



MINISTERO DELLA DIFESA

MARINACCAD LIVORNO

SERVIZIO TECNICO INFRASTRUTTURE

LIVORNO – ACCADEMIA NAVALE - LAVORI DI “AMMODERNAMENTO ED ADEGUAMENTO PALAZZO STUDI AULE ARMI II E III” – Cod. ID 3518
- Cap. 7120/28 SMM – E.F. 2026

PROGETTO ESECUTIVO



DESCRIZIONE: RELAZIONE TECNICA GRADONATA

DISCIPLINA: DOCUMENTI GENERALI

DATA: 14/04/2026

SCALA: -----

TAVOLA: **GEN-05**

PROGETTISTI:
T.V (INFR) Claudio BATTIATO

S.T.V. (INFR) Gianluca GIORDANO

S.T.V. (INFR) Alessio BIANCHI

1° M.I. ATG TUMA Rocco

RUP:
C.F. (INFR) Domenico Egidio MAGGI

Firmato Digitalmente da/Signed by:
DOMENICO EGIDIO MAGGI

In Data/On Date:
martedì 28 aprile 2026 12:23:15

REVISIONE	DATA	RIFERIMENTO REVISIONE
04	14/04/2026	REVISIONE 03
03	26/03/2026	REVISIONE 02

RELAZIONE DI VERIFICA ESECUTIVA

VERIFICA STRUTTURALE DELL'IMPALCATO MAGGIORMENTE SOLLECITATO, DEI MONTANTI, DEL NODO IMBULLONATO TRA ELEMENTI DEI PIEDINI E DELLA SALDATURA TRA TRAVI HEA COSTITUENTI LA GRADONATA DELL'AULA DIDATTICA ARMI II E ARMI III DI PALAZZO STUDI.

Sommario

2. PREMESSA	2
3. DATI DI PROGETTO	2
4. RIFERIMENTI NORMATIVI E COMBINAZIONI DI CALCOLO.....	3
5. CARICHI SULLA TRAVE DELLA MAGLIA MAGGIORMENTE SOLLECITATA.....	3
6. PROPRIETÀ DELLA SEZIONE HEA 100 ADOTTATA	4
7. VERIFICA SLU DELLA TRAVE HEA 100.....	4
8. VERIFICHE SLE DELLA TRAVE HEA 100.....	5
9. VERIFICA DEL MONTANTE	5
10. VERIFICA PRELIMINARE DEL NODO IMBULLONATO.....	6
11. VERIFICA PRELIMINARE DELLA SALDATURA TRA TRAVI HEA	7
12. CONTROLLO GLOBALE DI COERENZA	7
13. CONCLUSIONI	8

1. PREMESSA

La presente relazione sviluppa in forma organica e coerente le verifiche strutturali preliminari della gradonata didattica, assumendo come elemento di riferimento l'impalcato modulare maggiormente sollecitato. Le verifiche sono svolte in termini di Stati Limite Ultimi (SLU) e Stati Limite di Esercizio (SLE), con esplicitazione dei dati di progetto, dei carichi, delle ipotesi di calcolo, delle proprietà geometriche adottate e dei risultati numerici. Sono inoltre riportate una verifica preliminare del nodo imbullonato tra gli elementi dei piedini e una verifica preliminare del collegamento saldato tra travi HEA. Si evidenzia che tutte le verifiche e i dimensionamenti riportati nella presente relazione sono stati svolti sulla base delle assunzioni progettuali e del livello di definizione sviluppato. Prevedendo il progetto la possibilità di proposte migliorative, sulla base dell'innovazione tecnologica, in fase esecutiva, a seguito della definizione dei particolari costruttivi, delle caratteristiche dei componenti e dei sistemi costruttivi che saranno proposti dall'impresa esecutrice e approvati dalla Direzione Lavori, dovrà essere effettuato il ricalcolo della struttura con conseguente aggiornamento delle verifiche, al fine di confermare la piena rispondenza dell'opera alle prestazioni richieste e alle normative vigenti. Ove possibile, ciò dovrà essere svolto privilegiando sistemi e componenti di produzione standardizzata e certificati per l'impiego previsto.

2. DATI DI PROGETTO

Sulla base degli elaborati esecutivi degli impalcati, e dai dati di progetto, per le gradonate delle Aule Armi II e III si assumono:

Parametro	Simbolo e Valore
Numero studenti complessivo	132
Peso convenzionale per studente	P_k 100 kg
Superficie aula	A_{aula} 120 m ² (area gradonata)
Carico variabile normativo di progetto (come da NTC 12018)	q_k 5,00 kN/m ²
Dimensioni della maglia più sollecitata	$L \times b$ 1,09 m \times 0,90 m
Area della maglia	A 0,981 m ²
Travi impalcato	HEA 100 in acciaio S275
Montanti / piedini	tubolare quadro 90 \times 90 \times 3 mm
Altezza massima montanti	h 1,20 m
Peso permanente rivestimento impalcato	$g_{k,p}$ 0,50 kN/m ² = 50 kg/m ²
Peso permanente banchini	$g_{k,b}$ 0,50 kN/m ² = 50 kg/m ²
Peso proprio trave HEA 100	g_k , 0,164 kN/m

Il carico reale medio associato a 132 studenti da 100 kg distribuiti sull'intera aula di 120 m² risulta pari a:

$$Q_{\text{studenti}} = 132 \cdot 1,00 = 132 \text{ kN}$$

$$q_{\text{medio, reale}} = 132 / 120 = 1,10 \text{ kN/m}^2$$

La verifica viene tuttavia eseguita con il carico normativo più gravoso $q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$, che governa la progettazione dell'impalcato e porta ad un'impostazione cautelativa.

Il carico variabile è pertanto assunto pari a 500 kg/m^2 , corrispondente a $5,00 \text{ kN/m}^2$.

Tale valore coincide con il sovraccarico verticale uniformemente distribuito q_k previsto dalle NTC 2018 per la categoria C5, relativa ad aree suscettibili di grandi affollamenti, incluse tribune e gradinate.

Le verifiche sono svolte agli stati limite ultimi e di esercizio con riferimento a una maglia strutturale elementare. Ai fini dello studio dei nodi dei nodi, si adotta lo schema statico cautelativo di trave semplicemente appoggiata.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI E COMBINAZIONI DI CALCOLO

Le verifiche sono impostate assumendo i criteri generali delle NTC 2018 per ambienti suscettibili di affollamento / gradinate e per elementi in carpenteria metallica. Per le combinazioni di carico si assume una distinzione tra peso proprio strutturale G_1 , carichi permanenti non strutturali G_2 e carico variabile Q_k .

Combinazione fondamentale SLU:

$$E_d = \gamma G_1 \cdot G_1 + \gamma G_2 \cdot G_2 + \gamma Q \cdot Q_k$$

$$q_d = 1,30 \cdot G_1 + 1,50 \cdot G_2 + 1,50 \cdot Q_k$$

Combinazioni SLE:

$$q_{sle,rara} = G_1 + G_2 + Q_k$$

$$q_{sle,freq} = G_1 + G_2 + \psi_1 \cdot Q_k = G_1 + G_2 + 0,70 \cdot Q_k$$

$$q_{sle,qp} = G_1 + G_2 + \psi_2 \cdot Q_k = G_1 + G_2 + 0,60 \cdot Q_k$$

4. CARICHI SULLA TRAVE DELLA MAGLIA MAGGIORMENTE SOLLECITATA

Si verifica la direzione più sfavorevole, cioè la trave con luce $L = 1,09 \text{ m}$ e fascia di influenza pari a $b = 0,90 \text{ m}$. La direzione da $0,90 \text{ m}$ risulta automaticamente più favorevole.

$$G_{1,trave} = 0,164 \text{ kN/m}$$

$$G_{2,piano} = 0,50 \cdot 0,90 = 0,450 \text{ kN/m}$$

$$G_{2,banchini} = 0,50 \cdot 0,90 = 0,450 \text{ kN/m}$$

$$Q_k = 5,00 \cdot 0,90 = 4,500 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,tot} = 0,164 + 0,450 + 0,450 = 1,064 \text{ kN/m}$$

$$q_d = 1,30 \cdot 0,164 + 1,50 \cdot 0,450 + 1,50 \cdot 0,450 + 1,50 \cdot 4,500 = 8,133 \text{ kN/m}$$

$$q_{sle,rara} = 0,164 + 0,450 + 0,450 + 4,500 = 5,564 \text{ kN/m}$$

$$q_{sle,freq} = 0,164 + 0,450 + 0,450 + 0,70 \cdot 4,500 = 4,214 \text{ kN/m}$$

$$q_{sle,qp} = 0,164 + 0,450 + 0,450 + 0,60 \cdot 4,500 = 3,764 \text{ kN/m}$$

5. PROPRIETÀ DELLA SEZIONE HEA 100 ADOTTATA

Per il profilo HEA 100 si assumono le proprietà del tipo HE 100 A (serie HE) riportate nei prospetti del produttore.

Parametro	Simbolo	Valore
Massa lineare	G	16,7 kg/m
Momento d'inerzia asse forte	I _y	349,2 cm ⁴
Modulo resistente elastico asse forte	W _{el,y}	72,75 cm ³
Acciaio di calcolo	f _y	275 MPa
Modulo elastic	E	210000 MPa

Si sceglie tale sezione, per il predimensionamento perché di facile reperimento sul mercato ed adatta agli scopi realizzativi, in quanto ampiamente impiegata per impalcati. Si specifica che dai risultati ottenuti, la struttura è risultata efficace, tuttavia sarà possibile ottimizzare ulteriormente la struttura, previa fornitura di ulteriori calcoli cura Ditta esecutrice.

6. VERIFICA SLU DELLA TRAVE HEA 100

Schema statico adottato: trave semplicemente appoggiata con carico uniformemente distribuito.

Per una trave appoggiata:

$$M_{Ed} = q_d \cdot L^2 / 8$$

$$V_{Ed} = q_d \cdot L / 2$$

$$M_{Ed} = 8,133 \cdot 1,09^2 / 8 = 1,208 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 8,133 \cdot 1,09 / 2 = 4,433 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 72,75 \cdot 10^3 \cdot 275 / 10^6 = 20,01 \text{ kNm}$$

$$\eta_M = M_{Ed} / M_{Rd} = 1,208 / 20,01 = 0,060$$

Esito SLU trave:

La verifica a flessione risulta largamente soddisfatta; il grado di utilizzazione è pari a circa il 6,0%. La verifica a taglio risulta automaticamente soddisfatta, essendo $V_{Ed} = 4,433$ kN molto inferiore alla capacità resistente di una HEA 100.

7. VERIFICHE SLE DELLA TRAVE HEA 100

Per la freccia massima della trave appoggiata si utilizza la relazione:

$$f_{max} = 5 \cdot q \cdot L^4 / (384 \cdot E \cdot I)$$

Sostituendo $E = 210000$ MPa, $I = 349,2$ cm⁴ e le tre combinazioni SLE si ottengono i seguenti valori:

$$f_{rara} = 0,140 \text{ mm}$$

$$f_{freq} = 0,106 \text{ mm}$$

$$f_{qp} = 0,094 \text{ mm}$$

$$f_{lim} = L / 300 = 1090 / 300 = 3,63 \text{ mm}$$

Esito SLE trave:

Tutte le frecce risultano trascurabili rispetto al limite convenzionale $L/300$; anche la combinazione rara produce una deformazione largamente contenuta.

8. VERIFICA DEL MONTANTE

Verifica del montante $90 \times 90 \times 3$ mm

Per il montante si considera il caso cautelativo di nodo interno, con area tributaria pari ad una maglia completa $A = 0,981$ m² e altezza libera di inflessione pari a 1,20 m.

$$Q_{k,col} = 5,00 \cdot 0,981 = 4,905 \text{ kN}$$

$$G_{2,col} = (0,50 + 0,50) \cdot 0,981 = 0,981 \text{ kN}$$

$$G_{1,col,beams} \approx 0,164 \cdot (1,09 + 0,90) = 0,326 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1,30 \cdot 0,326 + 1,50 \cdot 0,981 + 1,50 \cdot 4,905 = 9,258 \text{ kN}$$

Proprietà del tubolare quadro $90 \times 90 \times 3$ mm:

$$A = 90^2 - 84^2 = 1044 \text{ mm}^2$$

$$I = (90^4 - 84^4) / 12 = 1,318 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i = \sqrt{I/A} = 35,5 \text{ mm}$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1044 \cdot 275 / 1000 = 287 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot I / L^2 = 1898 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{(A \cdot f_y / N_{cr})} = 0,389$$

$$\chi \approx 0,93$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} \approx 0,93 \cdot 1044 \cdot 275 / 1000 = 267 \text{ kN}$$

$$\eta_N = N_{Ed} / N_{b,Rd} = 9,258 / 267 = 0,035$$

Esito SLU montante

Il montante è ampiamente verificato sia a resistenza di sezione sia a stabilità che per carico assiale centrato.

9. VERIFICA PRELIMINARE DEL NODO IMBULLONATO

Il collegamento tra elementi dei piedini dei banchi è assunto realizzato mediante piastrina e n. 2 bulloni M12 classe 8.8. In assenza del dettaglio costruttivo definitivo si adotta una verifica cautelativa con foro normale $d_0 = 13 \text{ mm}$, spessore efficace $t = 3 \text{ mm}$, distanza dal bordo $e_1 = 30 \text{ mm}$ ed interasse $p_1 = 60 \text{ mm}$.

Si assume un'azione di progetto cautelativa sul nodo pari a 5,0 kN.

Verifica a taglio bulloni:

$$A_s = 84,3 \text{ mm}^2 ; f_{ub} = 800 \text{ MPa} ; \gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot 800 \cdot 84,3 / 1,25 = 32,37 \text{ kN per bullone}$$

$$F_{v,Rd,tot} = 2 \cdot 32,37 = 64,74 \text{ kN}$$

$$\eta_v = 5,0 / 64,74 = 0,077$$

Verifica a rifollamento / bearing:

$$f_u = 430 \text{ MPa} ; d = 12 \text{ mm} ; t = 3 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} \approx 23,8 \text{ kN per bullone}$$

$$F_{b,Rd,tot} \approx 47,6 \text{ kN}$$

$$\eta_b = 4,43 / 47,6 = 0,093$$

Esito nodo imbullonato

Il nodo imbullonato preliminare con 2 bulloni M12 classe 8.8 risulta ampiamente verificato sia a taglio sia a rifollamento.

10. VERIFICA PRELIMINARE DELLA SALDATURA TRA TRAVI HEA

Per il collegamento saldato tra elementi HEA si assume una giunzione con due cordoni d'angolo paralleli, spessore di gola efficace $a = 4$ mm e lunghezza utile $l = 60$ mm per ciascun cordone.

$$f_u = 430 \text{ MPa} ; \beta_w = 0,85 ; \gamma_{Mw} = 1,25$$

$$F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l \cdot f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3})$$

$$F_{w,Rd} = 2 \cdot 4 \cdot 60 \cdot 430 / (0,85 \cdot 1,25 \cdot 1,732) = 112,3 \text{ kN}$$

$$\eta_w = 4,43 / 112,3 = 0,039$$

Esito saldatura.

La saldatura tra travi HEA risulta ampiamente verificata rispetto alle azioni di progetto considerate.

11. CONTROLLO GLOBALE DI COERENZA

$$\text{Numero minimo di maglie richiesto} = 132 / 3 = 44$$

$$\text{Area totale corrispondente} = 44 \cdot 0,981 = 43,16 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso totale studenti} = 132 \cdot 100 = 13200 \text{ kg} = 129,4 \text{ kN}$$

$$\text{Carico medio reale su area totale maglie} = 129,4 / 43,16 = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

Il progetto viene verificato con $5,00 \text{ kN/m}^2$, cioè con un valore significativamente superiore al carico medio reale atteso sulle sole maglie occupate.

Prescrizioni esecutive

I bulloni dovranno essere conformi alla classe 8.8, con serraggio controllato. Le saldature dovranno essere eseguite in officina da personale qualificato. Il peso reale della stratigrafia di impalcato e dei banchini dovrà essere confermato in fase esecutiva finale. Gli ancoraggi alla struttura di supporto e la verifica del solaio esistente restano esclusi dal presente elaborato e dovranno essere verificati separatamente.

12. CONCLUSIONI

Sulla base dei dati di progetto oggi disponibili, la gradonata didattica con maglie strutturali $1,09 \times 0,90$ m, travi HEA 100 e montanti $90 \times 90 \times 3$ mm risulta ampiamente verificata agli stati limite ultimi ed agli stati limite di esercizio per il carico di progetto pari a $5,00 \text{ kN/m}^2$, includendo il contributo permanente dei banchini pari a 50 kg/m^2 .

Le travi presentano un grado di utilizzazione a flessione di circa il 6,0% e deformazioni estremamente contenute; i montanti risultano verificati con un grado di utilizzazione assiale di circa il 3,5%; il nodo imbullonato e la saldatura tra travi HEA risultano a loro volta ampiamente verificati.