



# REGIONE CAMPANIA

Direzione Generale per le Risorse Strumentali  
U.O.D. Ufficio Tecnico Manutenzione Beni Demaniali  
e Patrimoniali - Ufficio dell'Energy Manager



## PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA BIBLIOTECA PER L'ISTITUTO ITALIANO PER GLI STUDI FILOSOFICI

|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                  |  |  |  |       |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|-------|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|
| Il gruppo di Progettazione                                                                                                                                                                                                                                                                  | II R.U.P<br><b>ing. Luigi Gaglione</b>                                           |  |  |  |       |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |
| arch. Francesco D'Agostino<br>arch. Francesco Gregoraci<br>arch. Gennaro D'Angelo<br>dott. Giuseppe d'Errico<br>ing. Rocco Orlando<br>dott.ssa Annunziata D'Alconso<br>ing. Felice Guarino<br>dott. Danilo Finardi<br>sig. Sergio Sbraglia<br>PROGETTO IMPIANTI :<br>Ing. D'Auria Francesco | ELABORATO STRUTTURALE                                                            |  |  |  |       |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Relazione Tecnica strutturale<br>relazione di calcolo e sintesi dei<br>risultati |  |  |  |       |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                             | DATA                                                                             |  |  |  | SCALA |  |  |  | S 01 |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                             | APRILE 2020                                                                      |  |  |  |       |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                             | NUMERO REVISIONE                                                                 |  |  |  |       |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                  |  |  |  |       |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |

## 0 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'opera oggetto della presente verifica è costituita da due corpi di fabbrica dei quali il primo è una struttura in c.a. giuntata dal secondo che, a sua volta, è il secondo livello di un edificio storico di sei livelli in muratura. In questa prima fase si descrive l'intervento sul primo corpo che è di ricostruzione ma con struttura in acciaio. In una seconda fase si descrive l'intervento sulla parte in muratura.

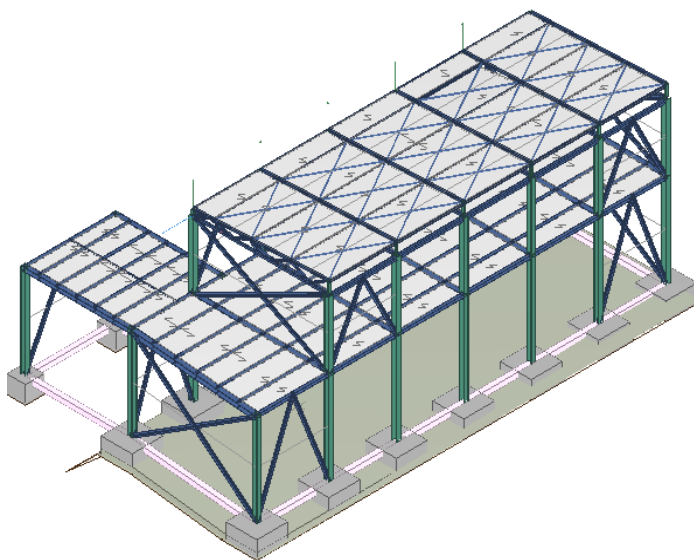
### 1- PARTE IN ACCIAIO

Il primo si sviluppa per due piani di cui uno seminterrato con destinazione d'uso biblioteca. Ha una sagoma a L al piano seminterrato e rettangolare al piano superiore. Le dimensioni principali sono di m. 25,80\*9,60 e altezza alla gronda di m.9,67. La struttura è costituita da 6 telai in acciaio posti ad interasse di m.4,37 e l'ultimo obliquo. Il solaio di calpestio è in acciaio con lamiera grecata e soletta di irrigidimento e la copertura è con capriate, arcarecci e lamiera gregata. La fondazione è costituita da plinti e travi di collegamento nonché da una piastra irrigidente di spessore cm.30 la quale ha anche la funzione di sostenere gli elementi cupolex di altezza cm.70 e relativa soletta in c.a. da cm.7 armata con maglia fi 8 15\*15 la cui portanza è di 3000 N/mq. come carico permanente e 16000 N/mq come carico accidentale. Questi carichi giustificano la specifica destinazione in quanto il locale ospiterà elementi compattabili contenenti libri. La relativa analisi dei carichi è riportata in appresso.

Vengono riportate di seguito due viste assonometriche contrapposte, allo scopo di consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione:

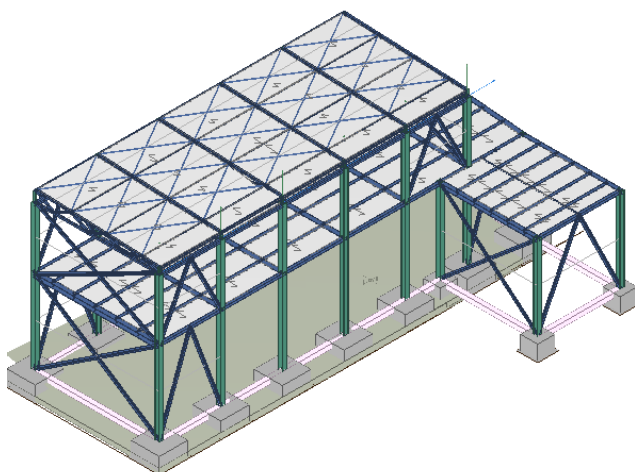
#### Vista Anteriore

*La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale  $O, X, Y, Z$ , ha versore  $(1;1;-1)$*



#### Vista Posteriore

*La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale  $O, X, Y, Z$ , ha versore  $(-1;-1;-1)$*



## 2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

**Legge 5 novembre 1971 n. 1086** (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

*"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".*

**Legge 2 febbraio 1974 n. 64** (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

*"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".*

Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

**D. M. Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008** (G.U. 4 febbraio 2008 n. 29 - Suppl. Ord.)

*"Norme tecniche per le Costruzioni".*

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

**Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** (G.U. 26 febbraio 2009 n. 27 – Suppl. Ord.)

*"Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008".*

**Eurocodice 3** - *"Progettazione delle strutture in acciaio"* - ENV 1993-1-1.

### 3 - MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

#### MATERIALI CALCESTRUZZO ARMATO

| Caratteristiche calcestruzzo armato |                     |                   |                      |                      |                   |     |                      |                      |                  |                |                      |                      |                      |    |      |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-----|----------------------|----------------------|------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----|------|
| N <sub>id</sub>                     | γ <sub>k</sub>      | α <sub>T, i</sub> | E                    | G                    | C <sub>Erid</sub> | Stz | R <sub>ck</sub>      | R <sub>cm</sub>      | %R <sub>ck</sub> | γ <sub>c</sub> | f <sub>cd</sub>      | f <sub>ctd</sub>     | f <sub>cfm</sub>     | N  | n Ac |
|                                     | [N/m <sup>3</sup> ] | [1/°C]            | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [%]               |     | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] |                  |                | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] |    |      |
| Cls C25/30_B450C - (C25/30)         |                     |                   |                      |                      |                   |     |                      |                      |                  |                |                      |                      |                      |    |      |
| 004                                 | 25 000              | 0.000010          | 31 447               | 13 103               | 60                | P   | 30.00                | -                    | 0.85             | 1.50           | 14.11                | 1.19                 | 3.07                 | 15 | 005  |

#### LEGENDA:

|                                  |                                                                                                                                |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>N<sub>id</sub></b>            | Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.                                                     |
| <b><math>\gamma_k</math></b>     | Peso specifico.                                                                                                                |
| <b><math>\alpha_{T,i}</math></b> | Coefficiente di dilatazione termica.                                                                                           |
| <b>E</b>                         | Modulo elastico normale.                                                                                                       |
| <b>G</b>                         | Modulo elastico tangenziale.                                                                                                   |
| <b>C<sub>Erid</sub></b>          | Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [ $E_{sisma} = E \cdot C_{Erid}$ ].                  |
| <b>Stz</b>                       | Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).                                                     |
| <b>R<sub>ck</sub></b>            | Resistenza caratteristica cubica.                                                                                              |
| <b>R<sub>cm</sub></b>            | Resistenza media cubica.                                                                                                       |
| <b>%R<sub>ck</sub></b>           | Percentuale di riduzione della R <sub>ck</sub>                                                                                 |
| <b><math>\gamma_c</math></b>     | Coefficiente parziale di sicurezza del materiale.                                                                              |
| <b>f<sub>cd</sub></b>            | Resistenza di calcolo a compressione.                                                                                          |
| <b>f<sub>ctd</sub></b>           | Resistenza di calcolo a trazione.                                                                                              |
| <b>f<sub>cfm</sub></b>           | Resistenza media a trazione per flessione.                                                                                     |
| <b>n Ac</b>                      | Identificativo, nella relativa tabella materiali, dell'acciaio utilizzato: [-] = parametro NON significativo per il materiale. |

#### MATERIALI ACCIAIO

|                                     |                     |                   |                      |                      |     |                                          |                                          |                                          |                      |                |                 |                 |                         | Caratteristiche acciaio |                 |     |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----|
| N <sub>id</sub>                     | γ <sub>k</sub>      | α <sub>T, i</sub> | E                    | G                    | Stz | f <sub>yk,1</sub> /<br>f <sub>yk,2</sub> | f <sub>tk,1</sub> /<br>f <sub>tk,2</sub> | f <sub>yd,1</sub> /<br>f <sub>yd,2</sub> | f <sub>td</sub>      | γ <sub>s</sub> | γ <sub>M1</sub> | γ <sub>M2</sub> | γ <sub>M3,SL</sub><br>V | γ <sub>M3,SL</sub><br>E | γ <sub>M7</sub> |     |
|                                     |                     |                   |                      |                      |     |                                          |                                          |                                          |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
|                                     | [N/m <sup>3</sup> ] | [1/°C]            | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] |     | [N/mm <sup>2</sup> ]                     | [N/mm <sup>2</sup> ]                     | [N/mm <sup>2</sup> ]                     | [N/mm <sup>2</sup> ] |                |                 |                 |                         |                         | NCnt            | Cnt |
| S450 - (S450)                       |                     |                   |                      |                      |     |                                          |                                          |                                          |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| 001                                 | 78 500              | 0,000012          | 210 000              | 80 769               | P   | 440,00                                   | 550                                      | 419,05                                   | -                    | 1,05           | 1,05            | 1,25            | -                       | -                       | -               | -   |
|                                     |                     |                   |                      |                      |     | 420,00                                   | 550                                      | 400,00                                   |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| S235 - (S235)                       |                     |                   |                      |                      |     |                                          |                                          |                                          |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| 002                                 | 78 500              | 0,000012          | 210 000              | 80 769               | P   | 235,00                                   | 360                                      | 223,81                                   | -                    | 1,05           | 1,05            | 1,25            | -                       | -                       | -               | -   |
|                                     |                     |                   |                      |                      |     | 215,00                                   | 360                                      | 204,76                                   |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| S275 - (S275)                       |                     |                   |                      |                      |     |                                          |                                          |                                          |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| 003                                 | 78 500              | 0,000012          | 210 000              | 80 769               | P   | 275,00                                   | 430                                      | 261,90                                   | -                    | 1,05           | 1,05            | 1,25            | -                       | -                       | -               | -   |
|                                     |                     |                   |                      |                      |     | 255,00                                   | 410                                      | 242,86                                   |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| Acciaio B450C - (B450C)             |                     |                   |                      |                      |     |                                          |                                          |                                          |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| 005                                 | 78 500              | 0,000010          | 210 000              | 80 769               | P   | 450,00                                   | -                                        | 391,30                                   | -                    | 1,15           | -               | -               | -                       | -                       | -               | -   |
|                                     |                     |                   |                      |                      |     | -                                        |                                          | -                                        |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| 8.8 - Acciaio per Bulloni - (8.8)   |                     |                   |                      |                      |     |                                          |                                          |                                          |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| 006                                 | 78 500              | 0,000012          | 210 000              | 80 769               | -   | 649,00                                   | 800,00                                   | 519,20                                   | 533,33               | 1,25           | -               | -               | 1,25                    | 1,10                    | 1,10            | -   |
|                                     |                     |                   |                      |                      |     | -                                        |                                          | -                                        |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| 10.9 - Acciaio per Bulloni - (10.9) |                     |                   |                      |                      |     |                                          |                                          |                                          |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| 007                                 | 78 500              | 0,000012          | 210 000              | 80 769               | -   | 900,00                                   | 1000,00                                  | 720,00                                   | 666,67               | 1,25           | -               | -               | 1,25                    | 1,10                    | 1,10            | -   |
|                                     |                     |                   |                      |                      |     | -                                        |                                          | -                                        |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |
| S355 - (S355)                       |                     |                   |                      |                      |     |                                          |                                          |                                          |                      |                |                 |                 |                         |                         |                 |     |

|     |        |          |            |        |   |        |     |        |   |      |      |      |   |   |   |   |
|-----|--------|----------|------------|--------|---|--------|-----|--------|---|------|------|------|---|---|---|---|
| 008 | 78 500 | 0,000012 | 210<br>000 | 80 769 | - | 355,00 | 510 | 338,10 | - | 1,05 | 1,05 | 1,25 | - | - | - | - |
|     |        |          |            |        |   | 335,00 | 470 | 265,87 |   |      |      |      |   |   |   |   |

#### LEGENDA:

**N<sub>id</sub>** Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.

**$\gamma_k$**  Peso specifico.

**$\alpha_{T,i}$**  Coefficiente di dilatazione termica.

**E** Modulo elastico normale.

**G** Modulo elastico tangenziale.

**Stz** Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).

**f<sub>tk,1</sub>** Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con t ≤ 40 mm).

**f<sub>tk,2</sub>** Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).

**f<sub>td</sub>** Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).

**$\gamma_s$**  Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.

**$\gamma_{M1}$**  Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.

**$\gamma_{M2}$**  Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.

**$\gamma_{M3,SL}$**  Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).

**V** Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).

**E** Coefficiente parziale di sicurezza precarico di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.

**f<sub>yk,1</sub>** Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con t ≤ 40 mm).

**f<sub>yk,2</sub>** Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).

**f<sub>yd,1</sub>** Resistenza di calcolo (per profili con t ≤ 40 mm).

**f<sub>yd,2</sub>** Resistenza di calcolo (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).

**NOTE** [-] = Parametro non significativo per il materiale.

#### TENSIONI AMMISSIBILI ALLO SLE DEI VARI MATERIALI

| Tensioni ammissibili allo SLE dei vari materiali |                      |                           |                      |
|--------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| Materiale                                        | SL                   | Tensione di verifica      | $\sigma_{d,amm}$     |
|                                                  |                      |                           | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Cls C25/30_B450C                                 | Caratteristica(RARA) | Compressione Calcestruzzo | 14,94                |
|                                                  | Quasi permanente     | Compressione Calcestruzzo | 11,21                |
| Acciaio B450C                                    | Caratteristica(RARA) | Trazione Acciaio          | 360,00               |

#### LEGENDA:

**SL** Stato limite di esercizio per cui si esegue la verifica.

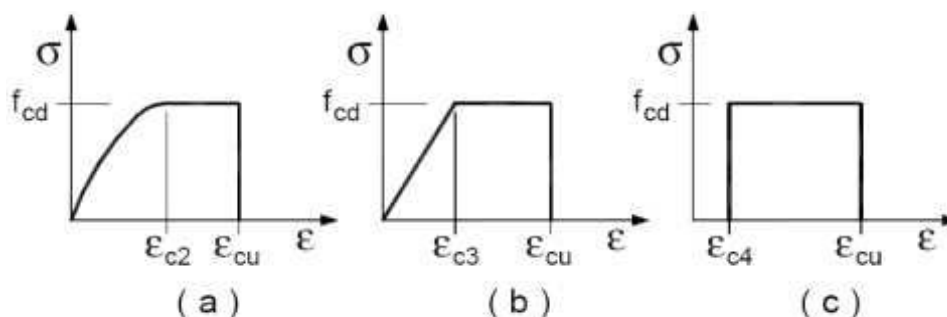
**$\sigma_{d,amm}$**  Tensione ammissibile per la verifica.

I valori dei parametri caratteristici dei suddetti materiali sono riportati anche nei "*Tabulati di calcolo*", nella relativa sezione.

Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

I diagrammi costitutivi degli elementi in calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al par. 4.1.2.1.2.2 del D.M. 14/01/2008; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta e pressoflessione deviata è adottato il modello riportato

in fig. (a).



Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo.

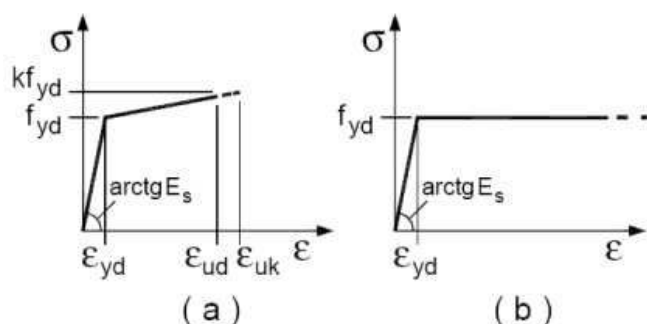
I valori di deformazione assunti sono:

$$\varepsilon_{c2} = 0,0020;$$

$$\varepsilon_{cu2} = 0,0035.$$

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al par. 4.1.2.1.2.3 del D.M. 14/01/2008; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in fig. (b).

La resistenza di calcolo è data da  $f_{yk}/\gamma_f$ . Il coefficiente di sicurezza  $\gamma_f$  si assume pari a 1,15.



## 4 - TERRENO DI FONDAZIONE

Le indagini effettuate, mirate alla valutazione della velocità delle onde di taglio ( $V_{S30}$ ) e/o del numero di colpi dello Standard Penetration Test ( $N_{SP\tau}$ ), permettono di classificare il profilo stratigrafico, ai fini della determinazione dell'azione sismica, di categoria **B [B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti]**.

Tutti i parametri che caratterizzano i terreni di fondazione sono riportati nei "*Tabulati di calcolo*", nella relativa sezione. Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni geologica e geotecnica.

## 5 - ANALISI DEI CARICHI

Un'accurata valutazione dei carichi è un requisito imprescindibile di una corretta progettazione, in particolare per le costruzioni realizzate in zona sismica.

Essa, infatti, è fondamentale ai fini della determinazione delle forze sismiche, in quanto incide sulla valutazione delle masse e dei periodi propri della struttura dai quali dipendono i valori delle accelerazioni (ordinate degli spettri di progetto).

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del **D.M. 14/01/2008**.

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

Le analisi effettuate, corredate da dettagliate descrizioni, oltre che nei "Tabulati di calcolo" nella relativa sezione, sono di seguito riportate:

### ANALISI CARICHI

| N <sub>id</sub> | T. C. | Descrizione del Carico                  | Tipologie di Carico | Peso Proprio                                                                                                                                                          |       | Permanente NON Strutturale                                          |       | Sovraccarico Accidentale                                                                         |        | Carico Neve         |
|-----------------|-------|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------|
|                 |       |                                         |                     | Descrizione                                                                                                                                                           | PP    | Descrizione                                                         | PNS   | Descrizione                                                                                      | SA     |                     |
|                 |       |                                         |                     |                                                                                                                                                                       |       |                                                                     |       |                                                                                                  |        | [N/m <sup>2</sup> ] |
| 001             | S     | Doppia fodera 34cm (12+12)              | Carico Permanente   | Fodera esterna (12 cm) e fodera interna (12 cm)                                                                                                                       | 1 920 | Intonaco interno, intonaco esterno, isolante poliuretano espanso    | 740   |                                                                                                  | 0      | 0                   |
| 002             | S     | Platea                                  | Abitazioni          | <i>*vedi le relative tabelle dei carichi</i>                                                                                                                          | -     | Sottotondo e pavimento di tipo industriale in calcestruzzo          | 2 000 | compattabili con libri                                                                           | 16 000 | 0                   |
| 003             | S     | biblioteca H= 10.5 cm.                  | Archivi             | Solaio misto in acciaio-calcestruzzo costituito da lamiera grecata tipo A55/P600 HI-BOND di spessore 1.2 mm e soletta in c.a. collaborante di spessore 5 cm (5,5+5)   | 2 200 | Pavimento e sottotondo, incidenza dei tramezzi e controsoffittatura | 1 000 | biblioteca (Cat. E1 – Tab. 3.1.II - DM 14.01.2008)                                               | 6 000  | 0                   |
| 004             | S     | Lam.Grec.-Cls col. Copertura acc. H10.5 | Coperture           | Solaio misto in acciaio-calcestruzzo costituito da lamiera grecata tipo A55/P600 HI-BOND di spessore 1.2 mm e soletta in c.a. collaborante di spessore 5 cm (5,5+5)   | 2 200 | Manto di copertura e sottotondo, coibentazione e controsoffittatura | 1 200 | Coperture praticabili di locali di abitazione (Cat. H2 – Tab. 3.1.II - DM 14.01.2008)            | 2 000  | 1 000               |
| 005             | S     | Lam.Grec.-Cls col. Copert. non acc. H11 | Coperture           | Solaio misto in acciaio-calcestruzzo costituito da lamiera grecata tipo A55/P600 HI-BOND di spessore 7/10 e soletta in c.a. collaborante di spessore 5,5 cm (5,5+5,5) | 2 150 | Manto di copertura e sottotondo, coibentazione e controsoffittatura | 1 200 | Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione (Cat. H1 – Tab. 3.1.II - DM 14.01.2008) | 500    | 1 000               |

#### LEGENDA:

**N<sub>id</sub>** Numero identificativo dell'analisi di carico.  
**T. C.** Identificativo del tipo di carico: [S] = Superficiale - [L] = Lineare - [C] = Concentrato.  
**PP, PNS, SA** Valori, rispettivamente, del Peso Proprio, del Sovraccarico Permanente NON strutturale, del Sovraccarico Accidentale. Secondo il tipo di carico indicato nella colonna "T.C." ("S" - "L" - "C"), i valori riportati nelle colonne "PP", "PNS" e "SA", sono espressi in [N/m<sup>2</sup>] per carichi Superficiali, [N/m] per carichi Lineari, [N] per carichi Concentrati.

## 6 - VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al capitolo 3.2 del D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".

In particolare il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica.
- Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base  $a_g$ ,  $F_0$  e

$T_c^*$  per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio.

- Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.
- Calcolo del periodo  $T_c$  corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli Spettri di Progetto nelle verifiche agli Stati Limite considerate.

Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito rispetto al Datum **ED50**:

| Latitudine | Longitudine | Altitudine |
|------------|-------------|------------|
| [°]        | [°]         | [m]        |
| 40.8539    | 14.2506     | 17         |

## 6.1 Verifiche di regolarità

Sia per la scelta del metodo di calcolo, sia per la valutazione del fattore di struttura adottato, deve essere effettuato il controllo della regolarità della struttura.

La tabella seguente riepiloga, per la struttura in esame, le condizioni di regolarità in pianta ed in altezza soddisfatte.

| REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN PIANTA                                                                                                                              |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| La configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze | NO |
| Il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4                                                                   | NO |
| Nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25 % della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione                       | NO |
| Gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti                  | NO |

| REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN ALTEZZA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza della costruzione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | NO |
| Massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base | NO |
| Nelle strutture intelaiate progettate in CD"B" il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per orizzontamenti diversi (il rapporto fra la resistenza effettiva e quella richiesta, calcolata ad un generico orizzontamento, non deve differire più del 20% dall'analogo rapporto determinato per un altro orizzontamento); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti                                                                                                                          | NO |
| Eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento, né il 20% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento                                                                                                | NO |

La rigidezza è calcolata come rapporto fra il taglio complessivamente agente al piano e  $\delta$ , spostamento relativo di piano (il taglio di piano è la sommatoria delle azioni orizzontali agenti al di sopra del piano considerato).

Tutti i valori calcolati ed utilizzati per le verifiche sono riportati nei "*Tabulati di calcolo*" nella relativa sezione.

La struttura è pertanto:

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| in pianta           | in altezza          |
| <b>NON REGOLARE</b> | <b>NON REGOLARE</b> |

## 6.2 Classe di duttilità

La classe di duttilità è rappresentativa della capacità dell'edificio di dissipare energia in campo anelastico per azioni cicliche ripetute.

Le deformazioni anelastiche devono essere distribuite nel maggior numero di elementi duttili, in particolare le travi, salvaguardando in tal modo i pilastri e soprattutto i nodi travi pilastro che sono gli elementi più fragili.

Il D.M. 14/01/2008 definisce due tipi di comportamento strutturale:

- $\alpha$ )comportamento strutturale non-dissipativo;
- $\beta$ )comportamento strutturale dissipativo.

Per strutture con comportamento strutturale dissipativo si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttilità (CD).

- CD“A” (Alta);
- CD“B” (Bassa).

La differenza tra le due classi risiede nell'entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione; per ambedue le classi, onde assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili imprevisti, si fa ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

La struttura in esame è stata progettata in classe di duttilità **classe "BASSA"**.

## 6.3 Spettri di Progetto per S.L.U. e S.L.D.

L'edificio è stato progettato per una **Vita Nominale** pari a **50** e per **Classe d'Uso** pari a **3**.

In base alle indagini geognostiche effettuate si è classificato il **suolo** di fondazione di **categoria B**, cui corrispondono i seguenti valori per i parametri necessari alla costruzione degli spettri di risposta orizzontale e verticale:

| Stato Limite | Parametri di pericolosità sismica |       |         |       |       |       |       |       |
|--------------|-----------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | $a_g$                             | $F_0$ | $T_c^*$ | $C_c$ | $T_B$ | $T_C$ | $T_D$ | $S_s$ |
|              | [g]                               |       | [s]     |       | [s]   | [s]   | [s]   | [s]   |
| SLO          | 0.0558                            | 2.337 | 0.304   | 1.40  | 0.141 | 0.424 | 1.823 | 1.20  |
| SLD          | 0.0737                            | 2.325 | 0.321   | 1.38  | 0.148 | 0.443 | 1.895 | 1.20  |
| SLV          | 0.1916                            | 2.410 | 0.339   | 1.37  | 0.154 | 0.463 | 2.367 | 1.20  |
| SLC          | 0.2397                            | 2.495 | 0.341   | 1.36  | 0.155 | 0.465 | 2.559 | 1.16  |

Per la definizione degli spettri di risposta, oltre all'accelerazione ( $a_g$ ) al suolo (dipendente dalla classificazione sismica del Comune) occorre determinare il Fattore di Struttura ( $q$ ).

Il Fattore di struttura  $q$  è un fattore riduttivo delle forze elastiche introdotto per tenere conto delle capacità dissipative della struttura che dipende dal sistema costruttivo adottato, dalla Classe di Duttilità e dalla regolarità in altezza.

Si è inoltre assunto il **Coefficiente di Amplificazione Topografica** ( $S_T$ ) pari a **1,00**.

Tali succitate caratteristiche sono riportate negli allegati "Tabulati di calcolo" al punto

## "DATI GENERALI ANALISI SISMICA".

Per la struttura in esame sono stati determinati i seguenti valori:

Stato Limite di salvaguardia della Vita

Fattore di Struttura ( $q_x$ ) per sisma orizzontale in **1,000**;

direzione X:

Fattore di Struttura ( $q_y$ ) per sisma orizzontale in **1,000**;

direzione Y:

Fattore di Struttura ( $q_z$ ) per sisma verticale: **1,50**.

Di seguito si esplicita il calcolo del fattore di struttura utilizzato per il sisma orizzontale:

|                                              | Dir. X                      | Dir. Y                                 |
|----------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| Tipologia<br>(Tab. 7.4.I D.M.<br>14/01/2008) | Controventi concentrici a V | Controventi concentrici diagonale tesa |
| Tipologia strutturale                        | -                           | -                                      |
| $\alpha_u/\alpha_1$                          | 1                           | 1                                      |
| $q_0$                                        | 2,000                       | 4,000                                  |
| $k_w$                                        | 1,00                        | 1,00                                   |

Il fattore di struttura è calcolato secondo la relazione (7.3.1) del par. 7.3.1 del D.M. 14/01/2008:

$$q = q_0 \cdot K_R;$$

dove:

$q_0$  è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$  tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

$K_R$  è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

**N.B:** Per le costruzioni **regolari in pianta**, qualora non si proceda ad un'analisi non lineare finalizzata alla valutazione del rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$ , per esso possono essere adottati i valori indicati nei par. 7.4.3.2 del D.M. 14/01/2008 per le diverse tipologie costruttive. Per le costruzioni **non regolari in pianta**, si possono adottare valori di  $\alpha_u/\alpha_1$  pari alla media tra 1,0 ed i valori di volta in volta forniti per le diverse tipologie costruttive.

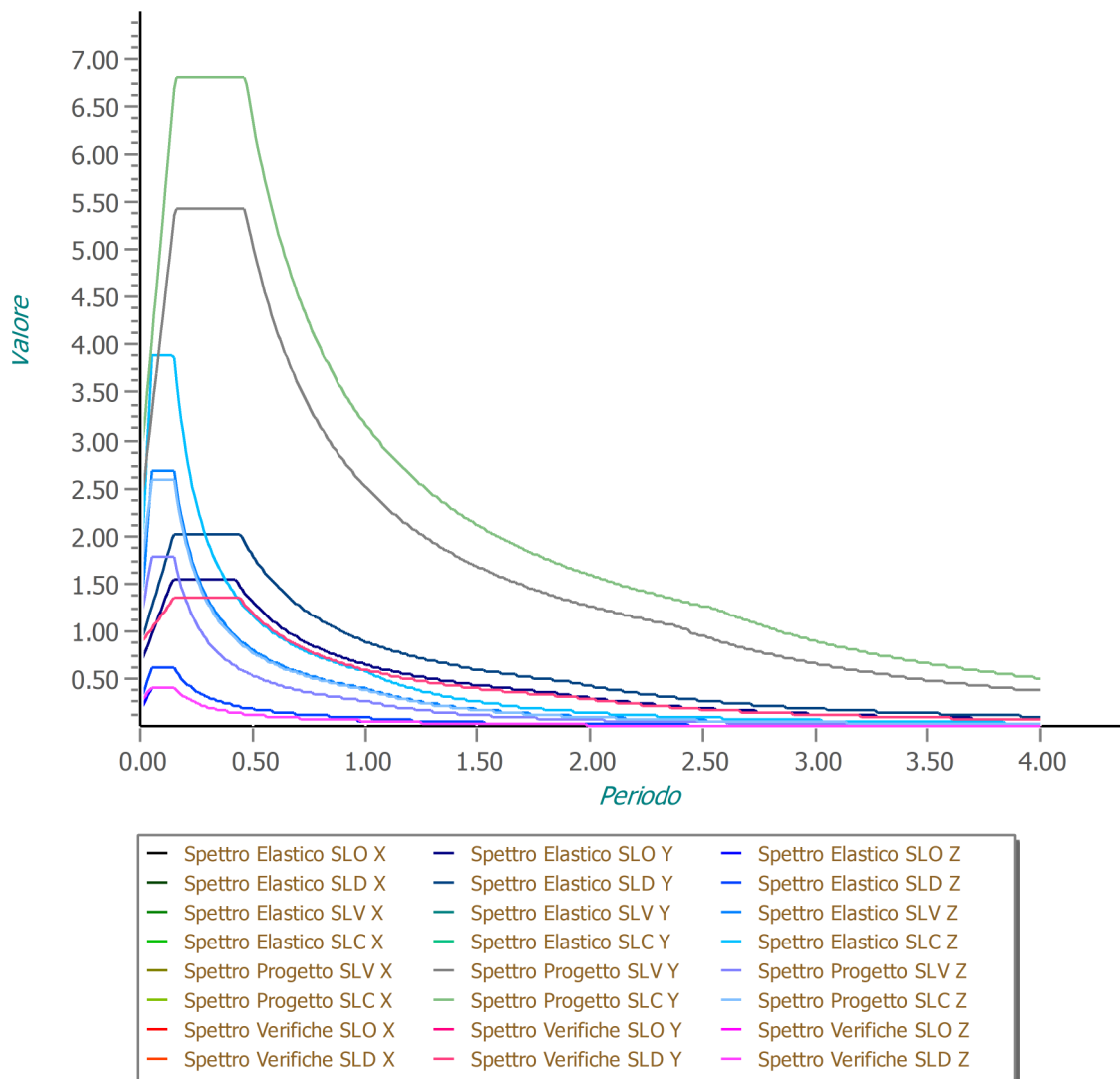
**Tabella 7.5.II - Limiti superiori dei valori di  $q_0$  per le diverse tipologie strutturali e le diverse classi di duttilità**

| Tipologia                                                          | $q_0$ |                             |
|--------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------|
|                                                                    | CD"B" | CD"A"                       |
| a) Strutture intelaiate<br>c) Strutture con controventi eccentrici | 4     | $5 \cdot \alpha_u/\alpha_1$ |

|                                                     |   |                               |
|-----------------------------------------------------|---|-------------------------------|
| b1) Controventi concentrici a diagonale tesa attiva | 4 | 4,0                           |
| b2) Controventi concentrici a V                     | 2 | 2,5                           |
| d) Strutture a mensola o a pendolo inverso          | 2 | $2 \cdot \alpha_U / \alpha_1$ |
| e) Strutture intelaiate con controventi concentrici | 4 | $4 \cdot \alpha_U / \alpha_1$ |
| f) Strutture intelaiate con tamponature in muratura | 2 | 2                             |

Gli spettri utilizzati sono riportati nella successiva figura.

**Grafico degli Spettri di Risposta**



## 6.4 Metodo di Analisi

Il calcolo delle azioni sismiche è stato eseguito in analisi dinamica modale, considerando il comportamento della struttura in regime elastico lineare.

Il numero di **modi di vibrazione** considerato (**15**) ha consentito, nelle varie condizioni, di mobilitare le seguenti percentuali delle masse della struttura:

| Stato Limite            | Direzione Sisma | %     |
|-------------------------|-----------------|-------|
| salvaguardia della vita | X               | 92.7  |
| salvaguardia della vita | Y               | 96.0  |
| salvaguardia della vita | Z               | 100.0 |

Per valutare la risposta massima complessiva di una generica caratteristica E, conseguente alla sovrapposizione dei modi, si è utilizzata una tecnica di combinazione probabilistica

definita CQC (*Complete Quadratic Combination - Combinazione Quadratica Completa*):

$$E = \sqrt{\sum_{i,j=1,n} \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j} \quad \text{con} \quad \rho_{ij} = \frac{8 \cdot \xi^2 \cdot (1 + \beta_{ij}) \cdot \beta_{ij}^{\frac{3}{2}}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1 + \beta_{ij}^2)} \quad \beta_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$$

dove:

- n è il numero di modi di vibrazione considerati;
- $\xi$  è il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente espresso in percentuale;
- $\beta_{ij}$  è il rapporto tra le frequenze di ciascuna coppia i-j di modi di vibrazione.

Le sollecitazioni derivanti da tali azioni sono state composte poi con quelle derivanti da carichi verticali, orizzontali non sismici secondo le varie combinazioni di carico probabilistiche. Il calcolo è stato effettuato mediante un programma agli elementi finiti le cui caratteristiche verranno descritte nel seguito.

Il calcolo degli effetti dell'azione sismica è stato eseguito con riferimento alla struttura spaziale, tenendo cioè conto degli elementi interagenti fra loro secondo l'effettiva realizzazione escludendo i tamponamenti. Non ci sono approssimazioni su tetti inclinati, piani sfalsati o scale, solette, pareti irrigidenti e nuclei.

Si è tenuto conto delle deformabilità taglianti e flessionali degli elementi monodimensionali; muri, pareti, setti, solette sono stati correttamente schematizzati tramite elementi finiti a tre/quattro nodi con comportamento a guscio (sia a piastra che a lastra).

Sono stati considerati sei gradi di libertà per nodo; in ogni nodo della struttura sono state applicate le forze sismiche derivanti dalle masse circostanti.

Le sollecitazioni derivanti da tali forze sono state poi combinate con quelle derivanti dagli altri carichi come prima specificato.

## 6.5 Valutazione degli spostamenti

Gli spostamenti  $d_E$  della struttura sotto l'azione sismica di progetto allo SLV sono stati ottenuti moltiplicando per il fattore  $\mu_d$  i valori  $d_{Ee}$  ottenuti dall'analisi lineare, dinamica o statica, secondo l'espressione seguente:

$$d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee}$$

dove

$$\begin{aligned} \mu_d &= q & \text{se } T_1 \geq T_C; \\ \mu_d &= 1 + (q-1) \cdot T_C / T_1 & \text{se } T_1 < T_C. \end{aligned}$$

In ogni caso  $\mu_d \leq 5q - 4$ .

## 6.6 Combinazione delle componenti dell'azione sismica

Le azioni orizzontali dovute al sisma sulla struttura vengono convenzionalmente determinate come agenti separatamente in due direzioni tra loro ortogonali prefissate. In generale, però, le componenti orizzontali del sisma devono essere considerate come agenti simultaneamente. A tale scopo, la combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica è stata tenuta in conto come segue:

- gli effetti delle azioni dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY}$$

$$E_{EdY} \pm 0,30E_{EdX}$$

dove:

$E_{EdX}$  rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale X scelto della struttura;

$E_{EdY}$  rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale Y scelto della struttura.

L'azione sismica verticale deve essere considerata in presenza di: elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi pressoché orizzontali precompressi, elementi a sbalzo pressoché orizzontali con luce maggiore di 5 m, travi che sostengono colonne, strutture isolate.

La combinazione della componente verticale del sisma, qualora portata in conto, con quelle orizzontali è stata tenuta in conto come segue:

- gli effetti delle azioni dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali e verticali del sisma sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY} \pm 0,30E_{EdZ}$$

$$E_{EdY} \pm 0,30E_{EdX} \pm 0,30E_{EdZ}$$

$$E_{EdZ} \pm 0,30E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY}$$

dove:

$E_{EdX}$  e  $E_{EdY}$  sono gli effetti dell'azione sismica nelle direzioni orizzontali prima definite;

$E_{EdZ}$  rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione della componente verticale dell'azione sismica di progetto.

## 6.7 Eccentricità accidentali

Per valutare le eccentricità accidentali, previste in aggiunta all'eccentricità effettiva sono state considerate condizioni di carico aggiuntive ottenute applicando l'azione sismica nelle posizioni del centro di massa di ogni piano ottenute traslando gli stessi, in ogni direzione considerata, di una distanza pari a +/- 5% della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica.

## 7 - AZIONI SULLA STRUTTURA

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 14/01/2008. I carichi agenti sui solai, derivanti dall'analisi dei carichi, vengono ripartiti dal programma di calcolo in modo automatico sulle membrature (travi, pilastri, pareti, solette, platee, ecc.).

I carichi dovuti ai tamponamenti, sia sulle travi di fondazione che su quelle di piano, sono schematizzati come carichi lineari agenti esclusivamente sulle aste.

Su tutti gli elementi strutturali è inoltre possibile applicare direttamente ulteriori azioni concentrate e/o distribuite (variabili con legge lineare ed agenti lungo tutta l'asta o su tratti limitati di essa).

Le azioni introdotte direttamente sono combinate con le altre (carichi permanenti, accidentali e sisma) mediante le combinazioni di carico di seguito descritte; da esse si ottengono i valori probabilistici da impiegare successivamente nelle verifiche.

## 7.1 Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Le azioni sulla costruzione sono state cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle norme vigenti.

Per gli stati limite ultimi sono state adottate le combinazioni del tipo:

$$\gamma G_1 + G_1 + \gamma G_2 + G_2 + \gamma P + \gamma Q_1 + \psi_{01} Q_{K1} + \gamma Q_2 + \psi_{02} Q_{K2} + \gamma Q_3 + \psi_{03} Q_{K3} + \dots \quad (1)$$

dove:

- $G_1$  rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);
- $G_2$  rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- $P$  rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;
- $Q$  azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
  - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
  - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- $\gamma_g, \gamma_q, \gamma_p$  coefficienti parziali come definiti nella Tab. 2.6.I del D.M. 14/01/2008;
- $\psi_{0i}$  sono i coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici.

Le **304 combinazioni** risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico elementare: ciascuna condizione di carico accidentale, a rotazione, è stata considerata sollecitazione di base ( $Q_{K1}$  nella formula precedente).

I coefficienti relativi a tali combinazioni di carico sono riportati negli allegati "Tabulati di calcolo".

In zona sismica, oltre alle sollecitazioni derivanti dalle generiche condizioni di carico statiche, devono essere considerate anche le sollecitazioni derivanti dal sisma. L'azione sismica è stata combinata con le altre azioni secondo la seguente relazione:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum \psi_{2i} Q_{Ki}$$

dove:

- $E$  rappresenta l'azione sismica per lo stato limite in esame;
- $G_1$  rappresenta peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- $G_2$  rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- $P$  rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;

|             |                                                             |
|-------------|-------------------------------------------------------------|
| $\psi_{2i}$ | coefficiente di combinazione delle azioni variabili $Q_i$ ; |
| $Q_{ki}$    | valore caratteristico dell'azione variabile $Q_i$ .         |

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_k + \sum_i (\psi_{2i} \cdot Q_{ki}).$$

I valori dei coefficienti  $\psi_{2i}$  sono riportati nella seguente tabella:

| Categoria/Azione                                                            | $\psi_{2i}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Categoria A - Ambienti ad uso residenziale                                  | 0,3         |
| Categoria B - Uffici                                                        | 0,3         |
| Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento                         | 0,6         |
| Categoria D - Ambienti ad uso commerciale                                   | 0,6         |
| Categoria E - Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 0,8         |
| Categoria F - Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)    | 0,6         |
| Categoria G - Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)       | 0,3         |
| Categoria H - Coperture                                                     | 0,0         |
| Vento                                                                       | 0,0         |
| Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)                                         | 0,0         |
| Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)                                            | 0,2         |
| Variazioni termiche                                                         | 0,0         |

Le verifiche strutturali e geotecniche delle fondazioni, sono state effettuate con l'**Approccio 2** come definito al par. 2.6.1 del D.M. 14/01/2008, attraverso la combinazione **A1+M1+R3**. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 (STR) definiti nella Tab. 6.2.I del D.M. 14/01/2008.

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella Tab. 6.2.II del D.M. 14/01/2008.

I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della Tab. 6.4.I del D.M. 14/01/2008 per le fondazioni superficiali.

Si è quindi provveduto a progettare le armature di ogni elemento strutturale per ciascuno dei valori ottenuti secondo le modalità precedentemente illustrate. Nella sezione relativa alle verifiche dei "*Tabulati di calcolo*" in allegato sono riportati, per brevità, i valori della sollecitazione relativi alla combinazione cui corrisponde il minimo valore del coefficiente di sicurezza.

## 7.2 Stato Limite di Danno

L'azione sismica, ottenuta dallo spettro di progetto per lo Stato Limite di Danno, è stata combinata con le altre azioni mediante una relazione del tutto analoga alla precedente:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

dove:

|             |                                                                    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|
| E           | rappresenta l'azione sismica per lo stato limite in esame;         |
| $G_1$       | rappresenta peso proprio di tutti gli elementi strutturali;        |
| $G_2$       | rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali; |
| P           | rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;           |
| $\psi_{2i}$ | coefficiente di combinazione delle azioni variabili $Q_i$ ;        |
| $Q_{ki}$    | valore caratteristico dell'azione variabile $Q_i$ .                |

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_k + \sum (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

I valori dei coefficienti  $\psi_{2i}$  sono riportati nella tabella di cui allo SLV.

### 7.3 Stati Limite di Esercizio

Allo Stato Limite di Esercizio le sollecitazioni con cui sono state semiprogettate le aste in c.a. sono state ricavate applicando le formule riportate nel D.M. 14/01/2008 al par. 2.5.3. Per le verifiche agli stati limite di esercizio, a seconda dei casi, si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

| rara                                                                           | frequente                                                                                      | quasi permanente                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + Q_{k1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$ | $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ | $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ |

dove:

- $G_{kj}$ : valore caratteristico della j-esima azione permanente;
- $P_{kh}$ : valore caratteristico della h-esima deformazione impressa;
- $Q_{kl}$ : valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;
- $Q_{ki}$ : valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- $\psi_{0i}$ : coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili di durata breve ma ancora significativi nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili;
- $\psi_{1i}$ : coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;
- $\psi_{2i}$ : coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni ammissibili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

Ai coefficienti  $\psi_{0i}$ ,  $\psi_{1i}$ ,  $\psi_{2i}$  sono attribuiti i seguenti valori:

| Azione                                                                      | $\psi_{0i}$ | $\psi_{1i}$ | $\psi_{2i}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Categoria A – Ambienti ad uso residenziale                                  | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria B – Uffici                                                        | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria C – Ambienti suscettibili di affollamento                         | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria D – Ambienti ad uso commerciale                                   | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria E – Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0         | 0,9         | 0,8         |
| Categoria F – Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)    | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria G – Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)       | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria H – Coperture                                                     | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| Vento                                                                       | 0,6         | 0,2         | 0,0         |
| Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)                                         | 0,5         | 0,2         | 0,0         |
| Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)                                            | 0,7         | 0,5         | 0,2         |
| Variazioni termiche                                                         | 0,6         | 0,5         | 0,0         |

In maniera analoga a quanto illustrato nel caso dello SLU le combinazioni risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico; a turno ogni condizione di carico accidentale è stata considerata sollecitazione di

base  $[Q_{k1}$  nella formula (1)], con ciò dando origine a tanti valori combinati. Per ognuna delle combinazioni ottenute, in funzione dell'elemento (trave, pilastro, etc...) sono state effettuate le verifiche allo SLE (tensioni, deformazioni e fessurazione).

Negli allegati "*Tabulati Di Calcolo*" sono riportati i coefficienti relativi alle combinazioni di calcolo generate relativamente alle combinazioni di azioni "**Quasi Permanente**" (1), "**Frequente**" (8) e "**Rara**" (24).

Nelle sezioni relative alle verifiche allo SLE dei citati tabulati, inoltre, sono riportati i valori delle sollecitazioni relativi alle combinazioni che hanno originato i risultati più gravosi.

## 7.4 Azione del Vento

L'applicazione dell'azione del vento sulla struttura si articola in due fasi:

1. calcolo della pressione Normale e Tangenziale lungo l'altezza dell'edificio;
2. trasformazione delle pressioni in forze (lineari/concentrate) sugli elementi (strutturali/non strutturali) dell'edificio.

### 7.4.1 Calcolo pressione normale e tangenziale

#### • Pressione Normale

La pressione Normale del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d \quad (\text{relazione 3.3.2 - D.M. 14/01/2008});$$

dove

$-q_b$ : la pressione cinetica di riferimento data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(T_R) \quad (\text{relazione 3.3.4 - D.M. 14/01/2008});$$

con:

$\rho$ : densità dell'aria (assunta pari a  $1,25 \text{ kg/m}^3$ );

$v_b(T_R)$ : velocità di riferimento del vento (in m/s), data da:

$$v_b(T_R) = \alpha_R \cdot v_b, \text{ con:}$$

$\alpha_R$ : coefficiente dato dalla seguente relazione:

$$\alpha_R = 0,75 \cdot \sqrt{1 - 0,2 \cdot \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} \quad (\text{relazione C3.3.2 - Circolare 02-02-2009 n. 617});$$

$v_b$ : velocità di riferimento del vento associata ad un periodo di ritorno di 50 anni, data da:

$$\begin{aligned} v_b &= v_{b,0} && \text{per } a_s \leq a_0; \\ v_b &= v_{b,0} && \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m;} \\ &+ k_a \cdot (a_s - a_0) \end{aligned}$$

dove:

$v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$ : parametri forniti dalla Tab. 3.3.I del par. 3.3.2 D.M. 14/01/2008;

$a_s$ : altitudine sul livello del mare (m.s.l.m) del sito ove sorge la costruzione;

$T_R$ : periodo di ritorno espresso in anni [10 anni; 500 anni].

- $C_e$ : coefficiente di esposizione, che per altezza sul suolo ( $z$ ) non maggiori di 200 m è dato dalla formula:

$$C_e(z) = k_r^2 \cdot C_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + C_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min} \quad (\text{relazione 3.3.5 - D.M. 14/01/2008});$$

$$C_e(z) = C_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

dove:

$k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$ : parametri forniti dalla Tab. 3.3.II del par. 3.3.7 D.M. 14/01/2008 (*funzione della categoria di esposizione del sito e della classe di rugosità del terreno*);  
 $C_t$ : coefficiente di topografia (assunto pari ad 1).

- $C_p$ : coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

- $C_d$ : coefficiente dinamico (assunto pari ad 1; par. 3.3.8 - D.M. 14/01/2008).

### •Pressione Tangenziale

L'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione

$$P_f = q_b \cdot C_e \cdot C_f \quad (\text{relazione 3.3.3 - D.M. 14/01/2008});$$

dove

- $q_b$ ,  $C_e$ : definiti in precedenza;

- $C_f$ : coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente funzione (valori presi dalla Tab. C3.3.1 della Circolare 02-02-2009 n. 617).

Per il caso in esame:

| Vento - calcolo pressione cinetica di riferimento |      |           |       |       |       |        |            |                     |
|---------------------------------------------------|------|-----------|-------|-------|-------|--------|------------|---------------------|
| $a_s$                                             | Zona | $V_{b,0}$ | $a_0$ | $k_a$ | $V_b$ | $T_R$  | $\alpha_R$ | $q_b$               |
| [m]                                               |      | [m/s]     | [m]   | [1/s] | [m/s] | [anni] |            | [N/m <sup>2</sup> ] |
| 17                                                | 3    | 27        | 500   | 0,020 | 27,00 | 50     | 1,00       | 456                 |

#### LEGENDA:

|                   |                                                                                  |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $a_s$             | Altitudine sul livello del mare (m.s.l.m) del sito ove sorge la costruzione;     |
| Zona              | Zona di riferimento per il calcolo del vento;                                    |
| $V_{b,0}$ , $a_0$ | Parametri forniti dalla Tab. 3.3.I - § 3.3.2 D.M. 14 gennaio 2008;               |
| $k_a$             |                                                                                  |
| $V_b$             | Velocità di riferimento del vento associata ad un periodo di ritorno di 50 anni; |
| $T_R$             | Periodo di ritorno;                                                              |
| $\alpha_R$        | Coefficiente per il calcolo della pressione cinetica di riferimento;             |
| $q_b$             | Pressione cinetica di riferimento.                                               |

| Vento - calcolo coefficiente di esposizione |                          |      |         |       |       |            |       |       |
|---------------------------------------------|--------------------------|------|---------|-------|-------|------------|-------|-------|
| $z$                                         | $d_{ct}$                 | CIRg | Cat exp | $k_r$ | $z_G$ | $z_{\min}$ | $C_t$ | $C_e$ |
| [m]                                         | [km]                     |      |         |       | [m]   | [m]        |       |       |
| 0,00                                        | sulla costa, oltre 30 Km | D    | II      | 0,19  | 0,05  | 4,00       | 1,00  | 1,80  |
| 6,00                                        |                          |      |         |       |       |            |       | 2,04  |
| 10,27                                       |                          |      |         |       |       |            |       | 2,37  |

#### LEGENDA:

|     |                                                                     |
|-----|---------------------------------------------------------------------|
| $z$ | Altezza dell'edificio a cui viene calcolata la pressione del vento; |
|-----|---------------------------------------------------------------------|

|                                                      |                                                                     |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>d<sub>ct</sub></b>                                | Distanza dalla costa;                                               |
| <b>CIRg</b>                                          | Classe di rugosità del terreno (A, B, C, D);                        |
| <b>Cat exp</b>                                       | Categoria di esposizione del sito (I, II, III, IV, V);              |
| <b>k<sub>r</sub>, Z<sub>0</sub>, Z<sub>min</sub></b> | Parametri forniti dalla Tab. 3.3.II - § 3.3.7 D.M. 14 gennaio 2008; |
| <b>C<sub>t</sub></b>                                 | Coefficiente di topografia;                                         |
| <b>C<sub>e</sub></b>                                 | Coefficiente di esposizione;                                        |

| Vento - calcolo pressione del vento |                      |                      |                      |                      |                     |               |                      |                      |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| <b>Z</b>                            | <b>q<sub>b</sub></b> | <b>C<sub>e</sub></b> | <b>C<sub>p</sub></b> | <b>C<sub>d</sub></b> | <b>p</b>            | <b>Scz</b>    | <b>C<sub>f</sub></b> | <b>p<sub>f</sub></b> |
| [m]                                 | [N/m <sup>2</sup> ]  |                      |                      |                      | [N/m <sup>2</sup> ] |               |                      | [N/m <sup>2</sup> ]  |
| 0,00                                | 456                  | 1,80                 | 1,00                 | 1,00                 | <b>820</b>          | Liscia (0.01) | 0,01                 | <b>8</b>             |
| 6,00                                |                      | 2,04                 |                      |                      | <b>928</b>          |               |                      | <b>9</b>             |
| 10,27                               |                      | 2,37                 |                      |                      | <b>1 079</b>        |               |                      | <b>11</b>            |

#### LEGENDA:

|                      |                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Z</b>             | Altezza dell'edificio a cui viene calcolata la pressione del vento;                                                                                                                                       |
| <b>q<sub>b</sub></b> | Pressione cinetica di riferimento.                                                                                                                                                                        |
| <b>C<sub>e</sub></b> | Coefficiente di esposizione;                                                                                                                                                                              |
| <b>C<sub>p</sub></b> | Coefficiente di forma/aerodinamico.<br>(*) Valorizzato al momento del calcolo della pressione agente sul singolo elemento strutturale ed è funzione della posizione dello stesso (sopravento/sottovento); |
| <b>C<sub>d</sub></b> | Coefficiente dinamico;                                                                                                                                                                                    |
| <b>p</b>             | Pressione normale (senza il contributo di C <sub>p</sub> );                                                                                                                                               |
| <b>Scz</b>           | Scabrezza della superficie (liscia, scabra, molto scabra);                                                                                                                                                |
| <b>C<sub>f</sub></b> | Coefficiente d'attrito;                                                                                                                                                                                   |
| <b>p<sub>f</sub></b> | Pressione tangenziale (senza il contributo di C <sub>p</sub> ).                                                                                                                                           |

### 7.4.2 Applicazione delle forze sulla struttura

Per ogni superficie esposta all'azione del vento si individua la posizione del baricentro e in corrispondenza di esso, dal diagramma delle pressioni dell'edificio, si ricava la pressione per unità di superficie.

Per gli elementi **strutturali** la pressione è trasformata in:

- forze lineari per i beam (*pilastrì e travi*);
- forze nodali per le shell (*pareti, muri e solette*).

Per gli elementi **non strutturali** (*tamponature, solai e balconi*) la forza totale (pressione nel baricentro x superficie) viene divisa per il perimetro in modo da ottenere una forza per unità di lunghezza che viene applicata sugli elementi strutturali confinanti.

## 8 - CODICE DI CALCOLO IMPIEGATO

### 8.1 Denominazione

|                              |                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nome del Software            | <b>EdiLus</b>                                                                                                                                                                    |
| Versione                     | 40.00b                                                                                                                                                                           |
| Caratteristiche del Software | Software per il calcolo di strutture agli elementi finiti per Windows                                                                                                            |
| Numero di serie              | 97111101                                                                                                                                                                         |
| Intestatario Licenza         | ORLANDO ing. MATTEO                                                                                                                                                              |
| Produzione e Distribuzione   | <b>ACCA software S.p.A.</b><br>Contrada Rosole 13<br>83043 BAGNOLI IRPINO (AV) - Italy<br>Tel. 0827/69504 r.a. - Fax 0827/601235<br>e-mail: info@acca.it - Internet: www.acca.it |

### 8.2 Sintesi delle funzionalità generali

Il pacchetto consente di modellare la struttura, di effettuare il dimensionamento e le verifiche di tutti gli elementi strutturali e di generare gli elaborati grafici esecutivi.

È una procedura integrata dotata di tutte le funzionalità necessarie per consentire il calcolo completo di una struttura mediante il metodo degli elementi finiti (FEM); la modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Beam (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette, setti, travi-parete).

L'input della struttura avviene per oggetti (travi, pilastri, solai, solette, pareti, etc.) in un ambiente grafico integrato; il modello di calcolo agli elementi finiti, che può essere visualizzato in qualsiasi momento in una apposita finestra, viene generato dinamicamente dal software.

Apposite funzioni consentono la creazione e la manutenzione di archivi Sezioni, Materiali e Carichi; tali archivi sono generali, nel senso che sono creati una tantum e sono pronti per ogni calcolo, potendoli comunque integrare/modificare in ogni momento.

L'utente non può modificare il codice ma soltanto eseguire delle scelte come:

- definire i vincoli di estremità per ciascuna asta (vincoli interni) e gli eventuali vincoli nei nodi (vincoli esterni);
- modificare i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica;
- definire condizioni di carico;
- definire gli impalcati come rigidi o meno.

Il programma è dotato di un manuale tecnico ed operativo. L'assistenza è effettuata direttamente dalla casa produttrice, mediante linea telefonica o e-mail.

Il calcolo si basa sul solutore agli elementi finiti MICROSAP prodotto dalla società TESYS srl. La scelta di tale codice è motivata dall'elevata affidabilità dimostrata e dall'ampia documentazione a disposizione, dalla quale risulta la sostanziale uniformità dei risultati ottenuti su strutture standard con i risultati internazionalmente accettati ed utilizzati come riferimento.

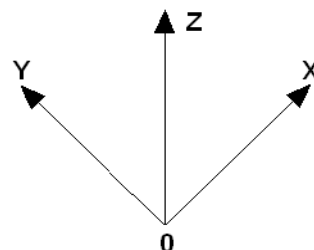
Tutti i risultati del calcolo sono forniti, oltre che in formato numerico, anche in formato grafico permettendo così di evidenziare agevolmente eventuali incongruenze.

Il programma consente la stampa di tutti i dati di input, dei dati del modello strutturale utilizzato, dei risultati del calcolo e delle verifiche dei diagrammi delle sollecitazioni e delle deformate.

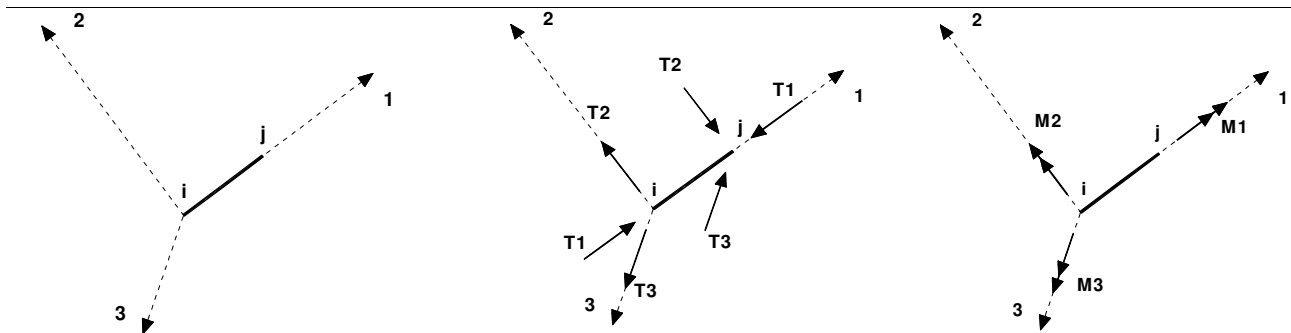
## **8.3 Sistemi di Riferimento**

### ***8.3.1 Riferimento globale***

Il sistema di riferimento globale, rispetto al quale va riferita l'intera struttura, è costituito da una terna di assi cartesiani sinistrorsa O, X, Y, Z (X, Y, e Z sono disposti e orientati rispettivamente secondo il pollice, l'indice ed il medio della mano destra, una volta posizionati questi ultimi a 90° tra loro).



### ***8.3.2 Riferimento locale per travi***



L'elemento Trave è un classico elemento strutturale in grado di ricevere Carichi distribuiti e Carichi Nodali applicati ai due nodi di estremità; per effetto di tali carichi nascono, negli estremi, sollecitazioni di taglio, sforzo normale, momenti flettenti e torcenti.

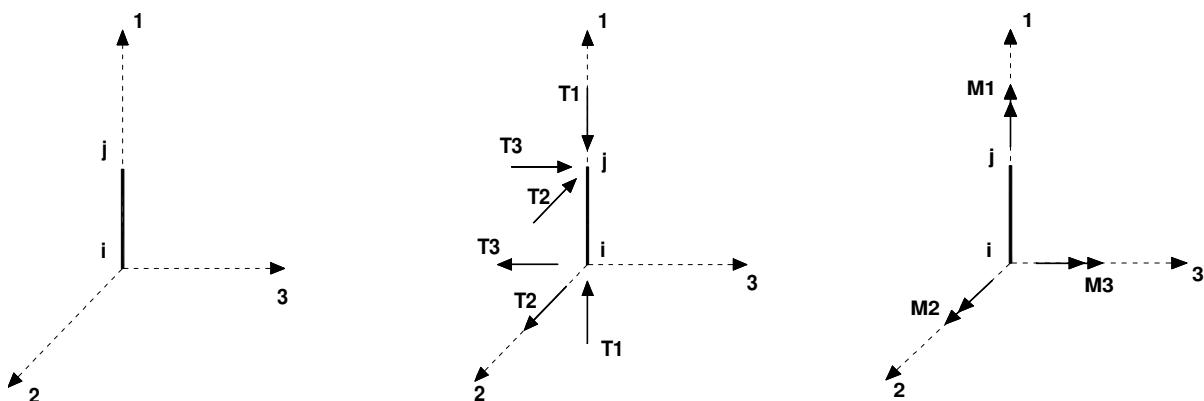
Definiti i e j (nodi iniziale e finale della Trave) viene individuato un sistema di assi cartesiani 1-2-3 locale all'elemento, con origine nel Nodo i così composto:

- asse 1 orientato dal nodo i al nodo j;
- assi 2 e 3 appartenenti alla sezione dell'elemento e coincidenti con gli assi principali d'inerzia della sezione stessa.

Le sollecitazioni verranno fornite in riferimento a tale sistema di riferimento:

- 1.Sollecitazione di Trazione o Compressione  $T_1$  (agente nella direzione i-j);
- 2.Sollecitazioni taglianti  $T_2$  e  $T_3$ , agenti nei due piani 1-2 e 1-3, rispettivamente secondo l'asse 2 e l'asse 3;
- 3.Sollecitazioni che inducono flessione nei piani 1-3 e 1-2 ( $M_2$  e  $M_3$ );
- 4.Sollecitazione torcente  $M_1$ .

### 8.3.3 Riferimento locale per pilastri



Definiti i e j come i due nodi iniziale e finale del pilastro, viene individuato un sistema di assi cartesiani 1-2-3 locale all'elemento, con origine nel Nodo i così composto:

- asse 1 orientato dal nodo i al nodo j;
- asse 2 perpendicolare all'asse 1, parallelo e discorde all'asse globale Y;
- asse 3 che completa la terna destrorsa, parallelo e concorde all'asse globale X.

Tale sistema di riferimento è valido per Pilastri con angolo di rotazione pari a '0' gradi; una rotazione del pilastro nel piano XY ha l'effetto di ruotare anche tale sistema (ad es. una

rotazione di '90' gradi porterebbe l'asse 2 a essere parallelo e concorde all'asse X, mentre l'asse 3 sarebbe parallelo e concorde all'asse globale Y). La rotazione non ha alcun effetto sull'asse 1 che coinciderà sempre e comunque con l'asse globale Z.

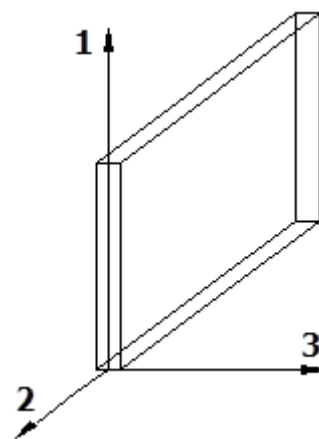
Per quanto riguarda le sollecitazioni si ha:

- una forza di trazione o compressione  $T_1$ , agente lungo l'asse locale 1;
- due forze taglienti  $T_2$  e  $T_3$  agenti lungo i due assi locali 2 e 3;
- due vettori momento (flettente)  $M_2$  e  $M_3$  agenti lungo i due assi locali 2 e 3;
- un vettore momento (torcente)  $M_1$  agente lungo l'asse locale nel piano 1.

### **8.3.4 Riferimento locale per pareti**

Una parete è costituita da una sequenza di setti; ciascun setto è caratterizzato da un sistema di riferimento locale 1-2-3 così individuato:

- asse 1, coincidente con l'asse globale Z;
- asse 2, parallelo e discorde alla linea d'asse della traccia del setto in pianta;
- asse 3, ortogonale al piano della parete, che completa la terna levogira.



Su ciascun setto l'utente ha la possibilità di applicare uno o più carichi uniformemente distribuiti comunque orientati nello spazio; le componenti di tali carichi possono essere fornite, a discrezione dell'utente, rispetto al riferimento globale X,Y,Z oppure rispetto al riferimento locale 1,2,3 appena definito.

Si rende necessario, a questo punto, meglio precisare le modalità con cui EdiLus restituisce i risultati di calcolo.

Nel modello di calcolo agli elementi finiti ciascun setto è discretizzato in una serie di elementi tipo "shell" interconnessi; il solutore agli elementi finiti integrato nel programma EdiLus, definisce un riferimento locale per ciascun elemento shell e restituisce i valori delle tensioni esclusivamente rispetto a tali riferimenti.

Il software EdiLus provvede ad omogeneizzare tutti i valori riferendoli alla terna 1-2-3. Tale operazione consente, in fase di input, di ridurre al minimo gli errori dovuti alla complessità d'immissione dei dati stessi ed allo stesso tempo di restituire all'utente dei risultati facilmente interpretabili.

Tutti i dati cioè, sia in fase di input che in fase di output, sono organizzati secondo un criterio razionale vicino al modo di operare del tecnico e svincolato dal procedimento seguito dall'elaboratore elettronico.

In tal modo ad esempio, il significato dei valori delle tensioni può essere compreso con immediatezza non solo dal progettista che ha operato con il programma ma anche da un tecnico terzo non coinvolto nell'elaborazione; entrambi, così, potranno controllare con facilità dal tabulato di calcolo, la congruità dei valori riportati.

Un'ultima notazione deve essere riservata alla modalità con cui il programma fornisce le armature delle pareti, con riferimento alla faccia anteriore e posteriore.

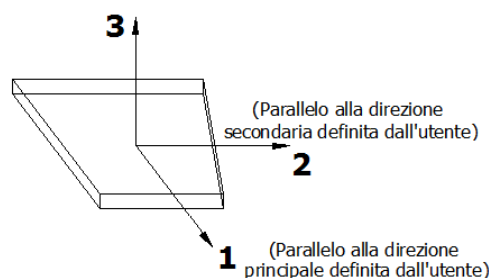
La faccia anteriore è quella di normale uscente concorde all'asse 3 come prima definito o,

identicamente, quella posta alla destra dell'osservatore che percorresse il bordo superiore della parete concordemente al verso di tracciamento.

### 8.3.5 Riferimento locale per solette e platee

Ciascuna soletta e platea è caratterizzata da un sistema di riferimento locale 1,2,3 così definito:

- asse 1, coincidente con la direzione principale di armatura;
- asse 2, coincidente con la direzione secondaria di armatura;
- asse 3, ortogonale al piano della parete, che completa la terna levogira.

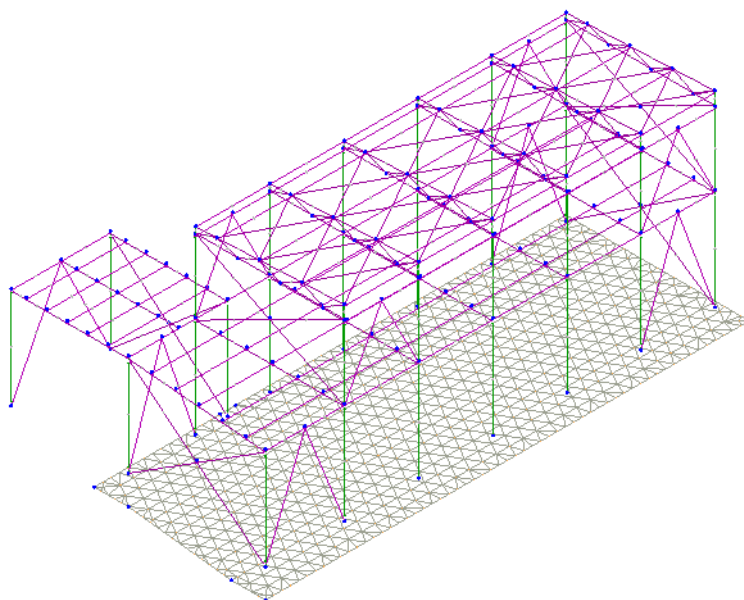


## 8.4 Modello di Calcolo

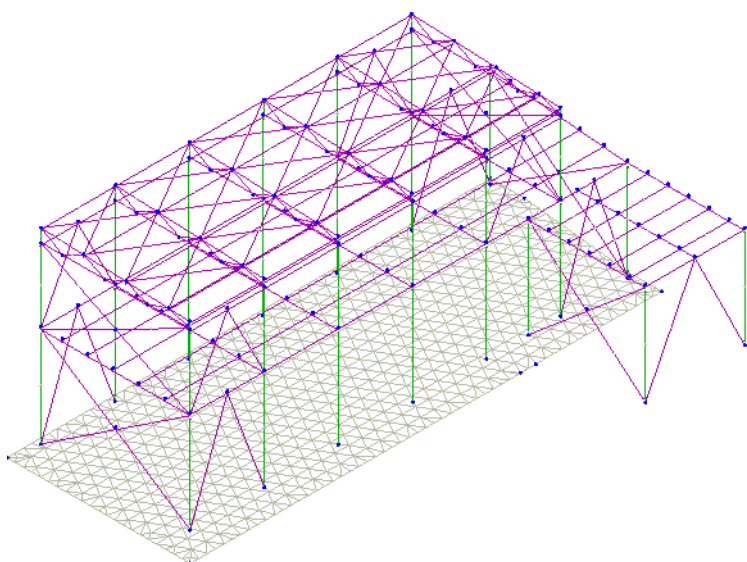
Il modello della struttura viene creato automaticamente dal codice di calcolo, individuando i vari elementi strutturali e fornendo le loro caratteristiche geometriche e meccaniche. Viene definita un'opportuna numerazione degli elementi (nodi, aste, shell) costituenti il modello, al fine di individuare celermente ed univocamente ciascun elemento nei "Tabulati di calcolo".

Qui di seguito è fornita una rappresentazione grafica dettagliata della discretizzazione operata con evidenziazione dei nodi e degli elementi.

**Vista Anteriore**



**Vista Posteriore**



Dalle illustrazioni precedenti si evince come le aste, sia travi che pilastri, siano schematizzate con un tratto flessibile centrale e da due tratti (braccetti) rigidi alle estremità. I nodi vengono posizionati sull'asse verticale dei pilastri, in corrispondenza dell'estradosso della trave più alta che in esso si collega. Tramite i braccetti i tratti flessibili sono quindi collegati ad esso.

In questa maniera il nodo risulta perfettamente aderente alla realtà poiché vengono presi in conto tutti gli eventuali disassamenti degli elementi con gli effetti che si possono determinare, quali momenti flettenti/torcenti aggiuntivi.

Le sollecitazioni vengono determinate, com'è corretto, solo per il tratto flessibile. Sui tratti rigidi, infatti, essendo (teoricamente) nulle le deformazioni le sollecitazioni risultano indeterminate.

Questa schematizzazione dei nodi viene automaticamente realizzata dal programma anche quando il nodo sia determinato dall'incontro di più travi senza il pilastro, o all'attacco di travi/pilastri con elementi shell.

## 9 PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

La verifica degli elementi allo SLU avviene col seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 14/01/2008, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si combinano tali sollecitazioni con quelle dovute all'azione del sisma secondo quanto indicato nel par. 2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 14/01/2008;
- per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

### 9.1 Verifiche di Resistenza

#### 9.1.1 Elementi in C.A.

---

Illustriamo, in dettaglio, il procedimento seguito in presenza di pressoflessione deviata (pilastri e trave di sezione generica):

- per tutte le terne  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $N$ , individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il coefficiente di sicurezza in base alla formula 4.1.10 del D.M. 14/01/2008, effettuando due verifiche a pressoflessione retta con la seguente formula:

$$\left( \frac{M_{Ex}}{M_{Rx}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{Ey}}{M_{Ry}} \right)^\alpha \leq 1$$

dove:

- $M_{Ex}$ ,  $M_{Ey}$  sono i valori di calcolo delle due componenti di flessione retta dell'azione attorno agli assi di flessione X ed Y del sistema di riferimento locale;
- $M_{Rx}$ ,  $M_{Ry}$  sono i valori di calcolo dei momenti resistenti di pressoflessione retta corrispondenti allo sforzo assiale  $N_{Ed}$  valutati separatamente attorno agli assi di flessione.

L'esponente  $\alpha$  può dedursi in funzione della geometria della sezione, della percentuale meccanica dell'armatura e della sollecitazione di sforzo normale agente.

- se per almeno una di queste terne la relazione 4.1.10 non è rispettata, si incrementa l'armatura variando il diametro delle barre utilizzate e/o il numero delle stesse in maniera iterativa fino a quando la suddetta relazione è rispettata per tutte le terne considerate.

Sempre quanto concerne il progetto degli elementi in c.a. illustriamo in dettaglio il procedimento seguito per le travi verificate/semiprogettate a pressoflessione retta:

- per tutte le coppie  $M_x$ ,  $N$ , individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il coefficiente di sicurezza in base all'armatura adottata;
- se per almeno una di queste coppie esso è inferiore all'unità, si incrementa l'armatura variando il diametro delle barre utilizzate e/o il numero delle stesse in maniera iterativa fino a quando il coefficiente di sicurezza risulta maggiore o al più uguale all'unità per tutte le coppie considerate.

Nei "*Tabulati di calcolo*", per brevità, non potendo riportare una così grossa mole di dati, si riporta la terna  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $N$ , o la coppia  $M_x$ ,  $N$  che ha dato luogo al minimo coefficiente di sicurezza.

Una volta semiprogettate le armature allo SLU, si procede alla verifica delle sezioni allo Stato Limite di Esercizio con le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti; se necessario, le armature vengono integrate per far rientrare le tensioni entro i massimi valori previsti.

Successivamente si procede alle verifiche alla deformazione, quando richiesto, ed alla fessurazione che, come è noto, sono tese ad assicurare la durabilità dell'opera nel tempo.

#### **9.1.1.1 Fondazioni superficiali**

---

Le metodologie, i modelli usati ed i risultati del calcolo del **carico limite** sono esposti nella relazione GEOTECNICA.

### **9.1.2 Elementi in Acciaio**

Per quanto concerne la verifica degli elementi in **acciaio**, le verifiche effettuate per ogni elemento dipendono dalla funzione dell'elemento nella struttura. Ad esempio, elementi con prevalente comportamento assiale (controventi o appartenenti a travature reticolari) sono verificate a trazione e/o compressione; elementi con funzioni portanti nei confronti dei carichi verticali sono verificati a Pressoflessione retta e Taglio; elementi con funzioni resistenti nei confronti di azioni orizzontali sono verificati a pressoflessione deviata e taglio oppure a sforzo normale se hanno la funzione di controventi.

Le verifiche allo SLU sono effettuate sempre controllando il soddisfacimento della relazione:

$$R_d \geq S_d$$

dove  $R_d$  è la resistenza calcolata come rapporto tra  $R_k$  (resistenza caratteristica del materiale) e  $\gamma$  (coefficiente di sicurezza), mentre  $S_d$  è la generica sollecitazione di progetto calcolata considerando tutte le Combinazioni di Carico per lo Stato Limite esaminato.

La resistenza viene determinata, in funzione della Classe di appartenenza della Sezione metallica, col metodo Elastico o Plastico (vedi par. 4.2.3.2 del D.M. 14/01/2008).

Viene portato in conto l'indebolimento causato dall'eventuale presenza di fori.

Le verifiche effettuate sono quelle previste al par. 4.2.4.1.2 ed in particolare:

- Verifiche di Trazione
- Verifiche di Compressione
- Verifiche di Flessione Monoassiale
- Verifiche di Taglio (considerando l'influenza della Torsione) assiale e biassiale.
- Verifiche per contemporanea presenza di Flessione e Taglio
- Verifiche per PressoFlessione retta e biassiale

Nei "*Tabulati di calcolo*", per ogni tipo di Verifica e per ogni elemento interessato dalla Verifica, sono riportati i valori delle resistenze e delle sollecitazioni che hanno dato il minimo coefficiente di sicurezza, calcolato generalmente come:

$$CS = R_d/S_d.$$

#### **9.1.2.1 Verifiche di Instabilità**

Per tutti gli elementi strutturali sono state condotte verifiche di stabilità delle membrature secondo le indicazioni del par. 4.2.4.1.3 del D.M. 14/01/2008; in particolare sono state effettuate le seguenti verifiche:

- Verifiche di stabilità per compressione semplice, con controllo della snellezza.
- Verifiche di stabilità per elementi inflessi.
- Verifiche di stabilità per elementi inflessi e compressi.

Le verifiche sono effettuate considerando la possibilità di instabilizzazione flessotorsionale.

Nei "Tabulati di calcolo", per ogni tipo di verifica e per ogni elemento strutturale, sono riportati i risultati di tali verifiche.

### 9.1.2.2 Verifiche di Deformabilità

Sono state condotte le verifiche definite al par. 4.2.4.2 del D.M. 14/01/2008 e in particolare si citano:

- Verifiche agli spostamenti verticali per i singoli elementi (par. 4.2.4.2.1).
- Verifiche agli spostamenti laterali per i singoli elementi (par. 4.2.4.2.2).
- Verifiche agli spostamenti per il piano e per l'edificio (par. 4.2.4.2.2).

I relativi risultati sono riportati nei "Tabulati di calcolo".

## 9.2 Verifiche SLD

Essendo la struttura di **Classe 3** sono state condotte le Verifiche allo Stato Limite di Danno come indicato al par. 7.3.7.1 del D.M. 14/01/2008, assumendo fattori parziali dei materiali  $\gamma_m$  pari a 1.

## 10 PROGETTO E VERIFICA DEI COLLEGAMENTI

### 10.1 Collegamenti in acciaio

Sono state verificate le seguenti tipologie di Collegamenti in acciaio:

- Ripristino; Ripristino flangiato.
- Trave-Colonna flangiato; Trave-Colonna squadretta.
- Colonna-Trave flangiato; Colonna-Trave squadretta; Colonna-Fondazione.
- Asta con elemento in c.a.; Asta principale-Asta secondaria; Asta reticolare.

Per ogni collegamento sono state ricavate le massime sollecitazioni agenti sugli elementi componenti (Bulloni, Tirafondi, Piastre, Costole e Cordoni di Saldatura) considerando appropriati modelli di calcolo e quindi sono state effettuate le relative verifiche. In particolare:

- Per i bulloni sono state effettuate verifiche a Taglio e Trazione sia per la singola sollecitazione che per presenza contemporanea di tali sollecitazioni.
- Per le piastre sono state effettuate verifiche a Rifollamento, a Flessione con la presenza eventuale di costole, a Punzonamento e alle Tensioni nel piano della piastra.
- Per le costole è stata effettuata la verifica controllando la tensione ideale massima calcolata considerando le tensioni parallele e ortogonali al piano della costola.
- Per i cordoni di saldatura è stata effettuata la verifica controllando la tensione ideale massima calcolata considerando le tensioni tangenziali parallele e ortogonali alla lunghezza del cordone e la tensioni normali ortogonale alla lunghezza.
- Per i tirafondi sono state effettuate verifiche a sfilamento per trazione.
- Per le piastre d'attacco con le fondazioni e gli elementi in c.a. è stata effettuata la verifica del calcestruzzo di base.

Nei tabulati, per ogni collegamento presente nella struttura, sono riportate le indicazioni

geometriche e le relative verifiche.

## 11 - TABULATI DI CALCOLO

Per quanto non espressamente sopra riportato, ed in particolar modo per ciò che concerne i dati numerici di calcolo, si rimanda all'allegato "Tabulati di calcolo" costituente parte integrante della presente relazione.

## 12 – DESCRIZIONE INTERVENTO EDIFICIO IN MURATURA

Come detto, la parte interessata da questo intervento, è principalmente il secondo livello dell'edificio storico in muratura. La descrizione di tale edificio è stata fatta in altre relazioni. Preliminarmente occorre dire che, su mia richiesta sono state effettuate una prova di carico sul solaio del piano superiore (uffici pubblici) e due prove di taglio sulla muratura in modo da poter utilizzare un livello di conoscenza accurato e un fattore di confidenza pari a 1. La prova di carico ha invece prodotto una freccia residua con fenomeni di schiacciamento dovuto a una deformazione residua della muratura per i carichi applicati.

I valori delle caratteristiche meccaniche della muratura, presi come media delle due prove, sono inferiori al valore minimo di cui alla tabella C8A.2.1 per cui, secondo quanto stabilito nella tabella C8A1.1, si adotta il valore medio delle prove come resistenza. Mentre il modulo elastico è la media dei valori di cui alla tabella C8A2-1.

Nei calcoli che seguono sono state effettuate le verifiche previste per gli elementi murari più sollecitati nelle condizioni attuali e sono risultate negative per cui le stesse sono state ripetute tenendo conto degli interventi progettati e, di conseguenza, applicando i coefficienti migliorativi di cui alla tabella C8A.2.2.

I coefficienti migliorativi applicabili sono:

- Cuci e scuci per ottenere un malta buona (coeff.1.5) e giunti sottili (coeff.1.5);
- Iniezioni con miscele leganti (coeff. 1.7);
- Connessioni trasversali (coeff. 1.5)
- Nucleo scadente o ampio (coeff.0,7)

Il valore finale della resistenza di progetto a compressione è  $f_m = 1.295 \cdot (1.5 \cdot 1.5 \cdot 1.5 \cdot 1.7 \cdot 0.7) = 5.20 \text{ Mpa}$   
e a taglio è 0.28 Mpa

Tali valori vanno comunque ridotti del coefficiente del materiale pari a 3.

Qui ci si limita a descrivere gli interventi strutturali previsti. Essi, dunque, sono:

- Rinforzo dei muri attraverso il cuci e scuci per una superficie di circa il 40% sia del piano interessato

che del piano sottostante, ottenendo in tal modo due migliorie del materiale (giunti sottili e malta di

caratteristiche buone). Altre ulteriori migliorie si ottengono con l'adozione di connessioni trasversale

(diatoni artificiali in ragione di 4/mq.) e iniezioni di miscele leganti con calce idraulica in ragione di  
4/mq.

- Introduzione di catene del diametro Ø 24 in acciaio B450C e relativi capochiave 40\*40 a livello del

soffitto del piano interessato, tra i muri longitudinali e alle volte ed archi presenti;

- Rinforzo dei soffitti in legno con la realizzazione di rompitratta travi IPN 220 ad interasse  $i=1.44$  m.  
stanza P27-P29-P38-P37 e P23-P24-P334-P35 e con IPN 180 le altre;
- Svuotamento del materiale di riempimento delle volte, nuovo riempimento con argilla espansa e  
realizzazione di una soletta in c.a. spessore cm.25. Per collegare le solette ai muri portanti si creano  
dei cordoletti di collegamento ad interasse di circa 100 cm., trasversali ai muri stessi, in modo da  
rendere quanto più rigido possibile l'impalcato nel suo piano;
- Demolizione e relativa ricostruzione dei muri esterni del vano scala in destra, utilizzando muratura di  
poroton portanti e solaio con IPN 180 e tavelloni con relativa soletta di copertura. Il tutto senza  
alcuna variazione dimensionale rispetto all'esistente;
- Chiusura nicchie con muratura di tufo e malta idraulica;
- Rinforzo dei vani porta interni con telai in acciaio (2+2 ritti IPN 200 e relativa piattabanda con 2 IPN  
200, tavelloni e soletta.

## 12.1 – verifiche

A- verifica della trave rompitratta ortogonale al solaio in legno

si fa riferimento alla campata F che rappresenta la condizione peggiore  
schema statico trave appoggiata con luce netta  
m. 8,60

|                                                                               |        |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------|
| analisi dei carichi (combinazione fondamentale)                               |        |
| peso solaio sovrastante (legno+massetto+pavimento) N/m <sup>2</sup>           | 2 500  |
| sovraccarico accidentale (uffici) N/m <sup>2</sup>                            | 3 000  |
| coefficienti di carico Yg 1 permanenti)                                       | 1,30   |
| Yg2 accidentali                                                               | 1,50   |
| carico totale q N/m <sup>2</sup>                                              | 7 750  |
| ipotizzando di inserire tre travi si ottiene un interasse di m. $5,76/4 =$ m. | 1,44   |
| il carico uniforme gravante sulla trave è dunque $Q = q \cdot i =$ N/m        | 11 160 |

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| calcolo sollecitazioni            |        |
| flessione $M_{ed} = Ql^2/8 =$ Nm  | 103    |
| taglio $V_{ed} = Q \cdot l/2 =$ N | 174    |
|                                   | 47 988 |

verifiche sezioni

trave  
dove  $c = b/2 - S_a$ ; per  $b =$  55,00 mm

---

|      |          |
|------|----------|
| Sa=  | 4,10 mm  |
| c=   | 23,40 mm |
| t=   | 5,70 mm  |
| c/t= | 4,11     |

#### c- VERIFICHE

Si adotta una sezione in acciaio S 460 laminata a caldo con  $f_k$  (tensione di rottura)= 550 N/mm<sup>2</sup>

e  $f_{yk}$  (snervamento) = 430 N/mm<sup>2</sup> sezioni con spessore 40mm < t < 80 mm

La sezione è di classe 2 e il massimo rapporto fra larghezza e spessore per parti compresse è:

$$c/t \leq$$

$$10\varepsilon$$

dove c è la larghezza dell'ala

t è lo spessore

$\varepsilon$  è l'allungamento massimo

dato da

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_{yk}} \quad 0,73$$

$$f_{yk} = 430,00 \text{ N/mm}^2$$

questa disuguaglianza è rispettata con le sezioni di riferimento

|                                                       |         |
|-------------------------------------------------------|---------|
|                                                       | IPN 220 |
| altezza h= mm.                                        | 220,00  |
| base b= mm.                                           | 98,00   |
| spessore anima Sa= mm.                                | 8,10    |
| spessore ala e= mm.                                   | 12,20   |
| area A = cm <sup>2</sup>                              | 39,50   |
| mom.inerzia x-x Jx= cm <sup>4</sup>                   | 3060,00 |
| mom.inerzia y-y Jy= cm <sup>4</sup>                   | 162,00  |
| raggio d'inerzia $\rho_x$ cm                          | 8,80    |
| mod.res. Wx cm <sup>3</sup>                           | 278,00  |
| mod.res. Wy cm <sup>3</sup>                           | 33,10   |
| raggio d'inerzia $\rho_y$ cm                          | 2,02    |
| d= h-2e=mm                                            | 175,80  |
| r1 = mm                                               | 8,10    |
| r2 =                                                  |         |
| mm.                                                   | 4,90    |
| Mplx=                                                 |         |
| cm <sup>3</sup>                                       | 324,00  |
| Mply=                                                 |         |
| cm <sup>3</sup>                                       | 55,70   |
| c <sub>anima</sub> = H-2(t+r)= mm.                    | 175,80  |
| c <sub>ala</sub> = B/2-Sa= mm.                        | 40,90   |
| verifica sezione scelta ala $\varepsilon = c_{ala}/e$ |         |
| =                                                     | 3,35    |
| valore massimo 10 $\varepsilon$                       | 7,31    |
| verifica sezione scelta anima                         | 21,70   |
| valore massimo 38 $\varepsilon$                       | 27,77   |

Verifiche agli stati limite ultimi

si pone  $R_d =$

$$R_k / \gamma_m$$

dove  $R_d$  è la resistenza di calcolo,  $R_k$  quella caratteristica e  $\gamma_m$  il fattore del materiale

### Flessione monoassiale (retta)

$M_{ed}/M_{c,rd} < 1$

momento flettente di calcolo  $M_{Ed}$

$M_{c,rd}$  resistenza di calcolo a flessione retta

per sezioni di classe 2

$M_{c,rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$

$W_{pl}$  modulo plastico = cm<sup>3</sup>

$f_{yk} =$  N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_{M0} =$

$M_{ed} =$

$M_{c,rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$

verifica soddisfatta 0,91 < 1

278,00 cm<sup>2</sup>

43000,00 N/cm<sup>2</sup>

1,05

103174,20 Nm

113847,62 Nm

### Taglio

$V_{ed}/V_{c,rd} \leq 1$

0,07 < 1

$V_{ed}$  azione tagliante di calcolo =

47988,00 N

$V_{c,rd}$  taglio

resistente =  $A_v \cdot f_{yk} / \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}$

646117,03 N

con  $A_v = A_h / (b + h)$

27,33 cm<sup>2</sup>

$A$  è l'area lorda della sezione del profilo

$b$  la larghezza per le sezioni cave

$h$  è l'altezza delle sezioni cave

verifica soddisfatta

### Flessione e taglio

$V_{ed}$  è inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$

$V_{ed} \leq 0,5 V_{c,Rd}$

si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione. E' il caso in esame

Se il taglio di calcolo  $V_{ed}$  è superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$  bisogna tener

conto dell'influenza del taglio sulla resistenza a flessione

essa si determina assumendo per l'area resistente a taglio  $A_v$  la tensione di

snervamento ridotta  $(1 - \rho) f_{yk}$ .

con  $\rho = (2V_{ed}/V_{c,rd} - 1)^2$

### Verifiche agli stati limite di esercizio

**Spostamenti verticali**  $L = \text{cm.}$  860,00

$\delta_{tot} = -\delta_c + \delta_1 + \delta_2 < L/200 < \text{cm.}$  3,53 minore di  $\delta_{max}$  4,30

$\delta_c$  è la monta iniziale della trave

$\delta_1$  lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti

$\delta_2$  lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili  $= L/250$  3,44

$\delta = 5P \cdot L^4 / 384 \cdot E \cdot J$

$L = \text{cm.}$  860,00

$P = \text{N/cm}$  0,78

$E = \text{N/cm}^2$  21000000,00

$J = \text{cm}^4$  3060,00

|                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------|------|
| $\delta =$ cm                                             | 0,09 |
| la verifica è soddisfatta per una monta iniziale di cm. 0 |      |
| di conseguenza lo spostamento max è di cm.                | 3,53 |

B-

verifica della trave rompitratta ortogonale al solaio in legno.

si fa riferimento alla campata G

schema statico trave appoggiata con luce netta

m. 6,80

analisi dei carichi (combinazione  
fondamentale)

peso solaio sovrastante (legno+massetto+pavimento) N/m<sup>2</sup> 2 500

sovraccarico accidentale (uffici)  
N/m<sup>2</sup> 3 000

coefficienti di carico Yg 1  
permanent) 1,30

Yg2 accidentali 1,50

carico totale q N/m<sup>2</sup> 7 750

ipotizzando di inserire tre travi si ottiene un interasse di  
m. 5,76/4= m. 1,44

il carico uniforme gravante sulla trave è dunque Q= q\*i= N/m 11 160

calcolo sollecitazioni

flessione Med=  $Ql^2/8$ = Nm 64 505

taglio Ved=  $Ql/2$ = N 37 944

verifiche sezioni

trave

dove  $c=b/2-Sa$ ; per  $b=$  82,00 mm

$Sa=$  6,90 mm

$c=$  34,10 mm

$t=$  10,40 mm

$c/t=$  3,28

c- VERIFICHE

Si adotta una sezione in acciaio S 460 laminata a caldo con  $f_k$  (tensione di rottura)=  
550 N/mm<sup>2</sup>

e  $f_{yk}$  (snervamento) = 430 N/mm<sup>2</sup> sezioni con spessore 40mm < t < 80 mm

La sezione è di classe 2 e il massimo rapporto fra larghezza e spessore per parti  
comprese è:

$c/t \leq$

10ε

dove c è la larghezza dell'ala

t è lo spessore

ε è l'allungamento massimo

dato da  $\epsilon = \sqrt{235 / f_{yk}}$  0,73

$f_{yk}=$  430,00 N/mm<sup>2</sup>

questa disuguaglianza è rispettata con le sezioni di riferimento

IPN 180

|                                                        |         |
|--------------------------------------------------------|---------|
| altezza h= mm.                                         | 180,00  |
| base b= mm.                                            | 82,00   |
| spessore anima Sa= mm.                                 | 6,90    |
| spessore ala e= mm.                                    | 10,40   |
| area A = cm <sup>2</sup>                               | 27,90   |
| mom.inerzia x-x Jx= cm <sup>4</sup>                    | 1450,00 |
| mom.inerzia y-y Jy= cm <sup>4</sup>                    | 81,30   |
| raggio d'inerzia ρx cm                                 | 7,20    |
| mod.res. Wx cm <sup>3</sup>                            | 161,00  |
| mod.res. Wy cm <sup>3</sup>                            | 19,80   |
| raggio d'inerzia ρy cm                                 | 1,71    |
| d= h-2e=mm                                             | 175,80  |
| r1 = mm                                                | 6,90    |
| r2 =                                                   |         |
| mm.                                                    | 4,10    |
| Mplx=                                                  |         |
| cm <sup>3</sup>                                        | 187,00  |
| Mply=                                                  |         |
| cm <sup>3</sup>                                        | 33,20   |
| canima= H-2(t+r)= mm.                                  | 175,80  |
| cala= B/2-Sa= mm.                                      | 34,10   |
| verifica sezione scelta ala $\epsilon = \text{cala}/e$ |         |
| =                                                      | 3,28    |
| valore massimo 10 $\epsilon$                           | 7,31    |
| verifica sezione scelta anima                          | 25,48   |
| valore massimo 38 $\epsilon$                           | 27,77   |

Verifiche agli stati limite ultimi  
si pone  $R_d =$

$R_k/\gamma_m$

dove  $R_d$  è la resistenza di calcolo,  $R_k$  quella caratteristica e  $\gamma_m$  il fattore del materiale

### Flessione monoassiale (retta)

$M_{ed}/M_{c,rd} < 1$

momento flettente di calcolo  $M_{Ed}$

$M_{c,rd}$  resistenza di calcolo a flessione retta

per sezioni di classe 2

$M_{c,rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$

$W_{pl}$  modulo plastico= cm<sup>3</sup>

$f_{yk} =$  N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_{M0} =$

$M_{ed} =$

$M_{c,rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$

verifica soddisfatta 0,98 < 1

161,00 cm<sup>2</sup>  
43000,00 N/cm<sup>2</sup>  
1,05  
64504,80 Nm  
65933,33 Nm

### Taglio

$V_{ed}/V_{c,rd} \leq 1$

$V_{ed}$  azione tagliante di calcolo =

$V_{c,rd}$  taglio  $A_v \cdot f_{yk} / \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}$

0,08 < 1  
37944,00 N  
453204,22 N

resistente=

con  $A_v = A_h / (b + h)$

19,17 cm<sup>2</sup>

A è l'area lorda della sezione del profilo

b la larghezza per le sezioni cave

h è l'altezza delle sezioni cave

verifica soddisfatta

### Flessione e taglio

V<sub>Ed</sub> è inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio V<sub>c,Rd</sub>

$V_{Ed} \leq 0,5 V_{c,Rd}$

si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione. E' il caso in esame

Se il taglio di calcolo V<sub>Ed</sub> è superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio V<sub>c,Rd</sub> bisogna tener

conto dell'influenza del taglio sulla resistenza a flessione

essa si determina assumendo per l'area resistente a taglio A<sub>v</sub> la tensione di

snervamento ridotta  $(1 - \rho) f_{yk}$ .

con  $\rho = (2V_{Ed}/V_{c,Rd} - 1)^2$

### Verifiche agli stati limite di esercizio

**Spostamenti verticali** L=cm. 680,00

$\delta_{tot} = -\delta_c + \delta_1 + \delta_2 < L/200 < \text{cm.}$  2,79 minore di  $\delta_{max}$  3,40

$\delta_c$  è la monta iniziale della trave

$\delta_1$  lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti

$\delta_2$  lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili  $= L/250$  2,72

$\delta = 5P \cdot L^4 / 384 \cdot E \cdot J$

L= cm. 680,00

P=N/cm 0,78

E=N/cm<sup>2</sup> 21000000,00

J= cm<sup>4</sup> 1450,00

$\delta = \text{cm}$  0,07

la verifica è soddisfatta per una monta iniziale di cm. 0

di conseguenza lo spostamento max è di cm. 2,79

### C- Muri

**verifica maschio pressoflessione fuori piano (punti 4.5.6.2 e 7.8.2.2,3 NTC 2008)**

L'edificio è costituito da n. 6 piani con copertura orizzontale.

Il piano terra è adibito a negozi ed altro, il primo piano (oggetto del presente intervento)

è a destinazione biblioteca, il secondo piano è destinato ad uffici pubblici e i restanti ad abitazione.

Analisi dei carichi riferita a una striscia di un metro di muro

secondo la combinazione fondamentale

impalcato n. 6 (copertura) ordito in senso trasversale H=m.

4,00 coeff.carico

peso proprio (solaio in legno) daN/m<sup>2</sup> 50 1,3 65

carico permanente (pavimento, massetto, tramezzi) daN/m<sup>2</sup> 200 1,3 260

carico neve daN/m<sup>2</sup> 50 1,3 65

sovraccarico accidentale (cop.accessibile) daN/m<sup>2</sup> 200 1,5 300

totale daN/m<sup>2</sup> 690

|                                                                    |                    |      |              |        |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------|------|--------------|--------|
| impalcato n. 5 ordito in senso trasversale H=m.                    |                    |      | coeff.carico |        |
| peso proprio (solaio in legno)                                     | daN/m <sup>2</sup> | 50   | 1,3          | 65     |
| carico permanente (pavimento, massetto, tramezzi)                  | daN/m <sup>2</sup> | 200  | 1,3          | 260    |
| sovraccarico accidentale (cop.accessibile)                         | daN/m <sup>2</sup> | 200  | 1,5          | 300    |
| totale                                                             | daN/m <sup>2</sup> |      |              | 625    |
| impalcato n. 4 ordito in senso trasversale H= m.                   |                    | 4,00 | coeff.carico |        |
| peso proprio (solaio in legno)                                     | daN/m <sup>2</sup> | 50   | 1,3          | 65     |
| carico permanente (pavimento, massetto, tramezzi)                  | daN/m <sup>2</sup> | 200  | 1,3          | 260    |
| sovraccarico accidentale (cop.accessibile)                         | daN/m <sup>2</sup> | 200  | 1,5          | 300    |
| totale                                                             | daN/m <sup>2</sup> |      |              | 625    |
| impalcato n. 3 ordito in senso trasversale H= m.                   |                    | 4,00 | coeff.carico |        |
| peso proprio (solaio in legno)                                     | daN/m <sup>2</sup> | 50   | 1,3          | 65     |
| carico permanente (pavimento, massetto, tramezzi)                  | daN/m <sup>2</sup> | 200  | 1,3          | 260    |
| sovraccarico accidentale (cop.accessibile)                         | daN/m <sup>2</sup> | 200  | 1,5          | 300    |
| totale                                                             | daN/m <sup>2</sup> |      |              | 625    |
| impalcato n. 2 ordito in senso longitudinale dopo il rinforzo H=m. |                    | 5,60 | coeff.carico |        |
| peso proprio (solaio in legno)                                     | daN/m <sup>2</sup> | 50   | 1,3          | 65     |
| carico permanente (pavimento, massetto, tramezzi)                  | daN/m <sup>2</sup> | 200  | 1,3          | 260    |
| sovraccarico accidentale (uffici aperti al pubblico)               | daN/m <sup>2</sup> | 300  | 1,5          | 450    |
| totale                                                             | daN/m <sup>2</sup> |      |              | 775    |
| impalcato n. 1 solette in c.a. post intervento H= m.               |                    | 5,00 | coeff.carico |        |
| carico permanente (pavimento, massetto, tramezzi)                  | daN/m <sup>2</sup> | 200  | 1,3          | 260    |
| soletta in c.a. spessore cm.25                                     | daN/m <sup>2</sup> | 625  | 1,3          | 812,5  |
| sovraccarico accidentale (biblioteca)                              | daN/m <sup>2</sup> | 600  | 1,5          | 900    |
| totale                                                             | daN/m <sup>2</sup> |      |              | 1972,5 |

**Si considera il muro P29-P38. I carichi agenti sono il peso proprio del muro**

e il solaio del secondo impalcato (uffici)

verifiche alla base dell'impalcato interessato

muro fra le campate F e G di un fabbricato di piani

lunghezza L m.

spessore t m.

altezza interna h= m.

altezza estradosso m.

peso muratura tufo e intonaco daN/m<sup>2</sup>

carichi peso muro daN/m<sup>2</sup>

scarico solai 2° imp.

interasse del carico m.

resistenza a compressione assiale della muratura consolidata  $f_k$ =

coeff.riduzione del materiale (classe 2 per ogni tipo)

resistenza a compressione della murature

siamo nel caso b) di cui alla tabella C8A-1-1

dalle prove risultano i valori MD1

MD2

media valori

modulo elastico E MD1

MD2

media valori

si applicano quindi i valori della tabella

resistenza a compressione  $f_m$ =

5,00

4,73

0,97

5,40

5,60

1 600

33 523

300,00

1,44

1,4 Mpa

3

0,97 Mpa

1,62 Mpa

1,295 Mpa<

1174 Mpa

1456 Mpa

1315 Mpa>

1,40

1058

1,295 Mpa



$N_3$  reazione di appoggio solaio Dx

$d_1$  eccentricità di  $N_1$  rispetto al piano medio del muro da verificare

$d_2$  eccentricità di  $N_2$  rispetto al piano medio del muro da verificare

$d_3$  eccentricità di  $N_3$  rispetto al piano medio del muro da verificare

nel caso:  $N_1 =$  daN 42 005

$d_1 =$  0

$N_2 =$  daN 4 799

$d_2 =$  m 0

$N_3 =$  daN 3 683

$d_3 =$  m 0

quindi  $es_1 =$  m 0

$es_2 =$  m 0,01

$es_3 =$  m -0,01

e  $es = es_1 + es_2 + es_3 =$  m. 0,00

in definitiva si hanno i seguenti valori:

$e_1 = |es| + ea =$  cm. 2,80

$e_2 = lev + \frac{1}{2}e_1 =$  cm. 0,00 < 97/3 = 32

il coefficiente di eccentricità  $m = 6 \cdot e / t =$  0,00

e la snellezza della muratura  $\lambda = h_0 / t =$  2,42

interpolando la tabella 4,5,III delle NTC 2008 si ottiene  $\Phi =$  0,99

la resistenza di progetto della muratura vale  $f_d = f_k / \gamma_M =$  0,47 Mpa= 4,67 daN/cm<sup>2</sup>

la resistenza ridotta della muratura vale  $f_{drd} = \Phi \cdot f_d =$  0,46 Mpa= 4,62 daN/cm<sup>2</sup>

lo sforzo normale resistente  $N_{rd} = f_{drd} \cdot t \cdot L =$  211 970 daN

Ned valutato a metà altezza del muro a piano terra è:  $N \cdot L =$  198 683 daN

risultando  $N_{rd} > N_{ed}$  la verifica è soddisfatta

#### Verifica della resistenza all'estradosso della fondazione nella condizione attuale.

Al carico considerato per la verifica di cui sopra, si aggiunge quello dovuto alla biblioteca e all'ulteriore muro.

Le solette di progetto scaricano sui quattro muri dei rispettivi ambienti per cui sul muro in esame va considerato il 25% del carico dei vani E ed F che hanno, rispettivamente una superficie di mq. (6,26\*5,50) e (8,60\*5,50) e un carico di:

|                                          | coeff. | totale    |
|------------------------------------------|--------|-----------|
| peso proprio = 0,25*2500 daN/mc = daN/mq | 6 250  | 1,3 8 125 |

|                                                            |       |           |
|------------------------------------------------------------|-------|-----------|
| sovraccarico permanente (pavimento, massetto ecc) = daN/mq | 2 360 | 1,3 3 068 |
|------------------------------------------------------------|-------|-----------|

|                                   |       |           |
|-----------------------------------|-------|-----------|
| sovraccarico accidentale = daN/mq | 6 000 | 1,5 9 000 |
|-----------------------------------|-------|-----------|

|                |  |        |
|----------------|--|--------|
| totale daN/mq. |  | 20 193 |
|----------------|--|--------|

|                                                 |       |  |
|-------------------------------------------------|-------|--|
| applicato a una superficie della soletta di mq. | 20,43 |  |
|-------------------------------------------------|-------|--|

|                                                                          |  |         |
|--------------------------------------------------------------------------|--|---------|
| e il carico totale gravante sul muro in esame è $P =$ daN/m <sup>2</sup> |  | 412 593 |
|--------------------------------------------------------------------------|--|---------|

|                                                          |  |         |
|----------------------------------------------------------|--|---------|
| il carico gravante sul muro è $P_1 = 0,25 \cdot P =$ daN |  | 103 148 |
|----------------------------------------------------------|--|---------|

|                                                                                                           |  |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------|
| lo scarico della sola volta a botte in muratura vale $P_2 = 0,15 \cdot 4,30 \cdot 16000 \cdot 4,73 =$ daN |  | 48 814 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------|

|                                            |  |        |
|--------------------------------------------|--|--------|
| Sforzo normale già determinato $P_3 =$ daN |  | 42 005 |
|--------------------------------------------|--|--------|

|                           |  |         |
|---------------------------|--|---------|
| totale sforzo normale daN |  | 193 967 |
|---------------------------|--|---------|

|                                                                   |     |         |
|-------------------------------------------------------------------|-----|---------|
| lo sforzo normale resistente $N_{rd} = f_{drd} \cdot t \cdot L =$ | daN | 211 970 |
|-------------------------------------------------------------------|-----|---------|

|                                     |      |  |
|-------------------------------------|------|--|
| con $f_{drd} =$ daN/cm <sup>2</sup> | 4,62 |  |
|-------------------------------------|------|--|

|                       |    |  |
|-----------------------|----|--|
| t spessore muro = cm. | 97 |  |
|-----------------------|----|--|

|                        |     |  |
|------------------------|-----|--|
| L lunghezza muro = cm. | 473 |  |
|------------------------|-----|--|

|                                                    |  |          |
|----------------------------------------------------|--|----------|
| il coefficiente di sicurezza è $N_{rd} / N_{ed} =$ |  | 1,09 > 1 |
|----------------------------------------------------|--|----------|

la verifica è soddisfatta



|                                                                                                   |         |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------|
| azione orizzontale: pressione del vento $P = \text{daN/m}$ assente (muro interno)                 | 0       | daN/m                         |
| azione verticale: pesi gravanti sul muro $N = \text{daN/m}$                                       |         |                               |
| $M_{\max v} = \gamma_{qv} * P * h^2 / 8 \text{ daNm}$                                             | 0,00    |                               |
| $\gamma_{qv} =$                                                                                   | 1,50    |                               |
| $P = \text{daN/m}^2$                                                                              | 0,00    |                               |
| $h = \text{m.}$                                                                                   | 5,60    |                               |
| il carico verticale è somma dei tagli in appoggio di $S_x$ e $D_x$ oltre peso proprio             |         |                               |
| taglio in appoggio trave $S_x = N_{d1} = \text{daN}$                                              | 3 745   |                               |
| taglio trave $D_x = N_{d2} = \text{daN}$                                                          | 10 157  |                               |
| sommato al peso proprio del muro $\text{daN}$                                                     | 25 920  |                               |
| totale carico $P \text{ daN}$                                                                     | 39 822  |                               |
| quindi $e_v = M_{\max v} / N = \text{m.}$                                                         | 0,00    |                               |
| $e_s = e_{s1} + e_{s2}$                                                                           |         |                               |
| $e_{s1} = N_1 * d_1 / (N_1 + \Sigma N_2)$                                                         |         |                               |
| $e_{s2} = \Sigma N_2 * d_2 / (N_1 + \Sigma N_2)$                                                  |         |                               |
| in cui:                                                                                           |         |                               |
| $e_{s1} =$ eccentricità della risultante dei carichi trasmessi dai muri dei piani superiori       |         |                               |
| rispetto al piano medio del muro da verificare                                                    |         |                               |
| $e_{s2} =$ eccentricità della reazione di appoggio dei solai soprastanti la sezione da verificare |         |                               |
| $N_1$ carico barincentrico trasmesso dal muro sovrastante                                         |         |                               |
| $N_2$ reazione di appoggio solaio $S_x$                                                           |         |                               |
| $N_3$ reazione di appoggio solaio $D_x$                                                           |         |                               |
| $d_1$ eccentricità di $N_1$ rispetto al piano medio del muro da verificare                        |         |                               |
| $d_2$ eccentricità di $N_2$ rispetto al piano medio del muro da verificare                        |         |                               |
| $d_3$ eccentricità di $N_3$ rispetto al piano medio del muro da verificare                        |         |                               |
| nel caso: $N_1 = \text{daN}$                                                                      | 25 920  |                               |
| $d_1 = \text{m.}$                                                                                 | 0,00    |                               |
| $N_2 = \text{daN}$                                                                                | 3 745   |                               |
| $d_2 = (t/2) - 0,10 = \text{m}$                                                                   | 0,28    |                               |
| $N_3 = \text{daN}$                                                                                | 10 157  |                               |
| $d_3 = (t/2) - 0,15 = \text{m}$                                                                   | 0,23    |                               |
| quindi $es1 = \text{m}$                                                                           | 0       |                               |
| $es2 = \text{m}$                                                                                  | -0,03   |                               |
| $es3 = \text{m}$                                                                                  | 0,04    |                               |
| e $es = es1 + es2 + es3 = \text{m.}$                                                              | 0,00    |                               |
| in definitiva si hanno i seguenti valori:                                                         |         |                               |
| $e1 =  es  + ea = \text{cm.}$                                                                     | 3,27    |                               |
| $e2 = lev + \frac{1}{2}e1 = \text{cm.}$                                                           | 0,00    | $< 97/3 = 32$                 |
| il coefficiente di eccentricità $m = 6 * e / t =$                                                 | 0,00    |                               |
| e la snellezza della muratura $\lambda = h_0 / t =$                                               | 5,02    |                               |
| interpolando la tabella 4,5,III delle NTC 2008 si ottiene $\Phi =$                                | 0,97    |                               |
| la resistenza di progetto della muratura vale $f_d = f_k / \gamma_M =$                            | 0,47    | Mpa= 4,67 daN/cm <sup>2</sup> |
| la resistenza ridotta della muratura vale $f_{drid} = \Phi * f_d =$                               | 0,45    | Mpa= 4,53 daN/cm <sup>2</sup> |
| lo sforzo normale resistente $N_{rd} = f_{drid} * t * L =$                                        | 278 390 | daN                           |
| $N_{ed}$ valutato a metà altezza del muro a piano terra è: $N * L =$                              | 326 543 | daN                           |

risultando  $N_{rd} < N_{ed}$  la verifica non è soddisfatta

Occorre, quindi, migliorare le caratteristiche di resistenza del materiale con opportuni interventi.

Un intervento, peraltro, indicato dalle linee guida di cui alla circolare del MIBAC del 25/3/2016

è di consolidare la muratura con interventi di cucì e scucì tali da avere una malta buona,

giunti sottili, iniezioni di miscele leganti e connessioni trasversali

Dalla tabella C8A2.2 della circolare n.617/09, si ottiene il fattore migliorativo  $K = 5,7375$

per tener conto dello spessore  $> 0,70$ , si riduce a  $K \cdot 0,70 / 0,75 = 5,36$

Di conseguenza la resistenza a compressione della muratura risulta  $f_{drd} \cdot k = \text{daN/cm}^2$  24,24

e applicando il fattore di riduzione del materiale  $\gamma_m$  si ottiene  $f_{drd} = \text{daN/cm}^2$  8,08

lo sforzo normale resistente della muratura consolidata risulta  $N_{rd} = f_{drd} \cdot t \cdot L = 496\,926$

il coefficiente di sicurezza è  $N_{rd} / N_{ed} = 1,52 > 1$

verifica soddisfatta

### Verifica della resistenza all'estradosso della fondazione

Al carico considerato per la verifica di cui sopra, si aggiunge quello dovuto alla biblioteca e all'ulteriore muro.

Le solette di progetto scaricano sui quattro muri dei rispettivi ambienti per cui sul muro in esame va considerato il 25% del carico dei vani E ed F che hanno, rispettivamente una superficie di mq. (6,26\*5,50) e (8,60\*5,50) e un carico di:

|                                                                                                                  | coeff. | totale    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|
| peso proprio = $0,25 \cdot 2500 \text{ daN/mc} = \text{daN/mq}$                                                  | 6 250  | 1,3 8 125 |
| sovraccarico permanente (pavimento, massetto ecc) = $\text{daN/mq}$                                              | 2 360  | 1,3 3 068 |
| sovraccarico accidentale = $\text{daN/mq}$                                                                       | 6 000  | 1,5 9 000 |
| totale $\text{daN/mq}$ .                                                                                         |        | 20 193    |
| applicato a una superficie della soletta di mq.                                                                  | 20,43  |           |
| e il carico totale gravante sui 4 muri è $P = \text{daN/m}^2$                                                    |        | 412 593   |
| il carico gravante sul muro in esame è $P_1 = 0,25 \cdot P = \text{daN}$                                         |        | 103 148   |
| lo scarico della sola volta a botte in muratura vale $P_2 = 0,15 \cdot 4,30 \cdot 16000 \cdot 4,73 = \text{daN}$ |        | 48 814    |
| Sforzo normale già determinato $P_3 = \text{daN}$                                                                |        | 39 822    |
| totale sforzo normale $\text{daN}$                                                                               |        | 191 784   |
| lo sforzo normale resistente $N_{rd} = f_{drd} \cdot t \cdot L =$                                                | daN    | 86 100    |
| con $f_{drd} = \text{daN/cm}^2$                                                                                  | 1,295  |           |
| t spessore muro = cm.                                                                                            | 75     |           |
| L lunghezza muro = cm.                                                                                           | 820    |           |
| il coefficiente di sicurezza è $N_{rd} / N_{ed} =$                                                               |        | 0,45 < 1  |



con buona approssimazione può essere determinato con la formula di cui al punto

7,3,3,2 delle NTC:  $F = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$  dove:

F è la forza da applicare alla massa;

$S_d(T_1)$  è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al punto 3,2,3,5

W è il peso dell'elemento considerato

$\lambda$  è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se  $T_1 < 2T_C$ , pari a 1,0 in tutti gli altri casi

e se  $T_1 < 2T_C$ , pari a 1,0 in tutti gli altri casi

g è l'accelerazione di gravità

a vantaggio di sicurezza si assume  $S_d(T_1) = 0,2 \cdot a_g$  con  $a_g$  allo SLV= 1,91

applicando i coefficienti di amplificazione stratigrafici  $S_s = 1,2$  e topografica  $S_t = 1$

si ottiene  $S_d(T_1) =$

2,292 2,292

W è il peso dell'elemento considerato = daN

42 005 39 922

g è l'accelerazione di gravità=

9,8 9,8 9,8

$\lambda =$

1 1 1

quindi  $F =$  daN

9 824 9 337

applicata nel baricentro dell'elemento per cui il momento flettente agente

$M_{ed} = F \cdot H / 2 =$  daNcm

275 261

il momento flettente resistente è dato dalla formula (7,8,2)

$M_u = (L^2 \cdot t \cdot \sigma_o) (1 - \sigma_o / 0,85 f_d)$

con:

t= spessore del muro=

97,00 cm.

l = lunghezza complessiva del muro=  $L + 3t / 2$

618,50 cm.

$f_d =$  resistenza di calcolo a compressione della muratura=

4,67 daN/cm<sup>2</sup>

$\sigma_o$  è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione ( $= P / (l \cdot t)$ ), con

P forza assiale agente positiva se di compressione)=

0,70 daN/cm<sup>2</sup> 0,67

verifica di resistenza: deve essere  $C_s = M_u / M_{ed} > 1$

4,55 >1 4,60 >1

con  $M_u =$

daNcm

1 251 1 202

e  $M_{ed} =$

275,07 daNcm 261

**verifica del muro P22-P24 soddisfatta**

**verifica maschio taglio (punto 7,8,2,2,2 NTC 2008)**

muro fra le campate F e G di un fabbricato di piani

4,00

lunghezza L m.

4,73

spessore t m.

0,97

altezza interna h= m.

5,40

altezza estradosso m.

5,60

peso muratura tufo e intonaco daN/m<sup>2</sup>

1600,00

carichi permanenti solaio daN/m<sup>2</sup>

600,00

sovraccarico accidentale  $q_{acc} =$  daN/m<sup>2</sup>

200,00

interasse del carico m.

2,50

resistenza a compressione assiale della muratura  $f_k =$

1,4 Mpa

coeff. riduzione del materiale (classe 2 per ogni tipo)

3

resistenza a compressione della murature

siamo nel caso b) di cui alla tabella C8A-1-1

dalle prove risultano i valori MD1

0,97 Mpa

MD2

1,62 Mpa

media valori  $f_k$

1,295 Mpa < 1,40

|                                                                                     |        |              |                |                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|----------------|-------------------------------------|
| modulo elastico E MD1                                                               | 1174   | Mpa          |                |                                     |
| MD2                                                                                 | 1456   | Mpa          |                |                                     |
| media valori                                                                        | 1315   | Mpa>         | 1058           |                                     |
| si applicano quindi i valori                                                        |        |              |                |                                     |
| resistenza a compressione fm=                                                       | 1,295  | Mpa          |                |                                     |
| a taglio                                                                            | 0,28   | Mpa          |                |                                     |
| modulo elastico normale E=                                                          | 1315   | Mpa          |                |                                     |
| modulo elastico tangenziale G=                                                      | 360    | Mpa          |                |                                     |
| fattore di confidenza (conoscenza accurata LC3)                                     | 1      |              |                |                                     |
| fattore di riduzione del materiale                                                  | 3      |              |                |                                     |
| coeff.combinazione fondamentale: carichi permanenti                                 | YG1=   | 1,3          |                |                                     |
| permanent non                                                                       |        |              |                |                                     |
| strutturali                                                                         | YG2=   | 1,5          |                |                                     |
| accidentali                                                                         | YQi=   | 1,5          |                |                                     |
| ψ02=                                                                                | 0,70   |              |                |                                     |
| YQ2=                                                                                | 1,50   |              |                |                                     |
| il carico verticale è somma dei tagli in appoggio di Sx e Dx oltre peso proprio     |        |              |                |                                     |
| taglio in appoggio trave Sx (cfr verifica trave acciaio)= daN                       |        | 4 799        |                |                                     |
| taglio trave Dx (proporzionale alla luce)= 4798,80*6,60/8,60=daN                    |        | 3 683        |                |                                     |
| sommato al peso proprio del muro daN                                                |        | 1 130        |                |                                     |
| totale carico P daN                                                                 |        | 9 611        |                |                                     |
| ai fini della verifica si considerano i valori già determinati che sono:            |        |              |                |                                     |
| <b>muro P28-P38=</b>                                                                | daN    | 42 005       | <b>P22-P24</b> | 39922                               |
| il momento flettente agente nel piano del muro, derivante dall'azione sismica,      |        |              |                |                                     |
| con buona approssimazione può essere determinato con la formula di cui al punto     |        |              |                |                                     |
| 7,3,3,2 delle NTC: $F = S_d(T1) * W * \lambda / g$ dove:                            |        |              |                |                                     |
| F è la forza da applicare alla massa;                                               |        |              |                |                                     |
| Sd(T1) è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al punto 3,2,3,5 |        |              |                |                                     |
| W è il peso dell'elemento considerato                                               |        |              |                |                                     |
| λ è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se |        |              |                |                                     |
| T1 < 2TC,                                                                           |        |              |                |                                     |
| pari a 1,0 in tutti gli altri casi                                                  |        |              |                |                                     |
| e se T1 < 2TC, pari a 1,0 in tutti gli altri casi                                   |        |              |                |                                     |
| g è l'accelerazione di gravità                                                      |        |              |                |                                     |
| a vantaggio di sicurezza si assume Sd(T1)=0,2*ag con ag allo SLV= 1,91              |        |              |                |                                     |
| applicando i coefficienti di amplificazione stratigrafici Ss=1,2 e topografica St=1 |        |              |                |                                     |
| si ottiene Sd(T1)=                                                                  | 2,292  |              | 2,292          |                                     |
| W è il peso dell'elemento considerato = daN                                         | 42 005 |              | 39 922         |                                     |
| g è l'accelerazione di gravità=                                                     | 9,8    |              | 9,8            |                                     |
| λ=                                                                                  | 1      |              | 1              |                                     |
| quindi F= daN                                                                       | 9 824  |              | 9 337          |                                     |
| applicata nel baricentro dell'elemento per cui il momento flettente agente          |        |              |                |                                     |
| Med= F*H/2= daNcm                                                                   | 275    |              | 252            |                                     |
| verifica sezione compressa                                                          |        |              |                |                                     |
| la sezione è tutta compressa quando si verifica a seguente condizione:              |        |              |                |                                     |
| $e_l = M/N < l/6 = m.$                                                              | 126,29 | > l/6= cm.79 | 131            | cm. 136,67                          |
| dove el è l'eccentricità del carico verticale                                       |        |              |                |                                     |
| M è il momento flettente alla base = V*H =                                          | 53 050 | daNm         | 52 286         |                                     |
| V è il taglio risultante dall'analisi assorbito dalla parete pari a F=              | 9 824  | daN          | 9 337          |                                     |
| N è la risultante dei carichi verticali gravanti sulla parete che vale              | 42 005 | daN          | 39 922         |                                     |
| <b>la sezione è parzializzata per cui</b>                                           |        |              |                | <b>sezione interamente reagente</b> |

|                                       |                                         |              |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|
| $\sigma_{max} = 2N/3 \cdot b \cdot u$ | 2,62 daN/cm <sup>2</sup> < $f_k = 12.9$ | 0,98 < $f_k$ |
| $u = l/2 - e =$                       | 110,21 cm                               | 820,00       |

la resistenza a taglio è valutata con l'espressione:  $V_t = l' \cdot t \cdot f_{vd}$  dove:

|                                                                                          |            |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
| $l'$ è la lunghezza della parte compressa della parete = $L$                             | 1,10 m.    | 8,20    |
| $t$ è lo spessore                                                                        | 0,97 m     | 0,97    |
| $f_{vd} = f_{vk}/\gamma_M$ è la resistenza caratteristica a taglio della muratura e vale | 0,13 Mpa   | 0,13    |
| valore ridotto ai sensi del punto 7,8,2,2,2 NTC 2008                                     | 0,28 Mpa   | 0,28    |
| $f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \sigma_n$                                                        | 0,38 Mpa   | 0,32    |
| $f_{vko}$ , per il materiale in esame vale                                               | 0,28 Mpa   | 0,28    |
| e $\sigma_n = N/l' \cdot t =$                                                            | 0,26 Mpa   | 0,10    |
| per cui $V_t =$                                                                          | 29 932 daN | 222 712 |
| verifica di resistenza: deve essere $C_s = V_t/V_{ed} > 1$                               |            |         |
| quindi per $V_t =$                                                                       | 29 932 daN | 222 712 |
| e $V_{ed} =$                                                                             | 9 824 daN  | 9 337   |
| si ha $C_s =$                                                                            | 3,05 > 1   | 23,85   |
| verifica soddisfatta                                                                     |            |         |

## 12.2 – analisi secondo il punto 8.4 NTC

Questa analisi è necessaria in quanto, nel caso di cambio di classe e/o destinazione d'uso che comportasse un incremento di carico in fondazione superiore al 10%, occorre procedere all'adeguamento.

La destinazione attuale del piano interessato è di uffici aperti al pubblico con un sovraccarico accidentale di 3000 N/mq mentre quella di progetto è biblioteca con un sovraccarico accidentale di 6000 N/mq.

**verifica della condizione di cui al punto 8.4 delle NTC 2008**

muro P22-P23

la superficie del piano è di circa mq. 235

dall'analisi dei carichi dei solai in legno

risulta:

|                                     | attuale | progetto |
|-------------------------------------|---------|----------|
| impalcato n. 6 (copertura)          | 690     | 690      |
| impalcato n. 5 (abitazione)         | 625     | 625      |
| impalcato n. 4 (abitazione)         | 625     | 625      |
| impalcato n. 3 (abitazione)         | 625     | 625      |
| impalcato n. 2 (uffici)             | 775     | 775      |
| impalcato n. 1 (uffici)             | 775     | 1 973    |
| totali daN/mq                       | 4 115   | 5 313    |
| interasse medio del carico m.       | 5,42    | 5,42     |
| totali daN                          | 22 303  | 28 794   |
| peso del muro daN                   | 39 523  | 39 523   |
| scarico volta (già determinato) daN | 48 814  | 48 814   |
| totali daN                          | 110 640 | 117 131  |
| differenza                          |         | 6 490    |
| percentuale                         |         | 0,06     |

**L'incremento di carico dovuto al cambio di destinazione è minore del 10%**

**per cui non ricorre l'obbligo dell'adeguamento (punto 8,4 delle NTC 2008)**

## ANALISI DEI CARICHI SULLE SCAFFALATURE

|                                     |           | ml. singolo<br>livello di<br>ripiani<br>(compattabili +<br>scaffalature fisse) | n.<br>ripiani | totale<br>ml.<br>Ripiani | capacità<br>deposito<br>libri per<br>ml.di<br>ripiano                               | capacità<br>a<br>totale<br>volumi | altezza<br>scaffalatura<br>(cm.) | peso elemento unitario<br>verticale scaffalatura (Kg<br>90/ml. A ripiano) su proiezione cm.<br>100X35 al netto del peso della<br>scaffalatura |
|-------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>sca<br/>ntin<br/>ato</b>         | ipotesi a | 371                                                                            | 5             | 1855                     | 33,33                                                                               | 61827                             | 216                              | 450                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi b | 371                                                                            | 6             | 2226                     | 33,33                                                                               | 74193                             | 256                              | 540                                                                                                                                           |
| <b>pian<br/>o<br/>rialz<br/>ato</b> | ipotesi a | 182                                                                            | 5             | 910                      | 33,33                                                                               | 30330                             | 216                              | 450                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi b | 182                                                                            | 6             | 1092                     | 33,33                                                                               | 36396                             | 256                              | 540                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi c | 182                                                                            | 7             | 1274                     | 33,33                                                                               | 42462                             | 296                              | 630                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi d | 182                                                                            | 8             | 1456                     | 33,33                                                                               | 48528                             | 336                              | 720                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi e | 182                                                                            | 9             | 1638                     | 33,33                                                                               | 54595                             | 376                              | 810                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi f | 182                                                                            | 10            | 1820                     | 33,33                                                                               | 60661                             | 416                              | 900                                                                                                                                           |
| <b>pri<br/>mo<br/>pian<br/>o</b>    | ipotesi a | 40                                                                             | 5             | 200                      | 33,33                                                                               | 6666                              | 216                              | 450                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi b | 7999                                                                           | 540           | 240                      |                                                                                     |                                   |                                  |                                                                                                                                               |
|                                     |           |                                                                                |               |                          | dhgt251659<br>264fLayout<br>InCell1fHid<br>den0fPseud<br>oInline0fLa<br>youtInCell1 |                                   |                                  |                                                                                                                                               |
|                                     |           |                                                                                |               |                          | 33,33                                                                               |                                   |                                  |                                                                                                                                               |
| <b>corr<br/>idoi<br/>o</b>          | ipotesi a | 16,5                                                                           | 5             | 82,5                     | 33,33                                                                               | 2750                              | 216                              | 450                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi b | 16,5                                                                           | 6             | 99                       | 33,33                                                                               | 3300                              | 256                              | 540                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi c | 16,5                                                                           | 7             | 115,5                    | 33,33                                                                               | 3850                              | 296                              | 630                                                                                                                                           |
|                                     | ipotesi d | 16,5                                                                           | 8             | 132                      | 33,33                                                                               | 4400                              | 336                              | 720                                                                                                                                           |

AVELLINO, 29/06/2017

---

*Il progettista strutturale*  
Ing. Rocco Orlando