

POLITECNICO DI MILANO – CAMPUS LEONARDO

OPERE STRUTTURALI NELL'AMBITO DELLA **REALIZZAZIONE DI IMPIANTI DI RAFFRESCAMENTO** **AULE DELL'EDIFICIO 3 (AULE SUD)**

CANTIERE SITO IN:
MILANO – PIAZZA LEONARDO DA VINCI 32

RELAZIONE ILLUSTRATIVA, DEI MATERIALI E DI CALCOLO
(AI SENSI DELLA L.1086/71 E DEL D.M. 14.01.'08)

IL PROGETTISTA DELLE STRUTTURE:

IL DIRETTORE DEI LAVORI DELLE STRUTTURE:

1 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

1.1 GENERALITÀ

Oggetto della presente relazione sono le opere strutturali finalizzate alla messa in opera di impianti di raffrescamento nell'edificio 3 (edificio sud) all'interno del Campus Leonardo del Politecnico di Milano, piazza Leonardo da Vinci n° 32.

Le aule interessate dall'intervento sono le seguenti:

- Edificio 3 – Piano rialzato – Aule S.0.2 – S.0.4 – S.0.5
- Edificio 3 – Piano 1° – Aule S.1.1 – S.1.2 – S.1.3 – S.1.4 – S.1.5 – S.1.6 – S.1.8
- Edificio 3 – Piano 2° – Aule S.2.1 – S.2.2 – S.2.3 – S.2.4

Ad eccezione dell'aula S.0.2 a piano rialzato, peraltro non oggetto di intervento di adeguamento strutturale, tutti gli impianti all'interno delle aule verranno posizionati a plafone, al di sotto dei solai esistenti.

Caso per caso è stata valutata la capacità portante degli orizzontamenti e la necessità e modalità di intervento strutturale.

Gli interventi saranno sostanzialmente di due tipologie:

- posa di profili metallici collegati all'intradosso dei solai esistenti ai quali pendinare i macchinari.
- realizzazione di nuovi impalcati metallici per l'appoggio dei macchinari, poggiati direttamente dalle strutture portanti verticali esistenti, senza aggravio di sollecitazioni sugli orizzontamenti.

Nei paragrafi seguenti verranno esposti nel dettaglio i vari interventi strutturali. Si rimanda agli elaborati grafici per quanto qui non specificato.

1.2 PIANO RIALZATO – AULE S.0.4 – S.0.5

Il solaio di copertura di queste due aule è costituito da un soletta piena in c.a. che poggia su travi secondarie ribassate disposte in direzione longitudinale a passo 2.40m a loro volta sorrette da travi principali, pure ribassate, disposte in direzione trasversale a passo 5.60m. Le travi principali hanno luce pari a 9.70m e sono in semplice appoggio sulle murature portanti perimetrali; presentano un ribasso pari a ~30×60cm.

Il carico attualmente presente sul solaio è stimato pari a **1200 kg/mq¹**, suddiviso in:

- | | |
|------------------------|-----------|
| - Peso proprio solaio: | 450 kg/mq |
| - Permanenti: | 250 kg/mq |
| - Accidentali: | 500 kg/mq |

L'intervento in progetto prevede l'applicazione a plafone, oltre che dei macchinari per il raffrescamento con i relativi staffaggi, anche di un controsoffitto con corpi illuminanti.

Per consentire un'agevole messa in opera degli impianti, verranno posizionati dei profili metallici HEA120 in direzione longitudinale a passo 2.25m all'intradosso del solaio; i nuovi profili verranno collegati direttamente alle travi principali in c.a., tramite un'opportuna carpenteria metallica bullonata, e costituiranno l'appoggio per le staffature in direzione trasversale cui appendere gli impianti.

L'incremento di carico complessivo sul solaio risulta pari a **85 kg/mq²**, suddiviso in:

- | | |
|-------------------------|----------|
| - Impianti distribuiti: | 50 kg/mq |
|-------------------------|----------|

¹ Per i dettagli sull'entità e sull'analisi dei carichi si rimanda al par. 4.2.

² Per i dettagli sull'entità e sull'analisi dei carichi si rimanda al par. 4.2.

- Peso Proprio profili ripartizione:	15 kg/mq
- staffaggi, illuminazione, ecc.:	10 kg/mq
- Controsoffitto:	10 kg/mq

L'**incremento** di carico in percentuale risulta quindi del **7.1%** e, a giudizio dello scrivente, è pienamente ammissibile e non comporta la necessità di realizzare rinforzi strutturali del solaio.

1.3 PIANO 1° – AULE S.1.2 – S.1.3 – S.1.4 – S.1.5 – S.1.6

La struttura portante metallica del solaio di copertura di queste aule è realizzata con profili secondari IPE160 in direzione longitudinale a passo 2.00m sorretti da profili principali a doppio T in direzione trasversale disposti a passo variabile da 2.80 a 3.00m e con luce pari a 9.70m.

I profili metallici principali a questo livello sono parte di un telaio metallico presente al piano superiore, messo in opera nell'ambito di un intervento di sopraelevazione avvenuto nella prima metà degli anni 60. Come detto le travi del solaio sono a doppio T, alte 55cm e larghe 25cm, e sono realizzate con piatti saldati di spessore 10mm.

Il carico attualmente presente sul solaio è stimato pari a **1100 kg/mq²**, suddiviso in:

- Peso proprio solaio:	350 kg/mq
- Permanenti:	250 kg/mq
- Accidentali:	500 kg/mq

L'intervento in progetto prevede la messa in opera di profili HEA100 in direzione longitudinale analogamente a quanto fatto al piano inferiore. In questo caso verranno posizionati solo due allineamenti di profili, alle due estremità superiore e inferiore, in adiacenza alle murature perimetrali, in quanto le staffature per gli impianti nella zona centrale del solaio potranno essere agevolmente collegate direttamente ai profili metallici secondari esistenti.

L'incremento di carico complessivo³ sul solaio risulta pari a **70 kg/mq²**, suddiviso in:

- Impianti distribuiti:	50 kg/mq
- staffaggi, illuminazione, ecc.:	10 kg/mq
- Controsoffitto:	10 kg/mq

L'**incremento** di carico in percentuale risulta quindi del **6.3%** e quindi, anche per questo solaio non vi è la necessità di mettere in opera rinforzi strutturali.

1.4 PIANO 1° – AULE S.1.1 – S.1.8

La copertura di queste due aule, originariamente costituenti un'unica aula e attualmente divise da una tramezzo, è costituita da una volta in laterizio. L'intera superficie con copertura a volta ha pianta approssimativamente rettangolare di dimensioni 16.5×18.5m e presenta murature portanti in mattoni pieni sui quattro lati. Non essendo possibile appendere gli impianti direttamente alla copertura, si è optato per la realizzazione di un soppalco metallico sul quale poggiare gli impianti di condizionamento. Verrà soppalcata una superficie pari a ~120mq (6.5×18.5mq) corrispondente a circa il 40% della superficie complessiva delle due aule, nelle quale verranno concentrati gli impianti di condizionamento. Il soppalco sarà a quota +3.20m dal pavimento, all'altezza della lunetta delle finestre, per consentirne l'apertura.

Per la scelta della struttura portante del soppalco sono state valutate due diverse ipotesi.

³ In questo caso la quota parte di sovraccarico dovuta ai profili di ripartizione è trascurabile

Una prima ipotesi prevedeva il prolungamento di due dei quattro pilastri presenti al piano sottostante sui quali è impostato il solaio di calpestio di piano 1°. I pilastri sono posti a ~2.00m dal muro portante perimetrale ad una mutua distanza di ~14.00m. Sui nuovi montanti sarebbe stata realizzata una trave principale di spina; i traversi in direzione ortogonale sarebbero stati impostati sulla muratura perimetrale e sulla trave principale e proseguiti a sbalzo per ~4.00m. Un dimensionamento preliminare ha portato alla conclusione che l'entità degli sbalzi e conseguentemente la dimensione delle membrature da utilizzare, era eccessiva.

Si è quindi potato per una seconda ipotesi che non contempla interventi sulle strutture verticali e prevede di realizzare il soppalco con profili UPN160 accoppiati, disposti a passo 1.55m e lunghi 6.90m; i profili saranno appoggiati ad una estremità alla muratura portante perimetrale o a profili HEB160 trasversali in corrispondenza delle aperture delle finestre, e all'altra estremità sorretti da una trave reticolare in direzione trasversale, che copre la luce lunga pari a ~18.5m e si imposta direttamente sulle murature perimetrali. I profili principali forniranno l'appoggio per una grigliata metallica pedonale (CLASSE1)

La trave reticolare sarà tipo Pratt a correnti paralleli con assi distanziati di 1.00m: i correnti sono realizzati con profili angolari 90×150×12 accoppiati, i traversi verticali e diagonali con angolari accoppiati 80×40×7.

L'appoggio in corrispondenza delle murature perimetrali verrà realizzato con scassi nelle murature stesse e piastre di centraggio. Al di sotto di uno dei due appoggi è presente una nicchia nella muratura portante, il cui voltino verrà preventivamente consolidato con l'inserimento di due profili IPE160.

I profili UPN accoppiati che realizzano il soppalco, verranno collegati in corrispondenza dei nodi inferiori della trave reticolare. Un nodo superiore ogni tre verrà anch'esso collegato ai traversi de soppalco con degli angolari 80×40×7 accoppiati disposti con un'inclinazione di ~25° aventi funzione di controvento.

In corrispondenza di due recuperatori di calore verranno predisposti dei bilancini su cui poggiano 2 telai in direzione trasversale, realizzati con due montanti HEA120 a distanza variabile pari a ~2.00m e un traverso HEA120; i telai forniranno l'appoggio a dei profili trasversali ai quali verranno appesi i due macchinari. È stato previsto questo tipo di struttura per poter interrompere il piano grigliato al di sotto dei due recuperatori in modo da consentire le operazioni di messa in opera e manutenzione.

1.5 PIANO 2° – AULE S.2.1 – S.2.2 – S.2.3 – S.2.4

1.5.1 Stato di fatto

La struttura portante dell'ala sopraelevata è realizzata con telai metallici con schema di calcolo ad arco a tre cerniere. Su di essi poggia la copertura, realizzata in lamiera metallica. I telai sono disposti a passo variabile da 2.80m nella zona centrale a 3.00m nelle zone laterali e presentano montanti approssimativamente verticali e traverso inclinato di ~10° rispetto all'orizzontale; montanti e traversi sono realizzati con profili a doppio T saldati di dimensioni variabili. L'altezza netta interna al di sotto dei telai varia da un minimo di ~3.20m ad un massimo di ~5.70m.

Nella zona centrale (aule S.2.2 e S.2.3) i telai coprono tutta la superficie interna con una distanza tra gli appoggi pari a ~14.00m. Nelle zone laterali (aule S.2.1 e S.2.4), a partire dai due vani scala disposti simmetricamente che servono il piano, i telai si accorciano (luce pari a ~10.00m) e la parte rimanente di copertura è realizzata con profili IPE orizzontali di lunghezza variabile da ~3.70m in corrispondenza dei vani scala a ~6.20m nelle due zone di estremità; i profili sono disposti sugli stessi assi dei telai e poggiano da un lato sui montanti del telaio e dall'altro su montanti quadrati 10×10cm realizzati con due profili a C saldati sulle ali.

1.5.2 Analisi dei carichi

Il solaio di copertura risulta essere più sensibile all'aumento dei carichi comportato dalla messa in opera degli impianti, in quanto i carichi accidentali attualmente presenti sono di modesta entità.

I carichi di progetto all'epoca della costruzione (prima metà degli anni 60), escluso il peso proprio della struttura, sono stati stimati in

240 kg/mq, così suddivisi:

- Permanenti: 150 kg/mq
- Accidentali (Carico neve, fino anni 80): 90 kg/mq

L'aumento dei carichi di progetto è legato non solo alla messa in opera degli impianti e dei profili di ripartizione, ma anche all'aumento del carico neve sulla copertura previsto dalle norme. Nell'ipotesi di pendinare gli impianti alla struttura esistente, il carico di progetto sulla struttura risulterebbe pari a **385 kg/mq**, così suddivisi:

- Permanenti:	150 kg/mq
- Accidentali (Carico neve):	150 kg/mq ⁴
- Impianti distribuiti:	50 kg/mq
- Peso Proprio profili ripartizione:	15 kg/mq
- Staffaggi, illuminazione, ecc...:	10 kg/mq
- Controsoffitto:	10 kg/mq

L'**incremento complessivo dei carichi di progetto** in percentuale risulterebbe quindi pari al **60.4%**

Come conseguenza, le analisi effettuate, facendo riferimento ai telai nella zona centrale che hanno una luce maggiore (Sezione A sugli elaborati grafici), hanno evidenziato che la freccia massima in esercizio (SLE-RARA) per le due ipotesi di carico considerate passa dagli attuali **4.18cm** a **6.94cm**, con un rapporto **freccia/luce** che passa da **1/335** a **1/202**.

I risultati riportati portano a concludere che **la possibilità di appendere direttamente gli impianti al solaio di copertura esistente è da escludere**.

1.5.3 Progetto

Per consentire la messa in opera degli impianti di condizionamento si è quindi optato per l'inserimento di nuovi traversi orizzontali in asse ai telai, al di sotto dei traversi esistenti, ai quali appendere i macchinari. I nuovi traversi sono realizzati con due profili IPE240 accoppiati e collegati, con intradosso posto alla quota di 3.70m dal pavimento del piano.

I profili sono in semplice appoggio e hanno una luce variabile da ~10.00m a ~10.50m: nelle zone laterali con i telai più "corti" poggiano da entrambi i lati sui montanti dei telai esistenti, mentre nella zona centrale con i telai "lunghi" poggiano da un lato sui montanti dei telai esistenti e dall'altro su nuovi montanti tubolari quadri 200×200×8 posti in corrispondenza del tamponamento che divide le aule dal corridoio di accesso laterale.

Da un lato i traversi verranno collegati rigidamente ai montanti (schema di vincolo a cerniera) mentre dall'altro verranno realizzati degli appoggi scorrevoli con piastre in PTFE (Teflon) in modo tale da svincolare assialmente i profili ed evitare l'insorgere di azioni flettenti nei montanti dei telai esistenti.

I quattro recuperatori di calore da mettere in opera (1 per aula) verranno appoggiati tramite profili ripartitori a dei telai analoghi a quelli utilizzati nelle aule S.1.1 e S.1.8, realizzati con due montanti HEA120 a distanza 2.25m e un traverso HEA120 posto all'altezza di 1.10m. I telai di nuova posa verranno posti in asse ai telai esistenti e collegati con opportuna carpenteria metallica ai traversi IPE240.

Per i due telai di estremità, disposti in adiacenza alle pareti finestrate, si è dovuto predisporre un sistema di rinforzo diverso fruttando la presenza di due montanti intermedi realizzati con IPE200 al di sotto del traverso del telaio. Vengono messi in opera dei traversi HEA120 in semplice appoggio tra i montanti esistenti.

Infine, analogamente a quanto predisposto ai piani inferiori, verranno posati dei profili secondari HEA100 a passo 2.25m in direzione longitudinale, ai quali collegare le staffature degli impianti.

⁴ Il carico neve minimo previsto dalle NTC2008 per la zona dove sorge la struttura è pari a 130 kg/mq. Qui, si preferisce incrementare tale valore del 20%, riportandosi sui valori minimi stabiliti dal più cautelativo D.M. 16.01.96. Per i dettagli sul calcolo del carico neve fare riferimento al paragrafo 4.2.

1.6 COPERTURA

È previsto di posizionare sopra la copertura dei condensatori e 2 torri evaporative. I macchinari verranno disposti nelle zone con copertura piana, realizzata con i profili IPE orizzontali ai lati dei corpi scala. Al di sotto delle torri evaporative, che hanno un peso rilevante pari a ~3.5ton, verranno rinforzati i profili esistenti tramite la messa in opera di nuovi profili IPE200 saldati con cordoni d'angolo all'intradosso. Al di sopra di questi spiccheranno dei montanti metallici HEA120, che faranno d'appoggio a due traversi HEA120 sui quali verrà installato il macchinario.

Per consentire di effettuare le operazioni di manutenzione in sicurezza, in tutta la zona di copertura piana dove verranno posizionati i macchinari verrà messo in opera un parapetto lungo la linea di gronda. Il parapetto, in carpenteria metallica, verrà realizzato con montanti verticali tubolari quadri 60×60×6 a passo variabile da 135cm a 210cm e correnti orizzontali complanari tubolari 40×40×4 a passo ~50cm.

A seconda delle zone, l'attacco dei parapetti alle murature e al solaio di copertura viene realizzato con tipologie diverse.

In corrispondenza dei corpi scala, dov'è presente una soletta in calcestruzzo e dei tamponamenti perimetrali in muratura portante, i tubolari del parapetto verranno fatti girare al di sotto della gronda e collegati direttamente alle murature perimetrali con flangie di testa e tasselli chimici M16.

Nelle zone di copertura piana, realizzate con profili IPE sorretti con montanti metallici tubolari all'interno dei pannelli di tamponamento perimetrali, non essendo possibile collegarsi direttamente alla parete, si è reso necessario poggiarsi alla struttura del solaio. Dai profili all'intradosso del solaio vengono fatti spiccare degli spezzoni di montante HEA120 che attraversano la soletta soprastante e su cui viene posato un tubolare orizzontale 120×120×10 poco al di sopra del piano di calpestio della copertura; su di esso vengono saldati in asse i montanti verticali del parapetto.

2 NORMATIVA E CLASSIFICAZIONE DELLA STRUTTURA

2.1 NORMATIVA ADOTTATA

La normativa tecnica di riferimento per il dimensionamento e la verifica delle strutture è la seguente:

- **D.M. 14-01-2008** “Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”
- **Circolare** Ministero Infrastrutture e Trasporti **02-02-2009 n° 617** “Istruzioni per l'Applicazione delle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”

In particolare, per i dimensionamenti e le verifiche, si è fatto riferimento ai seguenti capitoli del D.M. e della Circolare:

- Cap. 3 Azioni sulla struttura
- Cap. 4.2 Verifiche strutture in acciaio

2.2 CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO E DELLA STRUTTURA

In base alla classificazione del paragrafo 8.4 delle Norme, l'intervento a progetto è classificabile come riparazione o **intervento locale**, in quanto interessa porzioni limitate delle costruzione e non comporta sostanziali variazioni del comportamento della struttura nel suo insieme rispetto alla configurazione precedente l'intervento, sia per quanto riguarda la distribuzione della massa che per la rigidezza.

Di conseguenza, come previsto dalla norma, la presente relazione di calcolo sarà limitata alle sole parti interessate dall'intervento e a quelle con esse interagenti.

Alla luce di quanto esposto e in considerazione del fatto che gli interventi a progetto comportano un aumento dei carichi trascurabile rispetto ai pesi propri e ai carichi attualmente presenti ed inoltre in considerazione del fatto che nono vengono interessate le strutture portanti verticali, **non** vengono applicate alla struttura **combinazioni di carico sismiche**.

Si riporta comunque per completezza, la classificazione sismica della struttura e l'azione sismica di progetto.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, la struttura in oggetto risulta classificata come segue:

- **TIPO 2** (Opere ordinarie) → Vita Nominale: $V_N \geq 50$ anni
- **CLASSE III** (Affollamenti Significativi) → Coefficiente d'uso: $C_u = 1.5$

Risulta quindi un **periodo di riferimento** per l'azione sismica pari a: **$V_R = 75$ anni**

La struttura è situata nel **Comune di Milano**.

In base alla classificazione successiva all'Ordinanza P.C.M. 20-03-2003 n°3274, recepita dalla Regione Lombardia con D.G.R. 07-11-2003 n°14964, il sito di costruzione dell'opera è classificato in **zona 4 (sismicità molto bassa)**.

Facendo riferimento alla classificazione dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che stabilisce i valori di pericolosità sismica del territorio nazionale a seguito della Ordinanza P.C.M. 28-04-2006 n°3519, cui fa riferimento il D.M. 14-01-2008, si può procedere alla definizione dei parametri dell'azione sismica di progetto nel modo seguente.

Con riferimento al sito e in relazione ad una probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{V_R} = 10\%$ (corrispondente allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita - SLV), si ottengono i seguenti parametri per la determinazione delle azioni sismiche di progetto:

- Accelerazione orizzontale massima attesa in sito: **$a_g/g = 0.056$**
- Fattore di amplificazione dello spettro: **$F_0 = 2.67$**

- Periodo inizio tratto spettro a velocità costante: $T^*_C = 0.29$

Dunque, anche in base alla classificazione più recente, il sito è caratterizzato da un **sismicità molto bassa**.

3 MATERIALI E TERRENI

3.1 MATERIALI

Per la realizzazione delle opere di cui sopra si prescrive l'impiego dei seguenti materiali.

3.1.1 Acciai per profili metallici

- | | | |
|----------------|--------------|---------|
| ▪ Acciaio tipo | S 275 | (Fe430) |
|----------------|--------------|---------|

3.1.2 Acciai per piatti e piastre

- | | | |
|----------------|--------------|---------|
| ▪ Acciaio tipo | S 235 | (Fe360) |
|----------------|--------------|---------|

3.1.3 Acciai piano grigliato aule S.1.1 e S.1.8

- | | | |
|----------------|--------------|---------|
| ▪ Acciaio tipo | S 235 | (Fe360) |
|----------------|--------------|---------|

3.1.4 Bulloneria corrente

- | | | |
|---|--------------|---------|
| ▪ Barre passanti filettate – acciaio tipo | S 235 | (Fe360) |
| ▪ Viti ad alta resistenza - classe | 8.8 | |
| ▪ Dadi ad alta resistenza - classe | 8 | |

3.2 TERRENI IN SITO

Non sono state indagate le caratteristiche del terreno in sito perché non necessario per il tipo di analisi locale effettuata.

4 RELAZIONE DI CALCOLO

4.1 MODELLAZIONE E ANALISI DELLA STRUTTURA

Il calcolo delle sollecitazioni degli elementi costituenti la capriata delle aule S.1.1 e S.1.8 e dei telai del piano 2° è stato effettuato con modelli bidimensionali realizzati con il software di calcolo a elementi finiti Mastersap Top 2010 SP3 della Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia).

Il calcolo degli elementi con schemi strutturali più semplici, come le travi del soppalco delle aule S.1.1 e S.1.8 o gli elementi ripartitori delle altre aule a piano 1° e a piano terreno, è stato eseguito manualmente, adottando gli schemi statici e le semplificazioni più idonee in relazione a ciascuno di essi.

Le azioni applicate alle strutture sono state calcolate sulla base dei carichi riportati in seguito.

4.2 CARICHI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CARICO

Di seguito vengono riportati i carichi statici agenti sugli elementi di impalcato, considerati nelle analisi della struttura. Ai fini dell'applicazione dei coefficienti parziali di sicurezza nelle combinazioni di carico, i carichi riportati sono da intendersi come caratteristici.

Le combinazioni di carico SLU e SLE statiche (in assenza di azioni sismiche) sono ottenute mediante diverse combinazioni dei carichi permanenti ed accidentali in modo da considerare tutte le situazioni più sfavorevoli agenti sulla struttura (par. 2.5.3). I carichi accidentali vengono applicati mediante opportuni coefficienti parziali di combinazione, considerando l'eventualità più gravosa per la sicurezza della struttura. Allo SLU le azioni caratteristiche vengono incrementate con l'applicazione dei coefficienti di amplificazione definiti al par. 2.6.1.

4.2.1 Impianti

Il peso proprio dei macchinari è stato desunto dagli elaborati impiantistici ad opera della società Pool Professionale Milano S.r.l.

Ai fini delle verifiche degli elementi strutturali, ad eccezione dei **recuperatori di calore (~400 kg/cad)** e delle **torri evaporative (~3500 kg/cad)**, il carico di tutti gli **impianti più leggeri** è stato considerato in maniera diffusa applicando alle membrature un **carico distribuito = 40 kg/mq**

Nelle verifiche preliminari, finalizzate a definire la necessità e fattibilità degli interventi, è stato invece considerato un **carico diffuso distribuito totale** per gli impianti pari a **50 kg/mq** (comprensivo di tutti i macchinari compresi i recuperatori di calore)

4.2.2 Carichi di superficie sugli impalcati

Gli altri carichi considerati nelle analisi sono i seguenti:

- Peso Proprio piano grigliato aule S.1.1 e S.1.8	=	50 kg/mq
- Peso Proprio profili ripartizione aule S.1.1 e S.1.8	=	40 kg/mq
- Peso Proprio profili ripartizione altre aule	=	15 kg/mq
- Permanente controsoffitto	=	10 kg/mq
- Permanente staffaggi, illuminazione, ecc..	=	10 kg/mq
- Accidentale operatori manutenzione (Cat. H1)	=	50 kg/mq
- Accidentale Aule (Cat. C2)	=	500 kg/mq

Nel capitolo seguente, caso per caso, verranno evidenziati quali dei carichi qui riportati agiscono sulle membrature oggetto di verifica.

4.2.3 Sovraccarichi da neve

I parametri utilizzati per il calcolo del sovraccarico da neve sulla copertura sono i seguenti:

- Località: Zona 1 – Mediterranea
- Altitudine del sito: $a_s < 200$ m s.l.m.
- Coefficiente di esposizione: $C_E = 1.0$
- Coefficiente termico: $C_t = 1.0$
- Coefficiente di forma copertura: $\mu_1 = 0.8$ (inclinazione copertura $\alpha = 10^\circ$)

Risulta un valore caratteristico del carico neve al suolo per un periodo di ritorno pari alla vita nominale della struttura di 50 anni:

$$q_{sk} = 150 \text{ kg/mq}$$

e un carico neve sulla copertura pari a:

$$q_s = 120 \text{ kg/mq} \quad (q_{sk} \times \mu_1)$$

Nel calcolo si è cautelativamente incrementato questo valore del 20% utilizzando un carico neve pari a:

$$p_{NEVE} = 150 \text{ kg/mq.}$$

4.2.4 Sovraccarichi da vento

I parametri utilizzati per il calcolo del sovraccarico da vento sulla struttura sono i seguenti:

- Località: Zona 1 – Lombardia
- Altitudine del sito: $a_s = 0$ m s.l.m.
- Altezza della costruzione: $H = 20$ m
- Classe di rugosità del terreno: B (aree urbane)
- Categoria di esposizione del sito: IV (oltre i 40km dalla costa, sotto i 500m)

Risulta un valore caratteristico della velocità del vento per un periodo di ritorno pari alla vita nominale della struttura di 50 anni:

$$v_b = 25 \text{ m/s}$$

cui corrisponde una pressione cinetica di riferimento:

$$q_b = 40 \text{ kg/mq}$$

I coefficienti che determinano la pressione del vento sono:

- Coefficiente di esposizione: $C_E(H) = 2.3$
- Coefficiente di forma -sopravento: $C_{p+} = 0.8$
- Coefficiente di forma -sottovento: $C_{p-} = 0.4$
- Coefficiente dinamico: $C_d = 1.0$

Le pressioni del vento esterne sulla sommità della struttura sono:

- **Pressione sopravvento:** $p_{VENTO+} = 73.6 \text{ kg/mq} \quad (q_b \times C_E \times C_{p+} \times C_d)$
- **Pressione sottovento:** $p_{VENTO-} = 36.8 \text{ kg/mq} \quad (q_b \times C_E \times C_{p-} \times C_d)$

Dal momento che la pressione del vento è stata considerata solo nelle combinazioni di carico per le analisi del telaio a tre cerniere al 2° piano, la riduzione di pressione con l'altezza nel passare dai 20m della sommità ai 14m della base è di modesta entità. Per semplicità di calcolo si è scelto quindi di applicare la pressione massima in modo costante, per tutta l'altezza delle superfici esposte al vento.

4.3 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Le procedure di verifica utilizzate seguono il **metodo semiprobabilistico degli stati limite ultimi e di esercizio**.

La **verifica** nei riguardi degli **SLU di resistenza** è espressa dall'equazione formale:

$$R_D \geq E_D$$

Dove:

R_D è il **valore di progetto della resistenza** dell'elemento considerato, calcolato assumendo le resistenze ultime dei materiali strutturali.

E_D è il **valore di progetto della sollecitazione**, calcolato amplificando le azioni caratteristiche per ricondursi a condizioni di carico ultime.

La **verifica** di sicurezza nei confronti dello **SLE** si esprime controllando aspetti di funzionalità quali la **deformazione** delle membrature, applicando le sollecitazioni indotte dalle azioni caratteristiche.

Si attesta che tutte le **verifiche degli elementi strutturali** sono **positive** con adeguato margine di sicurezza.

Di seguito vengono riportati i risultati delle verifiche ritenuti maggiormente significativi. Si rimanda agli allegati per ulteriori dettagli.

4.3.1 Piano 1° – Aule S.1.1–S.1.8

4.3.1.1 Verifica trave reticolare

La trave reticolare, descritta nel capitolo 1, ha una luce di calcolo **$L=19.00m$** . Su di essa grava il soppalco in grigliato metallico per una larghezza dell'area di **influenza pari a 3.50m**.

Il carico complessivo distribuito sul soppalco è pari a: **200 kg/mq**, così suddiviso:

PP piano grigliato:	50 kg/mq
PP distribuito profili soppalco:	40 kg/mq
Impianti distribuiti (esclusi REC):	40 kg/mq
Staffaggi, illuminazione, ecc..:	10 kg/mq
Controsoffitto:	10 kg/mq
Accidentale operatori manutenzione:	50 kg/mq

È inoltre presente il carico concentrato dei 2 recuperatori di calore pari a **~400 kg cad.** Tutti i carichi agenti sono stati applicati come concentrati ai nodi inferiori della trave reticolare.

Verifica deformazione in esercizio: Freccia in mezzeria (combinazione SLE-RARA):

$$\delta_{MAX} = 3.44 \text{ cm} \rightarrow \delta_{MAX} / L = 1 / 552$$

Deformazione ammissibile (tab. 4.2.X par. 4.2.4.2.1)

Di seguito le verifiche di resistenza e di stabilità dei profili che compongono la trave. Nelle verifiche qui riportate, come negli allegati, per i profili accoppiati si fa comunque riferimento al singolo profilo.

▪ Verifica resistenza a trazione corrente inferiore – L 150×90×12

Trazione massima allo SLU: $N_{Ed} = 28950 \text{ kg}$

Verifica resistenza a trazione:	$N_{t,Rd}$	=	60292 kg	$(0.9 \times A_{NET} \times f_{tk} / \gamma_{M2})$
	$N_{Ed} / N_{t,Rd}$	=	0.48	< 1 VERIFICATO

▪ **Verifica stabilità a compressione corrente superiore – L 150×90×12**

Classificazione per compressione del profilo:	CLASSE 3			
S 275	→	Coefficiente ε	=	0.92
Lato maggiore compresso:		$h / t / \varepsilon$	=	13.5 < 15
Somma lati compressi:		$(b + h) / 2t / \varepsilon$	=	10.0 < 11.5

Compressione massima alo SLU: N_{Ed} = 29750 kg

Verifica stabilità per compressione:	Coeff. χ_{MIN}	=	0.779	
	$N_{b,Rd}$	=	55845 kg	$(A \times \chi_{MIN} \times f_{yk} / \gamma_{M0})$
	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	=	0.53	< 1 VERIFICATO

▪ **Verifica resistenza a trazione trasversi diagonali – L 80×40×7**

Trazione massima allo SLU:	N_{Ed}	=	8200 kg	
Verifica resistenza a trazione:	$N_{t,Rd}$	=	20717 kg	$(A \times f_{yk} / \gamma_{M0})$
	$N_{Ed} / N_{t,Rd}$	=	0.40	< 1 VERIFICATO

▪ **Verifica stabilità a compressione trasversi verticali – L 80×40×7**

Classificazione per compressione del profilo:	CLASSE 3			
S 275	→	Coefficiente ε	=	0.92
Lato maggiore compresso:		$h / t / \varepsilon$	=	12.4 < 15
Somma lati compressi:		$(b + h) / 2t / \varepsilon$	=	8.6 < 11.5

Compressione massima alo SLU: N_{Ed} = 4600 kg

Verifica stabilità per compressione:	Coeff. χ_{MIN}	=	0.542	
	$N_{b,Rd}$	=	11231 kg	$(A \times \chi_{MIN} \times f_{yk} / \gamma_{M0})$
	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	=	0.41	< 1 VERIFICATO

4.3.1.2 Verifica profili portanti soppalco

Gli elementi portanti principali del soppalco hanno luce massima di calcolo pari a **L=6.90m** e sono posti ad **interasse** costante **1.55m**. Il carico complessivo distribuito agente sui profili è pari a **200 kg/mq** come riportato al paragrafo precedente.

Nel seguito si riporta la verifica di resistenza e deformazione nei due casi maggiormente significativi: l'elemento corrente realizzato con 2 UPN160 accoppiati e l'elemento rinforzato realizzato con 2 UPN180 accoppiati in corrispondenza sul quale agisce anche il carico concentrato dei recuperatori di calore (pari a ~400 kg cad.)

Come nel paragrafo precedente le verifiche sono riferite al singolo profilo.

▪ **Verifica resistenza a flessione e di deformabilità profili principali correnti – UPN160**

Classificazione per flessione del profilo:

CLASSE 1

$$\begin{aligned} S\ 275 &\rightarrow \text{Coefficiente } \varepsilon = 0.92 \\ \text{Anima inflessa} &h_w / t_w / \varepsilon = 16.6 < 72 \\ \text{Ala compressa} &b / t_f / \varepsilon = 6.7 < 9 \end{aligned}$$

Flessione massima alo SLU: $M_{Ed} = 1170 \text{ kg}\cdot\text{m}$

Verifica resistenza a flessione: $M_{c,Rd} = 3614 \text{ kg}\cdot\text{m} \quad (W_{PL} \times f_{yk} / \gamma_{M0})$
 $M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0.32 < 1 \text{ VERIFICATO}$

Verifica deformazione in esercizio: Freccia in mezzzeria (combinazione SLE-RARA):

$$\delta_{MAX} = 2.13 \text{ cm} \rightarrow \delta_{MAX} / L = 1 / 324$$

Deformazione ammissibile (tab. 4.2.X par. 4.2.4.2.1)

▪ **Verifica resistenza a flessione e di deformabilità profili principali (REC) – UPN180**

Classificazione per flessione del profilo:

CLASSE 1

$$\begin{aligned} S\ 275 &\rightarrow \text{Coefficiente } \varepsilon = 0.92 \\ \text{Anima inflessa} &h_w / t_w / \varepsilon = 18.0 < 72 \\ \text{Ala compressa} &b / t_f / \varepsilon = 6.9 < 9 \end{aligned}$$

Flessione massima alo SLU: $M_{Ed} = 1650 \text{ kg}\cdot\text{m}$

Verifica resistenza a flessione: $M_{c,Rd} = 4688 \text{ kg}\cdot\text{m} \quad (W_{PL} \times f_{yk} / \gamma_{M0})$
 $M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0.35 < 1 \text{ VERIFICATO}$

Verifica deformazione in esercizio: Freccia in mezzzeria (combinazione SLE-RARA):

$$\delta_{MAX} = 1.93 \text{ cm} \rightarrow \delta_{MAX} / L = 1 / 357$$

Deformazione ammissibile (tab. 4.2.X par. 4.2.4.2.1)

4.3.2 Piano Terra – Aule S.0.4–S.0.5 – Verifica profili ripartitori

I profili ripartitori nelle aule a piano terra sono profili HEA120 posti ad **interasse 2.25m**. Sono elementi in semplice appoggio con luce di calcolo pari a **L=5.60m**.

Il carico complessivo distribuito sui profili (escluso p.p.) è pari a: **60 kg/mq**, così suddiviso:

Impianti distribuiti (esclusi REC):	40 kg/mq
Staffaggi, illuminazione, ecc...:	10 kg/mq
Controsoffitto:	10 kg/mq

Nella situazione più sfavorevole è inoltre presente il carico concentrato del recuperatore di calore pari a **~400 kg cad**. Nel seguito si riporta la verifica di resistenza e deformazione del profilo nel caso maggiormente significativo.

▪ **Verifica resistenza a flessione e di deformabilità profili ripartitori – HEA120**

Classificazione per flessione del profilo:

CLASSE 1

$$\begin{array}{llll} \text{S 275} & \rightarrow & \text{Coefficiente } \varepsilon & = 0.92 \\ \text{Anima inflessa} & & h_w / t_w / \varepsilon & = 16.0 < 72 \\ \text{Ala compressa} & & b / t_f / \varepsilon & = 8.1 < 9 \end{array}$$

Flessione massima alo SLU: $M_{Ed} = 1100 \text{ kg}\cdot\text{m}$

Verifica resistenza a flessione: $M_{c,Rd} = 3130 \text{ kg}\cdot\text{m} \quad (W_{PL} \times f_{yk} / \gamma_{M0})$
 $M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0.35 < 1 \text{ VERIFICATO}$

Verifica deformazione in esercizio: Freccia in mezzzeria (combinazione SLE-RARA):

$$\delta_{MAX} = 2.28 \text{ cm} \rightarrow \delta_{MAX} / L = 1 / 246$$

Deformazione ammissibile (tab. 4.2.X par. 4.2.4.2.1)

4.3.3 Piano 2° – Aule S.2.1–S.2.2–S.2.3–S.2.4 – Verifica traversi principali

I nuovi traversi principali posti in asse ai telai esistenti che forniscono l'appoggio per i ripartitori in direzione longitudinale, sono realizzati con profili IPE240 accoppiati e distanziati di 43cm. I profili sono appoggiati sui montanti dei telai esistenti e su quelli di nuova posa nel tratto centrale. Ai fini dell'analisi sono identificabili due situazioni distinte:

- Aule S.2.2/S.2.3 (Sez A) Luce di calcolo: **L= 10.50m** Interasse **2.80m**
- Aule S.2.1/S.2.4 (Sez B) Luce di calcolo: **L= 10.00m** Interasse **3.00m**

La condizione più sfavorevole, di cui viene riportata la verifica, risulta essere la prima (sezione A).

Il carico complessivo distribuito sui profili (escluso p.p.) è pari a:	75 kg/mq , così suddiviso:
P.p. distribuito profili secondari:	15 kg/mq
Impianti distribuiti (esclusi REC):	40 kg/mq
Staffaggi, illuminazione, ecc...:	10 kg/mq
Controsoffitto:	10 kg/mq

È inoltre presente il carico concentrato dei recuperatori di calore che tramite un apposito telaio poggia direttamente sul profilo ed ha l'asse posto alla distanza di ~2.00 da uno dei due appoggi.

Nel seguito si riporta la verifica di resistenza e deformazione del profilo nel caso maggiormente significativo corrispondente alla sezione A sugli elaborati. Come nei casi precedenti la verifica fa riferimento al singolo profilo

▪ Verifica resistenza a flessione e di deformabilità traversi principali – IPE240

Classificazione per flessione del profilo:

CLASSE 1

$$\begin{array}{llll} \text{S 275} & \rightarrow & \text{Coefficiente } \varepsilon & = 0.92 \\ \text{Anima inflessa} & & h_w / t_w / \varepsilon & = 33.2 < 72 \\ \text{Ala compressa} & & b / t_f / \varepsilon & = 6.6 < 9 \end{array}$$

Flessione massima alo SLU: $M_{Ed} = 3105 \text{ kg}\cdot\text{m}$

Verifica resistenza a flessione: $M_{c,Rd} = 9601 \text{ kg}\cdot\text{m} \quad (W_{PL} \times f_{yk} / \gamma_{M0})$

$$\mathbf{M_{Ed} / M_{C,Rd} = 0.32 < 1 \text{ VERIFICATO}}$$

Verifica deformazione in esercizio: Freccia in mezzeria (combinazione SLE-RARA):

$$\delta_{MAX} = 3.30 \text{ cm} \rightarrow \delta_{MAX} / L = 1 / 318$$

Deformazione ammissibile (tab. 4.2.X par. 4.2.4.2.1)

5 ALLEGATI

- **ALLEGATO 1** – Verifiche di stabilità per compressione
- **ALLEGATO 2** – Verifiche di resistenza per trazione
- **ALLEGATO 3** – Verifiche di resistenza per flessione
- **ALLEGATO 4** – Modello di calcolo a EF telai piano 2°
- **ALLEGATO 5** – Modello di calcolo a EF trave reticolare aule S.1.1-S.1.8

ALLEGATO 1:

VERIFICHE DI STABILITÀ PER COMPRESSIONE SEMPLICE

Verifica di stabilità per COMPRESSIONE SEMPLICE - <u>PROFILI ANGOLARI</u>									
Elemento: Piano 1° - Aule S11/S18 - Trave reticolare - Corrente superiore									
L y [mm]		L z [mm]		t [mm]		Acciaio			
150		90		12,0		S275			
Caratteristiche geometriche profilo									
Area - A				27,4 [cm^2]					
Pos. baricentro y - xy				5,14 [cm]					
Pos. baricentro z - xz				2,14 [cm]					
Mom. d'inerzia y - Jy				631,8 [cm^4]					
Mom. d'inerzia z - Jz				174,3 [cm^4]					
Raggio giratore y - iy				4,8 [cm]					
Raggio giratore z - iz				2,5 [cm]					
Lato direzione y - Ly				150,0 [mm]					
Lato direzione z - Lz				90,0 [mm]					
Spessore t				12,0 [mm]					
Lunghezze di libera inflessione L0 [m]									
in y - L0y		1,55		in z - L0z		1,55		N progetto (SLU)	
								Ned [kg]	
								29 750	
fyk [kg/cm²]									
2 750									
Curve instabilità									
		Asse y		Asse z					
		curva b		curva b					
Fattori imperf. α		0,34		0,34					
Snellezze λ		32,26		61,41					
Ncr euleriani [kg]		544 497		150 226					
Asse y Asse z									
Snellezze λ adimens.		0,372		0,708					
Coefficienti Φ		0,598		0,837					
Coefficienti χ		0,937		0,779		χ min		0,779	
N Res. compressione									
CLASSE		3		Nc,Rd [kg]		71 657		N Res. instabilità	
								Nb,Rd [kg]	
								55 845	
NEd / Nb,Rd									
0,53									
< 1 VERIFICATO									

Verifica di stabilità per COMPRESSIONE SEMPLICE - <u>PROFILI ANGOLARI</u>									
Elemento: Piano 1° - Aule S11/S18 - Trave reticolare - Trasverso verticale									
L y [mm]		L z [mm]		t [mm]		Acciaio			
40		80		7,0		S275			
Caratteristiche geometriche profilo									
Area - A				7,9 [cm²]					
Pos. baricentro y - xy				0,93 [cm]					
Pos. baricentro z - xz				2,93 [cm]					
Mom. d'inerzia y - Jy				8,9 [cm⁴]					
Mom. d'inerzia z - Jz				51,7 [cm⁴]					
Raggio giratore y - iy				1,1 [cm]					
Raggio giratore z - iz				2,6 [cm]					
Lato direzione y - Ly				40,0 [mm]					
Lato direzione z - Lz				80,0 [mm]					
Spessore t				7,0 [mm]					
Lunghezze di libera inflessione L0 [m]									
in y - L0y		1,00		in z - L0z		1,00		N progetto (SLU)	
								Ned [kg]	
								4 600	
						Asse y		Asse z	
Curve instabilità						curva b		curva b	
Fattori imperf. α						0,34		0,34	
Snellezze λ						94,45		39,10	
Ncr euleriani [kg]						18 358		107 146	
						Asse y		Asse z	
Snellezze λ adimens.						1,089		0,451	
Coefficienti Φ						1,243		0,644	
Coefficienti χ						0,542		0,905	
								χ min	
								0,542	
CLASSE				N Res. compressione			N Res. instabilità		
3				Nc,Rd [kg]			Nb,Rd [kg]		
				20 717			11 231		
							NEd / Nb,Rd		
							0,41		
							< 1 VERIFICATO		

ALLEGATO 2:

VERIFICHE DI RESISTENZA PER TRAZIONE SEMPLICE

Verifica di resistenza per TRAZIONE SEMPLICE - <u>PROFILI ANGOLARI</u>																																												
Elemento: Piano 1° - Aule S11/S18 - Trave reticolare - Corrente inferiore																																												
<table><tr><td>L y [mm]</td><td>L z [mm]</td><td>t [mm]</td><td>Acciaio</td></tr><tr><td>90</td><td>150</td><td>12,0</td><td>S275</td></tr></table>				L y [mm]	L z [mm]	t [mm]	Acciaio	90	150	12,0	S275	<table><tr><td>f_{yk} [kg/cmq]</td><td>f_{tk} [kg/cmq]</td></tr><tr><td>2 750</td><td>4 300</td></tr></table>				f _{yk} [kg/cmq]	f _{tk} [kg/cmq]	2 750	4 300	<table><tr><td colspan="2">N progetto (SLU)</td></tr><tr><td>N_{ed} [kg]</td><td>28 950</td></tr></table>		N progetto (SLU)		N _{ed} [kg]	28 950																			
L y [mm]	L z [mm]	t [mm]	Acciaio																																									
90	150	12,0	S275																																									
f _{yk} [kg/cmq]	f _{tk} [kg/cmq]																																											
2 750	4 300																																											
N progetto (SLU)																																												
N _{ed} [kg]	28 950																																											
<table><tr><td colspan="2">Caratteristiche geometriche profilo</td></tr><tr><td>Area lorda - A</td><td>27,4 [cm²]</td></tr><tr><td>Lato direzione y - Ly</td><td>90,0 [mm]</td></tr><tr><td>Lato direzione z - Lz</td><td>150,0 [mm]</td></tr><tr><td>Spessore - t</td><td>12,0 [mm]</td></tr><tr><td>Area netta - A_{net}</td><td>19,7 [cm²]</td></tr></table>				Caratteristiche geometriche profilo		Area lorda - A	27,4 [cm²]	Lato direzione y - Ly	90,0 [mm]	Lato direzione z - Lz	150,0 [mm]	Spessore - t	12,0 [mm]	Area netta - A _{net}	19,7 [cm²]	<table><tr><td colspan="3">Forature per bullonature</td></tr><tr><td>Sul lato in direz. Y</td><td>n°</td><td>Φ [mm]</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>16</td></tr><tr><td>Sul lato in direz. Z</td><td>n°</td><td>Φ [mm]</td></tr><tr><td></td><td>2</td><td>16</td></tr></table>				Forature per bullonature			Sul lato in direz. Y	n°	Φ [mm]		1	16	Sul lato in direz. Z	n°	Φ [mm]		2	16	<table><tr><td colspan="2">N Res. plastica lorda</td></tr><tr><td>N_{pl}, Rd [kg]</td><td>71 657</td></tr><tr><td colspan="2">N Res. rottura netta</td></tr><tr><td>N_u, Rd [kg]</td><td>60 929</td></tr></table>		N Res. plastica lorda		N _{pl} , Rd [kg]	71 657	N Res. rottura netta		N _u , Rd [kg]	60 929
Caratteristiche geometriche profilo																																												
Area lorda - A	27,4 [cm²]																																											
Lato direzione y - Ly	90,0 [mm]																																											
Lato direzione z - Lz	150,0 [mm]																																											
Spessore - t	12,0 [mm]																																											
Area netta - A _{net}	19,7 [cm²]																																											
Forature per bullonature																																												
Sul lato in direz. Y	n°	Φ [mm]																																										
	1	16																																										
Sul lato in direz. Z	n°	Φ [mm]																																										
	2	16																																										
N Res. plastica lorda																																												
N _{pl} , Rd [kg]	71 657																																											
N Res. rottura netta																																												
N _u , Rd [kg]	60 929																																											
				<table><tr><td colspan="2">N Res. Trazione</td></tr><tr><td>N_t, Rd [kg]</td><td>60 929</td></tr></table>		N Res. Trazione		N _t , Rd [kg]	60 929	<table><tr><td>N_{Ed} / N_t, Rd</td><td>0,48</td></tr><tr><td colspan="2">< 1 VERIFICATO</td></tr></table>		N _{Ed} / N _t , Rd	0,48	< 1 VERIFICATO																														
N Res. Trazione																																												
N _t , Rd [kg]	60 929																																											
N _{Ed} / N _t , Rd	0,48																																											
< 1 VERIFICATO																																												

Verifica di resistenza per TRAZIONE SEMPLICE - <u>PROFILI ANGOLARI</u>									
Elemento: Piano 1° - Aule S11/S18 - Trave reticolare - Traverso diagonale									
L y [mm]		L z [mm]		t [mm]		Acciaio		N progetto (SLU)	
40		80		7,0		S275		Ned [kg] 8 200	
Caratteristiche geometriche profilo				Forature per bullonature		N Res. plastica lorda			
Area lorda - A		7,9 [cm²]		Sul lato in		n°		Φ [mm]	
Lato direzione y - Ly		40,0 [mm]		direz. Y					
Lato direzione z - Lz		80,0 [mm]		Sul lato in		n°		Φ [mm]	
Spessore - t		7,0 [mm]		direz. Z		1		16	
Area netta - Anet		6,8 [cm²]		N Res. Trazione		NEd / Nt,Rd 0,40			
				Nt,Rd [kg] 20 717		< 1 VERIFICATO			

ALLEGATO 3:

VERIFICHE DI RESISTENZA PER FLESSIONE SEMPLICE

Verifica di resistenza per FLESSIONE SEMPLICE asse forte y-y - PROFILI A DOPPIO T e a U									
Elemento: Piano 1° - Aule S11/S18 - Soppalco - UPN160 accoppiati									
Profilo		Acciaio		fyk [kg/cmq]		ftk [kg/cmq]		M progetto (SLU)	
UPN160		S275		2 750		4 300		Med yy [kg m]	1 170
Caratteristiche geometriche profilo				Fori per bullonature			Verifica foratura delle ali		
Modulo plastico-Wply	138,0	[cm^3]		Sull'ala (solo una)	n°		0,9*Af,net*ftk/γM2 [kg]		
Modulo elastico-Wely	116,0	[cm^3]					Af * fyk / γMO [kg]		
Larghezza - b	65,0	[mm]			Φ [mm]				
Spessore ali - tf	10,5	[mm]							
A ala lorda - Af	6,8	[cm^2]							
A ala netta - Af,net	6,8	[cm^2]							
CLASSE			M Resistente flessione retta				MEd / Mc,Rd		
1			Mc,Rd yy [kg m]				0,32		
						< 1 VERIFICATO			

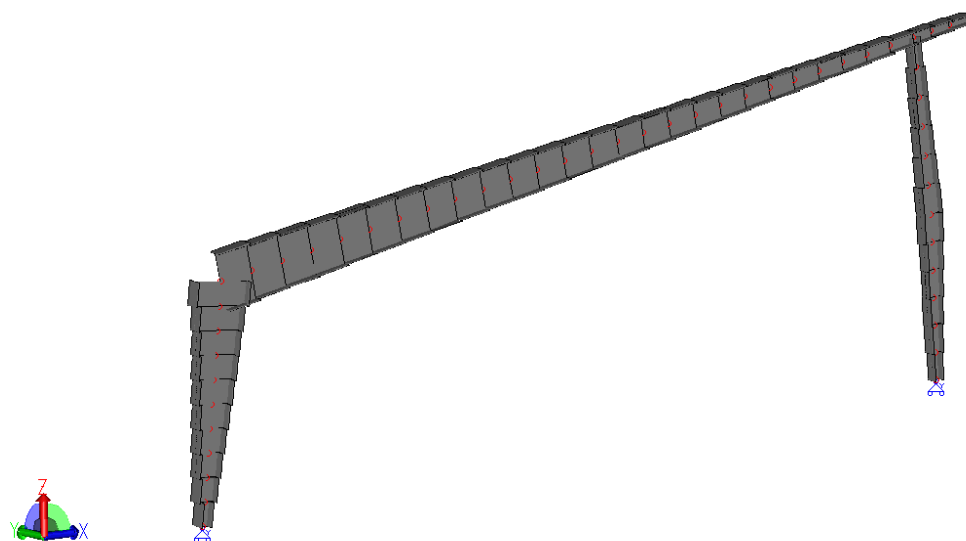
Verifica di resistenza per FLESSIONE SEMPLICE asse forte y-y - PROFILI A DOPPIO T e a U										
Elemento: Piano 1° - Aule S11/S18 - Soppalco - UPN180 accoppiati lato REC										
Profilo		Acciaio		fyk [kg/cmq]		ftk [kg/cmq]		M progetto (SLU)		
UPN180		S275		2 750		4 300		Med yy [kg m]	1 650	
Caratteristiche geometriche profilo				Fori per bullonature			Verifica foratura delle ali			
Modulo plastico-Wply	179,0	[cm^3]		Sull'ala (solo una)	n°		0,9 * Af,net * ftk / γM2 [kg]			
Modulo elastico-Wely	150,0	[cm^3]					Af * fyk / γMO [kg]			
Larghezza - b	70,0	[mm]			Φ [mm]					
Spessore ali - tf	11,0	[mm]								
A ala lorda - Af	7,7	[cm^2]								
A ala netta - Af,net	7,7	[cm^2]								
CLASSE			M Resistente flessione retta				MEd / Mc,Rd			
1			Mc,Rd yy [kg m]				0,35			
				4 688				< 1 VERIFICATO		

Verifica di resistenza per FLESSIONE SEMPLICE asse forte y-y - PROFILI A DOPPIO T e a U									
Elemento: Piano Terra - Aule S04/S05 - Profili ripartitori secondari HEA120									
Profilo		Acciaio		fyk [kg/cmq]		ftk [kg/cmq]		M progetto (SLU)	
HEA120		S275		2 750		4 300		Med yy [kg m]	1 100
Caratteristiche geometriche profilo				Fori per bullonature			Verifica foratura delle ali		
Modulo plastico-Wply	119,5	[cm^3]		Sull'ala (solo una)	n°		0,9*Af,net*ftk/γM2 [kg]		
Modulo elastico-Wely	106,0	[cm^3]					Af * fyk / γMO [kg]		
Larghezza - b	120,0	[mm]			Φ [mm]				
Spessore ali - tf	8,0	[mm]							
A ala lorda - Af	9,6	[cm^2]							
A ala netta - Af,net	9,6	[cm^2]							
CLASSE			M Resistente flessione retta				MEd / Mc,Rd		
1			Mc,Rd yy [kg m]				0,35		
						< 1 VERIFICATO			

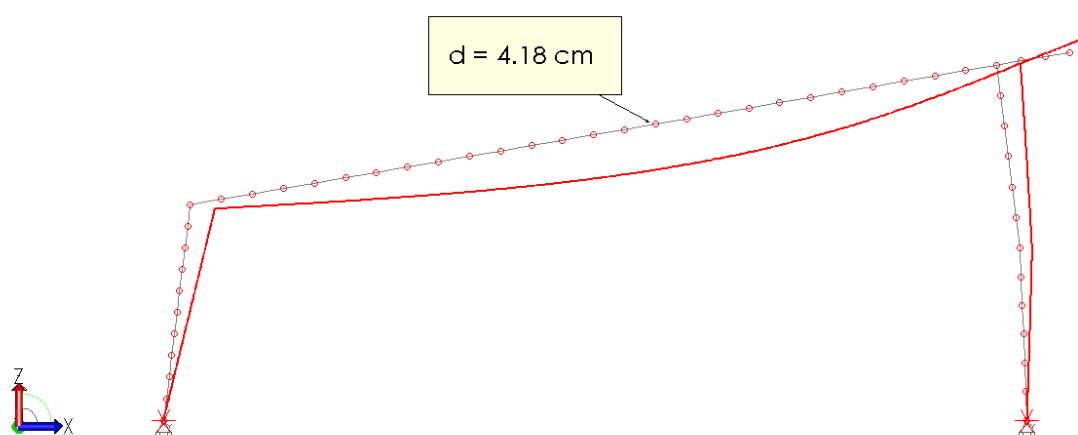
Verifica di resistenza per FLESSIONE SEMPLICE asse forte y-y - PROFILI A DOPPIO T e a U									
Elemento: Piano 2° - Aule S21/S22/S23/S24 - Profili principali IPE240									
Profilo		Acciaio		fyk [kg/cmq]		ftk [kg/cmq]		M progetto (SLU)	
IPE240		S275		2 750		4 300		Med yy [kg m]	3 105
Caratteristiche geometriche profilo				Fori per bullonature			Verifica foratura delle ali		
Modulo plastico-Wply	366,6	[cm^3]		Sull'ala (solo una)	n°		0,9*Af,net*ftk/γM2 [kg]		
Modulo elastico-Wely	324,0	[cm^3]					Af * fyk / γMO [kg]		
Larghezza - b	120,0	[mm]			Φ [mm]				
Spessore ali - tf	9,8	[mm]							
A ala lorda - Af	11,8	[cm^2]							
A ala netta - Af,net	11,8	[cm^2]							
CLASSE			M Resistente flessione retta				MEd / Mc,Rd		
1			Mc,Rd yy [kg m]				0,32		
						< 1 VERIFICATO			

ALLEGATO 4:

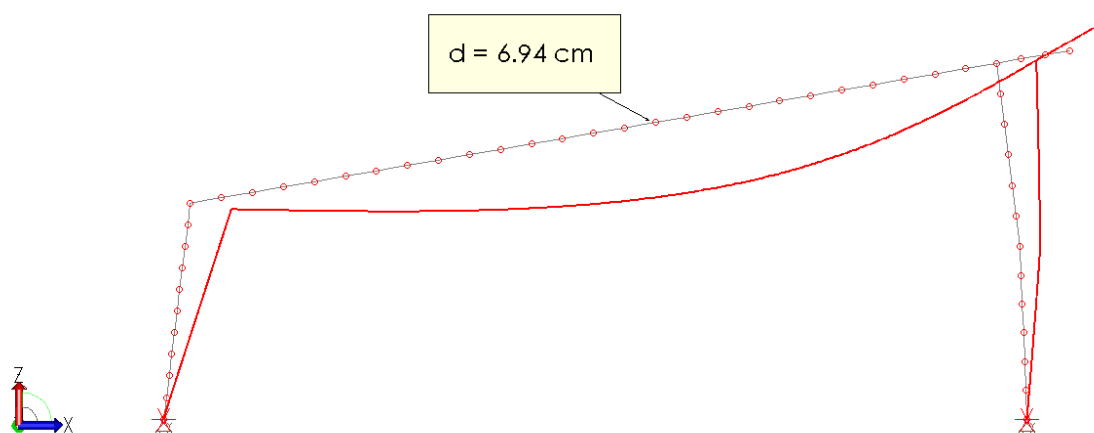
MODELLO DI CALCOLO A EF TELAI PIANO 2°



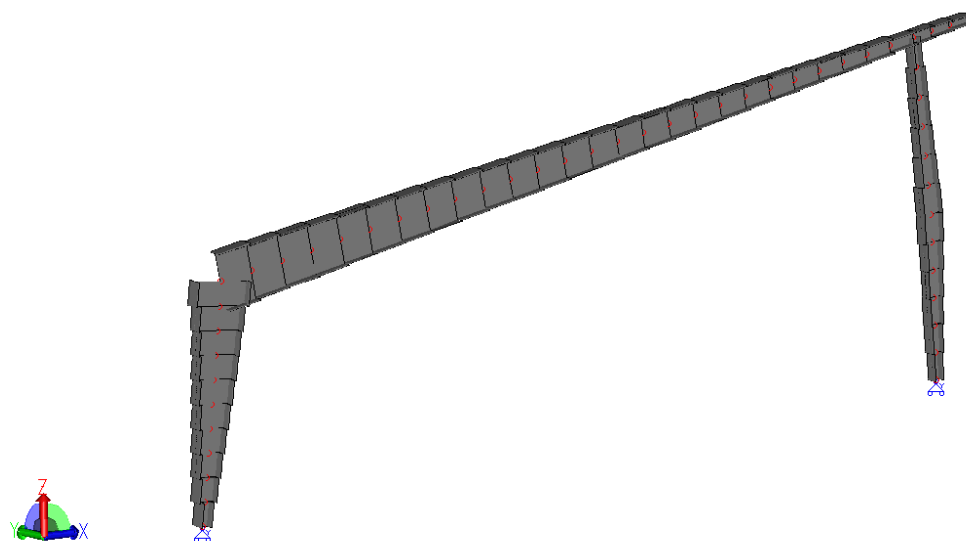
- TELAIO ZONA CENTRALE (SEZIONE A) – SDF – VISTA 3_D DEL MODELLO A EF



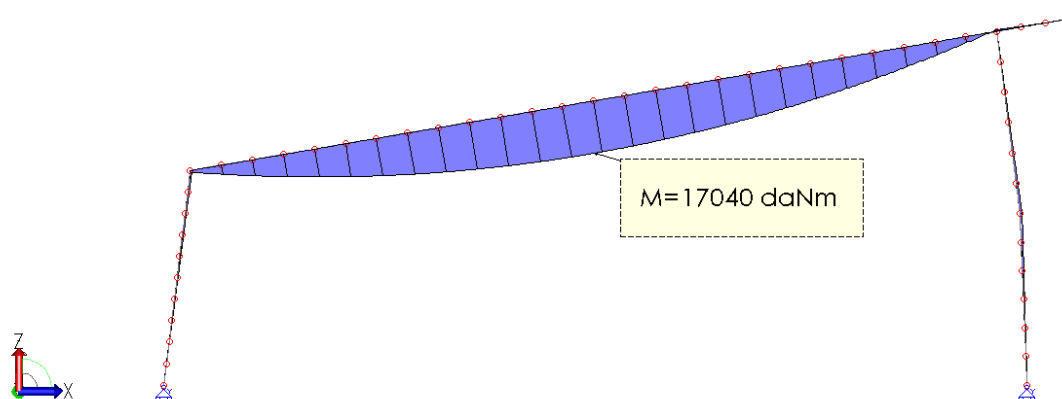
- TELAIO ZONA CENTRALE (SEZIONE A) – SDF – DEFORMATA SLE



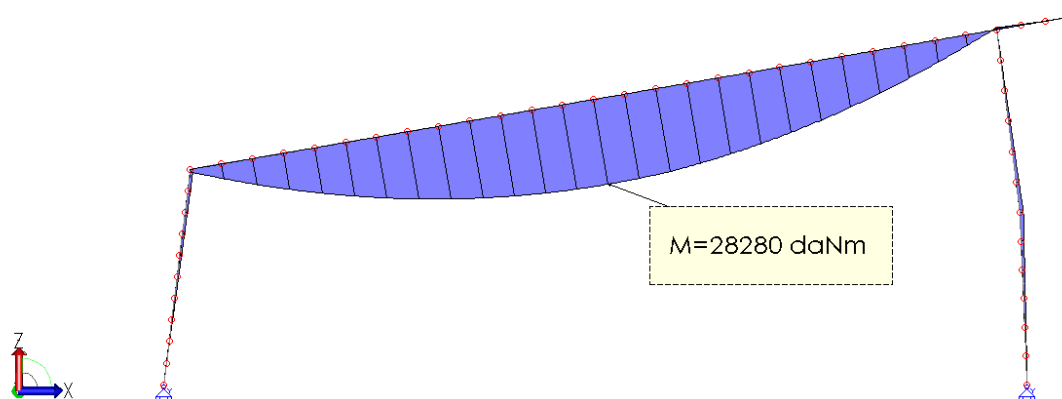
- TELAIO ZONA CENTRALE (SEZIONE A) – SDF (HP IMPIANTI APPESI)– DEFORMATA SLE



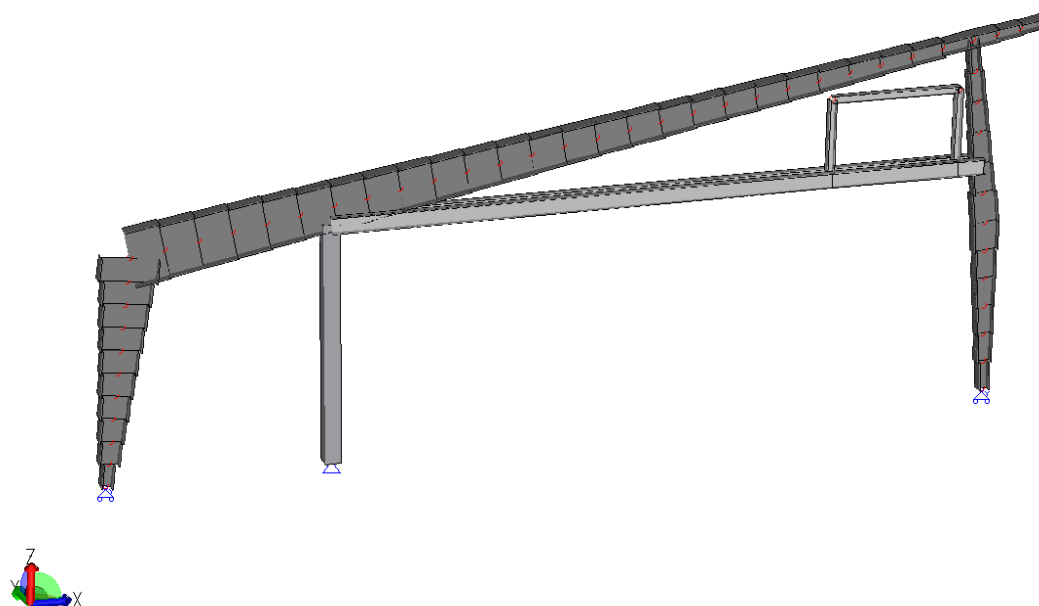
- TELAIO ZONA CENTRALE (SEZIONE A) – SDF – VISTA 3_D DEL MODELLO A EF



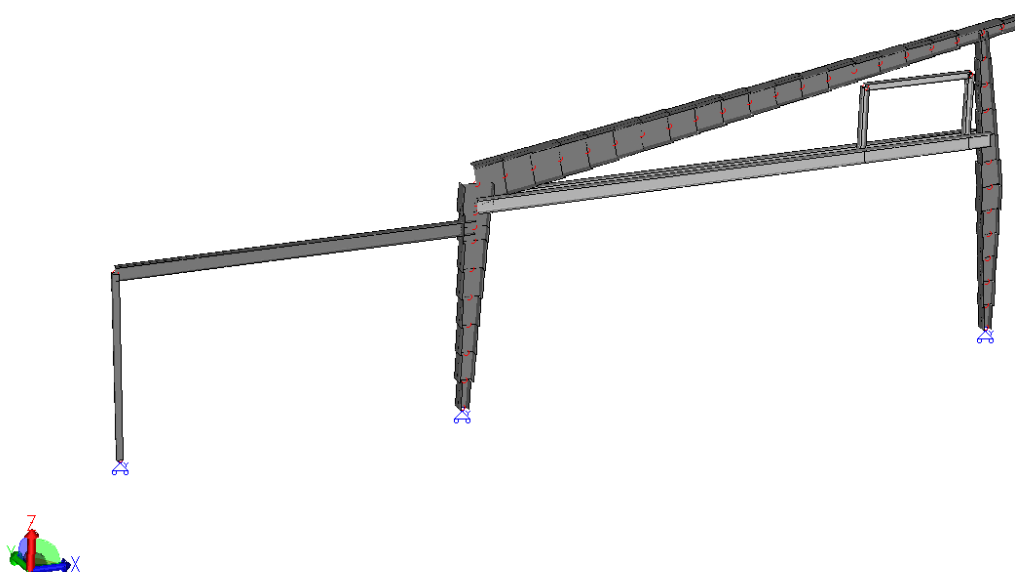
- TELAIO ZONA CENTRALE (SEZIONE A) – SDF – MOMENTI FLETTENTI SLE



- TELAIO ZONA CENTRALE (SEZIONE A) – SDF (HP IMPIANTI APPESI)– MOMENTI FLETTENTI SLE



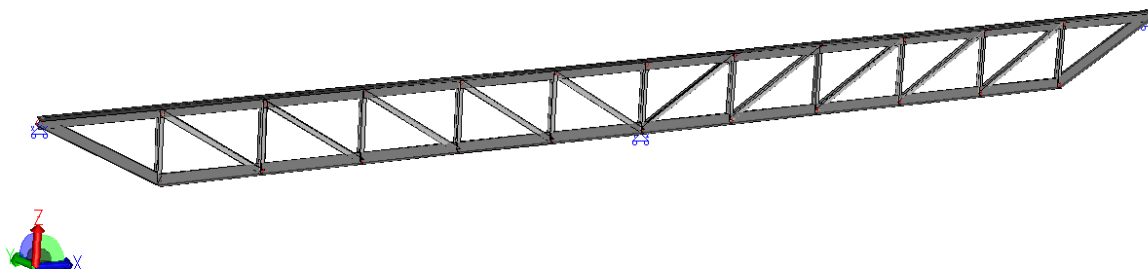
- TELAI ZONA CENTRALE (SEZIONE A) – PROGETTO – VISTA 3_D DEL MODELLO A EF



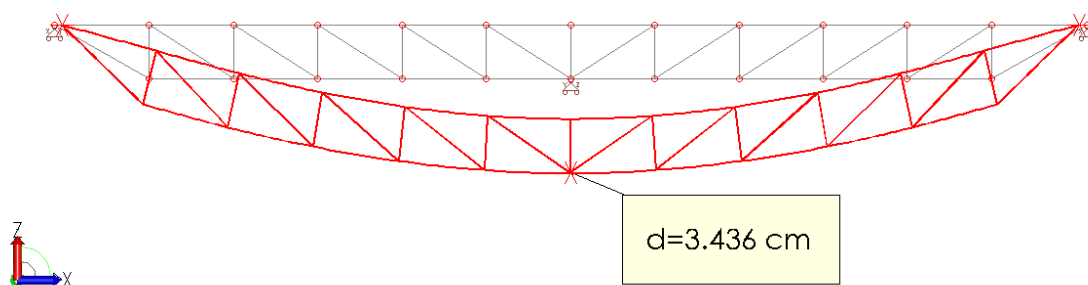
- TELAI ZONE LATERALI (SEZIONE B) – PROGETTO – VISTA 3_D DEL MODELLO A EF

ALLEGATO 5:

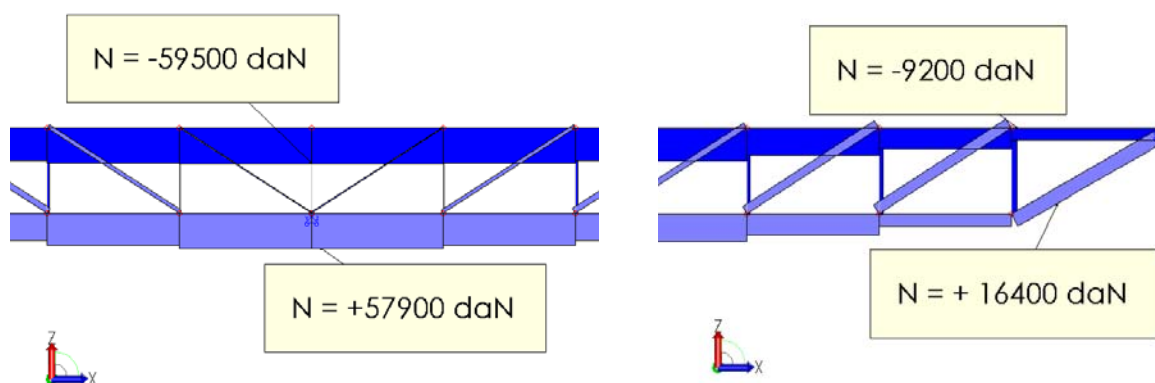
MODELLO DI CALCOLO A EF TRAVE RETICOLARE AULE S.1.1-S.1.8



▪ VISTA 3 D DEL MODELLO A EF



▪ FRECCIA MASSIMA IN MEZZERIA – COMBINAZIONE DI CARICO SLE-RARA



▪ AZIONI ASSIALI – COMBINAZIONE DI CARICO SLU