolubilmente alla concezione del disegno ed alla sperimentazione in scala tramite la realizzazione degli edifici.



*"Haec Autem Ita Fieri Debent, Ut Habeatur Ratio Firmitatis, Utilitatis, Venustatis"* - Marco Vitruvio Pollione, *De Architectura, Libro 1*

Tra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento, con l'avvento della Prima Rivoluzione Industriale, si assiste al passaggio tra arte del costruire e scienza del costruire: i nuovi materiali come il ferro ed il *beton armé* "impongono" uno studio predittivo del loro comportamento; si sente inoltre l'esigenza di abbinare alla sicurezza strutturale dei parametri scientifici, valutabili in maniera analitica.

Attraverso l'evoluzione delle teorie di calcolo e il raffinamento delle tecniche analitiche e di progettazione, si giunge al concetto di sicurezza strutturale così come lo conosciamo oggi: un rapporto "simbiotico" tra capacità della struttura (derivante da geometria e materiale) e richiesta di sicurezza (legata alle azioni).

Prima di entrare nel merito della questione, è bene focalizzare l'attenzione sul termine sicurezza: il termine affonda le proprie radici etimologiche nel latino *securus*, composto da *sine* (senza) e *cura* (preoccupazione). A ragion di ciò, il presupposto fondamentale della sicurezza è la CONOSCENZA: se si conosce il manufatto (tramite il suo studio e la sua analisi), le preoccupazioni al suo riguardo diminuiscono. Il termine sicurezza però, nell'accezione comune, è inteso ed utilizzato impropriamente, molto spesso come sinonimo di certezza: non lo è. Pertanto, nel campo delle costruzioni, sarebbe più opportuno parlare di affidabilità strutturale, definita come la capacità di un sistema strutturale di assolvere alle funzioni per cui è stato progettato, in determinate condizioni d'uso e per un fissato tempo di esercizio [4].

Anche chi non è esperto del settore può facilmente intuire come le grandezze che entrano in gioco quando si parla di sicurezza strutturale non siano definibili in termini certi: bisognerà ragionare in termini probabilistici. Il classico esempio che viene proposto agli studenti dei corsi di Scienza e Tecnica delle Costruzioni è quello relativo ai risultati dei test di compressione effettuati su una serie di cubi prelevati in cantiere in ottemperanza alle disposizioni normative vigenti. Non si troverà un unico valore di resistenza ma tanti diversi valori, quanti saranno i cubi sottoposti a prova. Un discorso analogo potrebbe essere fatto per le azioni. L'introduzione di azioni e resistenze non è casuale; la sicurezza di una struttura è legata alla capacità, in termini probabilistici, che tale opera riesca a espletare con efficacia e con una certa sicurezza le esigenze che hanno portato alla sua realizzazione. O, in altri termini, che la probabilità di collasso della struttura  $P_f$ , ossia la probabilità ( $P_R$ ) che la variabile aleatoria resistenza  $R$  risulti inferiore alla variabile

aleatoria sollecitazione  $S$ , nel lasso di tempo considerato, sia inferiore ad uno specifico valore di soglia  $p_{target}$ , per la definizione del quale si devono prendere in considerazione non solo aspetti squisitamente ingegneristico-strutturali, ma anche aspetti economici, sociali e politici. Questo concetto si esprime mediante la seguente relazione:

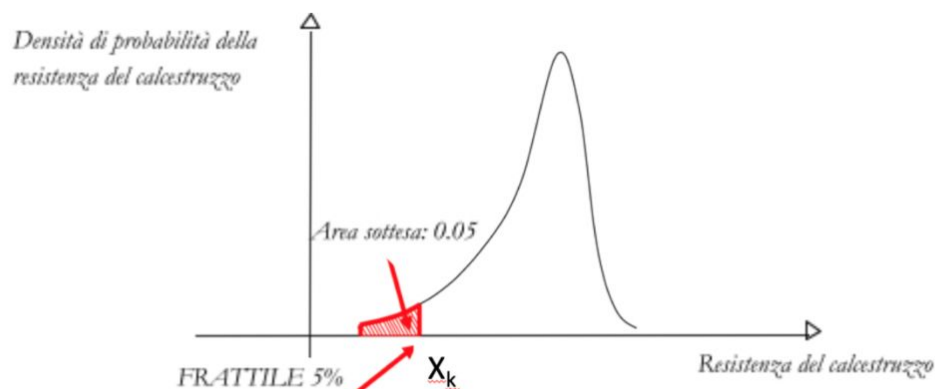
$$P_f = P_r \{R \leq S\} < p_{target}$$

Evidentemente, al diminuire della soglia considerata, si registrerà un contestuale significativo incremento del costo della struttura.

Si è dunque introdotta la probabilità di collasso che traina una più che lecita domanda: come fare per calcolarla? Esistono tre approcci che associano ad un crescente livello di approssimazione una crescente facilità di calcolo.

L'approccio sicuramente più impiegato - adottato dalle normative europee ed italiane - è il cosiddetto "Metodo di Livello 1", una vera e propria via di mezzo tra la complessità del problema e la necessità, sempre avvertita dai professionisti del settore, di avere a che fare con procedure di calcolo il più possibile semplificate ed agevoli che, al contempo, consentano l'ottenimento di risultati "realistici" (pretese eccessive?).

Tale approccio è anche definito metodo semiprobabilistico agli Stati Limite che si riduce ad una tanto agognata verifica tra scalari. In [3] al § 2.3 si afferma che "la sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite ultimi deve essere verificata confrontando la capacità di progetto  $R_d$  (...) funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono ( $X_d$ ) (...) con il corrispondente valore di progetto della domanda  $E_d$ , funzione dei valori di progetto delle azioni ( $F_d$ ) (...)". E, poco più avanti, "il valore di progetto della resistenza di un dato materiale,  $X_d$ , è, a sua volta, funzione del valore caratteristico della resistenza, definito come frattile al 5% della distribuzione statistica della grandezza (ossia quel valore che ha solo il 5% di probabilità di essere minorato), attraverso l'espressione:  $\frac{X_k}{\gamma_M}$ , essendo  $\gamma_M$  il fattore parziale associato alla resistenza del materiale.



Il valore di progetto della resistenza di ciascuna delle azioni agenti sulla struttura  $F_d$  è ottenuto dal suo valore caratteristico  $F_k$ , inteso come frattile al 95% della distribuzione statistica (ossia quel valore che ha solo il 5% di probabilità di essere maggiorato) (...) attraverso l'espressione:  $F_d = \gamma_F \cdot F_k$ , essendo  $\gamma_F$  il

fattore parziale relativo alle azioni". Dunque, nei riguardi degli stati limite ultimi, la verifica della sicurezza è data da:

$$R_d \geq E_d$$

Nei riguardi degli stati limite di esercizio, indicando con  $C_d$  il valore limite di progetto associato a ciascun aspetto di funzionalità esaminato, da:

$$C_d \geq E_d$$

I coefficienti di sicurezza introdotti dalla normativa sono maggiorativi per le azioni e minorativi per le resistenze e permettono di mutare la condizione di sicurezza probabilistica dei metodi di livello superiore nella semplice verifica precedentemente riportata. Dunque, con questo approccio non si valuta esplicitamente la probabilità di collasso della struttura in esame. Evidentemente l'assunto alla base della procedura è che l'impiego di questi coefficienti garantisca implicitamente che venga rispettata la condizione che la probabilità di collasso della struttura risulti inferiore rispetto alla soglia definita per uno specifico stato limite.

Per quanto riguarda gli stati limite, relativamente alle questioni connesse con la durabilità dei materiali si fa riferimento agli stati limite di esercizio (si pensi, ad esempio, allo stato limite di apertura delle fessure). Mentre, come noto, gli stati limite ultimi corrispondono ai valori estremi della capacità portante delle strutture.

Per concludere, è vero che nel metodo semiprobabilistico si confrontano numeri, ma questi ultimi vengono fuori da una descrizione probabilistica delle azioni e delle resistenze.

## CONCLUSIONI

In questo primo articolo informativo gli autori hanno voluto richiamare l'attenzione del lettore su concetti di base della sicurezza strutturale che, sebbene spesso presentati in altra veste, sono strettamente connessi al problema del degrado strutturale.

In particolare, lo vedremo nei prossimi articoli, nei casi in cui si prevede un forte degrado delle strutture (a causa delle condizioni ambientali cui le strutture stesse sono esposte) è corretto effettuare delle analisi strutturali tempo invarianti, solo se si presta straordinaria cura alla scelta dei materiali da impiegare ed alla progettazione dei dettagli costruttivi delle zone più soggette a degrado (giunti di ripresa dei getti, giunti di fessurazione programmata, giunti di dilatazione e via dicendo).

In quest'ottica, è di fondamentale importanza la padronanza che il progettista deve avere nel valutare l'intero periodo di tempo in cui la struttura dovrà mantenere la propria funzionalità e le condizioni a cui la struttura sarà esposta, prendendo coscienza del concetto che il costo complessivo dell'opera non è quello a lavori ultimati, bensì a tempo di vita ultimato. Un risparmio sui materiali e sui dettagli costruttivi o, ancora più a monte, sulla concezione strutturale, potrebbe sì portare a vantaggi economici nel breve periodo ma, contestualmente, a successivi, improrogabili e cospicui investimenti - di sovente ignorati - per la manutenzione e il ripristino dei degradi emersi.

Per concludere, anticipiamo che nei prossimi appuntamenti si focalizzerà di volta in volta l'attenzione su uno degli innumerevoli e multidisciplinari aspetti connessi con la sicurezza e la durabilità delle strutture sia

nuove che esistenti. Argomenti che, al giorno d'oggi, andrebbero trattati non a compartimenti stagni, bensì con una visione olistica che tenga ben presente le strategie promosse dall'European Green Deal.

#### BIBLIOGRAFIA

1. <https://www.ingenio-web.it/26816-adeguamento-sismico-mediante-esoscheletro-strutturale>.
2. Bazzucchi, F., Restuccia, L., Ferro, G.A. "Considerations over the Italian road bridge infrastructure safety after the Polcevera viaduct collapse: past errors and future perspectives", *Frattura ed Integrità strutturale*, Vol. 12, Issue 46 (2018), pp. 400-421, DOI: 10.3221/IGF-ESIS.46.37.
3. DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», (18A00716) (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8).
4. Eurocode 2: Design of concrete structures EN1992-1-1.