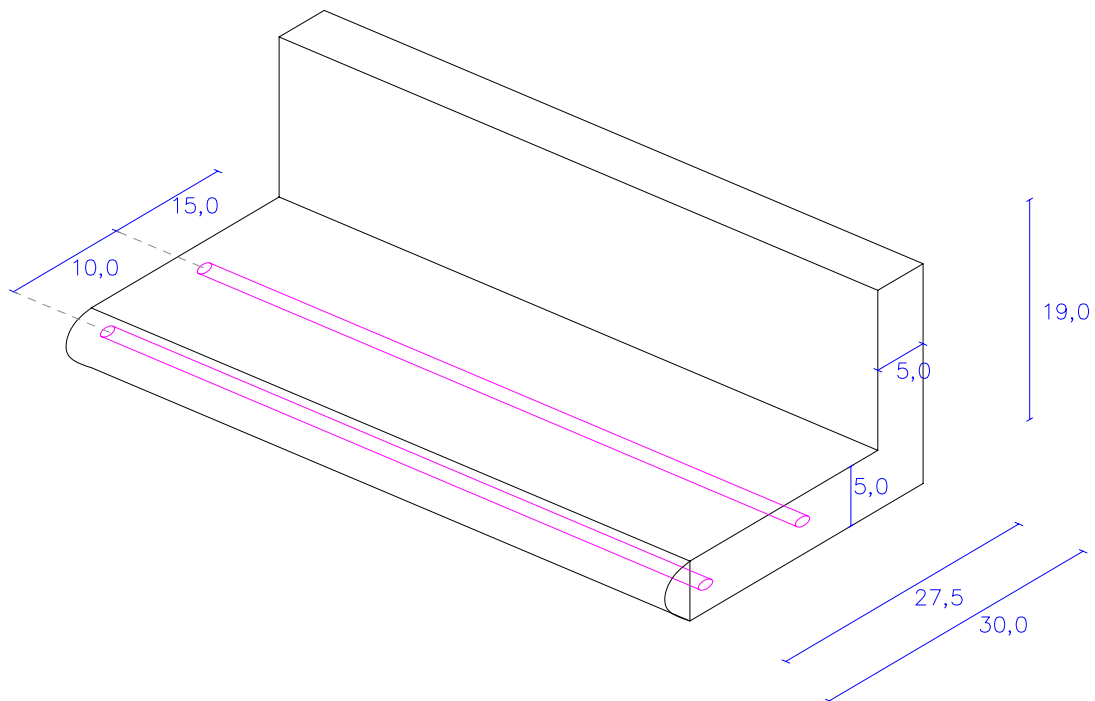


## SCALINATA DELLA TORRE DI VEROLAVECCHIA

### 1. Geometria e schema statico

Dal sopralluogo effettuato in data 22 aprile 2010, è emerso che la scala situata all'interno della torre campanaria di Verolavecchia, è costituita da una serie di elementi prefabbricati in calcestruzzo armato aventi forma ad L.

Dall'indagine visiva su alcuni elementi degradati si è osservata la presenza di 2 barre metalliche, probabilmente  $\phi 8$ , posizionate all'interno del gradino come indicato in fig. 1.



**Fig. 1:** geometria degli elementi prefabbricati che costituiscono la scalinata della torre campanaria.

I gradini risultano incastrati ad un'estremità ed ogni elemento si appoggia al precedente (si veda fig. 2).

Ne deriva che l'elemento resistente da considerarsi nelle verifiche statiche è costituito dal gradino ad L e dalla porzione verticale del gradino precedente.



Fig. 2: vista dei gradini, in cui si nota che ogni elemento ad L appoggia sul precedente.

Lo schema statico utilizzato è quello di una mensola con incastro perfetto, soggetta a peso proprio e caricata con carico accidentale pari a 1,2 kN concentrato ad un'estremità.



Fig. 3: schema statico impiegato nelle verifiche.

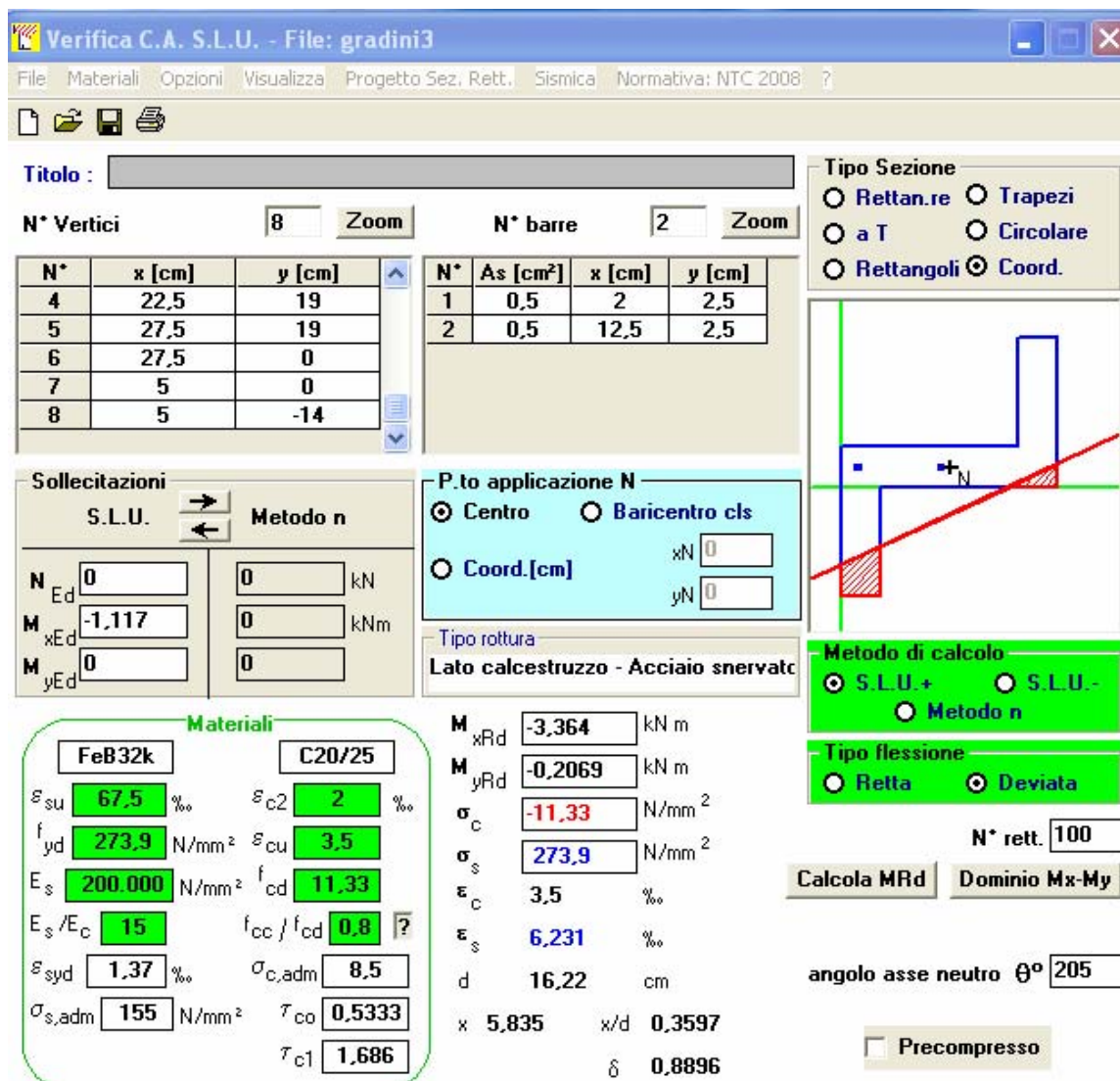
## 2. Analisi e verifiche

Il momento massimo agente sulla struttura, localizzato in corrispondenza dell'incastro, è pari a:

$$M_{\max} = 1,172 \text{ kNm}$$

(Si ricorda che, per le verifiche allo stato limite ultimo, si è considerato un coefficiente moltiplicativo dei carichi variabili pari a 1,5).

La verifica sulla sezione reagente, riportata in figura 4, mostra che, tenendo conto dell'elemento ad L e del contributo della porzione verticale del gradino precedente, la verifica agli stati limite ultimi risulta soddisfatta.



**Verifica C.A. S.L.U. - File: gradini3**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 4  | 22,5   | 19     |
| 5  | 27,5   | 19     |
| 6  | 27,5   | 0      |
| 7  | 5      | 0      |
| 8  | 5      | -14    |

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1  | 0,5      | 2      | 2,5    |
| 2  | 0,5      | 12,5   | 2,5    |

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviate

**Materiali**

| FeB32k                     | C20/25                |
|----------------------------|-----------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67,5 ‰     | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰   |
| $f_{yd}$ 273,9 N/mm²       | $\epsilon_{cu}$ 3,5   |
| $E_s$ 200.000 N/mm²        | $f_{cd}$ 11,33        |
| $E_s/E_c$ 15               | $f_{cc}/f_{cd}$ 0,8 ? |
| $\epsilon_{syd}$ 1,37 ‰    | $\sigma_{c,adm}$ 8,5  |
| $\sigma_{s,adm}$ 155 N/mm² | $\tau_{co}$ 0,5333    |
|                            | $\tau_{c1}$ 1,686     |

**Lato calcestruzzo - Acciaio snervato**

**Tipo rottura**

$M_{xRd}$  -3,364 kN m  
 $M_{yRd}$  -0,2069 kN m  
 $\sigma_c$  -11,33 N/mm²  
 $\sigma_s$  273,9 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  6,231 ‰  
 d 16,22 cm  
 x 5,835 x/d 0,3597  
 $\delta$  0,8896

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviate

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro  $\theta^\circ$

Precompresso

Fig. 4: risultati della verifica agli stati limite ultimi eseguita sulla sezione resistente di un gradino.

### 3. Conclusioni

Le verifiche hanno mostrato che il sistema resistente, costituito da un gradino a L e dalla porzione verticale del gradino che lo precede, risulta idoneo a sopportare carichi variabili concentrati pari a 1,2 kN (120 kg).

Si precisa tuttavia che le verifiche sono state eseguite ipotizzando:

- 1- materiali con caratteristiche assimilabili a FeB32k, per l'acciaio, e a C20/25, per il calcestruzzo;
- 2- un incastro perfetto.

Per quanto riguarda la prima ipotesi, al fine di valutare le reali caratteristiche del materiale, sarebbe opportuno eseguire delle prove sulle barre di acciaio e sul calcestruzzo.

Per quanto riguarda invece la seconda ipotesi, questa si potrebbe ritenere soddisfatta se il momento ribaltante all'incastro, generato dal peso proprio del gradino e dai carichi accidentali Q, risultasse inferiore al momento stabilizzante, generato dal peso della muratura.

Dall'equazione di equilibrio:

$$M_{st} \geq M_{rib} \Rightarrow P \cdot \frac{x}{2} = 1850 \left[ \text{kg} / \text{m}^3 \right] \cdot x \text{ [m]} \cdot h \text{ [m]} \cdot 0,3 \text{ [m]} \cdot \frac{x}{2} \text{ [m]} \geq 81,2 \text{ [kgm]}$$

risulta che x, ossia la lunghezza del gradino all'interno della muratura, varia in funzione di h, ossia dell'altezza della muratura al di sopra del gradino.

Risolvendo l'equazione si ottiene che x varia da 9 cm per il primo gradino (in corrispondenza del basamento) a 55 cm per l'ultimo gradino (in corrispondenza della cella campanaria).

Da quanto detto emerge che il gradino superiore dovrebbe essere incastrato all'interno della muratura di 55 cm. Tuttavia si precisa che questa quantità potrebbe ridursi a circa 30 cm se il gradino si trovasse al di sotto del pilastro della cella campanaria (da verificare in situ)

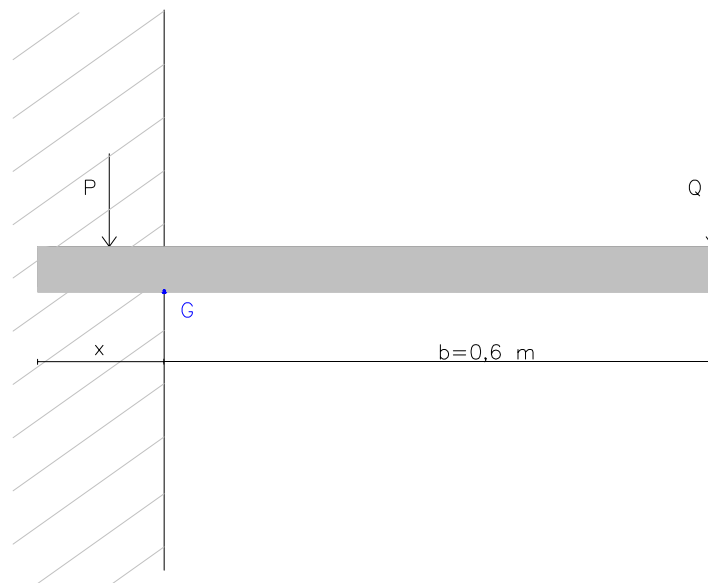


Fig. 5: schema di incastro della mensola.

In ogni caso, si ritiene opportuno eseguire prove non invasive (solo sui gradini collocati nella parte alta della torre), al fine di valutare con precisione il grado di incastro degli elementi prefabbricati.

Concludendo, quindi, dopo aver eseguito le tre prove (prova a trazione sulle barre metalliche, prova a compressione sul calcestruzzo, indagine non invasiva per la valutazione dell'incastro), si potrebbero presentare le seguenti condizioni:

- 1- Le ipotesi sui materiali e sull'incastro risultano verificate → l'intervento consiste nel rinforzo puntuale dei gradini degradati e lesionati
- 2- Le ipotesi sui materiali e sull'incastro non risultano verificate → l'intervento consiste nel rinforzo globale della scalinata. In particolare, se il punto critico si limitasse al grado d'incastro, allora l'intervento potrebbe riguardare esclusivamente le rampe superiori (per esempio con l'inserimento di profilati metallici a sostegno dei gradini).