

Azienda USL di Bologna  
Dipartimento Tecnico Patrimoniale  
Area Dipartimentale Tecnica

Fornitura, installazione di due TC-SPECT  
Palazzina H-MN di Medicina Nucleare -  
Ospedale Maggiore

OSPEDALE MAGGIORE DI BOLOGNA  
MEDICINA NUCLEARE

RINFORZO DELLA STRUTTURA DI DUE CAMPI DI SOLAIO DEL PIANO BASE

RELAZIONE DI CALCOLO

Relazione di sintesi degli elementi essenziali del progetto strutturale  
(All. B.2.2., D.G.R. Emilia-Romagna n. 1373 del 26 settembre 2011)

Bologna,

Il progettista delle strutture,

Dott. Ing. Daniele Biondi

STUDIO CECCOLI E ASSOCIATI  
Piazza di Porta Maggiore, 5 - 40137 Bologna  
tel. 051 399542 fax 051 399512 e.mail: [ceccoliassociati@ceccoliassociati.it](mailto:ceccoliassociati@ceccoliassociati.it)  
dott. ing. Daniele Biondi

## **1. PREMESSA**

Oggetto del presente progetto è una struttura metallica di rinforzo posta all'intradosso dei solai del piano base dell'edificio che ospita il reparto di Medicina Nucleare dell'ospedale Maggiore di Bologna.

L'intervento è propedeutico all'installazione di due apparecchiature di diagnostica, CT-SPECT, al piano superiore, il cui peso massimo è 7000 kg.

## **2. DATI E CRITERI GENERALI DI PROGETTO**

### **2.1. Normativa e riferimenti tecnici utilizzati**

#### **2.1.1. Norme di livello nazionale**

- D.M. Infrastrutture 14.01.2008 (NNTC)

“Nuove norme tecniche per le costruzioni.”

- Circ. Min. Infrastrutture n.617 CSLLPP del 02.02.2009

“Nuova circolare delle norme tecniche per le costruzioni.”

#### **2.1.2. Norme di livello regionale**

- L.R. Emilia-Romagna n. 19 del 30.10.2008, Direttive e documenti ad essa collegati

“Norme per la riduzione del rischio sismico.”

### **2.2. Contesto edilizio**

Gli edifici facenti parte dell'Ospedale Maggiore sono i seguenti:

|       |  |
|-------|--|
| 118   | CENTRALE 118                                 |
| A     | PADIGLIONE INFETTIVI/FISICA SANITARIA        |
| B     | CORPO CUCINE – MENSA                         |
| C     | PSICHIATRIA/PALAZZINA UFFICI                 |
| CAB   | CABINA ENEL                                  |
| D     | CORPO D                                      |
| E     | ANATOMIA PATOLOGICA                          |
| F     | MATERNITÀ                                    |
| G     | MAGAZZINI/RAMPE DI ACCESSO                   |
| H-AL  | MONOBLOCCO ALA LUNGA                         |
| H-AC  | MONOBLOCCO ALA CORTA                         |
| H-AMB | PALAZZINE AMBULATORI – INGRESSO – AULA MAGNA |
| L     | PALAZZINA AMBULATORI NUOVA                   |
| MN    | MEDICINA NUCLEARE                            |

|    |                                     |
|----|-------------------------------------|
| Q  | CHIESA CAMERA MORTUARIA             |
| S  | EDIFICIO DI ACCESSO                 |
| T  | CENTRALI TECNOLOGICHE ESTERNE       |
| VZ | ALLOGGIO PILOTI / HANGAR ELISOCORSO |

La loro collocazione nell'area dell'ospedale è riportata nella figura della pagina seguente.



L'edificio oggetto dell'intervento è quello codificato come

EDIFICIO MN: MEDICINA NUCLEARE.

La conformazione dell'edificio è rappresentata nella seguente vista fotografica.



### 2.3. Motivazione e principi generali di intervento

La scelta di realizzare una struttura di rinforzo del solaio del piano base è dovuta alla necessità per l'Azienda USL di alloggiare, su due campate del solaio stesso, due macchine CT-SPECT, il cui peso eccede in misura notevole quello delle attrezzature attualmente presenti nel reparto.

È opportuno rilevare che i solai interessati dall'intervento non presentano alcun segno di riduzione, per degrado dei materiali o per altro danno, della loro capacità portante di progetto.

L'intervento dunque ha come obiettivo l'incremento della capacità portante dei solai sino a renderli adatti ad assorbire una concentrazione di carico che, nella configurazione più sfavorevole dei macchinari, può giungere a circa 1000 kg/m<sup>2</sup>.

Per quanto riguarda la sicurezza globale della costruzione, l'incremento dei carichi non è significativo: l'area dei campi di solaio interessati è infatti pari a:

$$A = 5,90 \times 4,50 \sim 26,6 \text{ m}^2$$

mentre il peso massimo delle macchine e delle relative attrezzature è pari a 7000 kg.

L'incremento medio del carico sui singoli campi di solaio risulta quindi:

$$\Delta Q = 7000/26,6 = 263 \text{ kg/m}^2$$

inferiore al valore caratteristico del carico di progetto  $Q_k = 300 \text{ kg/m}^2$ .

Per quanto riguarda, infine, la sicurezza nei confronti delle azioni sismiche, l'apporto delle strutture metalliche aggiuntive, sia in termini di resistenza, sia in termini di rigidezza della struttura esistente, è del tutto trascurabile.

### 2.4. Classificazione dell'intervento

Per le ragioni sopra esposte, l'intervento progettato si classifica, secondo le definizioni date nel §8.4 del DM 14 gennaio 2008, come:

INTERVENTO LOCALE.

### 2.5. Descrizione dell'unità strutturale oggetto di intervento ed esito del rilievo geometrico strutturale.

L'edificio che ospita il reparto di Medicina Nucleare dell'Ospedale Maggiore è stato realizzato nel 1975 dalla Coop. Muratori di Mordano. Esso presenta n. 3 piani fuori terra e, unico fra gli edifici del complesso dell'ospedale, un piano interrato.

La struttura dell'edificio costituisce un'unità strutturale indipendente, completamente separata da quelle degli edifici adiacenti. In particolare, fra essa e l'adiacente palazzina ambulatori (H-AMB nella planimetria generale riportata nel precedente punto 2.2.) è presente un giunto costruttivo, di larghezza pari a circa 5 cm, ed esteso per tutta l'altezza dell'edificio.

STUDIO CECCOLI E ASSOCIATI  
Piazza di Porta Maggiore, 5 - 40137 Bologna  
tel. 051 399542 fax 051 399512 e.mail: [ceccoliassociati@ceccoliassociati.it](mailto:ceccoliassociati@ceccoliassociati.it)  
dott. ing. Daniele Biondi

La struttura portante è costituita da tre telai disposti longitudinalmente e collegati da alcune travi di collegamento (si vedano le allegate tavole del rilievo geometrico strutturale).

La struttura dei solai, di cui è stato possibile recuperare i disegni costruttivi, ha uno spessore pari a 30 cm; i travetti sono posti ad un interasse di 40 cm, e sono armati con

2 Ø12 (inf.) in mezzera,

2 Ø12 (sup) + 1 Ø12 (inf.) sugli appoggi.

La struttura dei solai è completata da un getto di conglomerato di spessore pari a circa 4 cm.

Le fondazioni sono costituite da travi rovesce in c.a.

## **2.6. Descrizione degli interventi di rinforzo da intradosso e loro fasi esecutive**

L'intervento di rinforzo da intradosso consiste nella realizzazione di un telaio metallico con orditura principale costituita da profili IPE 300 collegati alle travi dei telai longitudinali, ed orditura secondaria costituita da profili UPN 160 accoppiati e posti a contatto con il solaio.

La forzatura contro l'intradosso del solaio esistente avviene in corrispondenza di ciascun travetto con piastre collegate ai profili UPN 160 mediante barre filettate di serraggio.

La messa in carico dovrà avvenire secondo le seguenti fasi:

1. A solaio scarico, si eseguirà una prima forzatura della struttura metallica, esercitando una pressione equivalente a circa 160 kg/travetto, corrispondente alla quota del carico permanente attualmente presente sul solaio;
2. Al termine di tale fase dovranno essere poste in opera le puntellature necessarie per la successiva fase di posizionamento delle attrezzature nella loro sede definitiva.
3. A posizionamento avvenuto, parallelamente alle operazioni di rilascio dei puntelli, dovrà essere eseguita la seconda forzatura fino al completo recupero della freccia elastica delle secondarie. Il controllo della forzatura in questa fase dovrà avvenire mediante la misura sperimentale della freccia delle travi UPN 160.
4. A 24 ore dal completamento della seconda fasce di carico dovrà essere ripetuto il controllo della freccia delle travi, prevedendo un'eventuale ripresa della forzatura secondo le stesse modalità operative seguite nella fase precedente.

## **3. PROPRIETÀ DEI MATERIALI**

### **3.1. Strutture in cemento armato esistenti**

### 3.1.1. Conglomerato

Il conglomerato utilizzato è dichiarato dal costruttore sia mediante il dosaggio di cemento:

cemento 450 a 3 q/mc,

e sia mediante la classe di resistenza del conglomerato:

$$R_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2 = 30 \text{ MPa}$$

In assenza di affidabili prove sperimentali dirette, si assumono tali valori come base delle presenti valutazioni applicando il fattore di confidenza:

$$FC = 1,35,$$

corrispondente al livello di conoscenza

$$LC 1.$$

Quali valori caratteristici delle principali proprietà meccaniche del conglomerato esistente si assumono quindi:

|   |  |
|---|--|
| resistenza a compressione (cubica):     | $R_{ck} = 30/1,35 = 22,2 \text{ MPa} = 222 \text{ kg/cm}^2$                    |
| resistenza a compressione (cilindrica): | $f_{ck} = 22,2 \times 0,83 = 18,4 \text{ MPa} = 184 \text{ kg/cm}^2$           |
| resistenza a trazione:                  | $f_{ctk} = 0,21 \times 18,4^{0,667} = 1,47 \text{ MPa} = 14,7 \text{ kg/cm}^2$ |
| modulo di Young                         | $E_c = 22000 [(18,4+8)/10]^{0,3} = 29400 \text{ MPa} = 294000 \text{ kg/cm}^2$ |

Il coefficiente riduttivo per carichi di lunga durata è

$$\alpha_{cc} = 0,85;$$

Il coefficiente parziale è

$$\gamma_c = 1,50,$$

Da cui la resistenza di calcolo:

$$f_{cd} = 0,85 \times 18,4 / 1,50 = 10,4 \text{ MPa} = 104 \text{ kg/cm}^2$$

### 3.1.2. Acciaio in barre per armatura

L'armatura dei solai è realizzata con acciaio di classe

FeB44k

I valori caratteristici delle proprietà meccaniche sono:

|                       |  |
|-----------------------|--|
| limite di snervamento | $f_{yk} = 430 \text{ MPa} = 4300 \text{ kg/cm}^2$    |
| limite di rottura     | $f_{tk} = 540 \text{ MPa} = 5400 \text{ kg/cm}^2$    |
| modulo di Young       | $E_s = 210000 \text{ MPa} = 2100000 \text{ kg/cm}^2$ |

Il coefficiente parziale è

$$\gamma_s = 1,15,$$

Da cui la resistenza di calcolo:

$$f_{yd} = 430 / 1,15 = 374 \text{ MPa} = 3740 \text{ kg/cm}^2$$

Poiché la struttura è stata favorevolmente collaudata ai sensi della L 1086/1971, e data l'assenza di segni significativi di deterioramento, non si è applicato alcun fattore di confidenza ai valori della resistenza di progetto.

### 3.2. Strutture in carpenteria metallica di nuova realizzazione

#### 3.2.1. Acciaio per carpenteria

|                        |                              |                           |  |
|------------------------|------------------------------|---------------------------|--|
| classe:                | S275                         |                           |  |
| limite di snervamento: | $f_{yk} = 275 \text{ MPa} =$ | $2750 \text{ kg/cm}^2$    |  |
| limite di rottura:     | $f_{tk} = 430 \text{ MPa} =$ | $4300 \text{ kg/cm}^2$    |  |
| modulo di Young:       | $E_s = 210000 \text{ MPa} =$ | $2100000 \text{ kg/cm}^2$ |  |

Il coefficiente parziale è

$$\gamma_s = 1,05,$$

Da cui la resistenza di calcolo:

$$f_{yd} = 275 / 1,05 = 262 \text{ MPa} = 2620 \text{ kg/cm}^2$$

#### 3.2.2. Acciaio per bulloni e barre filettate

|                        |                            |                        |  |
|------------------------|----------------------------|------------------------|--|
| classe:                | 8.8                        |                        |  |
| limite di snervamento: | $f_{yb} = 649 \text{ MPa}$ | $6490 \text{ kg/cm}^2$ |  |
| limite di rottura:     | $f_{tb} = 800 \text{ MPa}$ | $8000 \text{ kg/cm}^2$ |  |

Il coefficiente parziale per la resistenza delle unioni è

$$\gamma_M = 1,25.$$

#### 3.2.3. Saldature

Si applicano tutti i requisiti contenuti nel §11.3.4.5 del DM 14.01.2008. In particolare:

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Livello di qualità:      | Livello C (UNI EN ISO 5817:2004)            |
| Processi di saldatura:   | arco elettrico (UNI EN ISO 4063:2001)       |
| Qualifica dei processi:  | UNI EN ISO 15614-1:2005 / EN ISO 14555:2001 |
| Qualifica dei saldatori: | UNI EN 287-1:2004 / UNI EN 1418:1999        |
| Requisiti di esecuzione: | UNI EN 1011:2005                            |
| Preparazione dei lembi:  | UNI EN ISO 9692-1:2005                      |

## 4. VALUTAZIONE DELLA STRUTTURA ESISTENTE

Si esegue la verifica della sicurezza dei solai esistenti soggetti alle azioni accidentali previste dalle vigenti norme tecniche (DM 14 gennaio 2008).

#### 4.1. Analisi dei carichi

##### 4.1.1. Peso proprio della struttura

Dal rilievo geometrico strutturale si ricava:

|                         |                         |                             |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| peso dei travetti:      | 1,80 kPa =              | 180 kg/m <sup>2</sup>       |
| peso delle pignatte:    | 0,50 kPa =              | 50 kg/m <sup>2</sup>        |
| getto di completamento: | 1,00 kPa =              | 100 kg/m <sup>2</sup>       |
| <b>sommano:</b>         | <b>G1k = 3,30 kPa =</b> | <b>330 kg/m<sup>2</sup></b> |

##### 4.1.2. Carico permanente

|                            |                         |                             |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| sottofondi:                | 1,50 kPa =              | 150 kg/m <sup>2</sup>       |
| pavimenti:                 | 0,50 kPa =              | 50 kg/m <sup>2</sup>        |
| intonaci e controsoffitti: | 0,50 kPa =              | 50 kg/m <sup>2</sup>        |
| impianti:                  | 0,10 kPa =              | 10 kg/m <sup>2</sup>        |
| <b>sommano:</b>            | <b>G2k = 2,60 kPa =</b> | <b>260 kg/m<sup>2</sup></b> |

##### 4.1.3. Carico accidentale

|   |                        |                             |
|---|------------------------|-----------------------------|
| <b>Ospedali (§3.1.4. DM 14 gennaio 2008):</b> | <b>Qk = 3,00 kPa =</b> | <b>300 kg/m<sup>2</sup></b> |
|---|------------------------|-----------------------------|

##### 4.1.4. Stati limite

Si considera la sola combinazione fondamentale di stato limite ultimo (SLU):

$$1,30 G1k + 1,30 G2k + 1,50 Qk$$

cui corrisponde il carico totale uniformemente distribuito sul solaio:

$$p = 12,17 \text{ kPa} = 1217 \text{ kg/m}^2.$$

#### 4.2. Sollecitazioni di calcolo

Si considera il singolo travetto, su cui agisce in condizioni di SLU il carico lineare:

$$q = 1217 \times 0,40 = 487 \text{ kg/m}$$

Con riferimento allo schema di trave semplicemente appoggiata, considerando la luce netta

$$l = 4,90 \text{ m},$$

si ricava:

$$M_{Ed} = q l^2 / 8 = 1462 \text{ kgm}$$

$$V_{Ed} = q l / 2 = 1193 \text{ kg} \sim 1200 \text{ kg}$$

#### 4.3. Verifiche di sicurezza

Si eseguono le verifiche a momento flettente e taglio del singolo travetto.



#### 4.3.1. Verifica a momento flettente

Il travetto ha sezione 30 x 8 cm ed è armato in zona tesa, sia in mezzzeria che in appoggio, con:

$$A_s = 2 \text{ } \varnothing 12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

L'altezza utile è:

$$h = 27 \text{ cm}$$

La resistenza a momento flettente (si veda il foglio di calcolo riportato in calce alla presente relazione) è:

$$M_{Rd} = 1700 \text{ kgm} > M_{Ed}$$

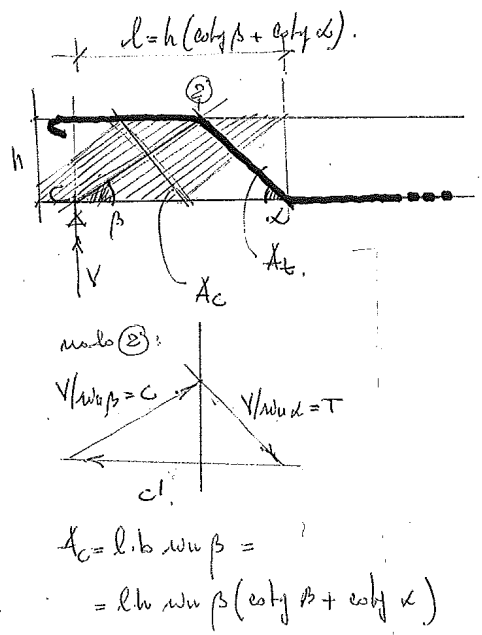
#### 4.3.2. Verifica a taglio

La resistenza a taglio in assenza di armature trasversali risulta (si veda il foglio di calcolo riportato in calce alla presente relazione) risulta:

$$V_{Rc} \sim 9,00 \text{ kN} = 900 \text{ kg} < V_{Ed}.$$

Per tale ragione è essenziale la presenza della barra piegata  $\varnothing 12$ .

Si procede dunque secondo lo schema reticolare mostrato in figura.



Il valore del taglio che determina la crisi della biella compressa è:

$$V_{RC} = f_c' b h \sin^2 \beta (\cotg \beta + \cotg \alpha)$$

dove:

$$f_c' = 0,5 f_{cd} = 0,5 \times 104 = 52 \text{ kg/cm}^2;$$

$$b = 8 \text{ cm};$$

$$h = 27 \text{ cm};$$

$$\alpha = 45^\circ;$$

$$\beta = 17,7^\circ;$$

da cui:

$$V_{RC} = 1779 \text{ kg},$$

Il valore del taglio che determina la crisi dell'armatura è:

$$V_{RT} = A_{sw} f_{yd} \sin \alpha$$

dove:

$$A_{sw} = 1,13 \text{ cm}^2;$$

$$f_{yd} = 3740 \text{ kg/cm}^2;$$

da cui:

$$V_{RT} = 2960 \text{ kg}.$$

Si ha, in definitiva:

$$V_{Rd} = \min ( V_{RC} , V_{RT} ) = 1779 \text{ kg} > V_{Ed}.$$

## **5. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA STRUTTURA DI RINFORZO**

### **5.1. Impostazione**

Il progetto della struttura metallica di rinforzo è condotto in modo da garantire il sostegno dell'intero peso delle nuove macchine nella loro configurazione più sfavorevole.

Il trasferimento del carico dal solaio esistente alla nuova struttura è operato mediante forzatura con controllo della deformazione dei nuovi travetti metallici.

Al solaio esistente restano affidati i pesi propri e permanenti già gravanti su di esso e la quota residua degli accidentali dovuta al normale utilizzo degli ambienti.

### **5.2. Carichi di progetto**

Il carico di progetto per le nuove attrezzature è stimato, nella loro configurazione più sfavorevole in complessivi:

$$Q_k = 7000 \text{ kg}$$

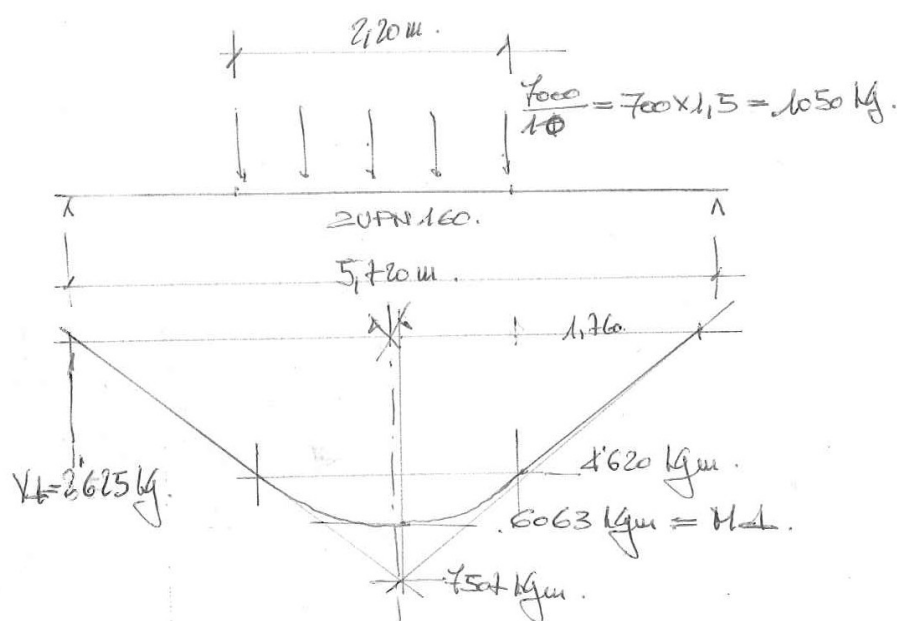
per ciascun campo di solaio.

Esso insiste su una superficie rettangolare di dimensioni 3,20 x 2,20 m, per una pressione media pari a 994,3 kg/m<sup>2</sup>.

### 5.3. Verifiche della struttura metallica

#### 5.3.1. Travetti IPE 160

Nella configurazione più sfavorevole il carico si distribuisce su n = 5 travetti. Per ciascuna coppia di travi UPN 160, si perviene allo schema di calcolo seguente:



da cui:

$$V_{Ed} = 2625 \text{ kg};$$

$$M_{Ed} = 6063 \text{ kgm}.$$

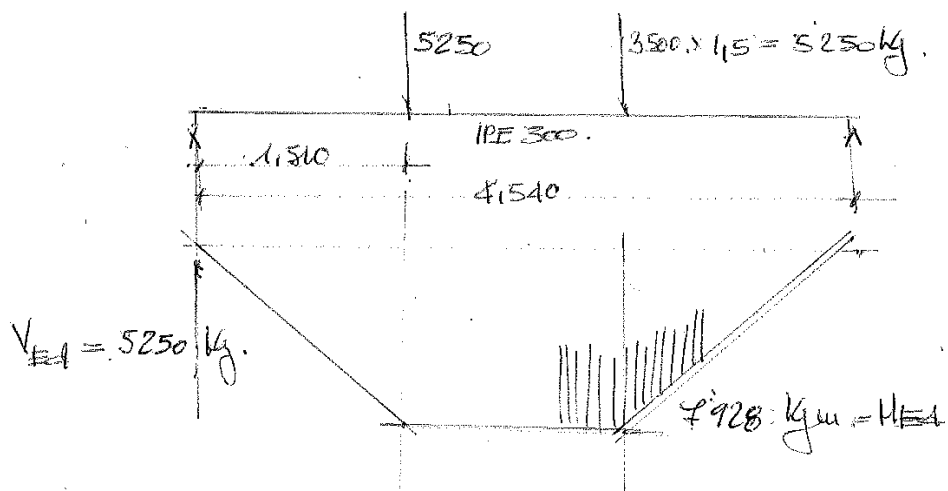
Per la coppia di UPN160 si ha:

$$V_{Rd} = 2 \times 16 \times 0,75 \times 2620 = 62880 \text{ kg} \gg V_{Ed};$$

$$M_{Rd} = 2 \times 116 \times 2620 = 607800 \text{ kgcm} = 6178 \text{ kgm} > M_{Ed}.$$

#### 5.3.2. Travi IPE 300

Nella configurazione più sfavorevole il carico si considera interamente affidato ad una trave principale IPE 300; si perviene quindi allo schema di calcolo seguente:



da cui:

$$V_{Ed} = 5250 \text{ kg};$$

$$M_{Ed} = 7928 \text{ kgm}.$$

Per il profilo IPE300si ha:

$$V_{Rd} = 30 \times 0,70 \times 2620 = 55000 \text{ kg} \gg V_{Ed};$$

$$M_{Rd} = 557 \times 2620 = 1459300 \text{ kgcm} = 14593 \text{ kgm} > M_{Ed}.$$

### 5.3.3. Colonne HE 160B

Le colonne sono realizzate con profili HE160 B di acciaio S275.

Il carico assiale di progetto è:

$$N_{Ed} = 5250 \text{ kg}.$$

Esso è evidentemente inferiore alla resistenza massima del profilo. Si riporta in ogni modo di seguito la verifica secondo il procedimento previsto dalle norme (§4.2.4.1.3.1. DM 14.01.2008).

La sezione è classificata (§4.2.3.1. DM 14.01.2008) come:

classe 1,

infatti, con la simbologia della norma:

- per l'anima:  $c/t = 134/8 = 16,75 < 33\varepsilon = 33 \times 0,924 = 30,49$ ;
- per l'ala:  $c/t = 61/13 = 4,69 < 9\varepsilon = 8,316$ .

Si considera a favore di sicurezza un'altezza libera pari a

$$l_{cr} = 4,00 \text{ m}.$$

Il carico critico di Eulero è:

$$N_{cr} = \pi^2 EJ/lcr^2 = \pi^2 2100000 \times 889 / (400)^2 = 115000 \text{ kg}$$

da cui:

$$\lambda' = \sqrt{(54,3 \times 2750 / 115000)} = 1,14$$

e quindi (curva di imperfezione “c”):

$$\Phi = 0,5 [ 1 + 0,49 \times (1,14 - 0,2) + 1,14^2 ] = 1,38$$

$$\chi = 1 / ( 1,38 + \sqrt{(1,38^2 - 1,14^2)} ) = 0,46.$$

ed infine:

$$N_{b,Rd} = 0,46 \times 54,3 \times 2620 = 65440 \text{ kg} \gg N_{Ed}.$$

Azienda USL di Bologna  
Dipartimento Tecnico Patrimoniale  
Area Dipartimentale Tecnica

Fornitura, installazione di due TC-SPECT  
Palazzina H-MN di Medicina Nucleare -  
Ospedale Maggiore

## ALLEGATI