



MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA VIA GUIDO RENI

Assessorato all'urbanistica
Assessore: Maurizio Veloccia

Dipartimento Programmazione e Attuazione
Urbanistica
Direttore: arch. Gianni Gianfrancesco

Direzione Trasformazione Urbana
Direttore: arch. Paolo Ferraro

U.O. Rigenerazione e progetti speciali
Dirigente: Enrica de Paulis

Responsabile Unico del Procedimento
Arch. Enrica De Paulis

ADAT

Progettazione architettonica:
ADAT Studio Srl
arch. Antonio Atripaldi

P'NV

Progettazione del paesaggio:
P'arcnouveau
arch. Luca Manzocchi

wsp

Progettazione strutturale,
impiantistica e ambientale:
WSP Italia Srl

GAE
ENGINEERING

Sicurezza, Antincendio,
Quadro Economico:
GAe Engineering Srl
ing. Giuseppe Amaro

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Titolo

0. Documenti Generali Relazione Tecnica

Codice di consegna	N. tavola	Tipo	Scala
0006_F_0.0.02_AR_RT_001	0.0.02	A4	

Revisioni

N°	Data	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
0	30/10/2023				
1	17/11/2023				
2					



SCIENCE FOREST

MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

INDICE

1	Strutture.....	5
1.1	Normativa di riferimento	5
1.2	Carichi di progettazione e combinazioni.....	5
1.2.1	Carichi gravitazionali	5
1.2.2	Vento	6
1.2.3	Azione sismica	6
1.3	Metodologia di analisi strutturale e criteri di prestazione	7
1.4	Stabilità laterale	9
1.5	Materiali	10
1.6	Dimensionamento preliminare degli elementi strutturali	10
1.6.1	Fondazioni	10
1.6.2	Struttura principale della teca	18
1.6.3	Struttura principale e pannelli in acciaio delle capsule.....	21
1.6.4	Edificio est e area perimetrale	22
1.7	Sequenza costruttiva	32
1.8	Opportunità progettuali e passi successivi	32
2	Ingegneria delle facciate	34
2.1	Criteri di Progettazione	34
2.1.1	Standard e codici	34
2.1.2	Requisiti chiusure tecniche trasparenti	37
2.1.3	Prestazioni termiche	38
2.1.4	Tenuta all'aria	39
2.1.5	Requisiti acustici.....	40
2.1.6	Condensazione.....	40
2.1.7	Tenuta all'acqua	40
2.1.8	Requisiti antincendio	40
2.1.9	Durabilità dei componenti e garanzie.....	41
2.1.10	Prestazioni strutturali	41
2.1.11	Condizioni ambientali	44
2.1.12	Sostenibilità	44
2.1.13	Manutenzione e accesso ai componenti dell'involucro.....	45

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

2.1.14	Salute e Sicurezza	45
2.2	Strategia ambientale	47
2.3	Sistemi di facciata	50
2.3.1	Involucro edilizio esterno	51
2.3.2	Involucro edilizio interno	64
2.4	Prestazioni Termiche, Solari e Visive	70
2.4.1	Progettazione delle schermature	71
2.4.2	Pannelli fotovoltaici (PV) e BIPV	71
2.4.3	Schermature solari	75
2.5	Manutenzione e accessibilità della facciata	77
2.5.1	Lato superiore del tetto in vetro	77
2.5.2	Lato inferiore del tetto in vetro	78
2.5.3	Chiusure trasparenti verticali	78
2.6	Conclusioni	80
2.7	Opportunità progettuali e passi successivi	81
2.7.1	Opportunità	81
2.7.2	Rischi	82
2.7.3	Passi successivi	82
3	Servizi meccanici, elettrici e di sanità pubblica (MEP)	83
3.1	Criteri di progettazione	83
3.1.1	Servizi Meccanici	83
3.1.2	Servizi Elettrici	87
3.1.3	Servizi Sanitari Pubblici	88
3.2	Modellazione termica	89
3.2.1	Modellazione dinamica dei sistemi	89
3.2.2	Modelli di area	Error! Bookmark not defined.
3.2.3	Scenari di progettazione	92
3.3	Servizi Meccanici	96
3.3.1	Sistemi di ventilazione	96
3.3.2	Sistemi di raffreddamento	103
3.3.3	Impianti di riscaldamento	Error! Bookmark not defined.
3.3.4	Controlli	107
3.4	Servizi elettrici	110
3.4.1	Proposta di alimentazione elettrica in ingresso	110
3.4.2	Valutazione del carico di progetto	110
3.4.3	Energie rinnovabili	110

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

3.4.4	Distribuzione elettrica	112
3.4.5	Generazione di standby	115
3.4.6	Messa a terra e collegamento	116
3.4.7	Arginamento	116
3.4.8	Piccola potenza	117
3.4.9	Illuminazione	119
3.4.10	Controllo dell'illuminazione	121
3.4.11	Illuminazione esterna	122
3.4.12	Illuminazione di emergenza	123
3.4.13	Sistema di diffusione sonora	123
3.4.14	Altoparlanti	124
3.4.15	Controllo del volume	124
3.4.16	Sistema di allarme antincendio	124
3.4.17	TIC/Comunicazioni	126
3.4.18	Sistema di sicurezza	127
3.4.19	Allarmi disabilitati	130
3.4.20	Protezione contro i fulmini / Protezione contro le sovratensioni	130
3.5	Servizi Sanitari Pubblici	131
3.5.1	Servizi di acqua fredda	131
3.5.2	Servizi di acqua calda	132
3.6	Opportunità di progettazione e prossimi passi	132
4	Tabella di Calcolo Superfici	134
5	Cronoprogramma	137

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

1 Strutture

1.1 Normativa di riferimento

La progettazione strutturale è stata eseguita utilizzando gli Eurocodici dove espressamente specificato e la normativa locale:

- Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- Circolare Esplicativa 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle NTC2018.

1.2 Carichi di progettazione e combinazioni

Secondo la normativa italiana, gli elementi strutturali devono essere dimensionati per sostenere i seguenti carichi:

- Carichi gravitazionali: peso proprio, carichi e sovraccarichi permanenti e carichi variabili,
- Carichi orizzontali: vento e carichi sismici.

I carichi applicati sono stati combinati in combinazioni allo Stato Limite Ultimo (SLU) e Stato Limite di Esercizio (SLE) come specificato nel paragrafo 2.5 delle NTC2018.

1.2.1 Carichi gravitazionali

I carichi gravitazionali dovuti al peso proprio degli elementi strutturali sono calcolati utilizzando il peso specifico dei materiali indicato al paragrafo 1.5 delle NTC2018.

I carichi variabili (Q_k) sono stati applicati come specificato nella tabella 3.1.II delle NTC2018 e sono riassunti nella tabella seguente insieme al valore dei sovraccarichi permanenti adottati (G_k).

Area	Sovraccarichi permanenti (kN/m ²)	Carichi variabili (kN/m ²)
Capsule	Pareti/Copertura/Pavimento 0.90	Cat C3 - museo 5
Edificio perimetrale	Livello 1 1	Cat C1 – caffè' 3
	Livello 2 1	Cat C3 - museo 5
Edificio est	Tutti i livelli 1	Cat C3 - museo 5
Copertura	Copertura in policarbonato 0.50	Cat H 0.50
		Neve 0.60
Facciata	Facciata in vetro 0.90	- -

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Il carico della neve è stato calcolato secondo il paragrafo 3.4 delle NTC2018. La città di Roma è localizzata in Zona III, l'altitudine del sito è minore di 200m; pertanto, il valore del carico neve risulta pari a 0.60 kN/m².

La possibilità di appendere ed esporre oggetti particolarmente pesanti all'interno del museo è stata considerata applicando un carico pari a 10kN/m² su un'area 10x10m. Il carico è stato suddiviso tra quattro colonne in legno disposte ai quattro angoli di una campata. Il carico distribuito equivale a una forza concentrata pari a 100t applicata su una campata 10x10m. Si assume che il carico speciale sia applicato su una campata per volta e che le campate adiacenti siano libere da oggetti appesi. Il carico è stato considerato come sovraccarico permanente.

1.2.2 Vento

Il carico orizzontale dovuto all'azione del vento è stato calcolato secondo il paragrafo 3.3 delle NTC2018 e relativo C3.3. I parametri di progettazione sono illustrati in seguito.

Parametri	Valore
Altitudine sito	$a_s = 21\text{m s.l.m.}$
Coefficiente di altitudine	$c_a = 1$
Velocità base di riferimento	$V_b = 27\text{m/s}$
Tempo di ritorno	$T_R = 50\text{anni}, c_R = 1$
Zona	3
Classe di rugosità	A
Categoria di esposizione	IV
Pressione del vento	$p = 0.79\text{kN/m}^2$

1.2.3 Azione sismica

Per il calcolo del carico orizzontale dovuto all'azione sismica si rimanda al paragrafo 3.2 delle NTC2018.

Il sito è caratterizzato da pericolosità sismica bassa, con valori di accelerazione a_g compresi tra 0.1g e 0.150g. I parametri considerati sono riportati successivamente:

- Vita nominale di Progetto $V_N = 50$ anni – Costruzioni con livelli di prestazione ordinari,

- Classe d'uso II – Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali,
- Coefficiente d'uso $C_U = 1$,
- Periodo di riferimento dell'azione sismica $V_R = V_N * C_U = 50$,
- Categoria di sottosuolo C con $v_s = 256$ m/s come riportato nella B2.9 – Relazione geologica del Programma integrato d'Intervento.

1.3 Metodologia di analisi strutturale e criteri di prestazione

I seguenti software di analisi e calcolo strutturale sono stati utilizzati per il predimensionamento dei principali elementi strutturali dell'edificio:

- Fogli di calcolo interni WSP,
- Tekla - Tedds 2020,
- Calculatis by Stora Enso,
- SAP2000.

Si definiscono i seguenti criteri di prestazione strutturale:

Limiti di deformazione

Gli spostamenti verticali e orizzontali devono essere calcolati utilizzando specifici modelli di analisi per assicurare che i valori risultanti siano accettabili per la tipologia di finiture, rivestimenti e i valori di tolleranza adottati.

Nella fase attuale, i limiti di spostamenti a lungo termine per travi/solette in cemento armato e acciaio sono fissati a $Luce/250$. I limiti di spostamenti per elementi che supportano finiture fragili sono fissati a $Luce/350$ o $Luce/500$.

Oscillazioni orizzontali

L'oscillazione orizzontale sotto l'azione del vento di qualsiasi piano dell'edificio deve essere contenuta dalla facciata perimetrale e risultare $< h/400$ (h = altezza di piano).

L'oscillazione orizzontale totale sotto il carico del vento deve essere $< H/500$ (H = altezza totale dell'edificio).

Lo spostamento di piano dovuto all'azione sismica dovrà essere valutato secondo la normativa locale NTC2018.

Movimenti e tolleranze strutturali

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Un documento riguardante i movimenti della struttura e le tolleranze adottate dovrà essere preparato durante la fase di progettazione definitiva. L'edificio deve essere progettato per incorporare gli effetti della metodologia e sequenza costruttiva considerate. In particolare, è necessario ottenere degli spostamenti strutturali uniformi che tengano conto dell'architettura dell'opera, dell'involucro in vetro e delle capsule, e del rapporto tra le luci dell'edificio e i suoi occupanti e la loro percezione degli spazi circostanti.

Resistenza al fuoco degli elementi strutturali

In questa fase, tutti gli elementi strutturali sono stati verificati per una resistenza al fuoco pari a 60 minuti. Questo limite dovrà essere confermato o rivisto per ogni elemento nella fase successiva in accordo con la normativa antincendio.

Vita di progetto e durabilità

La struttura è progettata per una vita di progetto pari a 50 anni.

Il mix di calcestruzzo verrà specificato includendo il GGBS come additivo per migliorare la durabilità del materiale. Il calcestruzzo delle opere di fondazione dovrà essere progettato per prevenire l'ingresso di acqua, considerando l'aggressività del sottosuolo e per prevenire la corrosione dell'armatura.

La carpenteria in acciaio dovrà ricevere uno strato di rivestimento protettivo.

Robustezza

La robustezza degli elementi strutturali si garantisce solitamente assicurando che tutte le parti dell'edificio siano legate verticalmente e orizzontalmente tra di loro.

Elementi critici della struttura devono essere progettati come elementi chiave in grado di supportare azioni eccezionali come specificato nella normativa locale.

Progettazione sismica

Il sistema di stabilità è progettato per resistere alle forze orizzontali, quali vento e sisma, agenti sull'edificio. Nella fase attuale di predimensionamento, il sistema è stato verificato solo sotto l'azione del vento.

Un modello tridimensionale agli elementi finiti dovrà essere prodotto nella fase successiva per eseguire un'analisi dinamica applicando gli spettri di risposta relativi al sito e calcolare le forze sismiche secondo il Capitolo 7 delle NTC2018.

1.4 Stabilità laterale

La stabilità laterale della struttura proposta è ottenuta attraverso un sistema di controventamento in acciaio che connette le travi di legno creando un diaframma di piano al livello della copertura. Le forze laterali (vento e sisma) sono trasferite a elementi di controventamento verticali nascosti dietro la facciata che si estendono fino alle fondazioni e sono posizionati agli angoli dell'edificio.

Le capsule trasferiscono le forze orizzontali a livello della copertura dove i nodi tra la struttura principale delle capsule e le colonne in legno trasferiscono i carichi verticali e anche i momenti flettenti.

Nuclei in calcestruzzo armato stabilizzano invece l'edificio est e l'area perimetrale.

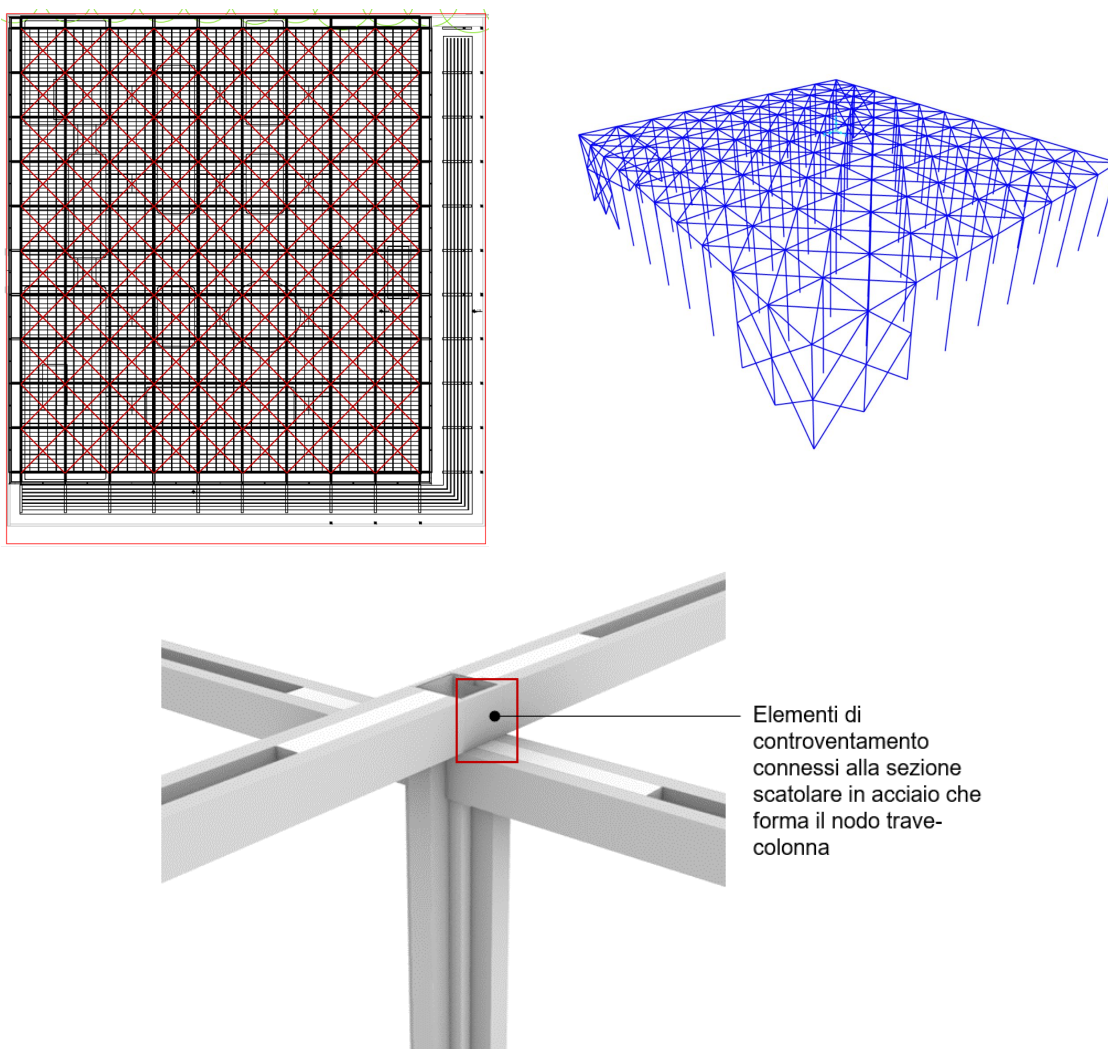


Figura 1: Punto di connessione del sistema di controventamento in acciaio

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

1.5 Materiali

In questa fase, i materiali considerati sono specificati di seguito:

Calcestruzzo

Grado	Peso (kN/m ³)	Modulo di elasticità (N/mm ²)	Coeff. Poisson
C30/37	25	33000	0.2

Acciaio da armatura

Grado	Peso (kN/m ³)	Modulo di elasticità (N/mm ²)	Coeff. Poisson
Fy=500MPa	77	200000	0.3

Acciaio da carpenteria

Grado	Peso (kN/m ³)	Modulo di elasticità (N/mm ²)	Coeff. Poisson
S355	78.5	210000	0.3

Legno lamellare

Grado	Peso (kN/m ³)	Modulo di elasticità (N/mm ²)
GL 24h	5	11500
GL30h	5	13600

1.6 Dimensionamento preliminare degli elementi strutturali

1.6.1 Fondazioni

Per il dimensionamento preliminare delle opere di fondazione si fa riferimento al seguente documento:

- B2.9 – Relazione geologica del Programma integrato d'Intervento.

La figura seguente riporta la successione stratigrafica risultante dalla campagna indagini eseguita nel mese di Maggio 2022.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

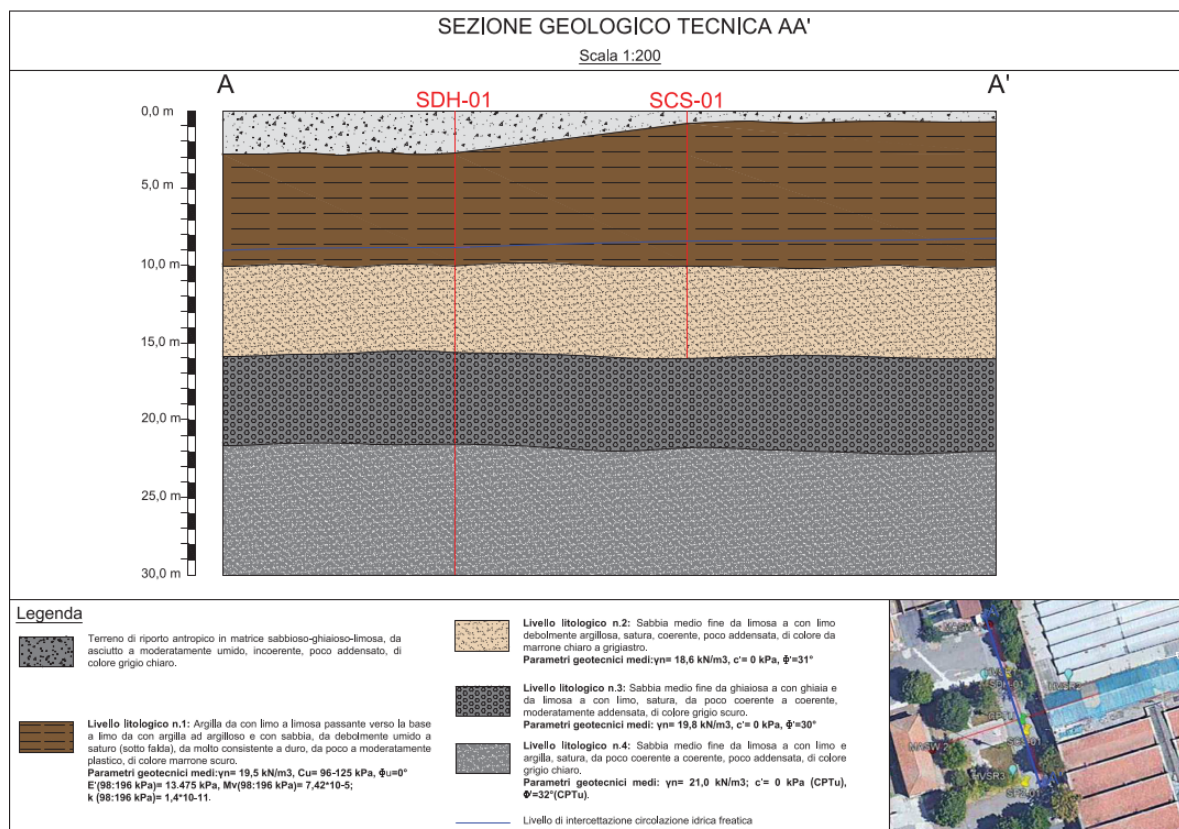


Figura 2: Sezione stratigrafica

In questa fase, le azioni considerate nel dimensionamento preliminare e agenti alla base dei pilastri fanno riferimento ai soli carichi verticali. I valori utilizzati sono:

	N (kN)	T_L (kN)	T_T (kN)	M_L (kN)	M_T (kN)
Permanenti	800	-	-	-	-
Accidentali	900	-	-	-	-

Nella tabella seguente si riportano i parametri meccanici risultati dalla caratterizzazione geotecnica preliminare.

U.S.	Profondità		γ	e	OCR	E'	c'	ϕ'	Cu
	m		kN/m³			MPa	kPa	°	kPa
R	0	0.8 - 2.7	18.5	-	-	12.9	0	38	-
AL	0.8 - 2.7	10	19.4	0.68	8	11.0	-	-	108
SL1	10	15.5-16	18.6	-	-	4.7	0	31	-
SG	15.5-16	21.5	19.8	-	-	10.2	0	34	-
SL2	21.5	30	21.1	-	-	3.8	0	33	-

Sono state condotte le seguenti verifiche in condizioni statiche:

- Verifica agli SLU di tipo geotecnico (GEO): collasso per carico limite della fondazione nei riguardi dei carichi assiali (A1+M1+R3),
- Verifiche agli SLE: valutazione dei cedimenti nei confronti delle azioni verticali (requisito prestazionale).

La soluzione adottata è rappresentata da un graticcio di travi su pali.

In accordo alle NTC2018, il soddisfacimento degli SLU è affidato alla sola struttura di collegamento posta a contatto con il terreno (graticcio di travi). Ai pali di fondazione è invece assegnata la funzione di riduzione e regolazione degli spostamenti. In questo caso il dimensionamento dei pali deve garantire il soddisfacimento delle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) di tipo strutturale (non trattati nella presente nota) per tutti gli elementi della fondazione (struttura di collegamento e pali) e delle verifiche SLE.

Verifiche agli SLU (GEO) – Graticcio di travi

Si considera uno dei due allineamenti (equivalenti) di travi riportati nella figura seguente.

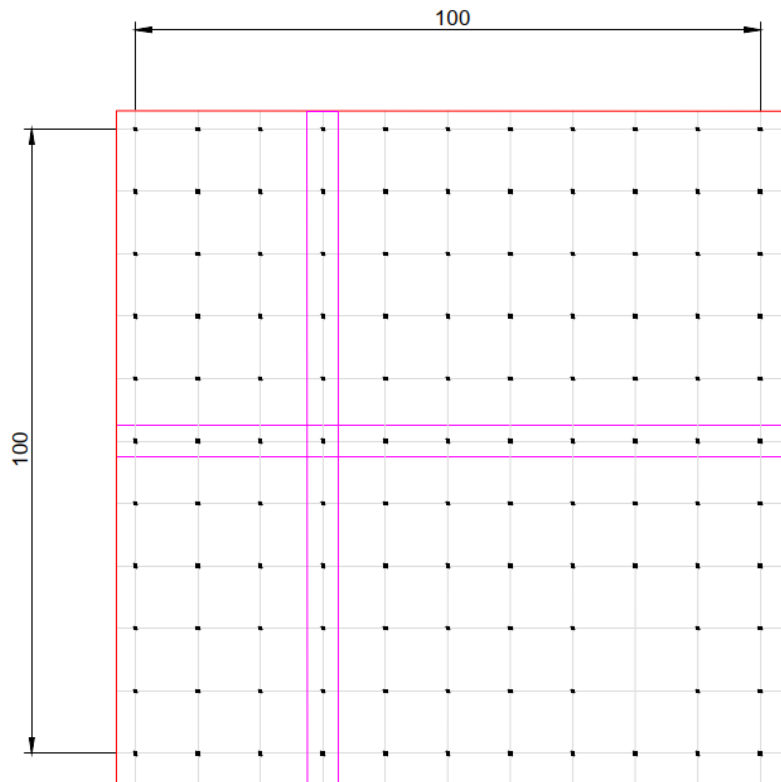


Figura 3: Pianta dell'edificio alla quota di estradosso della fondazione

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Si analizza il caso di trave avente forma rettangolare le cui dimensioni sono riportate nella tabella seguente.

Trave rovescia singolo allineamento	B (m)	h (m)	L (m)	P (kN)
	1.6	0.8	100	3200

Il calcolo è condotto in condizioni non drenate (CND) considerando il piano di posa delle fondazioni (p.p.f.) coincidente con lo strato di argilla limosa (AL) – Approccio di tipo conservativo. I risultati del calcolo sono riportati di seguito.

Terreni coesivi - verifica in condizioni non drenate			
$q_{lim} = 0.5 \gamma B' N_{\gamma} s_{\gamma} + cu N_c s_c i_c b_c g_c + q$			
fattori di capacità portante	N_c	$2 + \pi$	
	N_{γ}	$-2 \sin \alpha$	Vesic (1970)
fattori correttivi	s_c	$1 + 0.2 (B'/L')$	De Beer (1967) Vesic (1970)
	s_{γ}	$1 - 0.4 (B'/L')$	
	d_c	$1 + 0.4 (D/B')$ per $D \leq B$ $1 + 0.4 \tan^{-1}(D/B')$ per $D > B$	Meyerhof (1951) Skempton (1951) Brinch-Hansen (1961, 1970)
	i_c	$1 - [(mH)/(B' L' cu N_c)]$ $m = (2 + B'/L')/(1 + B'/L')$	Vesic (1970)
	b_c	$1 - 2\alpha/(\pi + 2)$	Brinch-Hansen (1970)
	g_c	$1 - 2\alpha/(\pi + 2)$	Vesic (1970)
fattori di capacità portante		N_c	5.14
		N_{γ}	0.00
fattori di forma		s_c	1.04
		s_{γ}	0.92
fattori di approfondimento		d_c	1.00
fattori di inclinazione del carico		i_c	1.00
fattori di inclinazione della fondazione		b_c	1.00
fattori di inclinazione del piano campagna		g_c	1.00

Resistenza:

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

$$R_d = \frac{q_{lim} \cdot B \cdot L}{\gamma_R} = \frac{535 \cdot 1.60 \cdot 100}{2.3} = 37217 \text{ kN}$$

Azione:

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Tab. 6.2.1 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_f (o γ_{f_i})	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G_1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G_2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q_i}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G_1}

$$E_d = \gamma_G \cdot (P + P_p) + \gamma_Q \cdot Q = 1.3 \cdot (8800 + 3200) + 1.5 \cdot 9900 = 30450 \text{ kN}$$

La verifica allo SLU risulta soddisfatta.

Verifiche agli SLE – Pali di fondazione

Si è scelto di utilizzare pali trivellati di grande diametro, cilindrici a sezione costante. Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche dei pali di fondazione:

Diametro	D (m)	0.8
Lunghezza	L (m)	10
Infissione	I (m)	5
Rapporto I/D	I/D	6.25
Numero pali	N_{pali}	22

Dalla prova geofisica in foro (DH01) è stato dedotto il valore di G_0 relativo sia alla profondità delle teste dei pali (tetto dello strato argilloso, AL) che alle profondità di infissione (tetto dello strato di sabbia limosa, SL1). Il modulo $G0b$ è riferito al materiale al di sotto della base del palo (SL1).

Nel seguito si riporta il profilo del modulo di taglio alle piccole deformazioni.

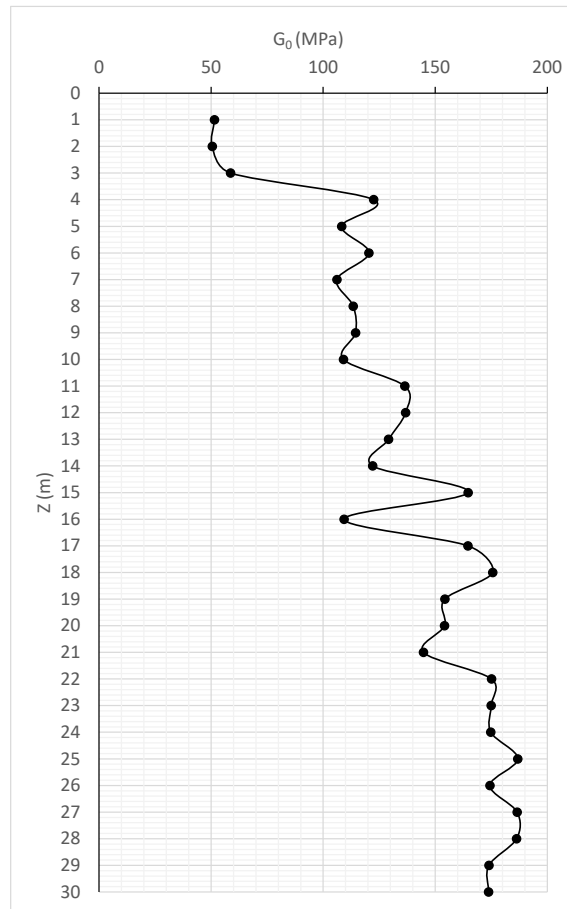


Figura 4: Andamento con la profondità del modulo di taglio alle piccole deformazioni

Dalla prova di colonna risonante (CR-C01) è possibile dedurre la curva di decadimento del modulo di taglio G , rappresentativa dello strato di argilla limosa (AL).

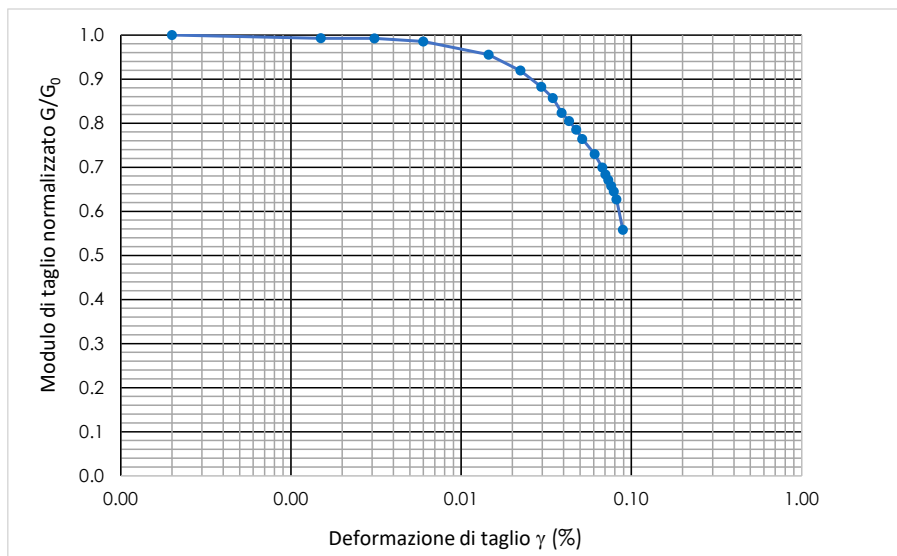


Figura 5: Curva di decadimento del modulo di taglio. Risultati colonna risonante

Ipotizzando una deformazione di taglio pari a 0.1% dalle curve di decadimento del modulo di taglio viene ricavato il modulo di taglio normalizzato da cui è possibile determinare il modulo di taglio in condizione d'esercizio, alle diverse profondità.

G_0 (z=z_{top}) (MPa)	50
G_0 (z=z_{top} +L) (MPa)	100
G_0 (medio) (MPa)	75
G_{0b} (MPa)	120
G/G_0	0.56
G (z=z_{top}) (MPa)	28
G (z=z_{top} +L) (MPa)	56
G (medio) (MPa)	42
G_b (MPa)	67

La valutazione dei cedimenti della fondazione viene eseguita (cautelativamente) per il carico caratteristico del carico assiale.

$$E_d = E_k = (P + P_p) + Q = (8800 + 3200) + 9900 = 21900 \text{ kN}$$

Si assume il soddisfacimento della verifica agli SLE, tale per cui:

$$E_d = C_d = N \cdot Q_{amm}$$

Dove con N=22 si è indicato il numero di pali che costituiscono la trave.

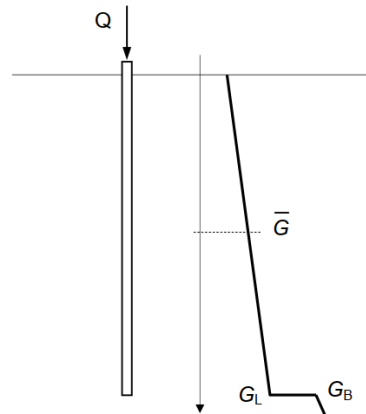
Imposto il valore del carico agente in testa al singolo palo, utilizzando il metodo di Randolph e Wroth viene calcolato il cedimento corrispondente.

Cedimento di un Palo singolo

Metodo di Randolph e Wroth

$$\frac{Q}{w_0 \cdot r_0 \cdot G_L} = \frac{4 \cdot r_0 \cdot G_b}{r_0 \cdot G_L (1-\nu)} + \frac{2\pi \cdot L \cdot \bar{G}}{\zeta \cdot r_0 \cdot G_L}$$

$$\zeta = \ln \left\{ \left[0.25 + \left(2.5 \frac{\bar{G}}{G_L} (1-\nu) - 0.25 \right) \frac{G_L}{G_b} \right] \frac{L}{r_0} \right\}$$



Cedimento di un gruppo di pali

$$w_{\text{gruppo}} = n \cdot R_g \cdot w_{\text{singolo}}$$

$$R_{g-\text{max}} = \frac{0.5}{R} + \frac{0.13}{R^2}$$

$$R_{g-\text{medio}} = 0.3 \cdot R^{-1.2}$$

$$R = \sqrt{\frac{n \cdot s}{L}}$$

Figura 6: Metodo di calcolo dei cedimenti per pali di fondazione

Il cedimento del singolo palo w_0 viene calcolato come segue:

v	0.25
r₀ (m)	0.4
ζ	3.412
w₀ (m)	0.001

Sfruttando le relazioni sopra riportate è possibile determinare il cedimento medio del gruppo di pali.

R_g	3.317
R_{g-medio}	0.071
w_{gruppo} (m)	0.002

Il cedimento del gruppo di pali è da considerarsi trascurabile (circa 2mm).

1.6.2 Struttura principale della teca

Al di sopra del podio, una struttura di legno e vetro offre copertura e supporto alle capsule modulari connesse attraverso passerelle pedonali.

Nella struttura principale della teca snelle colonne in legno supportano le travi di copertura e le capsule. Alle travi si connette una struttura secondaria in acciaio che supporta i pannelli di vetro che formano la copertura. Gli elementi di controventamento sono connessi alla sezione scatolare in acciaio che forma il nodo trave-colonna.

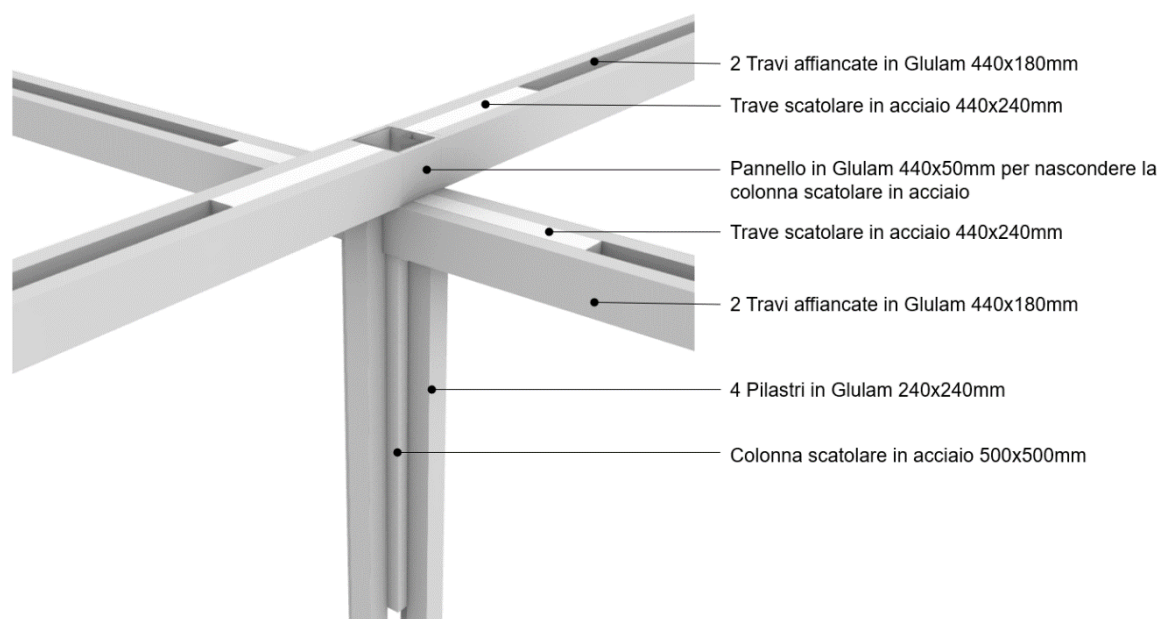


Figura 7: Nodo travi-colonna a livello della Copertura

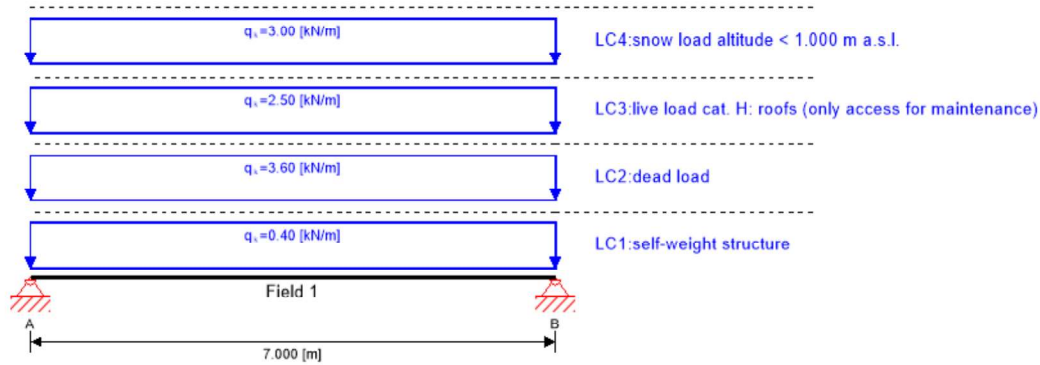
Travi in legno

Le travi progettate sono composte di due elementi di legno lamellare (glue-laminated) affiancati di sezione 440x180mm ciascuno. I carichi agenti su ciascun elemento sono riassunti nella tabella seguente.

Permanenti strutturali	0.40	kN/m
Permanenti non strutturali	3.60	kN/m
Variabili	2.5	kN/m
Neve	3	kN/m

Le verifiche agli SLU e SLE sono state eseguite utilizzando il software Calculatis by Stora Enso. Gli input e i risultati ottenuti sono mostrati di seguito.

System

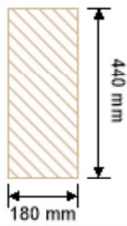


Global utilization ratio

85 %

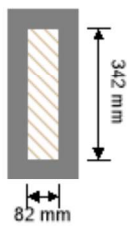
ULS	72 %	ULS Fire	85 %	SLS	79 %	SLS Vibration	0 %	Support	-1 %	Void	-1 %
-----	------	----------	------	-----	------	---------------	-----	---------	------	------	------

Section: Wooden beam 18/44



Section width	Section height	Area	ly	lz
[cm]	[cm]	[mm ²]	[mm ⁴]	[mm ⁴]
18	44	79,200	1,277,760,000	213,840,000

Section Fire: Wooden beam 18/44



Section width	Section height	Area	ly	lz
[cm]	[cm]	[mm ²]	[mm ⁴]	[mm ⁴]
8.2	34.2	28,044	273,344,800	15,713,980

Fire resistance class: R 60
Fire protection layering : no additional fire protection

Time **60 min**

k ₀	d ₀	d _{char,0,h}	d _{ef,h}	d _{char,0,v}	d _{ef,v}
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	7	42.0	98.0	42.0	98.0

Material values

Material	f _{m,k}	f _{t,0,k}	f _{t,90,k}	f _{c,0,k}	f _{c,90,k}	f _{v,k}	f _{r,k min}	E _{0,mean}	G _{mean}	E _{0,5}
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
GL 24h	24.00	19.20	0.50	24.00	2.50	3.50	1.20	11,500.00	650.00	9,600.00

Load

Load case groups

Load case category	Type	Duration	Kmod	γ _{inf}	γ _{sup}	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
LC1 self-weight structure	G	permanent	0.6	1	1.3	1	1	1
LC2 dead load	G	permanent	0.6	1	1.3	1	1	1

Load case groups										
	Load case category	Type	Duration	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
LC3	live load cat. H: roofs (only access for maintenance)	Q	short term	0.9	0	0	1.5	0	0	0
LC4	snow load altitude < 1.000 m a.s.l.	Q	short term	0.9	0	0	1.5	0.5	0.2	0

LC1: self-weight structure

continuous load	
Field	Load at start [kN/m]
1	0.40

LC2: dead load

continuous load	
Field	Load at start [kN/m]
1	3.60

LC3: live load cat. H: roofs (only access for maintenance)

continuous load	
Field	Load at start [kN/m]
1	2.50

LC4: snow load altitude < 1.000 m a.s.l.

continuous load	
Field	Load at start [kN/m]
1	3.00

ULS Combinations

	Combination rule
LCO1	$1.30/1.00 * LC1 + 1.30/1.00 * LC2$
LCO2	$1.30/1.00 * LC1 + 1.30/1.00 * LC2 + 1.50/0.00 * LC3$
LCO3	$1.30/1.00 * LC1 + 1.30/1.00 * LC2 + 1.50/0.00 * LC3 + 1.50/0.00 * 0.50 * LC4$
LCO4	$1.30/1.00 * LC1 + 1.30/1.00 * LC2 + 1.50/0.00 * LC4$
LCO5	$1.30/1.00 * LC1 + 1.30/1.00 * LC2 + 1.50/0.00 * LC4 + 1.50/0.00 * 0.00 * LC3$

ULS Combinations Fire

	Combination rule
LCO6	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2$
LCO7	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC3$
LCO8	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC3 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC4$
LCO9	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC4$
LCO10	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC4 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC3$

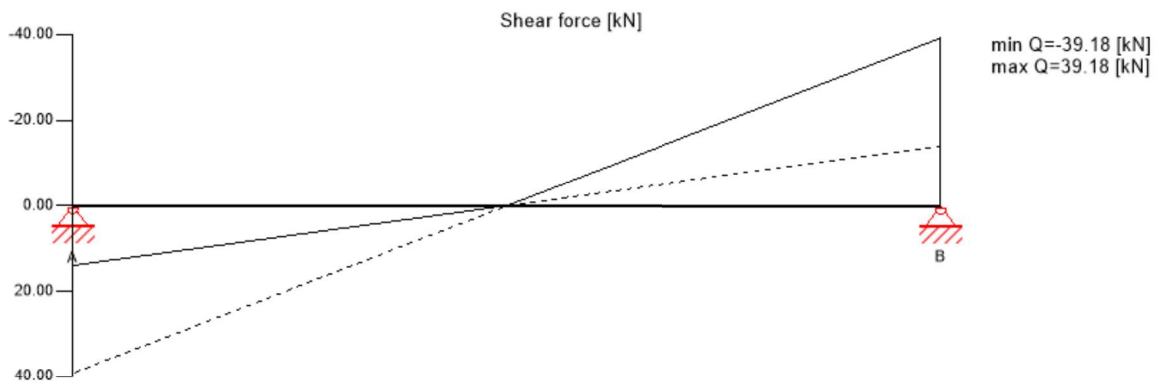
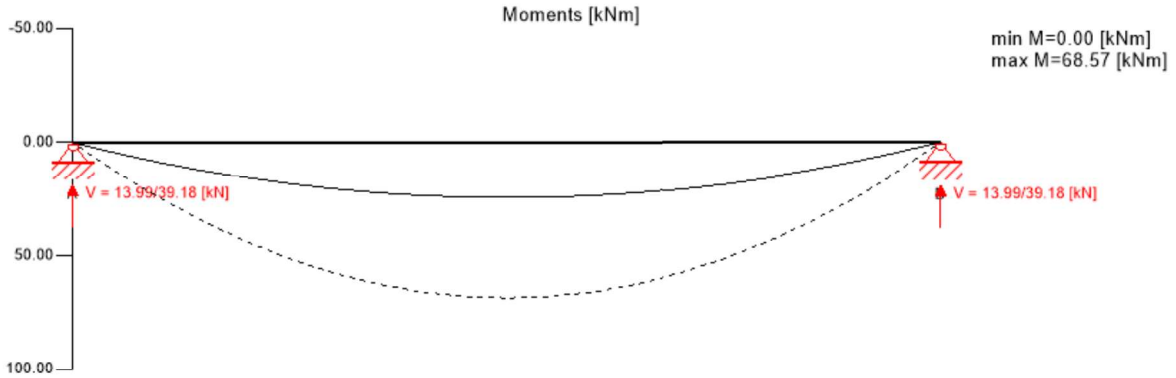
SLS Characteristic Combination

	Combination rule
LCO11	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2$
LCO12	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * LC3 + 1.00/0.00 * 0.50 * LC4$
LCO13	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * LC4 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC3$

SLS Quasi-permanent Combination

	Combination rule
LCO14	1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2
LCO15	1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC3 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC4
LCO16	1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC4 + 1.00/0.00 * 0.00 * LC3

Ultimate limit state (ULS) - design results



ULS Flexural design

Field	Dist. [m]	$f_{m,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,k}$ [N/mm ²]	γ_m [-]	k_{mod} [-]	$k_{sys,z}$ [-]	$k_{h,m,y}$ [-]	$k_{h,m,z}$ [-]	k_l [-]	$f_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$f_{m,z,d}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,d}$ [N/mm ²]	$f_{c,0,d}$ [N/mm ²]
1	3.5	24.00	24.00	19.20	1.35	0.90	1.00	1.03	1.10	1.00	16.50	17.60	12.80	16.00
Field	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	$N_{c,d}$ [kN]	$N_{t,d}$ [kN]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{m,z,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{c,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{t,d}$ [N/mm ²]	Ratio					
1	68.57	0.00	0.00	0.00	11.81	0.00	0.00	0.00	72 % LCO3					

ULS Shear analysis

Field	Dist. [m]	$f_{v,k}$ [N/mm ²]	γ_m [-]	k_{mod} [-]	$k_{h,v}$ [-]	$f_{v,d}$ [N/mm ²]	V_d [kN]	$\tau_{v,d}$ [N/mm ²]	Ratio
1	0.44	3.50	1.35	0.90	1.00	1.67	34.26	0.65	39 % LCO3

ULS Buckling design

Field	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	$N_{c,d}$ [kN]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{m,z,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{c,d}$ [N/mm ²]	Ratio
1	68.57	0.00	0.00	11.81	0.00	0.00	72 % LCO3

ULS Lateral torsional buckling design

Field	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	$N_{c,d}$ [kN]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{m,z,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{c,d}$ [N/mm ²]	Ratio
1	68.57	0.00	0.00	11.81	0.00	0.00	72 % LCO3

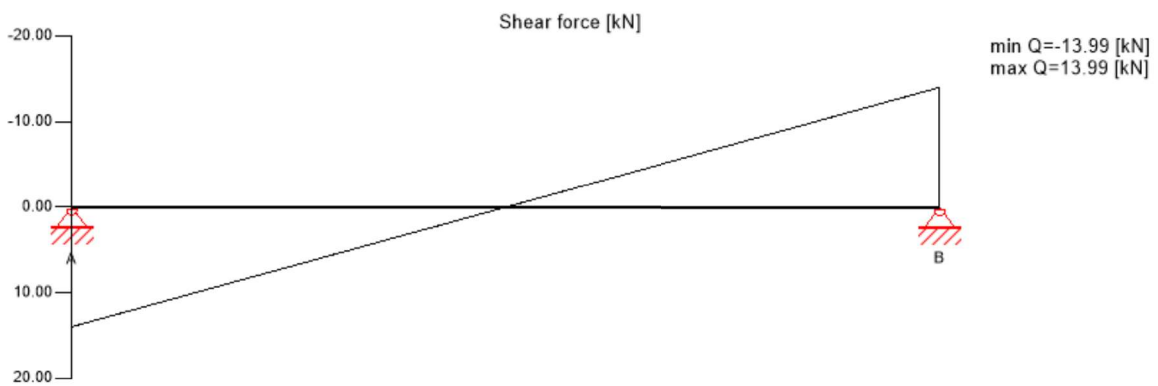
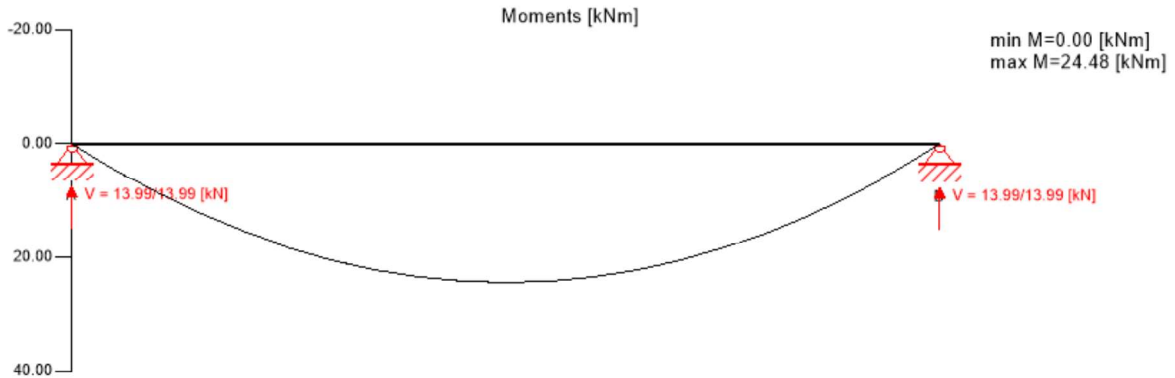
Flexural stress analysis							
$M_{y,d}$	=	68.57	kNm	$f_{m,k}$	=	24.00	N/mm ²
$M_{z,d}$	=	0.00	kNm	$f_{m,k,z}$	=	24.00	N/mm ²
$N_{t,d}$	=	0.00	kN	γ_m	=	1.35	-
				k_{mod}	=	0.90	-
				$k_{sys,y}$	=	1.00	-
				$k_{h,m,y}$	=	1.03	-
				$k_{h,m,z}$	=	1.10	-
				k_i	=	1.00	-
$\sigma_{t,d}$	=	0.00	N/mm ²	$f_{t,d}$	=	12.80	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d}$	=	11.81	N/mm ²	$f_{m,y,d}$	=	16.50	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d}$	=	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d}$	=	17.60	N/mm ²
			<				✓
Utilization ratio						72 %	

Shear stress analysis							
V_d	=	34.26	kN	$f_{v,k}$	=	3.50	N/mm ²
				γ_m	=	1.35	-
				k_{mod}	=	0.90	-
				$k_{h,v}$	=	1.00	-
$\tau_{v,d}$	=	0.65	N/mm ²	$f_{v,d}$	=	1.67	N/mm ²
			<				✓
Utilization ratio						39 %	

Buckling analysis							
$M_{y,d}$	=	68.57	kNm	$f_{m,k}$	=	24.00	N/mm ²
$M_{z,d}$	=	0.00	kNm	γ_m	=	1.35	-
$N_{c,d}$	=	0.00	kN	k_{mod}	=	0.90	-
				$k_{sys,y}$	=	1.00	-
				$k_{sys,z}$	=	1.00	-
				$k_{h,m,y}$	=	1.03	-
				$k_{h,m,z}$	=	1.10	-
$\sigma_{c,d}$	=	0.00	N/mm ²	$f_{c,d}$	=	16.00	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d}$	=	11.81	N/mm ²	$f_{m,y,d}$	=	16.50	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d}$	=	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d}$	=	17.60	N/mm ²
			<				✓
Utilization ratio						72 %	

Lateral torsional buckling analysis							
$M_{y,d}$	=	68.57	kNm	$f_{m,k}$	=	24.00	N/mm ²
$M_{z,d}$	=	0.00	kNm	γ_m	=	1.35	-
$N_{c,d}$	=	0.00	kN	k_{mod}	=	0.90	-
				$k_{sys,y}$	=	1.00	-
				$k_{h,m,y}$	=	1.03	-
				$k_{h,m,z}$	=	1.10	-
				k_i	=	1.00	-
$\sigma_{c,d}$	=	0.00	N/mm ²	$f_{c,d}$	=	16.00	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d}$	=	11.81	N/mm ²	$f_{m,y,d}$	=	16.50	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d}$	=	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d}$	=	17.60	N/mm ²
			<				✓
Utilization ratio						72 %	

Ultimate limit state (ULS) fire design - results



ULS Fire Flexural design

Field	Dist. [m]	$f_{m,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,k}$ [N/mm ²]	γ_m [-]	k_{mod} [-]	k_{fi} [-]	$k_{sys,z}$ [-]	$k_{h,m,y}$ [-]	$k_{h,m,z}$ [-]	k_t [-]	$f_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$f_{m,z,d}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,d}$ [N/mm ²]	$f_{c,0,d}$ [N/mm ²]
1	3.5	24.00	24.00	19.20	1.35	0.90	1.00	1.00	1.03	1.10	1.00	16.50	17.60	12.80	16.00
Field	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	$N_{c,d}$ [kN]	$N_{t,d}$ [kN]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{m,z,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{c,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{t,d}$ [N/mm ²]	Ratio						
1	68.57	0.00	0.00	0.00	11.81	0.00	0.00	0.00	0.00	72 % LCO3					

ULS Fire Shear analysis

Field	Dist. [m]	$f_{v,k}$ [N/mm ²]	γ_m [-]	k_{mod} [-]	$k_{h,v}$ [-]	k_{fi} [-]	$f_{v,d}$ [N/mm ²]	V_d [kN]	$\tau_{v,d}$ [N/mm ²]	Ratio
1	0.34	3.50	1.00	1.00	1.00	1.15	2.87	12.62	0.67	23 % LCO6

ULS Buckling design

Field	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	$N_{c,d}$ [kN]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{m,z,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{c,d}$ [N/mm ²]	Ratio
1	24.48	0.00	0.00	15.31	0.00	0.00	52 % LCO6

ULS Fire Lateral torsional buckling design

Field	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	$N_{c,d}$ [kN]	$\sigma_{m,z,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{c,d}$ [N/mm ²]	Ratio
1	24.48	0.00	0.00	0.00	15.31	0.00	85 % LCO6

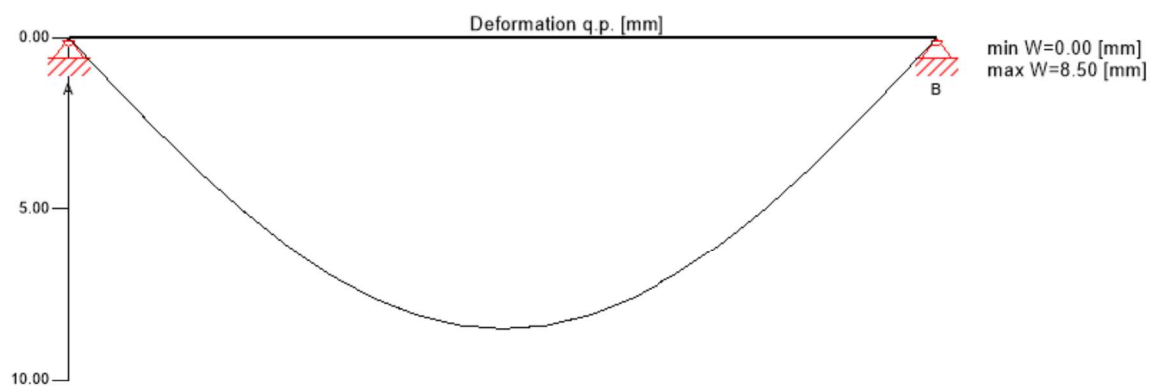
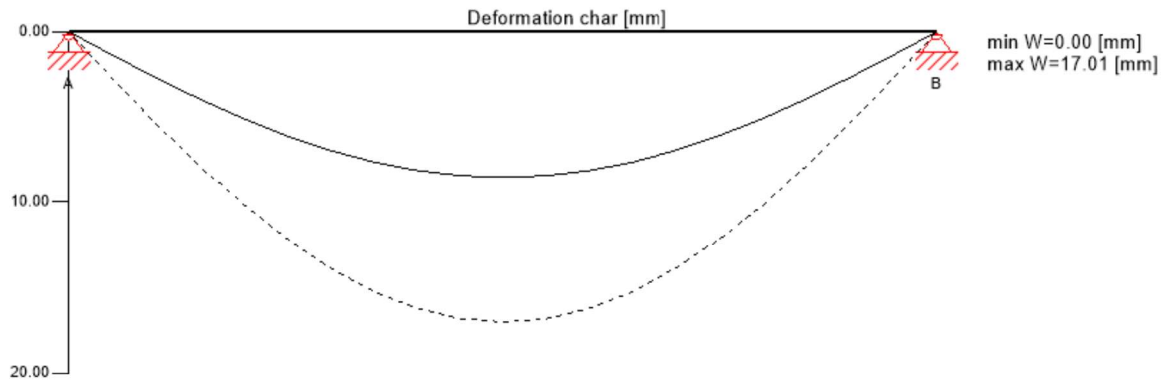
Flexural stress analysis Fire					
$M_{y,d}$	24.48	kNm	$f_{m,k}$	24.00	N/mm ²
$M_{z,d}$	0.00	kNm	$f_{m,k,z}$	24.00	N/mm ²
$N_{t,d}$	0.00	kN	γ_m	1.00	-
			k_{mod}	1.00	-
			$k_{sys,y}$	1.00	-
			$k_{h,m,y}$	1.06	-
			$k_{h,m,z}$	1.10	-
			k_{ϕ}	1.00	-
			k_{fi}	1.15	-
$\sigma_{t,d}$	0.00	N/mm ²	$f_{t,0,d}$	22.08	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d}$	15.31	N/mm ²	$f_{m,y,d}$	29.20	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d}$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d}$	30.36	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					52 %

Shear stress analysis Fire					
V_d	12.62	kN	$f_{v,k}$	3.50	N/mm ²
			γ_m	1.00	-
			k_{mod}	1.00	-
			$k_{h,v}$	1.00	-
			k_{fi}	1.15	-
$\tau_{v,d}$	0.67	N/mm ²	$f_{v,d}$	2.87	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					23 %

Buckling analysis					
$M_{y,d}$	24.48	kNm	$f_{m,k}$	24.00	N/mm ²
$M_{z,d}$	0.00	kNm	γ_m	1.00	-
$N_{c,d}$	0.00	kN	k_{mod}	1.00	-
			$k_{sys,y}$	1.00	-
			$k_{sys,z}$	1.00	-
			$k_{h,m,y}$	1.06	-
			$k_{h,m,z}$	1.10	-
$\sigma_{c,d}$	0.00	N/mm ²	$f_{c,0,d}$	27.60	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d}$	15.31	N/mm ²	$f_{m,y,d}$	29.20	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d}$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d}$	30.36	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					52 %

Lateral torsional buckling analysis Fire					
$M_{y,d}$	24.48	kNm	$f_{m,k}$	24.00	N/mm ²
$M_{z,d}$	0.00	kNm	γ_m	1.00	-
$N_{c,d}$	0.00	kN	k_{mod}	1.00	-
			$k_{sys,y}$	1.00	-
			$k_{h,m,y}$	1.06	-
			$k_{h,m,z}$	1.10	-
			k_{ϕ}	1.00	-
			k_{fi}	1.15	-
$\sigma_{c,d}$	0.00	N/mm ²	$f_{c,0,d}$	27.60	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d}$	15.31	N/mm ²	$f_{m,y,d}$	29.20	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d}$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d}$	30.36	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					85 %

Service limit state design (SLS) - design results



$w_{inst} = w[char]$

Field	K_{def}	Limit [-]	w_{limit} [mm]	$w_{calc.}$ [mm]	Ratio
1	0.6	L/300	23.3	17.0	73 %

$w_{fin} = w[char] + w[q.p.]*k_{def}$

Field	K_{def}	Limit [-]	w_{limit} [mm]	$w_{calc.}$ [mm]	Ratio
1	0.6	L/250	28.0	22.1	79 %

$w_{net,fin} = w[q.p.] + w[q.p.]*k_{def}$

Field	K_{def}	Limit [-]	w_{limit} [mm]	$w_{calc.}$ [mm]	Ratio
1	0.6	L/300	23.3	13.6	58 %

Support reaction

Load case category	k_{mod}	A_v	B_v
[kN]			
self-weight structure	0.6	1.39	1.39
dead load	0.6	12.60	12.60
live load cat. H: roofs (only access for maintenance)	0.9	8.75	8.75
snow load altitude < 1.000 m a.s.l.	0.9	10.50	10.50
		0.00	0.00

Reference documents for this analysis

English title	Description
EN 338	EN 338 - Structural timber ? Strength classes
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurocode 5 — Design of timber structures — Part 1-2: General — Structural fire design
EN 14080	EN 14080 - Timber Structures - Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements
EN 1990	EN 1990 - Eurocode ? Basis of structural design
DM18	NTC2018 - Italian standards for structural design of buildings and constructions - D.M. 17 Gennaio 2018
CNR DT206	CNR-DT 206/2007: Recommendations for the design and execution of timber structures
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe; publishes by SP Technical Research Institute of Sweden
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	ÖNORM EN 1995-1-2 - National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12
UNI EN 1995-1-2_NA	UNI EN 1995-1-2 - Italy - National Annex - Eurocode 5: Design of timber structures ? Part 1-2: General ? Structural fire design ? National specifications concerning UNI EN 1995-1-2, national comments and national supplements
UNI EN 1995-1-1_NA	UNI EN 1995-1-1 - Italy - National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings
ÖNORM EN 1995-1-1_NA, chapter 7.3	ÖNORM EN 1995-1-1 - Austria - National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General-Common rules and rules for buildings; chapter 7.3
CERTIFICATE NO. EUFI29-20000564-C	Product certificate
LVL G by Stora Enso_Structural design manual column&beam_V01	Design manual
ETA 20_0291 LVL G by Stora Enso	ETA

Disclaimer

The software was created to assist engineers in their daily business. The software is an engineering software that is dealing with a very complex matter of structural analysis and building physics analysis. Therefore, this software shall only be operated by skilled, experienced engineers, with a deep understanding of structural engineering and building physics related to timber structures. The user of the software is obliged to check all input values, no matter if they were given by the user or given by default by the software and all results for plausibility.

The use of the results of the software should not be relied upon as the basis for any decision or action. Any use of results of the software is only allowed, if the results have been verified and approved regarding completeness and correctness by a project structural/building physics engineer. The user has the possibility to make print-outs from the software. Any modification of those are not allowed.

Stora Enso Wood Products GmbH does not assume any warranty regarding the software. The software has been developed with utmost diligence, nevertheless Stora Enso Wood Products GmbH, neither expressly nor implicitly, provides any warranty in terms of accuracy, validity, timeliness and completeness of information and data created by the software. Stora Enso Wood Products GmbH does also not assume any warranty for the general usability of the software, its suitability for a special purpose or for the compatibility of the software with the ones of third party producers or providers.

Stora Enso Wood Products GmbH is only liable for damages caused by gross negligence or intent through Stora Enso Wood Products GmbH; the liability for slight negligence is excluded. This does not apply to personal injury. Under the aforementioned conditions Stora Enso Wood Products GmbH is as well not liable for operational failures or the loss of programs and/or data of the user's data processing system.

Applicable Law: These terms of use shall be governed by the laws of Austria excluding however any conflict of laws rules and any laws regarding the Convention of the International Sale of Goods (CISG).

Colonne in legno

Le colonne in legno sono composte da quattro pilastri di legno lamellare (glue-laminated) di sezione 240x240mm ciascuno con vincoli laterali ogni tre metri circa. L'analisi dei carichi è stata eseguita per quattro tipologie di colonne disposte sia internamente che esternamente alle capsule, in posizione interna o perimetrale alla teca per considerare tutti i possibili scenari di carico.

- Colonna B10 – Interna, capsula grande
Area di riferimento 75 m²

		Colonna		Pilastro singolo	
	Livello	Gk	Qk	Gk	Qk
	-	kN	kN	kN	kN
Legno	Copertura	155.84	180	38.96	45
	Top Capsula	201.48	37.50	50.37	9.37
	L3	133.83	375	33.46	93.75
Acciaio	L2	281.25	187.50	-	-
	L1	234.37	112.50	-	-
SLU		2697.89	kN		

- Colonna E10 – Perimetrale
Area di riferimento 50 m²

		Colonna		Pilastro singolo	
	Livello	Gk	Qk	Gk	Qk
	-	kN	kN	kN	kN
Legno	Copertura	155.84	180	38.96	45
	Top Capsula	134.32	25	33.58	6.25
	L3	161.85	250	40.46	62.50
	Special load	250	-	62.50	-
SLU		1630.22	kN		

- Colonna A8 – Perimetrale
Area di riferimento 50 m²

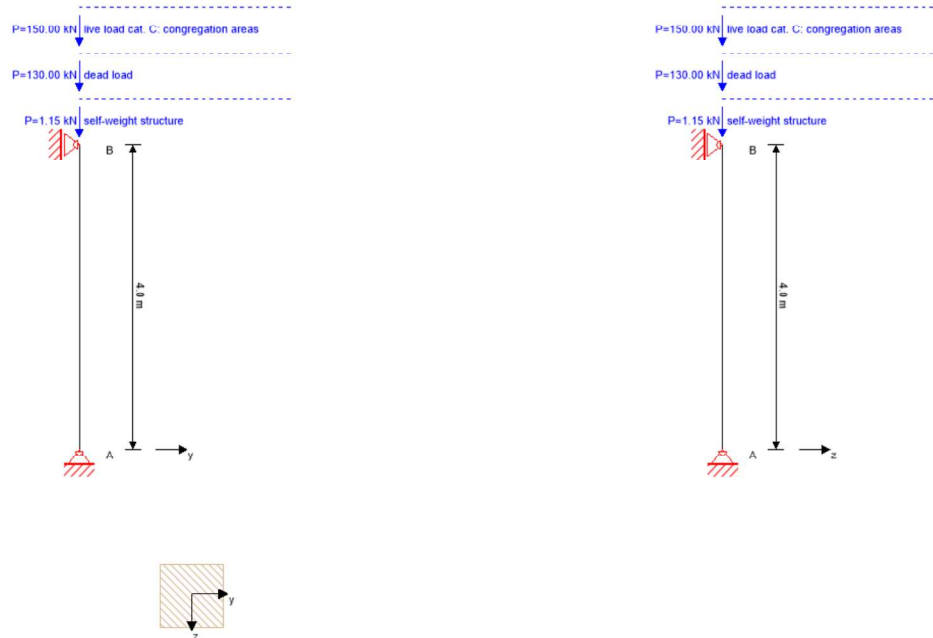
SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

	Livello	Colonna		Pilastro singolo	
		Gk	Qk	Gk	Qk
		kN	kN	kN	kN
Legno	Copertura	155.84	180	38.96	45
	Top Capsula	134.32	25	33.58	6.25
	L3	161.85	250	40.46	62.50
	Facciata	108	-	27	-
	SLU	1438.52	kN		

Le verifiche agli SLU e SLE sono state eseguite per la colonna B10 e E10 utilizzando il software Calculatis by Stora Enso. Gli input e i risultati ottenuti sono mostrati di seguito.

System

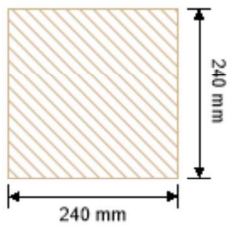


Global utilization ratio

88 %

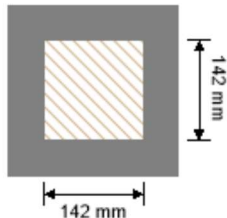
ULS	42 %	ULS Fire	88 %
-----	------	----------	------

Section: Wooden beam 24/24



Section width	Section height	Area	I _y	I _z
[cm]	[cm]	[mm ²]	[mm ⁴]	[mm ⁴]
24	24	57,600	276,480,000	276,480,000

Section Fire: Wooden beam 24/24



Section width	Section height	Area	I _y	I _z
[cm]	[cm]	[mm ²]	[mm ⁴]	[mm ⁴]
14.2	14.2	20,164	33,882,230	33,882,230

Fire resistance class: R 60
Fire protection layering : no additional fire protection

Time 60 min

k ₀	d ₀	d _{char,0,h}	d _{ef,h}	d _{char,0,v}	d _{ef,v}
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	7	42.0	98.0	42.0	98.0

Material values

Material	$f_{m,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,90,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,90,k}$ [N/mm ²]	$f_{v,k}$ [N/mm ²]	$f_{r,k \text{ min}}$ [N/mm ²]	$E_{0, \text{mean}}$ [N/mm ²]	G_{mean} [N/mm ²]	$E_{0,5}$ [N/mm ²]
GL 30h	30.00	24.00	0.50	30.00	2.50	3.50	1.20	13,600.00	650.00	11,300.00

Load

Load case groups

	Load case category	Type	Duration	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	
LC1	self-weight structure	G	permanent		0.6	1	1.3	1	1	1
LC2	dead load	G	permanent		0.6	1	1.3	1	1	1
LC3	live load cat. C: congregation areas	Q	short term		0.9	0	1.5	0.7	0.7	0.6

LC1:self-weight structure

vertical load

P_k [kN]	ex. y [m]	ex. z [m]
1.152	0.00	0.00

LC2:dead load

vertical load

P_k [kN]	ex. y [m]	ex. z [m]
130	0.00	0.00

LC3:live load cat. C: congregation areas

vertical load

P_k [kN]	ex. y [m]	ex. z [m]
150	0.00	0.00

ULS Combinations

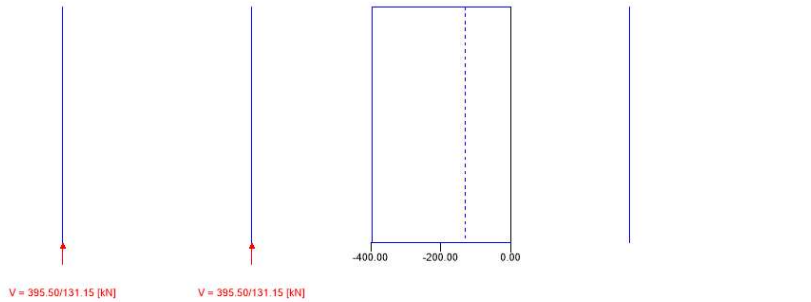
	Combination rule
LCO1	$1.30/1.00 * LC1 + 1.30/1.00 * LC2$
LCO2	$1.30/1.00 * LC1 + 1.30/1.00 * LC2 + 1.50/0.00 * LC3$

ULS Combinations Fire

	Combination rule
LCO1	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2$
LCO2	$1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * 0.60 * LC3$

Ultimate limit state (ULS) - design results

Moments y [kNm] Moments z [kNm] Axial forces [kN] Shear force y [kN] Shear force z [kN]
 min My=0.00 [kNm] min Mz=0.00 [kNm] min N=-395.50 [kN] min Vy=0.00 [kN] min Vz=0.00 [kN]
 max My=0.00 [kNm] max Mz=0.00 [kNm] max N=-131.15 [kN] max Vy=0.00 [kN] max Vz=0.00 [kN]



ULS Flexural design

Dist. [m]	f _{m,k} [N/mm ²]	f _{c,0,k} [N/mm ²]	f _{t,0,k} [N/mm ²]	γ _m [-]	k _{mod} [-]	k _{sys,z} [-]	k _{h,m,y} [-]	k _{h,m,z} [-]	k _t [-]	f _{m,y,d} [N/mm ²]	f _{m,z,d} [N/mm ²]	f _{t,0,d} [N/mm ²]	f _{c,0,d} [N/mm ²]
0.0	30.00	30.00	24.00	1.35	0.90	1.00	1.10	1.10	1.00	21.92	21.92	16.00	20.00
	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	N _{c,d} [kN]	N _{t,d} [kN]	σ _{m,y,d} [N/mm ²]	σ _{m,z,d} [N/mm ²]	σ _{c,d} [N/mm ²]	σ _{t,d} [N/mm ²]	Ratio				
	0.00	0.00	-395.50	0.00	0.00	0.00	6.87	0.00	34 %	LCO2			

ULS Shear analysis Y

Dist. [m]	f _{v,k} [N/mm ²]	γ _m [-]	k _{mod} [-]	k _{h,v} [-]	f _{v,d} [N/mm ²]	V _d [kN]	τ _{v,d} [N/mm ²]	Ratio
4.0	3.50	1.35	0.90	1.00	1.67	0.00	0.00	0 % LCO2

ULS Shear analysis Z

Dist. [m]	f _{v,k} [N/mm ²]	γ _m [-]	k _{mod} [-]	k _{h,v} [-]	f _{v,d} [N/mm ²]	V _d [kN]	τ _{v,d} [N/mm ²]	Ratio
4.0	3.50	1.35	0.90	1.00	1.67	0.00	0.00	0 % LCO2

Flexural stress analysis

M _{y,d} = 0.00 kNm	f _{m,k} = 30.00 N/mm ²
M _{z,d} = 0.00 kNm	f _{m,k,z} = 30.00 N/mm ²
N _{c,d} = -395.50 kN	γ _m = 1.35 -
	k _{mod} = 0.90 -
	k _{sys,y} = 1.00 -
	k _{h,m,y} = 1.10 -
	k _{h,m,z} = 1.10 -
	k _t = 1.00 -
σ _{c,d} = 6.87 N/mm ²	f _{c,0,d} = 20.00 N/mm ²
σ _{m,y,d} = 0.00 N/mm ²	f _{m,y,d} = 21.92 N/mm ²
σ _{m,z,d} = 0.00 N/mm ²	f _{m,z,d} = 21.92 N/mm ² ✓

Utilization ratio 34 %

Shear stress analysis Y

V _d = 0.00 kN	f _{v,k} = 3.50 N/mm ²
	γ _m = 1.35 -
	k _{mod} = 0.90 -
	k _{h,v} = 1.00 -
τ _{v,d} = 0.00 N/mm ²	f _{v,d} = 1.67 N/mm ² ✓

Utilization ratio 0 %

Shear stress analysis Z

$V_d =$	0.00	kN	$f_{v,k} =$	3.50	N/mm ²
			$\gamma_m =$	1.35	-
			$k_{mod} =$	0.90	-
			$k_{h,v} =$	1.00	-
$T_{v,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{v,d} =$	1.67	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					0 %

Shear stress analysis

$V_{y,d} =$	0.00	kN	$V_{z,d} =$	0.00	kN
$f_{v,k} =$	0.00	N/mm ²	$\gamma_m =$	1.35	-
$f_{v,d} =$	0.00	N/mm ²	$k_{mod} =$	0.00	-
$T_{v,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$T_{v,z,d} =$	0.00	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					0 %

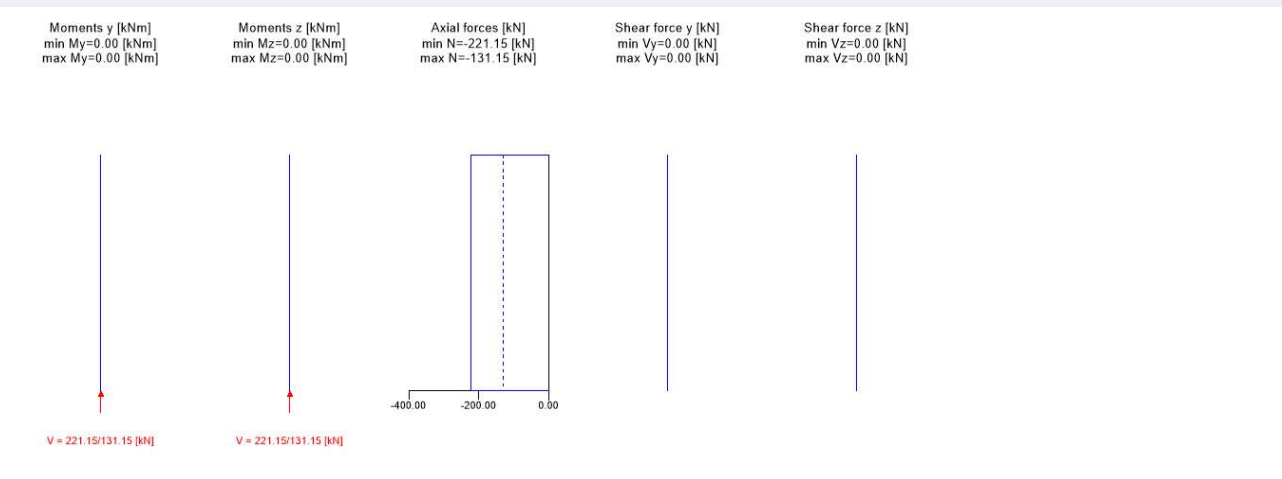
Buckling analysis

$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	30.00	N/mm ²
$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$\gamma_m =$	1.35	-
$N_{c,d} =$	-395.50	kN	$k_{mod} =$	0.90	-
			$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{sys,z} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-
			$k_{h,m,z} =$	1.10	-
$\sigma_{c,d} =$	6.87	N/mm ²	$f_{c,0,d} =$	20.00	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	21.92	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	21.92	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					42 %

Lateral torsional buckling analysis

$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	0.00	N/mm ²
$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$\gamma_m =$	1.35	-
$N_{c,d} =$	0.00	kN	$k_{mod} =$	0.00	-
			$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-
			$k_{h,m,z} =$	1.10	-
			$k_l =$	1.00	-
$\sigma_{c,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{c,0,d} =$	0.00	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					0 %

Ultimate limit state (ULS) fire design - results



ULS Fire Flexural design										
Dist.	γ_m	k_{mod}	$k_{sys,y}$	k_{fi}	$f_{m,k}$	$f_{m,y,d}$	$f_{t,0,d}$	$f_{c,0,d}$		
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
0.0	1.35	0.90	1.00	1.00	30.00	21.92	16.00	20.00		
$M_{y,d}$	$N_{c,d}$	$N_{t,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	$\sigma_{c,d}$	$\sigma_{t,d}$	Ratio				
[kNm]	[kN]	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]					
0.00	-221.15	0.00	0.00	10.97	0.00	32 % LCO2				

ULS Fire Shear analysis Y										
Dist.	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	$k_{sys,y}$	k_{fi}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Ratio	
[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]		
4.0	3.50	1.00	1.00	1.00	1.15	2.87	0.00	0.00	0 % LCO2	

ULS Fire Shear analysis Z										
Dist.	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	$k_{sys,y}$	k_{fi}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Ratio	
[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]		
4.0	3.50	1.00	1.00	1.00	1.15	2.87	0.00	0.00	0 % LCO2	

Flexural stress analysis Fire											
$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	30.00	N/mm ²	$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k,z} =$	30.00	N/mm ²
$N_{c,d} =$	-221.15	kN	$\gamma_m =$	1.00	-	$k_{mod} =$	1.00	-	$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-	$k_{h,m,z} =$	1.10	-	$k_i =$	1.00	-
			$k_{fi} =$	1.15	-	$\sigma_{c,d} =$	10.97	N/mm ²	$f_{c,0,d} =$	34.50	N/mm ²
			$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	37.95	N/mm ²
			$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²		<		$f_{m,z,d} =$	37.95	N/mm ²
Utilization ratio										32 %	

Shear stress analysis Y Fire											
$V_d =$	0.00	kN	$f_{v,k} =$	3.50	N/mm ²	$\gamma_m =$	1.00	-	$k_{mod} =$	1.00	-
			$k_{h,v} =$	1.00	-	$k_{fi} =$	1.15	-	$f_{v,d} =$	2.87	N/mm ²
$\tau_{v,d} =$	0.00	N/mm ²		<							
Utilization ratio										0 %	

Shear stress analysis Z Fire											
$V_d =$	0.00	kN	$f_{v,k} =$	3.50	N/mm ²	$\gamma_m =$	1.00	-	$k_{mod} =$	1.00	-
			$k_{h,v} =$	1.00	-	$k_{fi} =$	1.15	-	$f_{v,d} =$	2.87	N/mm ²
$\tau_{v,d} =$	0.00	N/mm ²		<							
Utilization ratio										0 %	

Shear stress analysis Fire											
$V_{y,d} =$	0.00	kN	$V_{z,d} =$	0.00	kN	$\gamma_m =$	1.00	-	$k_{fi} =$	1.15	-
$f_{v,k} =$	0.00	N/mm ²	$k_{mod} =$	0.00	-	$\tau_{v,z,d} =$	0.00	N/mm ²			
$f_{v,d} =$	0.00	N/mm ²									
$\tau_{v,y,d} =$	0.00	N/mm ²									
Utilization ratio										0 %	

Buckling analysis Fire					
$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	30.00	N/mm ²
$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$\gamma_m =$	1.00	-
$N_{c,d} =$	-221.15	kN	$k_{mod} =$	1.00	-
			$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{sys,z} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-
			$k_{h,m,z} =$	1.10	-
			$k_{fi} =$	1.15	-
$\sigma_{c,d} =$	10.97	N/mm ²	$f_{c,0,d} =$	34.50	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	37.95	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	37.95	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					88 %

Lateral torsional buckling analysis Fire					
$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	0.00	N/mm ²
$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$\gamma_m =$	1.00	-
$N_{c,d} =$	0.00	kN	$k_{mod} =$	0.00	-
			$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-
			$k_{h,m,z} =$	1.10	-
			$k_i =$	1.00	-
			$k_{fi} =$	1.15	-
$\sigma_{c,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{c,0,d} =$	0.00	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					0 %

Support reaction						
Load case category	k_{mod}	A_y	A_z	B_x	B_y	B_z
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
self-weight structure	0.6	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00
dead load	0.6	0.00	0.00	130.00	0.00	0.00
live load cat. C: congregation areas	0.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	150.00	0.00	0.00

Reference documents for this analysis	
English title	Description
EN 338	EN 338 - Structural timber ? Strength classes
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurocode 5 — Design of timber structures — Part 1-2: General — Structural fire design
EN 14080	EN 14080 - Timber Structures - Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements
EN 1990	EN 1990 - Eurocode ? Basis of structural design
DM18	NTC2018 - Italian standards for structural design of buildings and constructions - D.M. 17 Gennaio 2018
CNR DT206	CNR-DT 206/2007: Recommendations for the design and execution of timber structures
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe; publishes by SP Technical Research Institute of Sweden
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	ÖNORM EN 1995-1-2 - National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12
UNI EN 1995-1-2_NA	UNI EN 1995-1-2 - Italy - National Annex - Eurocode 5: Design of timber structures ? Part 1-2: General ? Structural fire design ? National specifications concerning UNI EN 1995-1-2, national comments and national supplements
UNI EN 1995-1-1_NA	UNI EN 1995-1-1 - Italy - National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings
CERTIFICATE NO. EUFI29-20000564-C	Product certificate

Reference documents for this analysis

English title	Description
LVL G by Stora Enso_Structural design manual column&beam_V01	Design manual
ETA 20_0291 LVL G by Stora Enso	ETA

Disclaimer

The software was created to assist engineers in their daily business. The software is an engineering software that is dealing with a very complex matter of structural analysis and building physics analysis. Therefore, this software shall only be operated by skilled, experienced engineers, with a deep understanding of structural engineering and building physics related to timber structures. The user of the software is obliged to check all input values, no matter if they were given by the user or given by default by the software and all results for plausibility.

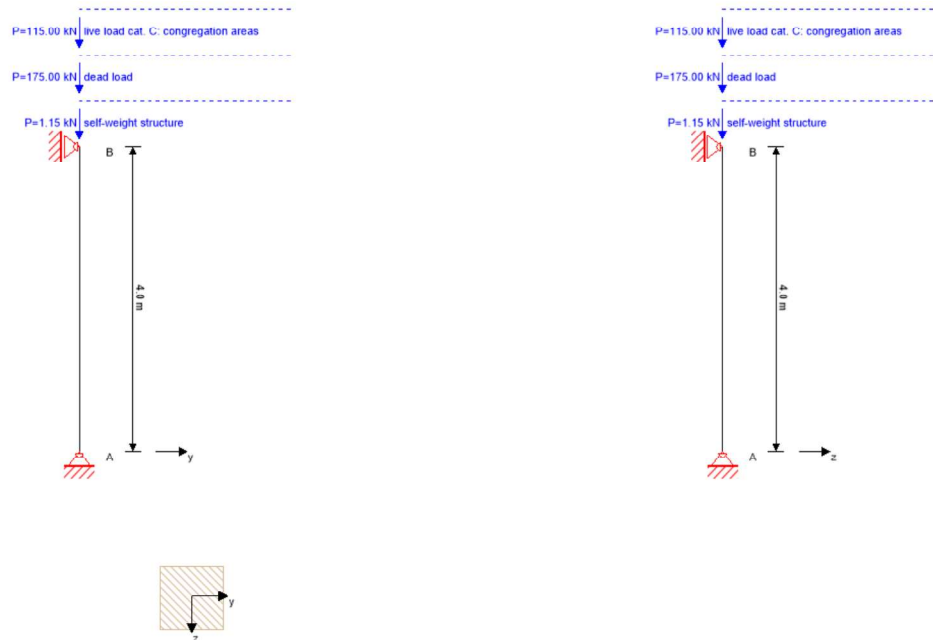
The use of the results of the software should not be relied upon as the basis for any decision or action. Any use of results of the software is only allowed, if the results have been verified and approved regarding completeness and correctness by a project structural/building physics engineer. The user has the possibility to make print-outs from the software. Any modification of those are not allowed.

Stora Enso Wood Products GmbH does not assume any warranty regarding the software. The software has been developed with utmost diligence, nevertheless Stora Enso Wood Products GmbH, neither expressly nor implicitly, provides any warranty in terms of accuracy, validity, timeliness and completeness of information and data created by the software. Stora Enso Wood Products GmbH does also not assume any warranty for the general usability of the software, its suitability for a special purpose or for the compatibility of the software with the ones of third party producers or providers.

Stora Enso Wood Products GmbH is only liable for damages caused by gross negligence or intent through Stora Enso Wood Products GmbH; the liability for slight negligence is excluded. This does not apply to personal injury. Under the aforementioned conditions Stora Enso Wood Products GmbH is as well not liable for operational failures or the loss of programs and/or data of the user's data processing system.

Applicable Law: These terms of use shall be governed by the laws of Austria excluding however any conflict of laws rules and any laws regarding the Convention of the International Sale of Goods (CISG).

System

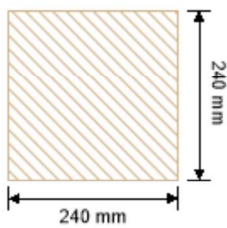


Global utilization ratio

97 %

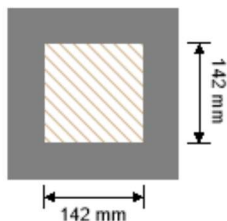
ULS	43 %	ULS Fire	97 %
-----	------	----------	------

Section: Wooden beam 24/24



Section width	Section height	Area	I _y	I _z
[cm]	[cm]	[mm ²]	[mm ⁴]	[mm ⁴]
24	24	57,600	276,480,000	276,480,000

Section Fire: Wooden beam 24/24



Section width	Section height	Area	I _y	I _z
[cm]	[cm]	[mm ²]	[mm ⁴]	[mm ⁴]
14.2	14.2	20,164	33,882,230	33,882,230

Fire resistance class: R 60
 Fire protection layering : no additional fire protection

Time **60 min**

k ₀	d ₀	d _{char,0,h}	d _{ef,h}	d _{char,0,v}	d _{ef,v}
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	7	42.0	98.0	42.0	98.0

Material values

Material	$f_{m,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,90,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,90,k}$ [N/mm ²]	$f_{v,k}$ [N/mm ²]	$f_{r,k \text{ min}}$ [N/mm ²]	$E_{0, \text{mean}}$ [N/mm ²]	G_{mean} [N/mm ²]	$E_{0,5}$ [N/mm ²]
GL 30h	30.00	24.00	0.50	30.00	2.50	3.50	1.20	13,600.00	650.00	11,300.00

Load

Load case groups

Load case category	Type	Duration	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
LC1 self-weight structure	G	permanent	0.6	1	1	1.3	1	1
LC2 dead load	G	permanent	0.6	1	1	1.3	1	1
LC3 live load cat. C: congregation areas	Q	short term	0.9	0	0	1.5	0.7	0.6

LC1:self-weight structure

vertical load

P_k [kN]	ex. y [m]	ex. z [m]
1.152	0.00	0.00

LC2:dead load

vertical load

P_k [kN]	ex. y [m]	ex. z [m]
175	0.00	0.00

LC3:live load cat. C: congregation areas

vertical load

P_k [kN]	ex. y [m]	ex. z [m]
115	0.00	0.00

ULS Combinations

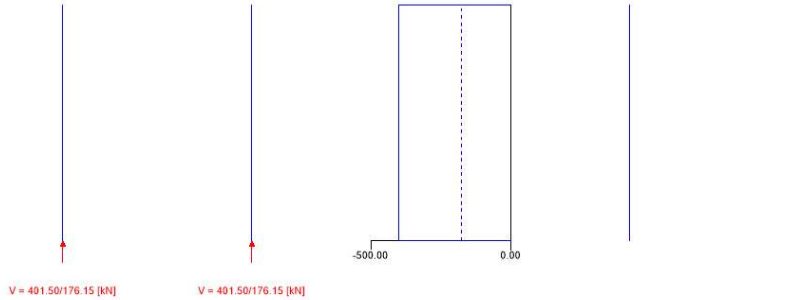
Combination rule
LCO1 1.30/1.00 * LC1 + 1.30/1.00 * LC2
LCO2 1.30/1.00 * LC1 + 1.30/1.00 * LC2 + 1.50/0.00 * LC3

ULS Combinations Fire

Combination rule
LCO1 1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2
LCO2 1.00/1.00 * LC1 + 1.00/1.00 * LC2 + 1.00/0.00 * 0.60 * LC3

Ultimate limit state (ULS) - design results

Moments y [kNm] min My=0.00 [kNm] max My=0.00 [kNm]	Moments z [kNm] min Mz=0.00 [kNm] max Mz=0.00 [kNm]	Axial forces [kN] min N=-401.50 [kN] max N=-176.15 [kN]	Shear force y [kN] min Vy=0.00 [kN] max Vy=0.00 [kN]	Shear force z [kN] min Vz=0.00 [kN] max Vz=0.00 [kN]
---	---	---	--	--



ULS Flexural design

Dist. [m]	f _{m,k} [N/mm ²]	f _{c,0,k} [N/mm ²]	f _{t,0,k} [N/mm ²]	γ _m [-]	k _{mod} [-]	k _{sys,z} [-]	k _{h,m,y} [-]	k _{h,m,z} [-]	k _i [-]	f _{m,y,d} [N/mm ²]	f _{m,z,d} [N/mm ²]	f _{t,0,d} [N/mm ²]	f _{c,0,d} [N/mm ²]
0.0	30.00	30.00	24.00	1.35	0.90	1.00	1.10	1.10	1.00	21.92	21.92	16.00	20.00
M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	N _{c,d} [kN]	N _{t,d} [kN]	σ _{m,y,d} [N/mm ²]	σ _{m,z,d} [N/mm ²]	σ _{c,d} [N/mm ²]	σ _{t,d} [N/mm ²]	Ratio					
0.00	0.00	-401.50	0.00	0.00	0.00	6.97	0.00	35 % LCO2					

ULS Shear analysis Y

Dist. [m]	f _{v,k} [N/mm ²]	γ _m [-]	k _{mod} [-]	k _{h,v} [-]	f _{v,d} [N/mm ²]	V _d [kN]	τ _{v,d} [N/mm ²]	Ratio
4.0	3.50	1.35	0.90	1.00	1.67	0.00	0.00	0 % LCO2

ULS Shear analysis Z

Dist. [m]	f _{v,k} [N/mm ²]	γ _m [-]	k _{mod} [-]	k _{h,v} [-]	f _{v,d} [N/mm ²]	V _d [kN]	τ _{v,d} [N/mm ²]	Ratio
4.0	3.50	1.35	0.90	1.00	1.67	0.00	0.00	0 % LCO2

Flexural stress analysis

M _{y,d} = 0.00 kNm	f _{m,k} = 30.00 N/mm ²
M _{z,d} = 0.00 kNm	f _{m,k,z} = 30.00 N/mm ²
N _{c,d} = -401.50 kN	γ _m = 1.35 -
	k _{mod} = 0.90 -
	k _{sys,y} = 1.00 -
	k _{h,m,y} = 1.10 -
	k _{h,m,z} = 1.10 -
	k _i = 1.00 -
σ _{c,d} = 6.97 N/mm ²	f _{c,0,d} = 20.00 N/mm ²
σ _{m,y,d} = 0.00 N/mm ²	f _{m,y,d} = 21.92 N/mm ²
σ _{m,z,d} = 0.00 N/mm ²	f _{m,z,d} = 21.92 N/mm ² ✓

Utilization ratio 35 %

Shear stress analysis Y

V _d = 0.00 kN	f _{v,k} = 3.50 N/mm ²
	γ _m = 1.35 -
	k _{mod} = 0.90 -
	k _{h,v} = 1.00 -
τ _{v,d} = 0.00 N/mm ²	f _{v,d} = 1.67 N/mm ² ✓

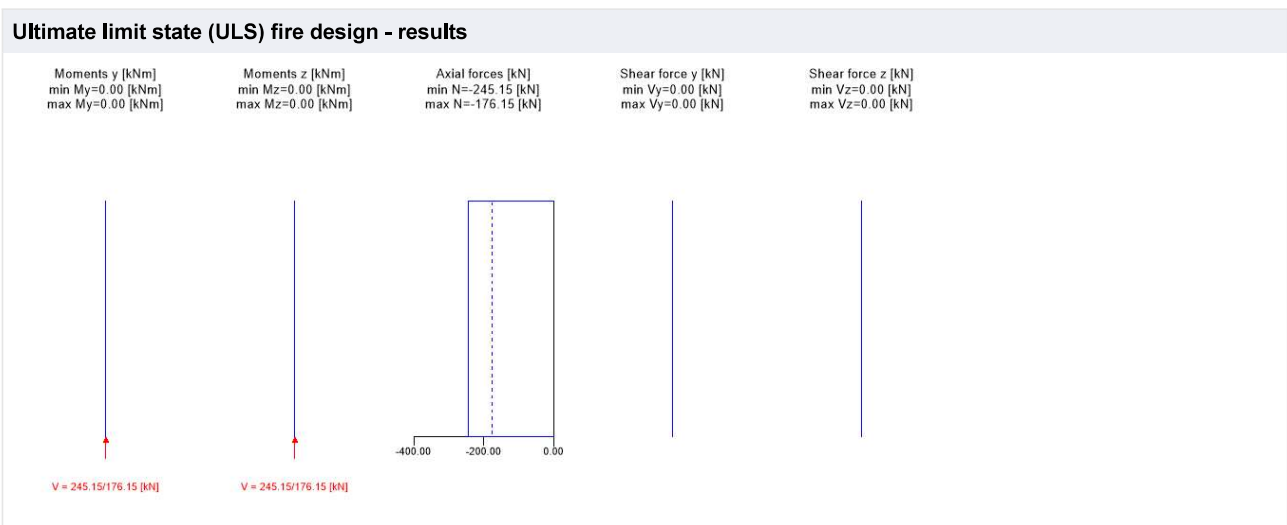
Utilization ratio 0 %

Shear stress analysis Z					
$V_d =$	0.00	kN	$f_{v,k} =$	3.50	N/mm ²
			$\gamma_m =$	1.35	-
			$k_{mod} =$	0.90	-
			$k_{h,v} =$	1.00	-
$T_{v,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{v,d} =$	1.67	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					0 %

Shear stress analysis					
$V_{y,d} =$	0.00	kN	$V_{z,d} =$	0.00	kN
$f_{v,k} =$	0.00	N/mm ²	$\gamma_m =$	1.35	-
$f_{v,d} =$	0.00	N/mm ²	$k_{mod} =$	0.00	-
$T_{v,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$T_{v,z,d} =$	0.00	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					0 %

Buckling analysis					
$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	30.00	N/mm ²
$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$\gamma_m =$	1.35	-
$N_{c,d} =$	-401.50	kN	$k_{mod} =$	0.90	-
			$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{sys,z} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-
			$k_{h,m,z} =$	1.10	-
$\sigma_{c,d} =$	6.97	N/mm ²	$f_{c,0,d} =$	20.00	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	21.92	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	21.92	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					43 %

Lateral torsional buckling analysis					
$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	0.00	N/mm ²
$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$\gamma_m =$	1.35	-
$N_{c,d} =$	0.00	kN	$k_{mod} =$	0.00	-
			$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-
			$k_{h,m,z} =$	1.10	-
			$k_l =$	1.00	-
$\sigma_{c,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{c,0,d} =$	0.00	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					0 %



ULS Fire Flexural design										
Dist.	γ_m	k_{mod}	$k_{sys,y}$	k_{fi}	$f_{m,k}$	$f_{m,y,d}$	$f_{t,0,d}$	$f_{c,0,d}$		
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
0.0	1.35	0.90	1.00	1.00	30.00	21.92	16.00	20.00		
$M_{y,d}$	$N_{c,d}$	$N_{t,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	$\sigma_{c,d}$	$\sigma_{t,d}$	Ratio				
[kNm]	[kN]	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]					
0.00	-245.15	0.00	0.00	12.16	0.00	35 % LCO2				

ULS Fire Shear analysis Y										
Dist.	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	$k_{sys,y}$	k_{fi}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Ratio	
[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]		
4.0	3.50	1.00	1.00	1.00	1.15	2.87	0.00	0.00	0 % LCO2	

ULS Fire Shear analysis Z										
Dist.	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	$k_{sys,y}$	k_{fi}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Ratio	
[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]		
4.0	3.50	1.00	1.00	1.00	1.15	2.87	0.00	0.00	0 % LCO2	

Flexural stress analysis Fire											
$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	30.00	N/mm ²	$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k,z} =$	30.00	N/mm ²
$N_{c,d} =$	-245.15	kN	$\gamma_m =$	1.00	-	$k_{mod} =$	1.00	-	$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-	$k_{h,m,z} =$	1.10	-	$k_i =$	1.00	-
			$k_{fi} =$	1.15	-	$f_{c,0,d} =$	34.50	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	37.95	N/mm ²
$\sigma_{c,d} =$	12.16	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	37.95	N/mm ²	$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²
											<
											<
Utilization ratio										35 %	

Shear stress analysis Y Fire											
$V_d =$	0.00	kN	$f_{v,k} =$	3.50	N/mm ²	$\gamma_m =$	1.00	-	$k_{mod} =$	1.00	-
			$k_{h,v} =$	1.00	-	$k_{fi} =$	1.15	-	$f_{v,d} =$	2.87	N/mm ²
$\tau_{v,d} =$	0.00	N/mm ²									<
Utilization ratio										0 %	

Shear stress analysis Z Fire											
$V_d =$	0.00	kN	$f_{v,k} =$	3.50	N/mm ²	$\gamma_m =$	1.00	-	$k_{mod} =$	1.00	-
			$k_{h,v} =$	1.00	-	$k_{fi} =$	1.15	-	$f_{v,d} =$	2.87	N/mm ²
$\tau_{v,d} =$	0.00	N/mm ²									<
Utilization ratio										0 %	

Shear stress analysis Fire											
$V_{y,d} =$	0.00	kN	$V_{z,d} =$	0.00	kN	$f_{v,k} =$	0.00	N/mm ²	$\gamma_m =$	1.00	-
						$k_{fi} =$	1.15	-	$k_{mod} =$	0.00	-
$f_{v,d} =$	0.00	N/mm ²	$\tau_{v,z,d} =$	0.00	N/mm ²						
$\tau_{v,y,d} =$	0.00	N/mm ²									
Utilization ratio										0 %	

Buckling analysis Fire					
$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	30.00	N/mm ²
$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$\gamma_m =$	1.00	-
$N_{c,d} =$	-245.15	kN	$k_{mod} =$	1.00	-
			$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{sys,z} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-
			$k_{h,m,z} =$	1.10	-
			$k_{fi} =$	1.15	-
$\sigma_{c,d} =$	12.16	N/mm ²	$f_{c,0,d} =$	34.50	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	37.95	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	37.95	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					97 %

Lateral torsional buckling analysis Fire					
$M_{y,d} =$	0.00	kNm	$f_{m,k} =$	0.00	N/mm ²
$M_{z,d} =$	0.00	kNm	$\gamma_m =$	1.00	-
$N_{c,d} =$	0.00	kN	$k_{mod} =$	0.00	-
			$k_{sys,y} =$	1.00	-
			$k_{h,m,y} =$	1.10	-
			$k_{h,m,z} =$	1.10	-
			$k_i =$	1.00	-
			$k_{fi} =$	1.15	-
$\sigma_{c,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{c,0,d} =$	0.00	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	0.00	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	0.00	N/mm ²
		<			✓
Utilization ratio					0 %

Support reaction						
Load case category	k_{mod}	A_y	A_z	B_x	B_y	B_z
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
self-weight structure	0.6	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00
dead load	0.6	0.00	0.00	175.00	0.00	0.00
live load cat. C: congregation areas	0.9	0.00	0.00	115.00	0.00	0.00

Reference documents for this analysis	
English title	Description
EN 338	EN 338 - Structural timber ? Strength classes
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurocode 5 — Design of timber structures — Part 1-2: General — Structural fire design
EN 14080	EN 14080 - Timber Structures - Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements
EN 1990	EN 1990 - Eurocode ? Basis of structural design
DM18	NTC2018 - Italian standards for structural design of buildings and constructions - D.M. 17 Gennaio 2018
CNR DT206	CNR-DT 206/2007: Recommendations for the design and execution of timber structures
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe; publishes by SP Technical Research Institute of Sweden
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	ÖNORM EN 1995-1-2 - National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12
UNI EN 1995-1-2_NA	UNI EN 1995-1-2 - Italy - National Annex - Eurocode 5: Design of timber structures ? Part 1-2: General ? Structural fire design ? National specifications concerning UNI EN 1995-1-2, national comments and national supplements
UNI EN 1995-1-1_NA	UNI EN 1995-1-1 - Italy - National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings
CERTIFICATE NO. EUFI29-20000564-C	Product certificate

Reference documents for this analysis

English title	Description
LVL G by Stora Enso_Structural design manual column&beam_V01	Design manual
ETA 20_0291 LVL G by Stora Enso	ETA

Disclaimer

The software was created to assist engineers in their daily business. The software is an engineering software that is dealing with a very complex matter of structural analysis and building physics analysis. Therefore, this software shall only be operated by skilled, experienced engineers, with a deep understanding of structural engineering and building physics related to timber structures. The user of the software is obliged to check all input values, no matter if they were given by the user or given by default by the software and all results for plausibility.

The use of the results of the software should not be relied upon as the basis for any decision or action. Any use of results of the software is only allowed, if the results have been verified and approved regarding completeness and correctness by a project structural/building physics engineer. The user has the possibility to make print-outs from the software. Any modification of those are not allowed.

Stora Enso Wood Products GmbH does not assume any warranty regarding the software. The software has been developed with utmost diligence, nevertheless Stora Enso Wood Products GmbH, neither expressly nor implicitly, provides any warranty in terms of accuracy, validity, timeliness and completeness of information and data created by the software. Stora Enso Wood Products GmbH does also not assume any warranty for the general usability of the software, its suitability for a special purpose or for the compatibility of the software with the ones of third party producers or providers.

Stora Enso Wood Products GmbH is only liable for damages caused by gross negligence or intent through Stora Enso Wood Products GmbH; the liability for slight negligence is excluded. This does not apply to personal injury. Under the aforementioned conditions Stora Enso Wood Products GmbH is as well not liable for operational failures or the loss of programs and/or data of the user's data processing system.

Applicable Law: These terms of use shall be governed by the laws of Austria excluding however any conflict of laws rules and any laws regarding the Convention of the International Sale of Goods (CISG).

Sistema di controventamento

In questa fase, il sistema di controventamento è stato analizzato sotto l'azione del vento. La sezione circolare del tirante è stata dimensionata per resistere a uno sforzo normale pari a 900kN ed è stata scelta pari a 60mm - acciaio S520.

1.6.3 Struttura principale e pannelli in acciaio delle capsule

Le capsule sono progettate seguendo i principi del DFMA (Design for Manufacture and Assembly – Progettazione per Produzione e Assemblaggio) per spazi modulari. Sono realizzate assemblando on-site elementi e pannelli in acciaio che possono facilmente essere trasportati, smantellati e riutilizzati in futuro.

Come mostrato nelle Figura successive, travi scatolari in acciaio lunghe dieci metri formano la struttura principale delle capsule e si connettono alle colonne in legno. I nodi superiori tra le travi in acciaio delle capsule e le colonne trasferiscono forze verticali, orizzontali e momenti flettenti. I nodi inferiori trasferiscono solo carichi verticali.

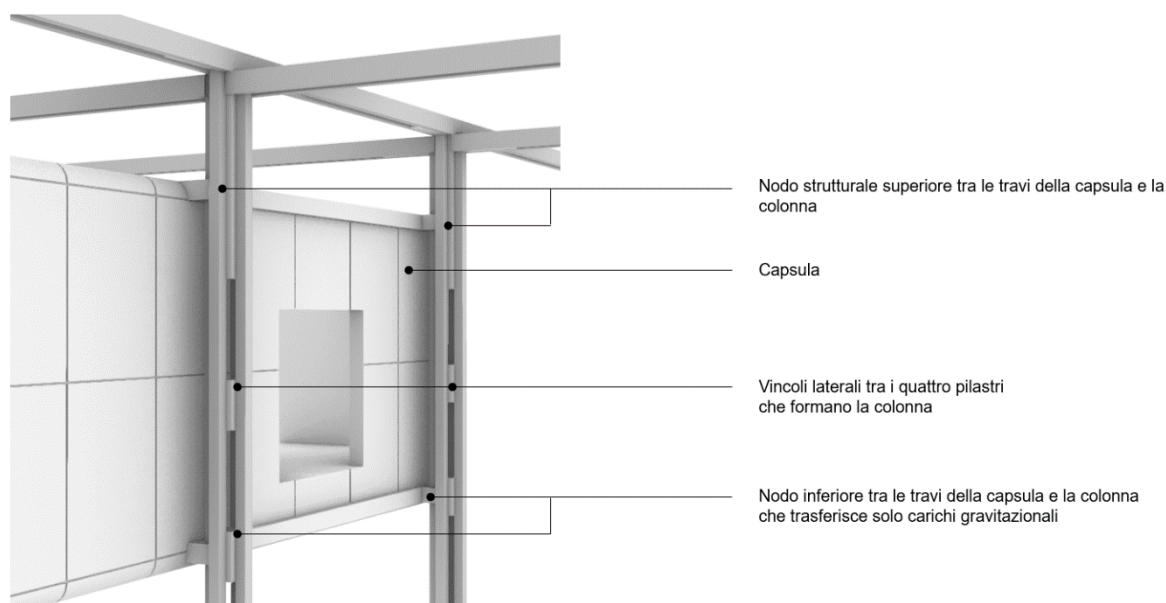


Figura 8: Nodi capsula-colonne

La struttura secondaria è invece composta da pannelli prefabbricati composti da sezioni scatolari in acciaio disposte verticalmente, orizzontalmente e diagonalmente. Due misure standard sono state individuate per i pannelli orizzontali e verticali che compongono rispettivamente pavimento/soffitto e pareti della capsula. È possibile assemblare un numero variabile di pannelli e connetterli alla struttura primaria per realizzare le varie capsule. I

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

pannelli possono essere costruiti off-site integrando finiture e impianti, velocizzando i tempi di realizzazione e minimizzando le operazioni on-site.

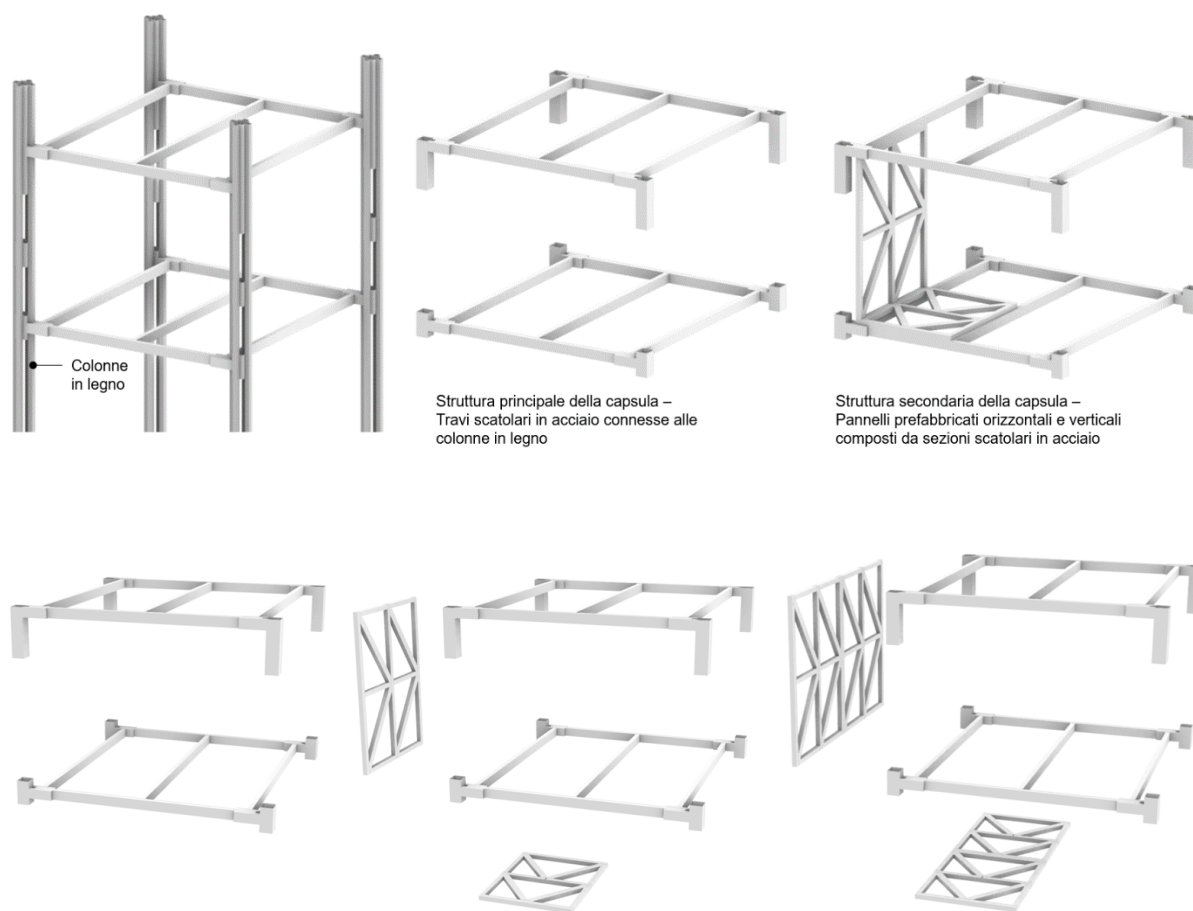


Figura 9: Struttura principale e secondaria della capsula

Per facilitare la circolazione all'interno del museo, passerelle pedonali connettono le capsule con l'edificio presente a ovest. Le passerelle sono realizzate incorporando una struttura rigida in acciaio all'interno del pavimento e sono supportate dalla struttura principale delle capsule.

1.6.4 Edificio est e area perimetrale

L'area dedicata alle esposizioni permanenti e all'auditorium si estende al di sopra del podio sul lato est dell'edificio ed è connessa alle capsule attraverso passerelle pedonali. Si sviluppa su tre livelli ed è stata progettata utilizzando una soletta prefabbricata in calcestruzzo e colonne in acciaio che si connettono a quattro pilastri in legno a livello della copertura, mantenendo lo stesso dettaglio progettato per la teca in vetro. La soletta è

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

supportata da una struttura di travi in acciaio principali e secondarie. Lo stesso sistema è stato utilizzato per le aree perimetrali dell'edificio al primo e al secondo piano.

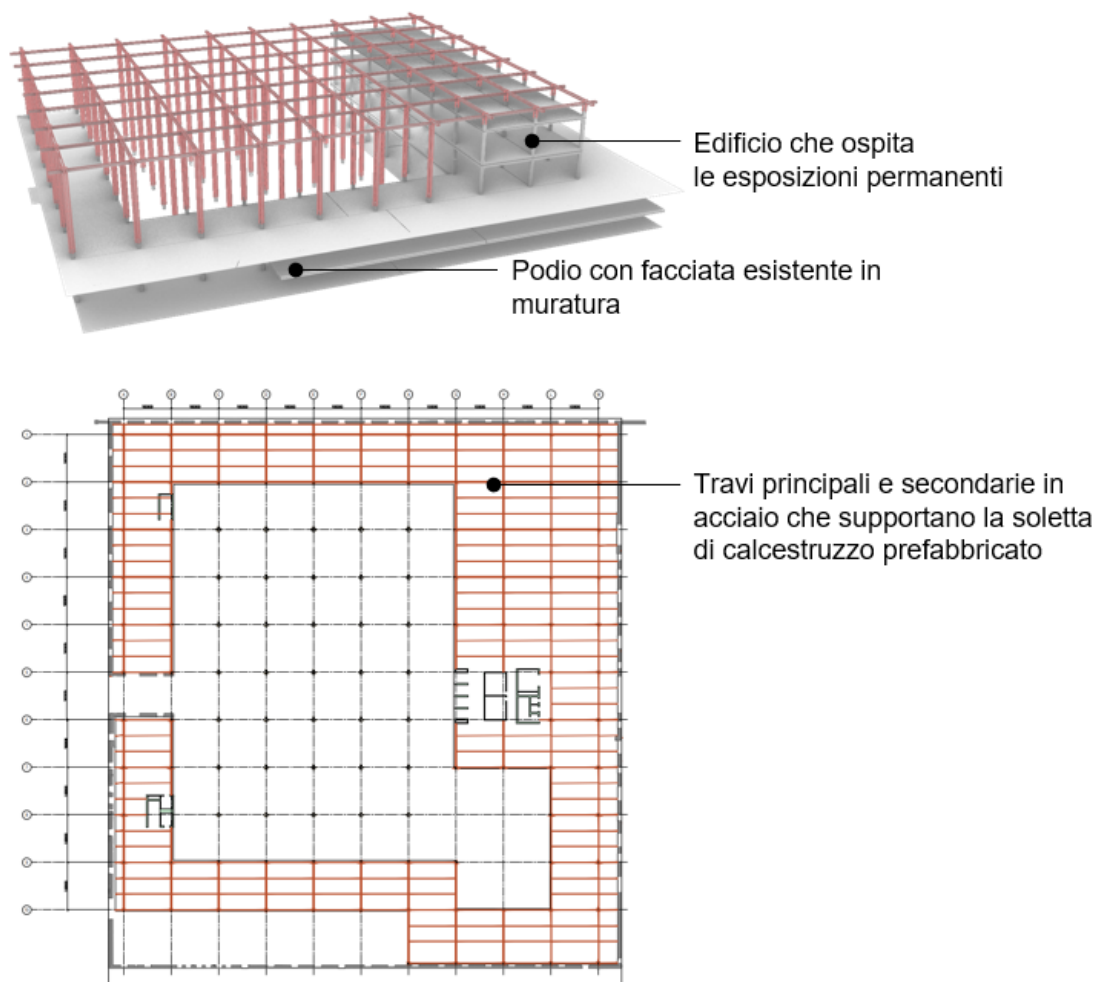


Figura 10: Soluzione strutturale per l'edificio est e l'area perimetrale

Per la soletta prefabbricata in calcestruzzo si è considerato uno spessore di 150mm. I carichi considerati e le verifiche effettuate sono mostrati in seguito. Le verifiche agli SLU e SLE sono state eseguite utilizzando il software Tedds by Tekla. Per la fase attuale di predimensionamento si è ritenuto sufficiente il soddisfacimento delle verifiche effettuate dal software utilizzando l'Eurocodice.

	Luce	h	Peso proprio	Gk	Qk
Soletta L1 or L2 or L3	m	m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
	3.3	0.15	2.47	1	5

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

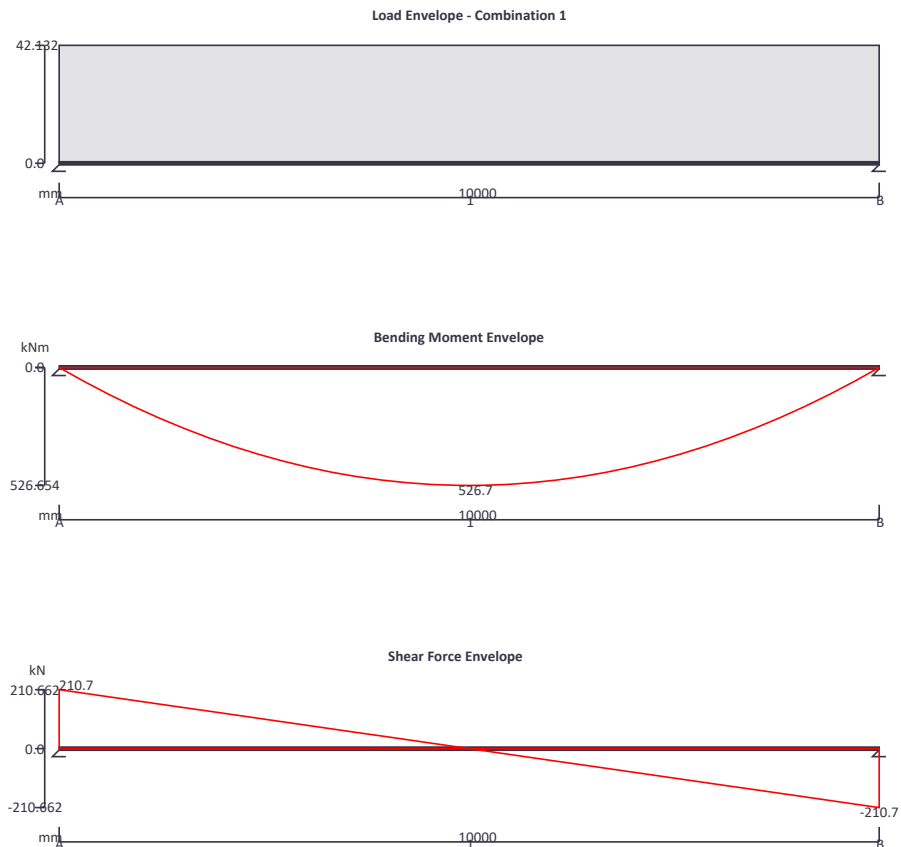
Travi secondarie	m	m	kN/m	kN/m	kN/m
	10	-	1.22	11.45	16.50
Travi principali	m	m	kN/m	kN	kN
(Gk e Qk per ogni trave secondaria)	10	-	1.835	63.375	82.5
Colonne			kN/m	kN	kN
			2.38	1242.69	1485

Travi secondarie

STEEL BEAM ANALYSIS & DESIGN (EN1993-1-1:2005)

In accordance with EN1993-1-1:2005 incorporating Corrigenda February 2006 and April 2009 and the UK national annex

TEDDS calculation version 3.0.14



Support conditions

Support A

Vertically restrained

Rotationally free

Support B

Vertically restrained

Rotationally free

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Applied loading

Beam loads

Permanent self weight of beam $\times 1$
Permanent full UDL 12 kN/m
Variable full UDL 16.5 kN/m

Load combinations

Load combination 1

Support A	Permanent $\times 1.35$ Variable $\times 1.50$ Permanent $\times 1.35$ Variable $\times 1.50$
Support B	Permanent $\times 1.35$ Variable $\times 1.50$

Analysis results

Maximum moment;

$M_{max} = 526.7$ kNm;

$M_{min} = 0$ kNm

Maximum shear;

$V_{max} = 210.7$ kN;

$V_{min} = -210.7$ kN

Deflection;

$\delta_{max} = 24.9$ mm;

$\delta_{min} = 0$ mm

Maximum reaction at support A;

$R_{A_max} = 210.7$ kN;

$R_{A_min} = 210.7$ kN

Unfactored permanent load reaction at support A;

$R_{A_Permanent} = 64.4$ kN

Unfactored variable load reaction at support A;

$R_{A_Variable} = 82.5$ kN

Maximum reaction at support B;

$R_{B_max} = 210.7$ kN;

$R_{B_min} = 210.7$ kN

Unfactored permanent load reaction at support B;

$R_{B_Permanent} = 64.4$ kN

Unfactored variable load reaction at support B;

$R_{B_Variable} = 82.5$ kN

Section details

Section type;

UKB 457x191x89 (Tata Steel Advance)

Steel grade;

S355

EN 10025-2:2004 - Hot rolled products of structural steels

Nominal thickness of element;

$t = \max(t_r, t_w) = 17.7$ mm

Nominal yield strength;

$f_y = 345$ N/mm²

Nominal ultimate tensile strength;

$f_u = 470$ N/mm²

Modulus of elasticity;

$E = 210000$ N/mm²



Partial factors - Section 6.1

Resistance of cross-sections;

$\gamma_{M0} = 1.00$

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Resistance of members to instability;	$\gamma_{M1} = 1.00$
Resistance of tensile members to fracture;	$\gamma_{M2} = 1.10$
Lateral restraint	Span 1 has full lateral restraint
Effective length factors	
Effective length factor in major axis;	$K_y = 1.000$
Effective length factor in minor axis;	$K_z = 1.000$
Effective length factor for torsion;	$K_{LT,A} = 1.000;$ $K_{LT,B} = 1.000;$
Classification of cross sections - Section 5.5	$\epsilon = \sqrt{[235 \text{ N/mm}^2 / f_y]} = 0.83$
Internal compression parts subject to bending - Tabella 5.2 (sheet 1 of 3)	
Width of section;	$c = d = 407.6 \text{ mm}$ $c / t_w = 47.0 \times \epsilon \leq 72 \times \epsilon;$ Class 1
Outstand flanges - Tabella 5.2 (sheet 2 of 3)	
Width of section;	$c = (b - t_w - 2 \times r) / 2 = 80.5 \text{ mm}$ $c / t_f = 5.5 \times \epsilon \leq 9 \times \epsilon;$ Class 1 <i>Section is class 1</i>
Check shear - Section 6.2.6	
Height of web;	$h_w = h - 2 \times t_f = 428 \text{ mm}$
Shear area factor;	$\eta = 1.000$ $h_w / t_w < 72 \times \epsilon / \eta$ <i>Shear buckling resistance can be ignored</i>
Design shear force;	$V_{Ed} = \max(\text{abs}(V_{\max}), \text{abs}(V_{\min})) = 210.7 \text{ kN}$
Shear area - cl 6.2.6(3); 5130 mm ²	$A_v = \max(A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2 \times r) \times t_f, \eta \times h_w \times t_w) =$
Design shear resistance - cl 6.2.6(2);	$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \times (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 1021.9 \text{ kN}$ <i>PASS - Design shear resistance exceeds design shear force</i>
Check bending moment major (y-y) axis - Section 6.2.5	
Design bending moment;	$M_{Ed} = \max(\text{abs}(M_{s1_{\max}}), \text{abs}(M_{s1_{\min}})) = 526.7 \text{ kNm}$
Design bending resistance moment - eq 6.13;	$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M0} = 694.7 \text{ kNm}$ <i>PASS - Design bending resistance moment exceeds design bending moment</i>
Check vertical deflection - Section 7.2.1	
Consider deflection due to variable loads	
Limiting deflection;	$\delta_{lim} = L_{s1} / 360 = 27.8 \text{ mm}$
Maximum deflection span 1;	$\delta = \max(\text{abs}(\delta_{\max}), \text{abs}(\delta_{\min})) = 24.944 \text{ mm}$ <i>PASS - Maximum deflection does not exceed deflection limit</i>

Travi principali

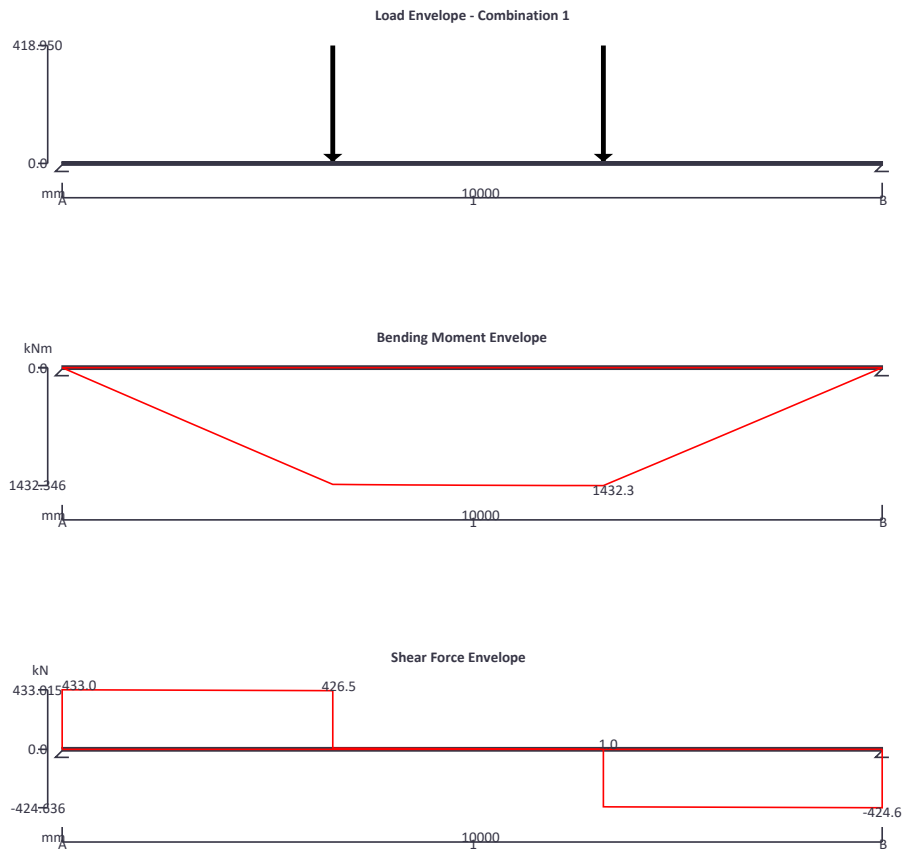
STEEL BEAM ANALYSIS & DESIGN (EN1993-1-1:2005)

In accordance with EN1993-1-1:2005 incorporating Corrigenda February 2006 and April 2009 and the UK national annex

TEDDS calculation version 3.0.14

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
 0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA



Support conditions

Support A

Vertically restrained

Rotationally free

Support B

Vertically restrained

Rotationally free

Applied loading

Beam loads

Permanent self weight of beam \times 1

Permanent point load 127 kN at 3300 mm

Permanent point load 127 kN at 6600 mm

Variable point load 165 kN at 3300 mm

Variable point load 165 kN at 6600 mm

Load combinations

Load combination 1

Support A

Permanent \times 1.35

Variable \times 1.50

Permanent \times 1.35

Variable \times 1.50

Support B

Permanent \times 1.35

Variable \times 1.50

Analysis results

Maximum moment;

$M_{\max} = 1432.3$ kNm;

$M_{\min} = 0$ kNm

Maximum shear;

$V_{\max} = 433$ kN;

$V_{\min} = -424.6$ kN

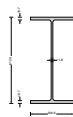
SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Deflection;	$\delta_{max} = 22.2 \text{ mm};$	$\delta_{min} = 0 \text{ mm}$
Maximum reaction at support A;	$R_{A_max} = 433 \text{ kN};$	$R_{A_min} = 433 \text{ kN}$
Unfactored permanent load reaction at support A;	$R_{A_Permanent} = 135.6 \text{ kN}$	
Unfactored variable load reaction at support A;	$R_{A_Variable} = 166.7 \text{ kN}$	
Maximum reaction at support B;	$R_{B_max} = 424.6 \text{ kN};$	$R_{B_min} = 424.6 \text{ kN}$
Unfactored permanent load reaction at support B;	$R_{B_Permanent} = 133 \text{ kN}$	
Unfactored variable load reaction at support B;	$R_{B_Variable} = 163.4 \text{ kN}$	

Section details

Section type;	UKB 610x305x149 (Tata Steel Advance)
Steel grade;	S355
EN 10025-2:2004 - Hot rolled products of structural steels	
Nominal thickness of element;	$t = \max(t_f, t_w) = 19.7 \text{ mm}$
Nominal yield strength;	$f_y = 345 \text{ N/mm}^2$
Nominal ultimate tensile strength;	$f_u = 470 \text{ N/mm}^2$
Modulus of elasticity;	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$



Partial factors - Section 6.1

Resistance of cross-sections;	$\gamma_{M0} = 1.00$
Resistance of members to instability;	$\gamma_{M1} = 1.00$
Resistance of tensile members to fracture;	$\gamma_{M2} = 1.10$

Lateral restraint

Span 1 has full lateral restraint

Effective length factors

Effective length factor in major axis;	$K_y = 1.000$
Effective length factor in minor axis;	$K_z = 1.000$
Effective length factor for torsion;	$K_{LT,A} = 1.000;$ $K_{LT,B} = 1.000;$

Classification of cross sections - Section 5.5

$$\varepsilon = \sqrt{[235 \text{ N/mm}^2 / f_y]} = 0.83$$

Internal compression parts subject to bending - Tabella 5.2 (sheet 1 of 3)

Width of section;	$c = d = 540 \text{ mm}$	
	$c / t_w = 55.4 \times \varepsilon \leq 72 \times \varepsilon;$	Class 1

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Outstand flanges - Tabella 5.2 (sheet 2 of 3)

Width of section;

$$c = (b - t_w - 2 \times r) / 2 = 130 \text{ mm}$$

$$c / t_f = 8.0 \times \varepsilon \leq 9 \times \varepsilon;$$

Class 1

Section is class 1

Check shear - Section 6.2.6

Height of web;

$$h_w = h - 2 \times t_f = 573 \text{ mm}$$

Shear area factor;

$$\eta = 1.000$$

$$h_w / t_w < 72 \times \varepsilon / \eta$$

Shear buckling resistance can be ignored

Design shear force;

$$V_{Ed} = \max(\text{abs}(V_{\max}), \text{abs}(V_{\min})) = 433 \text{ kN}$$

Shear area - cl 6.2.6(3);

$$A_v = \max(A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2 \times r) \times t_f, \eta \times h_w \times t_w) =$$

7878 mm²

Design shear resistance - cl 6.2.6(2);

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \times (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 1569.1 \text{ kN}$$

PASS - Design shear resistance exceeds design shear force

Check bending moment major (y-y) axis - Section 6.2.5

Design bending moment;

$$M_{Ed} = \max(\text{abs}(M_{s1_max}), \text{abs}(M_{s1_min})) = 1432.3 \text{ kNm}$$

Design bending resistance moment - eq 6.13;

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M0} = 1584.8 \text{ kNm}$$

PASS - Design bending resistance moment exceeds design bending moment

Check vertical deflection - Section 7.2.1

Consider deflection due to variable loads

Limiting deflection;

$$\delta_{lim} = L_{s1} / 360 = 27.8 \text{ mm}$$

Maximum deflection span 1;

$$\delta = \max(\text{abs}(\delta_{\max}), \text{abs}(\delta_{\min})) = 22.224 \text{ mm}$$

PASS - Maximum deflection does not exceed deflection limit

Colonne

STEEL COLUMN DESIGN

In accordance with EN1993-1-1:2005 incorporating Corrigenda February 2006 and April 2009 and the UK national annex

Tedds calculation version 1.1.05

Partial factors - Section 6.1

Resistance of cross-sections;

$$\gamma_{M0} = 1$$

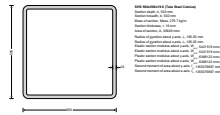
Resistance of members to instability;

$$\gamma_{M1} = 1$$

Resistance of cross-sections in tension to fracture; $\gamma_{M2} = 1.1$

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA



Column details

Column section	SHS 500x500x19.0
Steel grade	S355
Yield strength	$f_y = 345 \text{ N/mm}^2$
Ultimate strength	$f_u = 470 \text{ N/mm}^2$
Modulus of elasticity	$E = 210 \text{ kN/mm}^2$
Poisson's ratio	$\nu = 0.3$
Shear modulus	$G = E / [2 \times (1 + \nu)] = 80.8 \text{ kN/mm}^2$

Column geometry

System length for buckling - Major axis	$L_y = 3500 \text{ mm}$
System length for buckling - Minor axis	$L_z = 3500 \text{ mm}$
The column is not part of a sway frame in the direction of the minor axis	
The column is not part of a sway frame in the direction of the major axis	

Column loading

Axial load	$N_{Ed} = 4000 \text{ kN}$ (Compression)
Major axis moment at end 1 - Bottom	$M_{y,Ed1} = 0.0 \text{ kNm}$
Major axis moment at end 2 - Top	$M_{y,Ed2} = 0.0 \text{ kNm}$
Minor axis moment at end 1 - Bottom	$M_{z,Ed1} = 0.0 \text{ kNm}$
Minor axis moment at end 2 - Top	$M_{z,Ed2} = 0.0 \text{ kNm}$

Major axis shear force	$V_{y,Ed} = 0 \text{ kN}$
Minor axis shear force	$V_{z,Ed} = 0 \text{ kN}$

Buckling length for flexural buckling - Major axis

End restraint factor;	$K_y = 1.000$
Buckling length;	$L_{cr,y} = L_y \times K_y = 3500 \text{ mm}$

Buckling length for flexural buckling - Minor axis

End restraint factor;	$K_z = 1.000$
Buckling length;	$L_{cr,z} = L_z \times K_z = 3500 \text{ mm}$

Web section classification (Tabella 5.2)

Coefficient depending on f_y ;	$\varepsilon = \sqrt{(235 \text{ N/mm}^2 / f_y)} = 0.825$
----------------------------------	---

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Depth between fillets;	$c_w = h - 3 \times t = 443.0 \text{ mm}$
Ratio of c/t ;	$\text{ratio}_w = c_w / t = 23.32$
Length of web taken by axial load;	$l_w = \min(N_{Ed} / (2 \times f_y \times t), c_w) = 305.1 \text{ mm}$
For class 1 & 2 proportion in compression;	$\alpha = (c_w/2 + l_w/2) / c_w = 0.844$
Limit for class 1 web;	$\text{Limit}_{1w} = (396 \times \varepsilon) / (13 \times \alpha - 1) = ;32.76$

The web is class 1

Flange section classification (Tabella 5.2)	
Depth between fillets;	$c_f = b - 3 \times t = 443.0 \text{ mm}$
Ratio of c/t ;	$\text{ratio}_f = c_f / t = 23.32$
Limit for class 1 flange;	$\text{Limit}_{1f} = 33 \times \varepsilon = 27.24$
Limit for class 2 flange;	$\text{Limit}_{2f} = 38 \times \varepsilon = 31.36$
Limit for class 3 flange;	$\text{Limit}_{3f} = 42 \times \varepsilon = 34.66$

The flange is class 1

Overall section classification

The section is class 1

Resistance of cross section (cl. 6.2)

Compression (cl. 6.2.4)

Design force;	$N_{Ed} = 4000 \text{ kN}$
Design resistance;	$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = A \times f_y / \gamma_{M0} = 12291 \text{ kN}$
	$N_{Ed} / N_{c,Rd} = 0.325$

PASS - The compression design resistance exceeds the design force

Buckling resistance (cl. 6.3)

Yield strength for buckling resistance;	$f_y = 345 \text{ N/mm}^2$
---	----------------------------

Flexural buckling - Major axis

Elastic critical buckling force;	$N_{cr,y} = \pi^2 \times E \times I_y / L_{cr,y}^2 = 229321 \text{ kN}$
Non-dimensional slenderness;	$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A \times f_y / N_{cr,y})} = 0.232$
Buckling curve (Tabella 6.2);	a
Imperfection factor (Tabella 6.1);	$\alpha_y = 0.21$
Parameter Φ ;	$\Phi_y = 0.5 \times [1 + \alpha_y \times (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.530$
Reduction factor;	$\chi_y = \min(1.0, 1 / [\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)}]) = 0.993$
Design buckling resistance;	$N_{b,y,Rd} = \chi_y \times A \times f_y / \gamma_{M1} = 12205.8 \text{ kN}$
	$N_{Ed} / N_{b,y,Rd} = 0.328$

PASS - The flexural buckling resistance exceeds the design axial load

Flexural buckling - Minor axis

Elastic critical buckling force;	$N_{cr,z} = \pi^2 \times E \times I_z / L_{cr,z}^2 = 229321 \text{ kN}$
Non-dimensional slenderness;	$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A \times f_y / N_{cr,z})} = 0.232$
Buckling curve (Tabella 6.2);	a
Imperfection factor (Tabella 6.1);	$\alpha_z = 0.21$
Parameter Φ ;	$\Phi_z = 0.5 \times [1 + \alpha_z \times (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.530$
Reduction factor;	$\chi_z = \min(1.0, 1 / [\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)}]) = 0.993$
Design buckling resistance;	$N_{b,z,Rd} = \chi_z \times A \times f_y / \gamma_{M1} = 12205.8 \text{ kN}$
	$N_{Ed} / N_{b,z,Rd} = 0.328$

PASS - The flexural buckling resistance exceeds the design axial load

Minimum buckling resistance

Minimum buckling resistance;

$$N_{b,Rd} = \min(N_{b,y,Rd}, N_{b,z,Rd}) = 12205.8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0.328$$

PASS - The axial load buckling resistance exceeds the design axial load

Travi di trasferimento dell'auditorium

Travi di trasferimento lunghe venti metri mantengono l'auditorium libero da elementi verticali trasferendo i carichi delle colonne presenti a Livello 02 a colonne perimetrali come mostrato in figura. In questa fase sono state adottate due travi reticolari (Warren) in acciaio.

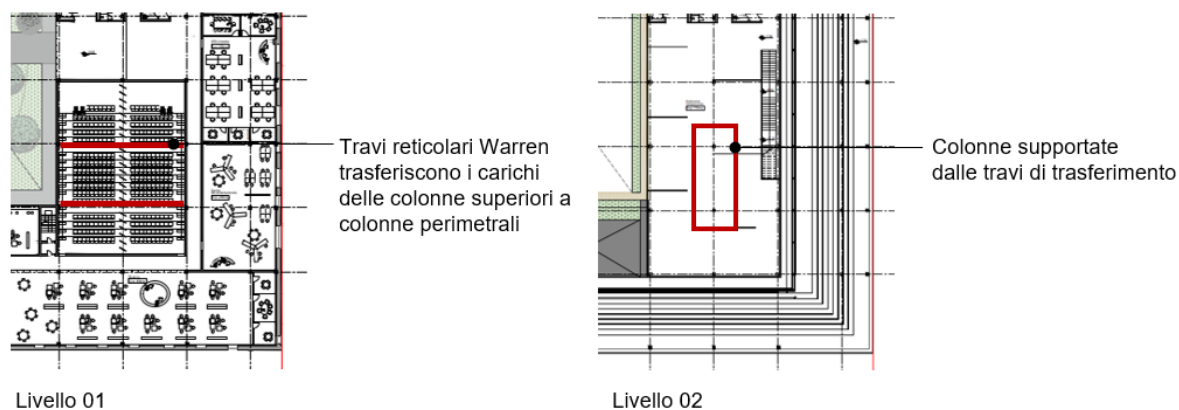


Figura 11: Auditorium e travi di trasferimento

1.7 Sequenza costruttiva

La sequenza costruttiva proposta prevede l'iniziale realizzazione del podio, seguita dalla realizzazione della struttura in legno lamellare e della copertura, infine la realizzazione delle capsule. Una volta ultimata la realizzazione della struttura principale delle capsule, vengono installati i pannelli che servono da piattaforma per la costruzione e l'assemblaggio della struttura rimanente.

1.8 Opportunità progettuali e passi successivi

Il predimensionamento dei principali elementi strutturali eseguito in questa fase dovrà essere confermato e sviluppato nella successiva insieme alla progettazione di elementi aggiuntivi e più di dettaglio. Particolare attenzione dovrà essere posta ai seguenti aspetti:

- Facciata esistente in muratura: un rilievo strutturale della facciata dovrà essere eseguito per accertare le condizioni dell'opera e identificare interventi mirati di ripristino e adeguamento strutturale.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

- Coordinamento interdisciplinare: sviluppo dell'interfaccia tra la struttura e la nuova facciata e dei carichi agenti sulla struttura dovuti a facciata, finiture e impianti.
- Azione sismica: la struttura e il sistema di stabilità dovranno essere analizzati sotto l'azione del sisma come indicato dalla normativa locale.
- Elementi strutturali in legno: si ritiene necessaria un'interazione anticipata con l'industria locale per identificare sezioni e materiali disponibili sul mercato italiano.
- Capsule: la progettazione dei pannelli che compongono le capsule dovrà essere sviluppata. Trattandosi di strutture modulari, si reputa necessario un coinvolgimento anticipato di fornitori locali in grado di supportare lo sviluppo e successivamente la produzione di questi elementi.
- Passerelle pedonali: gli elementi di collegamento tra le capsule e l'edificio est dovranno essere sviluppati e dimensionati e andrà effettuata un'analisi delle vibrazioni.

2 Ingegneria delle facciate

2.1 Criteri di Progettazione

2.1.1 Standard e codici

L'involucro dell'edificio è progettato sulla base di standard, normative e linee guida riconosciute a livello internazionale (ad esempio, Euronorm, EN, ISO e BS), nonché di normative di progettazione locali pertinenti per requisiti specifici. Le opere sono conformi alle direttive europee che regolano i certificati di conformità e la marcatura CE.

I seguenti standard sono stati presi in considerazione nell'ambito dei criteri di progettazione; l'elenco non è esaustivo e sarà ulteriormente sviluppato durante le prossime fasi di progettazione:

- CWCT (Center for Windows and Cladding Technology) Standards for Systemised Building Envelope (Technical Notes, Technical Updates)
- Eurocodici
- DPR 6 giugno 2001, n.380 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia".
- Condizioni di pianificazione rilevanti fornite dal Cliente, dall'Architetto o dai Consulenti locali.

Generale:

- Decreto 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- Eurocodice 0: Principi di progettazione strutturale + Allegato Nazionale
- Eurocodice 1: Azioni sulle strutture + Allegato Nazionale
- Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio + Allegato Nazionale
- Eurocodice 9: Progettazione delle strutture in alluminio + Allegato Nazionale
- CWCT – Technical Update 14: Load Combinations

Zona Climatica:

- DPR 26 Agosto 1993, n.412 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10 e successive modifiche ed integrazioni

Prestazioni termiche:

- DM 26 Giugno 2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici"
- EN 14351-1:2006 + A1:2010 "Windows and doors — Product standard, performance characteristics"

- EN ISO 10077: 2017 “Thermal performance of windows, doors, and shutters – Calculation of thermal transmittance”
- EN ISO 12631:2017 “Thermal performance of curtain walling – Calculation of thermal transmittance”
- EN ISO 6946:2007 “Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method”
- ISO 10211:2017 “Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations”
- EN 673:2011 “Glass in building - Determination of thermal transmittance (U value) - Calculation method”
- UNI EN ISO 13786: 2018 “Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods”

Criteri ambientali minimi:

- Decreto 24 dicembre 2015 “Indirizzi metodologici per la predisposizione dei quadri prescrittivi nei provvedimenti di valutazione ambientale di competenza statale”
- DM 11 Ottobre 2017 “Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici”

Requisiti antincendio:

- DPR 1 Agosto 2011, n.151 “Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122. (11G0193)”
- DM 3 Agosto 2015 “Norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'art. 15 del D.Lgs 8 marzo 2006, n. 139”, (Codice di Prevenzione incendi)”
- Decreto 30 Marzo 2022 – RTV V.13 “Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le chiusure d'ambito degli edifici civili, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139”
- Decreto 10 Luglio 2020 – RTV V.10 “Norme tecniche di prevenzione incendi per gli edifici sottoposti a tutela ai sensi del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, aperti al pubblico, destinati a contenere musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139”

Requisiti acustici:

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

- UNI 11367:2023 “Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera”
- DPCM 5 Dicembre 1997 “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”
- UNI EN ISO 12354-3:2017 “Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements”
- DM 11 Ottobre 2017 “Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici”
- D.Lgs. 17 febbraio 2017 n. 42 “Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161.”

Condizioni igrotermiche ed ambientali:

- ISO 7730:2005 “Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”
- EN ISO 13788:2012 “Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods”
- UNI EN ISO 13788:2013 “hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods”
- EN ISO 10456:2007 “Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values

Accessibilità della facciata:

- EN 1808:2015 “ Safety requirements for suspended access equipment - design calculations, stability criteria, construction - examinations and tests”
- BS 6037-1:2017 “Planning, design, installation and use of permanently installed access equipment. Code of practice Suspended access equipment”

Sostenibilità:

- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design); International Green building certification, previo accord con il Cliente
- WELL Building Standard, previo accord con il Cliente

2.1.2 Requisiti chiusure tecniche trasparenti

L'elevata radiazione solare - e la conseguente elevata intensità luminosa - è uno degli elementi predominanti del clima mediterraneo. Il costante irraggiamento solare è un parametro progettuale che deve essere affrontato per fornire il miglior comfort visivo agli occupanti e ridurre il rischio di abbagliamento.

Per gestire i carichi solari diretti negli spazi interni, l'involucro trasparente dell'edificio (sia le superfici verticali che quelle orizzontali) esposto da sud-sud/est a sud-sud/ovest deve essere dotato di sistemi di schermatura fissi o mobili. In alternativa, all'interno delle vetrate isolanti si possono applicare rivestimenti selettivi e solari per ridurre il valore g, riflettendo la radiazione termica o inibendone l'emissione e riducendo il trasferimento di calore attraverso il vetro.

Tabella 1 - Requisiti di trasmissione solare per gli elementi trasparenti della facciata

Zona climatica	g _{gl+sh}	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
Tutte le zone	0,35	0,35

⁽¹⁾ dal 1 luglio 2015 per tutti gli edifici

⁽²⁾ dal 1 gennaio 2019 per gli edifici pubblici e a uso pubblico e dal 1 gennaio 2021 per tutti gli altri edifici

L'abbagliamento viene mitigato attraverso la progettazione di infissi, per quanto possibile, e l'integrazione di strategie di ombreggiamento nel progetto della facciata. Quando si introducono dispositivi di ombreggiatura per il controllo dell'abbagliamento, il sistema di facciata sarà progettato in modo da evitare che i motori/attuatori dei dispositivi siano esposti a temperature superiori a 70 gradi Celsius per un periodo prolungato nel corso dell'anno.

La riflettanza esterna e il colore del vetro sono determinati sulla base dell'intento del progetto architettonico. Una riflettanza interna superiore al 10% produrrà un effetto "specchio" di notte. Tuttavia, la necessità di trasparenza delle vetrate è soggetta a preferenze architettoniche.

La stratigrafia del vetrocamera sarà progettata tenendo conto delle sfide climatiche locali, che includono il rischio di shock termico. Quando è necessario un vetro trattato termicamente per soddisfare i criteri di progettazione, deve essere specificato come sottoposto a test di resistenza al calore (Heat Soak test) per ridurre al minimo il rischio di inclusioni di nichel-solfuro (Ni-Si). In termini di gerarchia delle selezioni, il vetro indurito termicamente (Heat-Strengthened) deve essere preferito al vetro temprato (Fully Toughened). Le tolleranze per l'effetto onda (roller wave effect) e la distorsione visiva devono essere concordate con il Cliente e l'Architetto prima dell'appalto dei lavori tramite campioni in scala reale.

Le specifiche del vetro devono garantire la neutralità del colore con un CRI (indice di resa cromatica) > 90% e una trasmittanza visiva (quando le misure di controllo solare non sono in funzione) > 70%. Tutte le lastre di vetro saranno a basso contenuto di ferro (low-iron) e il film utilizzato per la stratificazione sarà "ultraclear".

Quando il vetro è soggetto a impatti e/o rischi di rottura spontanea, deve essere stratificato. Se la temperatura del vetro è prevista che superi i 40 gradi Celsius per un lungo periodo durante l'anno, lo strato intermedio deve essere in SGP - Ionoplast (SentryGlas®) e/o devono essere incluse soluzioni progettuali alternative per evitare il rischio di delaminazione e difetti ai bordi (ad esempio, prolungamento del profilo di supporto della vetrocamera, vincoli meccanici aggiuntivi nella connessione strutturale, ecc.).

Lo spessore e la composizione del vetro dipenderanno dall'analisi della pressione del vento, dalla resistenza all'urto richiesta e dalla selezione finale delle dimensioni dei moduli in vetro. Le dimensioni dei pannelli in vetro e/o di rivestimento sono soggette alla disponibilità sul mercato. Si prega di notare che le dimensioni e le forme che superano le dimensioni standard possono influire sul processo di approvvigionamento, sul trasporto e sui costi; di conseguenza, le dimensioni massime del vetro devono essere limitate alle dimensioni del pannello europeo "Jumbo" di 3,2 m x 6,4 m.

2.1.3 Prestazioni termiche

Le effettive prestazioni termiche dell'involucro edilizio saranno coordinate e definite con l'Ingegnere degli Impianti e il Consulente per la Sostenibilità durante lo sviluppo della progettazione. In ogni caso, il sistema di facciata dovrà essere progettato per evitare rischi di surriscaldamento e/o disagio dovuti a temperature interne superficiali eccessive. Il progetto della facciata dovrà mitigare la presenza di ponti termici favorendo soluzioni che assicurino la continuità della linea termica.

Per le porzioni vetrate della facciata, vetrocamere DGU (Double Glazing Unit) invece di TGU (Triple Glazing Unit) sono di solito sufficientemente efficaci, purché venga inclusi gli adeguati strati per il controllo solare (solar control coatings). In ogni caso, gli strati per il controllo solare e le specifiche del vetro devono prevalere sulla neutralità del colore e sulla trasparenza percepita.

Gli obiettivi per i valori di trasmittanza termica (U-value) per l'involucro interno ad alte prestazioni sono presentati nella Tabella 2, Tabella 3, and Tabella 4.

Tabella 2 – Valori di trasmittanza termica (U-value degli elementi opachi (in conformità con il Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015) - nuove costruzioni

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Tabella 3 – Valori di trasmittanza termica (U-value) degli involucri trasparenti e opachi, compresi gli elementi di telaio (conforme al Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015) – nuove costruzioni

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

Tabella 4 – Valori di trasmittanza termica (U-value) degli elementi verticali opachi su edifici esistenti (in conformità con il Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015) – nuove costruzioni

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	0,45	0,40
C	0,40	0,36
D	0,36	0,32
E	0,30	0,28
F	0,28	0,26

2.1.4 Tenuta all'aria

I criteri di prestazione di tenuta all'aria a livello di edificio devono essere conformi ai criteri e alle normative di sostenibilità del progetto. I seguenti obiettivi (Tabella 5) si basano sugli standard europei e devono essere ulteriormente coordinati con l'ingegnere per la sostenibilità e gli impianti. Nel caso in cui si applichino standard locali più severi, i seguenti obiettivi dovranno essere aggiornati di conseguenza. Le facciate continue saranno di classe A3 (450Pa) in conformità alla norma EN 12152.

Tabella 5 – Obiettivi prestazionali di tenuta all'aria

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Tipo di chiusura	Obiettivo prestazionale di tenuta all'aria
Chiusura fissa (trasparente/opaca)	1.5 m ³ /hrm ²
Chiusura apribile (trasparente/opaca)	2 m ³ /hrm ² (per giunti lineari)
Tasso di infiltrazione totale	5-7.5 m ³ /hrm ² @50Pa

2.1.5 Requisiti acustici

I requisiti acustici dell'involucro edilizio dovranno corrispondere almeno a quelli della Classe Il secondo la norma UNI 11367 e soddisfare i requisiti stabiliti dal DPCM 5-12-1997. La facciata dovrà controllare in modo appropriato l'ingresso del rumore dalle fonti di rumore ambientale, nonché la trasmissione laterale del rumore tra piani vicini. I limiti per l'ingresso del rumore esterno e i requisiti di accompagnamento acustico devono essere coordinati con l'ingegnere acustico durante lo sviluppo del progetto.

2.1.6 Condensazione

I lavori devono essere progettati in modo da evitare la formazione di condensa sulla barriera al vapore e negli strati interni, o su superfici o aree che compromettono le prestazioni dei lavori. Tutti i sistemi saranno progettati in modo da facilitare il drenaggio verso l'esterno dell'edificio ed evitare che l'acqua rimanga intrappolata all'interno del sistema. Il progetto dovrà essere conforme alla norma UNI EN ISO 13788.

2.1.7 Tenuta all'acqua

Tutti i sistemi di facciata continua saranno progettati come sistemi a camere equalizzate in pressione, per facilitare il drenaggio e fornire la linea di protezione dagli agenti atmosferici per gli edifici. Le facciate continue saranno di classe R6 (450Pa) in conformità alla norma EN 12154. Le finestre e le porte incorporate nelle facciate continue avranno le stesse prestazioni delle facciate stesse.

2.1.8 Requisiti antincendio

La facciata e le fasce di separazione che possono essere incorporati per soddisfare i requisiti di prestazione non saranno composti da materiali combustibili e che contribuiscono al carico di incendio. Il progetto adotterà le prestazioni antincendio pertinenti (resistenza al fuoco e compartimentazione) in conformità con le norme e i regolamenti edilizi locali, come specificato dall'ingegnere antincendio.

Previo coordinamento con l'ingegnere antincendio, i materiali con classificazione inferiore a A2-s1, d0, (ad esempio, tetto in policarbonato) sono consentiti in posizioni che non bloccano

le vie di evacuazione, rischiando di interferire con la sicurezza dei visitatori durante un'emergenza incendio.

2.1.9 Durabilità dei componenti e garanzie

Le opere devono essere specificate per funzionare per la vita di servizio senza guasti dovuti a difetti di progettazione, materiali o lavorazione. Le finiture devono essere scelte in modo da consentire una lunga vita di servizio equivalente alla qualità di riferimento e da prevenire gli agenti atmosferici, lo sbiadimento o lo scolorimento dovuti all'attacco delle condizioni climatiche, dei raggi UV o degli inquinanti atmosferici. In generale, è richiesta una garanzia minima di 12 anni per tutto il sistema, con una durata di 50 anni. Si noti che alcuni elementi che compongono il rivestimento, come sigillanti, guarnizioni in gomma, vetrocamere, ecc. hanno una vita utile prevista più breve. Tali elementi devono essere identificati e la loro vita utile prevista sarà riportata nelle specifiche di prestazione della facciata e il progetto includerà la manutenzione di tali elementi.

2.1.10 Prestazioni strutturali

La progettazione del vetro deve basarsi sulle sollecitazioni ammissibili in conformità alla norma EN 16612:2019 per il tipo di vetro scelto (float, indurito termicamente, completamente temprato) e la durata di ciascun carico (permanente, a medio termine e a breve termine) a cui è sottoposto. Quando un pannello di vetro stratificato (laminated glass) è progettato come barriera protettiva, il pannello deve resistere ai carichi di barriera richiesti con uno strato rotto; inoltre, lo strato intermedio utilizzato deve essere Ionoplast strutturale (SentryGlas®). Inoltre, il vetro utilizzato come barriera deve avere una deflessione massima di 10 mm quando viene applicata la metà del carico di progetto. Se per soddisfare i criteri di progettazione è necessario un vetro trattato termicamente, deve essere come sottoposto a test di resistenza al calore (Heat Soak test) secondo le norme BS EN 14179 e BS EN 12150 per ridurre al minimo il rischio di cedimento dovuto a inclusioni di nichel-solfuro (Ni-Si). In termini di gerarchia delle selezioni, il vetro indurito termicamente deve essere preferito al vetro completamente temprato.

La deflessione ammissibile per i componenti di facciata che si estendono tra i piani è definita come da CWCT TU18. In ogni caso, le deformazioni massime non possono superare i limiti tecnici/tecnologici del sistema adottato e pertanto le prestazioni termiche e di tenuta dovranno essere sempre garantite sotto l'azione dei carichi di progetto. I limiti sotto esposti sono da intendersi come limiti massimi in mancanza di requisiti specifici di sistema.

Tabella 6– Deformazioni ammissibili

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Altezza interpiano (H)	Deformazione ammissibile (mm)
$H \leq 3000$	$\Delta \leq H/200$
$3000 < H < 7500$	$\Delta \leq 5 + H/300$
$7500 \leq H$	$\Delta \leq H/250$

Quando gli elementi di rivestimento formano barriere o forniscono punti di fissaggio per i corrimano, i carichi delle barriere devono essere conformi alla BS 6180 Tabella 2, come riportata di seguito, e in conformità con il CWCT TN 99.

Tabella 7 – Carichi delle barriere in conformità con lo standard BS 6180 Tabella 2 (CWCT TN 99)

Posizione	Carico
Tutte le aree in cui il rivestimento funge da barriera e la differenza di altezza tra spazi esterni e interni è pari o superiore a 600 mm.	Carico lineare di 0,74kN/m che agisce ad un'altezza di 1,1m sopra il livello del pavimento finito Carico uniformemente distribuito di 1.0kN/m ² Carico puntuale di 0,5kN che agisce su qualsiasi parte fino a 1,1m di altezza dal pavimento finito.
Ristoranti, unità di vendita al dettaglio e aree di passaggio	Carico lineare di 1,5kN/m che agisce ad un'altezza di 1,1m dal livello del pavimento finito Carico uniformemente distribuito di 1,5kN/m ² Carico puntuale di 1,5kN che agisce su qualsiasi parte fino a 1,1 m sopra il livello del pavimento finito.
Aree in cui le persone possono riunirsi (queste aree possono dover essere identificate)	Carico lineare di 1,5kN/m che agisce ad un'altezza di 1,1m dal livello del pavimento finito Carico uniformemente distribuito di 1,5kN/m ² Carico puntuale di 1,5kN che agisce su qualsiasi parte fino a 1,1 m sopra il livello del pavimento finito.

Tutti i casi e le combinazioni di carico devono essere calcolati secondo la norma EN 1990:2002 + Allegati Nazionali. Il carico di manutenzione può essere considerato come non agente simultaneamente alle barriere e/o ai carichi del vento massimi. La facciata deve essere progettata per sostenere i casi e le combinazioni di carico delle barriere e del vento come descritto nel TU 14 del CWCT:

- **Uffici e alloggi residenziali** - La progettazione deve includere sia le condizioni di servizio che ultime (safety) in base al carico del vento o al carico di occupazione, a seconda di quale sia l'azione di carico più severa.
- **Aree di aggregazione/affollamento** – la progettazione per gli stati limite di servizio deve essere eseguita in base al carico del vento o al carico di occupazione, a seconda di quale sia l'azione di carico più severa.

La progettazione agli stati limite ultimi (safety) deve essere effettuato sotto un carico combinato pari al carico del vento più la metà del carico di occupazione o il carico di occupazione più la metà del carico del vento, a seconda di quale produca l'azione di carico più severa.

Tutti gli elementi della facciata, compresa la balaustra in vetro del sistema a Juliette e il sistema di porte scorrevoli, devono resistere all'impatto, sia dalle attività degli occupanti dell'edificio che dagli attrezzi di pulizia e manutenzione. I carichi d'impatto per la manutenzione della facciata devono essere presi in considerazione insieme ai requisiti, e i carichi d'impatto più onerosi devono essere utilizzati per il campione di prova per i test di impatto. Le resistenze agli urti devono essere dimostrate attraverso i metodi di prova descritti in CWCT TN 76.

I movimenti e le tolleranze della struttura primaria dovuti ai carichi permanenti imposti e ai carichi variabili saranno coordinati con l'Ingegnere Strutturista. I fissaggi della facciata saranno progettati per ospitare tali movimenti.

I carichi del vento saranno determinati secondo i requisiti delle "Norme tecniche per le costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)" aggiornate in coordinamento con l'Ingegnere del Vento.

I requisiti sismici della facciata saranno ulteriormente valutati in conformità alle pertinenti normative locali e alle analisi strutturali, come indicato nel **Capitolo 1.2.3**. Qualora fosse richiesto un grado di resistenza sismica per i componenti della facciata, il progetto della facciata dovrà incorporare tali requisiti in linea con il carico sismico stimato e in accordo con il Cliente.

Nessuna combinazione di vetro o vetrocamera deve sviluppare tensioni che possano danneggiare il vetro, i materiali della vetrocamera, i componenti e/o i sistemi di intelaiatura.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Verrà condotta un'analisi delle sollecitazioni termiche e verrà identificata la necessità di un vetro trattato termicamente. L'analisi terrà conto delle sollecitazioni di ombreggiamento che potrebbero derivare dai componenti adiacenti, da sporgenze (per esempio balconi) e dagli edifici, compresi i dispositivi di ombreggiamento e tende interne. La valutazione dello shock termico sarà effettuata in conformità alla norma pertinente. La norma NF P 78-201-3 (DTU 39):2006 - Parte 3 è lo standard prescrittivo. La valutazione dello shock termico deve essere effettuata anche per i sistemi di ombreggiamento interni per determinare il tipo di tende utilizzabili, la geometria, la posizione e le dimensioni.

La facciata deve essere progettata per soddisfare i requisiti del codice internazionale per i carichi adatti all'uso dell'edificio. Al momento non è stata fatta alcuna ipotesi di facciate resistenti a esplosioni e proiettili. Si dovrà procedere a un ulteriore coordinamento con il Cliente e il team incaricato per la progettazione dei sistemi di sicurezza dell'edificio per stabilire se alcune aree specifiche richiedono un certo grado di resistenza alle esplosioni e/o ad attacchi vandalici/terrorismo.

2.1.11 Condizioni ambientali

Le opera e le relative analisi sono soggetti alla zona climatica D, secondo il DPR 26 Agosto 1993, n.412.

Legenda: pr = provincia
z = zona climatica
gr-g = gradi giorno
alt = altezza sul livello del mare della casa comunale (espressa in metri).

pr	z	gr-g	alt	comune
RM	E	2325	664	ROCCA SANTO STEFANO
RM	E	2203	520	ROCCAGIOVINE
RM	E	2430	697	ROIATE
RM	D	1415	20	ROMA
RM	E	2287	523	ROVIANO
RM	D	1751	260	SACROFANO
RM	E	2114	434	SAMBUCCI

Figura 1 – Climate zone adopted according to DPR 26 Agosto 1993 n.412

2.1.12 Sostenibilità

Tutti i componenti e i sistemi della facciata devono essere basati sui principi progettuali di smontabilità (disassembly) e il potenziale relativo alla demolizione dell'edificio (End-of-Life) deve essere identificato per consentire il riutilizzo o il riciclo dei materiali.

Il progetto "Science Forest" in conformità con la "WSP Net Zero Agenda", che mira a ridurre a metà l'impronta di carbonio dei nostri progetti entro il 2030. Pertanto, le considerazioni relative a Embodied e Operational Carbon dell'edificio sono parte integrante dello sviluppo del progetto di WSP FE (Ingegneria delle Facciate). Si raccomanda di utilizzare fonti locali per i materiali da costruzione in modo tale da minimizzare le emissioni di carbonio legate al

trasporto. Sarà esplorata e specificata l'uso di materiali con un contenuto di materiale riciclato, in base alla disponibilità locale.

Gli obiettivi iniziali riguardo il Embodied Carbon saranno definiti durante il progetto definitivo. Le norme internazionali saranno utilizzate come punto di riferimento per convalidare le credenziali di sostenibilità della facciata dell'edificio. Gli obiettivi di progettazione per il 2030 forniti da LETI (London Energy Transformation Initiative) sono presentati nella Tabella 7 e sono attualmente considerate come le migliori pratiche del settore e, pertanto, rappresentano valori di riferimento per "Science Forest".

Tabella 8 – Obiettivi progettuali di Embodied Carbon secondo LETI 2030

Destinazione d'uso	Obiettivi di Embodied carbon (kgCO₂e/m² GIA)
Residenziale	<300
Uffici	<350
Scolastica	<300
Commerciale	<300

Il rispetto dei criteri di progettazione della facciata secondo le certificazioni LEED e WELL sarà implementato previo accordo con il Cliente. Si prega di fare riferimento alla relazione di sostenibilità 0006_F_0.0.04_AR_RS_001 per ulteriori informazioni.

2.1.13 Manutenzione e accesso ai componenti dell'involucro

Il monitoraggio sistematico delle condizioni dei lavori, la manutenzione e la sostituzione degli elementi è prevista per tutta la vita utile della facciata. Ove possibile, gli elementi saranno progettati in modo che la sostituzione possa essere effettuata dall'esterno. Saranno indicati metodi e procedure dal Consulente per l'accessibilità e manutenzione della Facciata per consentire la sostituzione dei componenti danneggiati o usurati. Sarà condotto uno studio completo dei requisiti di pulizia e manutenzione prima di specificare definitivamente l'attrezzatura per la manutenzione dell'edificio. Durante la vita utile dell'edificio, sarà necessario sostituire alcuni o tutte le vetrocamere. Per farlo in modo sicuro e senza costi eccessivi, la progettazione dovrà dare priorità alla sostituzione interna dei pannelli di vetro tramite gli ascensori in coordinamento con l'Ingegnere per specializzato nell'accessibilità e manutenzione della Facciata.

2.1.14 Salute e Sicurezza

La strategia di installazione della facciata deve garantire la salute e la sicurezza, riducendo al minimo i lavori in altezza e limitando le attività in loco. Sebbene gli elementi prefabbricati

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

siano la soluzione preferita (ad esempio, moduli di copertura pre-assemblati), a causa della scala del progetto vengono adottati anche sistemi alternativi (ad esempio, facciate continue del tipo Stick-system). Tutte le porte esterne devono essere conformi agli standard “Secure By Design” e al sistema di rilevamento e allarme antintrusione. Le misure di sicurezza saranno sviluppate in accordo con il consulente per la sicurezza.

2.2 Strategia ambientale

Le strategie ambientali sviluppate per il progetto “Science Forest” mirano a garantire condizioni di comfort durante tutto l'anno all'interno della teca trasparente/traslucida, sia per i visitatori che per la vegetazione. Considerando il clima locale e l'estensione delle chiusure vetrate dell'involucro, il principale rischio per questa struttura è l'effetto serra, che potrebbe comportare surriscaldamento e temperature interne elevate, soprattutto durante i mesi estivi, compromettendo il comfort all'interno del parco.

Il processo preliminare di optioneering ha mostrato con uno sviluppo parametrico iterativo il potenziale di varie strategie passive da adottare per migliorare le prestazioni bioclimatiche dell'involucro edilizio. Pertanto, le strategie ambientali chiave adottate per questo edificio sono le seguenti:

- **Materiali** - Il polycarbonato è utilizzato in copertura come alternativa al vetro, con una riduzione della temperatura superficiale del tetto fino al 30%. Considerando che il polycarbonato è caratterizzato da una conducibilità termica inferiore del vetro, e quindi può raggiungere valori inferiori di trasmittanza termica (U-value), si prevede che il trasferimento di calore radiativo verso l'interno dell'involucro sia ridotto, migliorando la temperatura percepita a livello del parco. Allo stesso tempo, il polycarbonato può mantenere un'elevata trasmittanza luminosa, in linea con gli intenti del progetto architettonico, e allo stesso tempo ridurre l'impatto ambientale dell'involucro dell'80% rispetto al vetro.

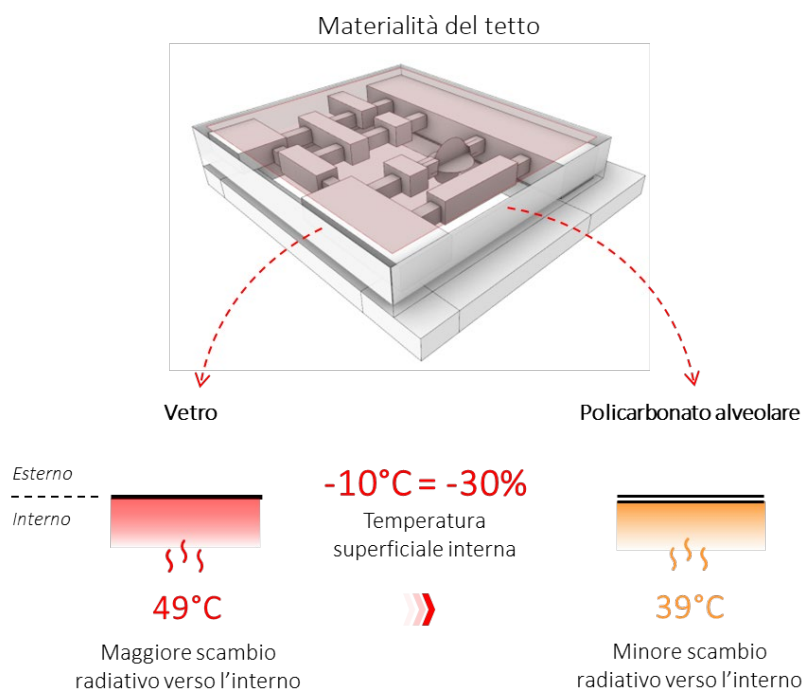


Figura 2 – Vantaggi della copertura in polycarbonato rispetto al comfort interno

- Schermatura** - Sono state adottate strategie di ombreggiatura passiva e attiva con l'obiettivo di mitigare i carichi solari della facciata e della copertura. L'integrazione di pannelli fotovoltaici opachi (PV) e di pannelli fotovoltaici integrati (BiPV) all'interno dell'involucro trasparente/traslucido, così come la strategica introduzione di dispositivi di schermatura esterni, con il potenziale di ridurre i carichi solari fino al 70%.

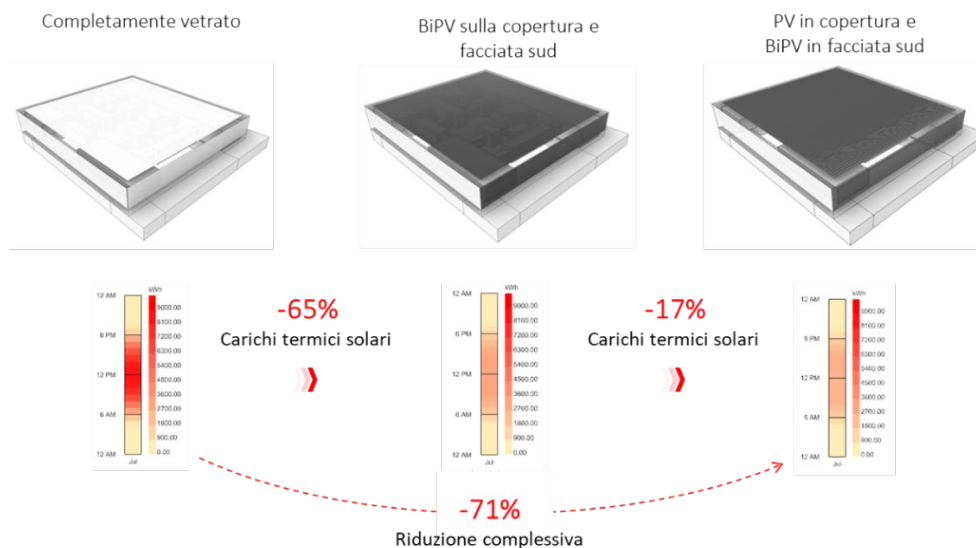


Figura 3 – Strategie di schermatura solare e il loro impatto sulla potenziale riduzione del carico solare.

- Ventilazione** - Le aperture sulla facciata e sul tetto facilitano la ventilazione naturale grazie alle variazioni di pressione e temperatura dell'aria, aiutando a rilasciare l'aria calda accumulata attraverso l'effetto camino e la ventilazione trasversale.

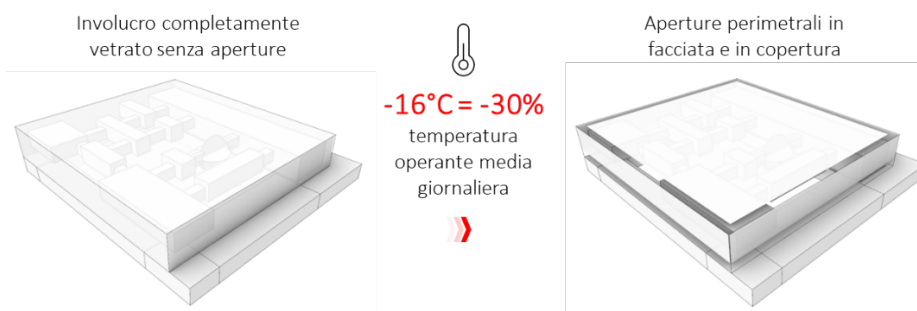


Figura 4 – Vantaggi nella temperatura operante interna grazie alla ventilazione naturale

Si rimanda al capitolo 3 (Progettazione MEP) per una valutazione dettagliata delle diverse strategie passive adottate in un'analisi iterativa e del loro corrispondente progressivo impatto sul consumo energetico complessivo.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Sono state effettuate anche delle analisi preliminari per garantire condizioni di illuminazione adeguate nel parco. Sono stati determinati settori con vari livelli di illuminazione, in relazione all'illuminazione naturale necessaria per la crescita delle piante, al fine di informare la progettazione del paesaggio (Figura 5). Il tetto in policarbonato traslucido e il vetro con BIPV consentono all'edificio di ricevere abbondante luce naturale in modo diffuso ed omogeneo.

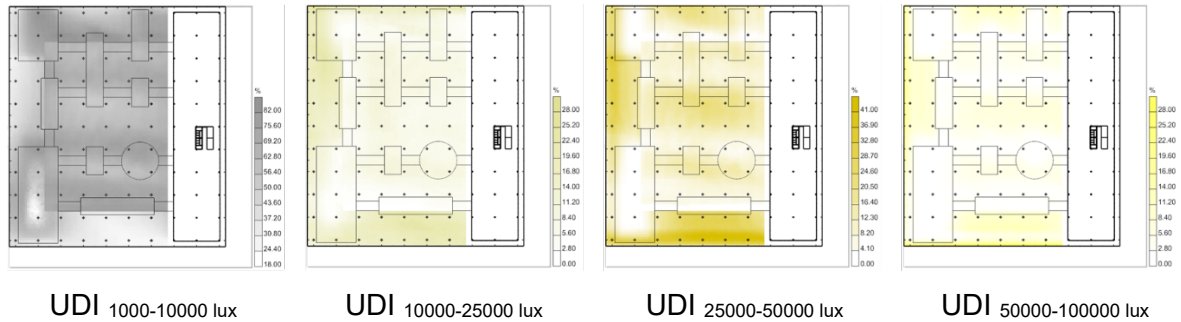


Figura 5 – Useful Daylight Illuminance (UDI) con diversi intervalli per le zone inferiori e superiori del parco

2.3 Sistemi di facciata

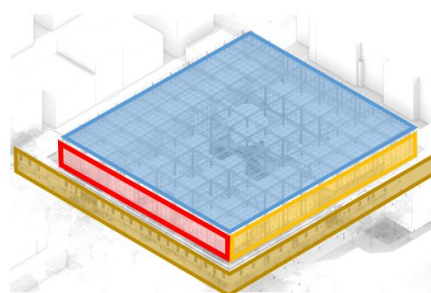
Il progetto "Science Forest" comprende i seguenti sistemi principali per le facciate:

- *L'involucro edilizio esterno*, che fornisce un primo strato di protezione dagli agenti naturali esterni, delimitando lo spazio semi-aperto composto da una piazza interna con vegetazione e varie aree espositive. Gli elementi dell'involucro edilizio esterno sono i seguenti:
 - **Facciata vetrata** con ulteriore protezione solare fornita da BIPV (facciata sud) e dispositivi di schermatura esterni (facciata ovest) attivati tramite un sistema BMS (Building Management System - sistema di monitoraggio e gestione automatizzata dell'edificio);
 - **Tetto** composto da pannelli in polycarbonato e ulteriore protezione solare con BIPV e pannelli PV opachi in posizioni strategiche.
- *L'involucro edilizio interno*, ovvero l'involucro di tutte le costruzioni esistenti e nuove racchiuse nell'involucro vetrato esterno, che fornisce la linea termica continua e rappresenta quindi il confine finale tra gli spazi interni ed esterni. Gli elementi dell'involucro edilizio interno sono i seguenti:
 - **Involucro delle capsule**, che rappresenta il sistema di facciata per gli spazi espositivi "galleggianti";
 - **Facciata vetrata** che costituisce l'involucro trasparente delle nuove costruzioni, comprese le passerelle tra le "capsule";
 - **Parete opaca**, sistema di facciata opaca per le nuove costruzioni;
 - **Facciata esistente**, che include il restauro degli elementi edilizi esistenti, la riqualificazione interna, la conservazione della facciata esterna e il ripristino degli elementi vetrosi per prestazioni migliorate."

Legenda dei Sistemi di Facciata



Pianta



Vista esterna

Sistemi di Facciata	
	Facciata esterna Facciata vetrata
	Facciata esterna con BIPV Facciata vetrata con BIPV
	Facciata esterna con Schermature Facciata vetrata con schermature solari esterne
	Tetto esterno pannelli in polycarbonato con BIPV o pannelli PV opachi
	Involucro delle Capsule
	Facciata vetrata
	Parete opaca
	Facciata esistente

Figura 6 – Sistemi di facciata

2.3.1 Involucro edilizio esterno

L'involucro edilizio esterno costituisce il primo strato di protezione dall'ambiente esterno ed è concepito come una teca trasparente, priva di requisiti termici, che racchiude gli spazi espositivi. L'involucro esterno assicura i livelli di luce solare necessari alla crescita della vegetazione, limita i carichi solari e riduce il rischio di abbagliamento. Grazie alla sua griglia regolare, è concepito come un elemento flessibile, con aperture ed elementi di schermatura solare che soddisfa i requisiti di sostenibilità e garantisce il comfort dei visitatori e della vegetazione.

I sistemi di facciata individuati sono i seguenti:

- **Facciata** - Singola pelle di vetro (facciata verticale)
- **Tetto** - Policarbonato (tetto orizzontale)

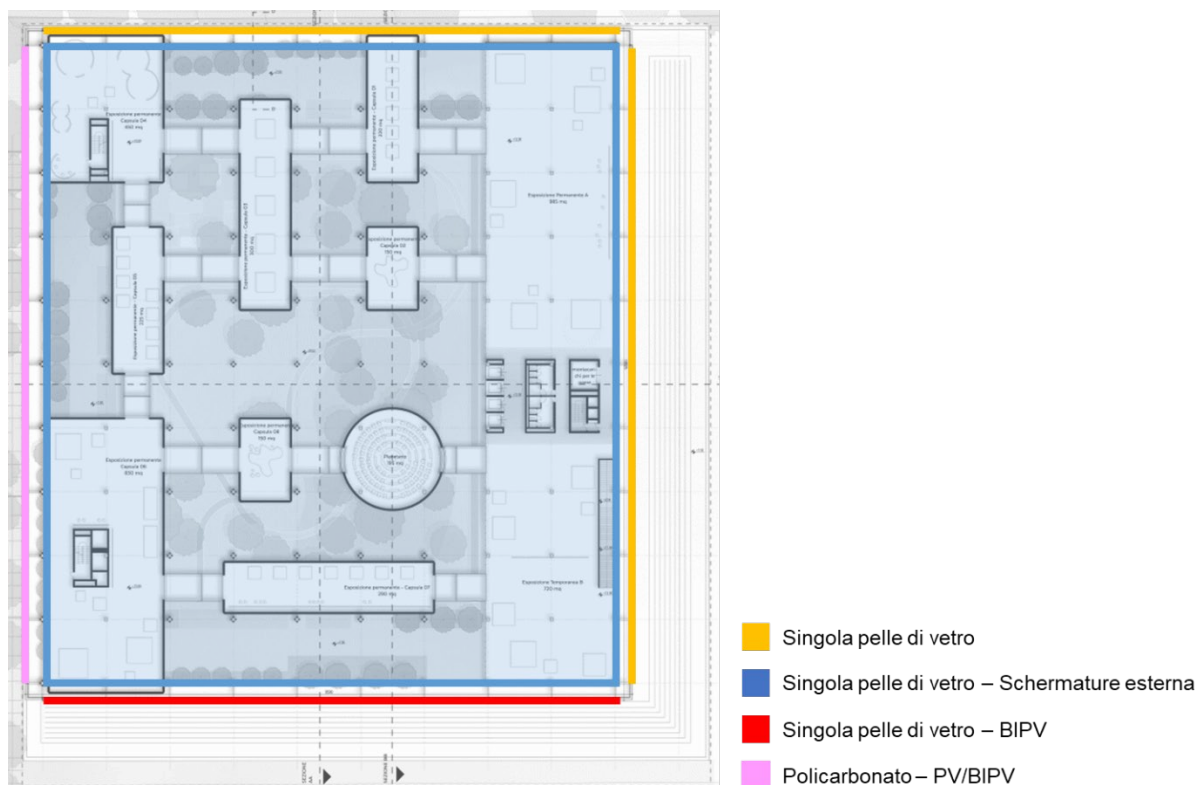


Figura 7 – Sistemi dell'involucro edilizio esterno

2.3.1.1 Facciata

La facciata è composta da un sistema di facciata continua che comprende una struttura metallica e vetri singoli. La facciata sud include elementi BIPV (pannelli fotovoltaici integrati), che forniscono una maggiore protezione solare, mentre il prospetto ovest è dotato di tende a rullo esterne (collegate al BMS - Building Management System - sistema di monitoraggio e

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

gestione automatizzata dell'edificio) che si attivano automaticamente a livelli predefiniti di radiazione solare per limitare il disagio da abbagliamento all'interno dello spazio chiuso nelle ore di punta e per ridurre i carichi solari durante la stagione estiva.

In questa fase, due schemi strutturali sono proposti per l'installazione e il sostegno della facciata esterna, come mostrato nei diagrammi in Figura 8.

L'opzione n.1, caratterizzata da una struttura secondaria più marcata e un supporto posteriore sottoforma di una colonna circolare a sezione piena, e l'opzione n.2 con una trave reticolare nella parte superiore per raccogliere e trasferire i carichi verticali dell'intera campata. In entrambi i casi, si raccomanda un sistema ibrido di intelaiatura e cavi per mantenere gli elementi della facciata snelli e massimizzare la vista verso l'esterno. Nei seguenti diagrammi sono evidenziati i principi strutturali e le gerarchie delle forze a seconda dell'opzione considerata.

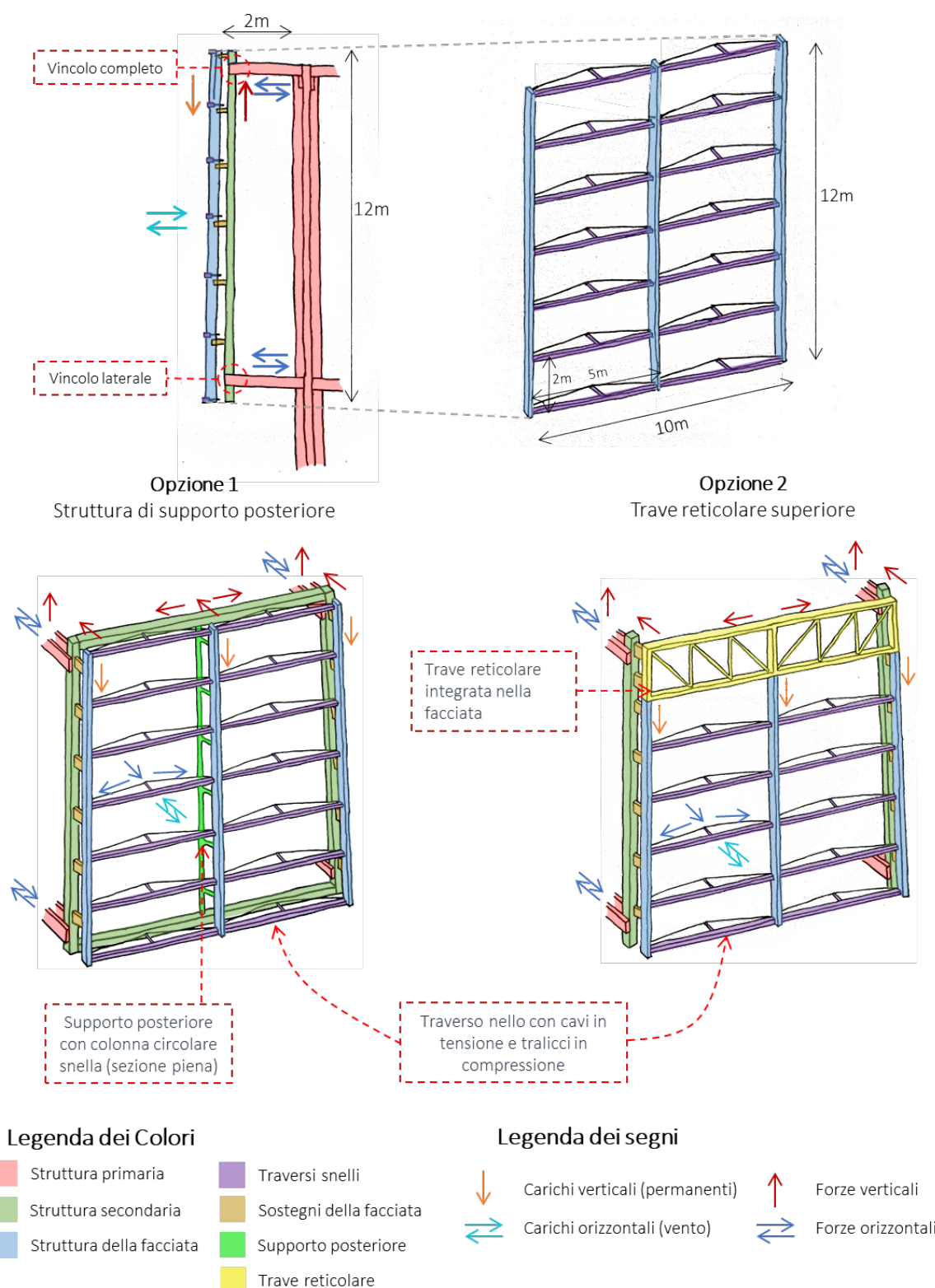


Figura 8 – Diagramma strutturale della facciata dell'involucro edilizio esterno

In entrambe le opzioni, la struttura della facciata è composta da montanti e traversi (blu e viola nel diagramma), dove i traversi sono considerati in via preliminare come traversi snelli, cioè composti da una sezione ridotta combinata con cavi in tensione e tralicci compressi, per

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

umentare la resistenza alla deformazione orizzontale mantenendo una sezione trasversale snella. Mentre il trasferimento dei carichi verticali (permanenti) ed orizzontali (vento, ecc.) varia a seconda dell'opzione considerata.

L'opzione n.1 (supporto strutturale posteriore) include una struttura secondaria (in verde nel diagramma) maggiormente pronunciata, con una colonna cilindrica centrale snella (a sezione piena) che raccoglie i carichi dal montante centrale (a metà della campata strutturale) e trasferisce i carichi permanenti alla struttura primaria attraverso il telaio strutturale secondario, fornendo contemporaneamente resistenza alla trazione e alla compressione.

L'opzione n.2 (trave reticolare superiore) integra un sistema con trave reticolare nella parte superiore della facciata (in giallo nel diagramma), con la potenziale esclusione di elementi orizzontali aggiuntivi. Questa soluzione strutturale consentirebbe di supportare i carichi permanenti e ulteriori carichi nel piano della facciata e il loro trasferimento alla struttura secondaria. Quest'ultima consiste esclusivamente nelle colonne laterali ai limiti della campata direttamente connesse alla struttura primaria. I pannelli di vetro possono essere posizionati davanti alle travi.

La struttura secondaria, come menzionato in precedenza, si trova dietro la facciata per aumentare la resistenza e la rigidità del sistema, trasferendo al tempo stesso sia i carichi verticali (carichi permanenti) che quelli orizzontali (vento, ecc.) al telaio strutturale primario. Infine, la struttura secondaria è collegata al telaio strutturale primario (in rosso nel diagramma) attraverso due punti di connessione nella parte superiore della facciata, con vincoli completi per trasferire i carichi verticali ed orizzontali, e nella parte inferiore, con vincoli solo laterali per consentire il movimento verticale (ad esempio, a causa dell'espansione termica). Il sistema è progettato per evitare deformazioni incontrollate, trasferendo al contempo parte dei carichi orizzontali e contribuendo alla stabilità dell'intera facciata.

Gli schemi presentati sopra sono preliminari e devono essere considerati per valutare le possibili configurazioni della facciata esterna, mentre analisi dedicate e ulteriori dettagli dovranno essere condotti in una fase successiva. Nelle fasi di progettazione successive, la soluzione tecnologica sarà sviluppata in collaborazione con l'Architetto e l'Ingegnere Strutturale.

Il pannello vetrato tipico ha dimensioni di ~2m x 5m. Le dimensioni delle vetrate saranno ulteriormente ottimizzate durante la successiva fase di progettazione, riducendo così gli sprechi durante la fabbricazione e ottimizzando i costi di costruzione.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

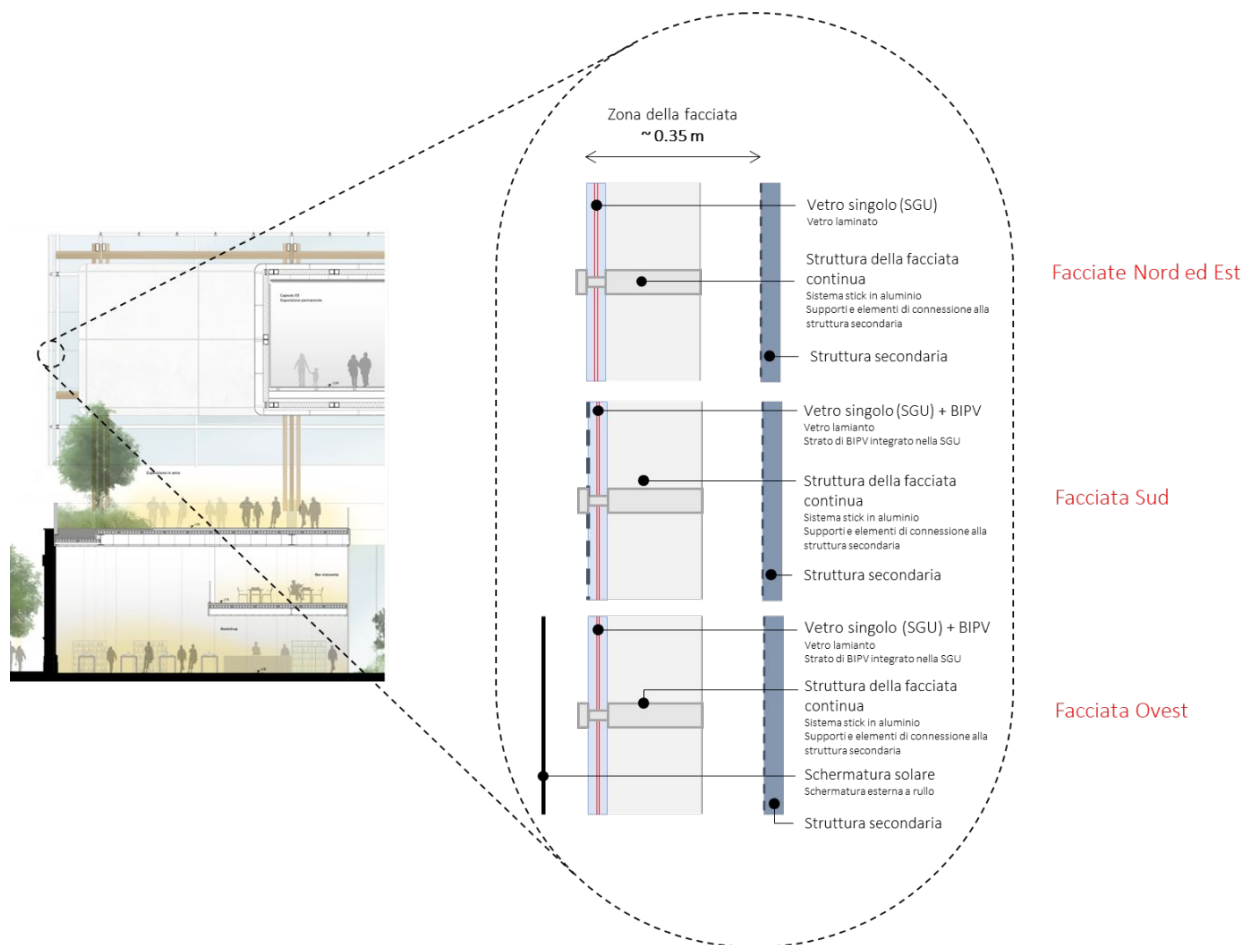


Figura 9 – Diagrammi della facciata esterna

2.3.1.2 Tetto

Un tetto con pannelli in polycarbonato è stato adottato per soddisfare i requisiti prestazionali legati al comfort interno e all'intento architettonico di massima trasparenza. Rispetto ad una copertura vetrata tradizionale, il polycarbonato offre i seguenti vantaggi:

- **Prestazioni termiche** – Il valore di trasmittanza termica (U-value) più basso del polycarbonato previene che la superficie del tetto diventi troppo calda e che possa irradiare calore verso lo spazio racchiuso sottostante.
- **Sostenibilità** - Il polycarbonato è caratterizzato da un contenuto di embodied carbon inferiore rispetto al vetro laminato.
- **Peso** - Essendo un materiale leggero, con una densità pari alla metà di quella del vetro, il polycarbonato riduce al minimo i carichi permanenti esercitati sulla struttura principale, ottimizzando in tal modo l'uso del materiale e il relativo contributo di embodied carbon.

Con una superficie di 9000 m², il design del tetto è fondamentale per le prestazioni ambientali e il comfort all'interno dello spazio semi-aperto. Per ridurre ulteriormente i carichi termici solari attraverso il tetto, sono state incorporate protezioni solari sotto forma di elementi BIPV (pannelli fotovoltaici integrati) e pannelli fotovoltaici. I pannelli fotovoltaici, caratterizzati da un'efficienza più elevata, sono posizionati in corrispondenza delle Capsule interne e di altri edifici, riducendo significativamente i carichi solari sulla superficie del tetto. I BIPV saranno integrati nelle restanti aree del tetto (visibili dai visitatori del museo), consentendo una maggiore trasmissione di luce e contribuendo alla complessiva produzione di energia. Inoltre, aperture sono state introdotte sul tetto per agevolare il rilascio dell'aria calda accumulata mediante l'effetto camino. La posizione di BIPV, pannelli fotovoltaici e aperture di ventilazione è illustrata nella Figura 10.

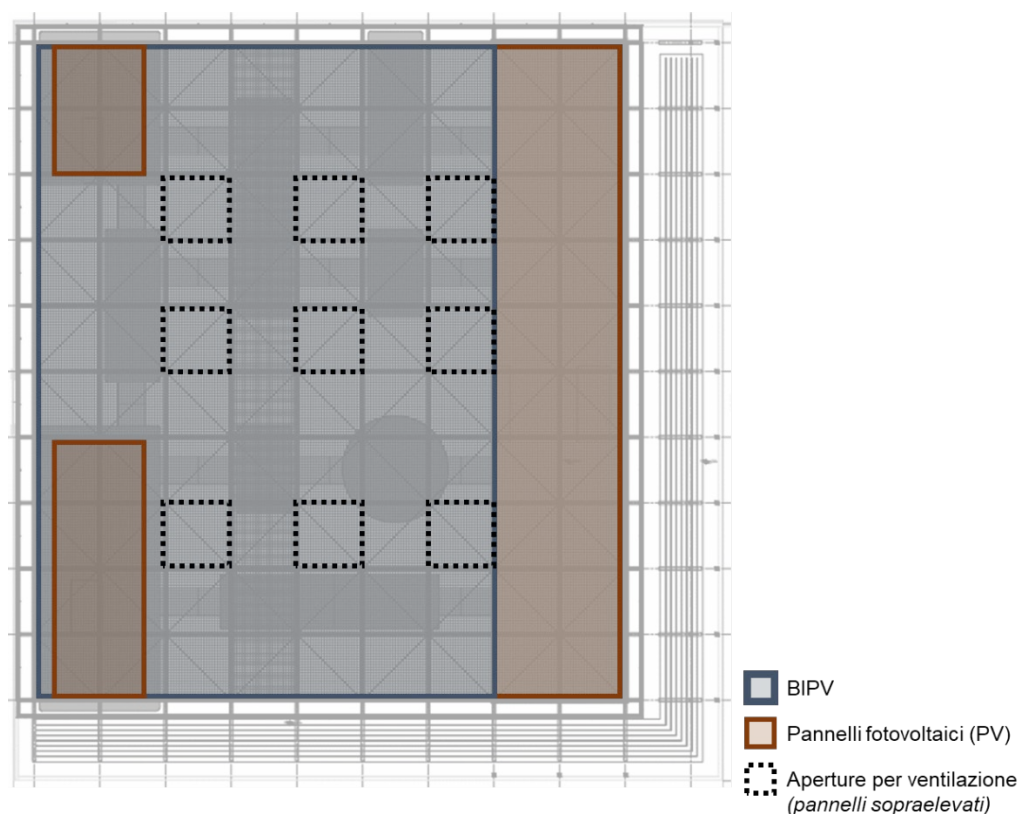

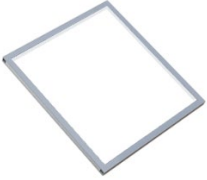


Figura 10 – Diagramma che identifica la posizione dei BIPV, PV e aperture di ventilazione.

Il sistema del tetto è composto da pannelli con dimensioni approssimative di 1x2 metri e la zona preliminare del tetto è di circa 200-300 millimetri (Figura 11). La configurazione attuale propone pannelli in policarbonato a parete multiple. Tuttavia, l'uso di un sistema a "cassette" con lastre in policarbonato solido è correntemente preso in considerazione come alternativa. Si prega di fare riferimento alla Tabella 8 per un confronto tra questi sistemi, che verranno discussi nei capitoli successivi. Per i sistemi del tetto, è imprescindibile una pendenza minima del 5%, con il 10% o più preferibile.

Tabella 9 – Riepilogo dei sistemi in policarbonato per il tetto

	Pannelli in policarbonato a parete multiple (multiwall)	Pannello in policarbonato a cassette (Double Glazed)
		
Spessore o stratigrafia di riferimento (mm)	>16	8-15-6 (pannello esterno – cavita'- pannello interno)

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Peso del pannello (kg/m ²)	2.7-5	17
U-value (W/m ² K)	1.7-2.3	2.7
Trasmittanza luminosa (%)	58-74 (senza trattamenti per il controllo solare) <55 (con trattamenti per il controllo solare)	65 (con trattamenti per il controllo solare)
g-value (%)	62-78 (senza trattamenti per il controllo solare) <52 (con trattamenti per il controllo solare)	44 (con trattamenti per il controllo solare)
Embodied carbon (kgCO ₂ e/m ²)	50-80	100-150
Pendenza minima per drenaggio (°)	>5%	5-25%
Classe di resistenza al fuoco	EuroClass B-s1, d0	
Aspetto	Aspetto traslucido in base allo spessore del pannello e alla struttura interna	Aspetto trasparente
	Un trattamento di controllo solare per le radiazioni infrarosse aggiunge una sfumatura più scura / tendente al verde	
	Rischio di decolorazione o 'effetto di ingiallimento' dopo il periodo di garanzia	
Durabilità/vita utile (anni)	>30 La sostituzione potrebbe essere richiesta per mantenere le proprietà visive a causa dell'effetto di ingiallimento	~20 Un Sistema a cassette (DGU) e' previsto d'essere sostituito ogni circa 20 anni a causa della degradazione dei sigillanti
Garanzia (anni)	10 (standard) - 15 (con trattamenti UV aggiuntivi)	
Fattibilità tecnica	Prodotti commerciali direttamente disponibili	Limitazioni di approvvigionamento
	L'integrazione BIPV sarà esplorata in collaborazione con un appaltatore specializzato	

In modo tale da ridurre ulteriormente l'impronta ambientale (Embodied carbon content) del progetto, l'intenzione è di includere pannelli in polycarbonato integralmente o in parte ottenuti da polycarbonato riciclato. Tale scelta progettuale può implicare un'ulteriore limitazione nell'approvvigionamento dei prodotti e verrà ulteriormente esplorata in coordinamento e contatto con L'Architetto e appaltatori specializzati nelle seguenti fasi progettuali.

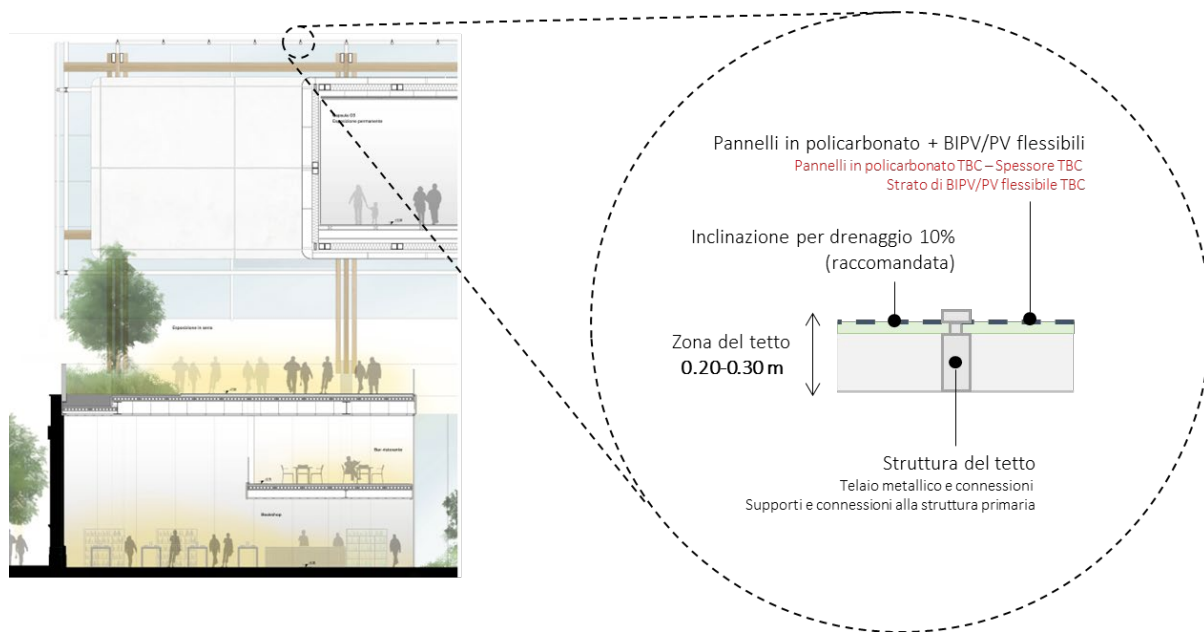


Figura 11 – Diagramma del tetto

2.3.1.2.1 Pannello in polycarbonato a pareti multiple (Multiwall)

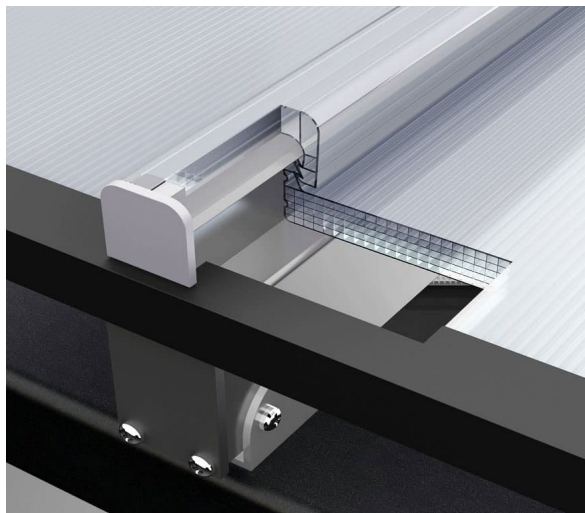
I prodotti in polycarbonato a pareti multiple sono pannelli piani, vuoti e leggeri di vari spessori, dimensioni, struttura interna e colore. Le camere d'aria sono responsabili delle prestazioni termiche del pannello, che varia a seconda del loro design e spessore (Figura 12). I pannelli possono essere installati su una struttura di montaggio utilizzando un sistema a cappuccio asciutto, fissati adesivamente o incastonati come parte di un sistema personalizzato (Figura 13).

Structure	Thickness (mm)	Area Weight (Kg/m ²)	U-Value (W/m ² ·K)
Twin Wall	4	0.8	3.8
	4.5	1.0	3.7
	6	1.3	3.5
	8	1.5	3.3
Triple Wall	10	1.7	2.9
	8	1.7	3.0
	10	2.0	2.7
	16	2.7	2.3
X-Lite	16	2.5	2.1
	20	2.8	1.85
	25	3.0	1.7
	32	3.2	1.6
V-Structure	35	3.5	1.5
	20	2.8	1.85
	25	3.4	1.6
	32	3.6	1.5
7 Walls	35	3.8	1.45
	40	4.0	1.35
	8	1.8	2.7
	10	1.9	2.3
	16	2.65	1.75
	20	2.9	1.55
	25	3.4	1.39



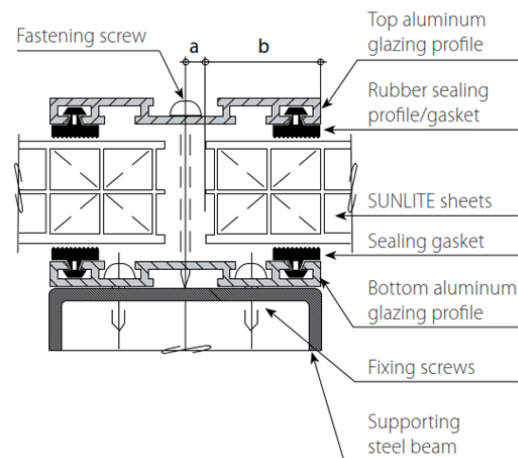
Figura 12 – Varie tipologie di pannelli in policarbonato a pareti multiple (www.palram.com)

Interlocking system



(www.danpal.com)

Dry cap system



(www.palram.com)

Figura 13 – Esempi di diversi sistemi di copertura in policarbonato a pareti multiple

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA



Figura 14 – Beijing Urban-rural Century Plaza(www.palram.com)



Figura 15 – Leeds Recycling & Recovery Centre (www.danpal.com)

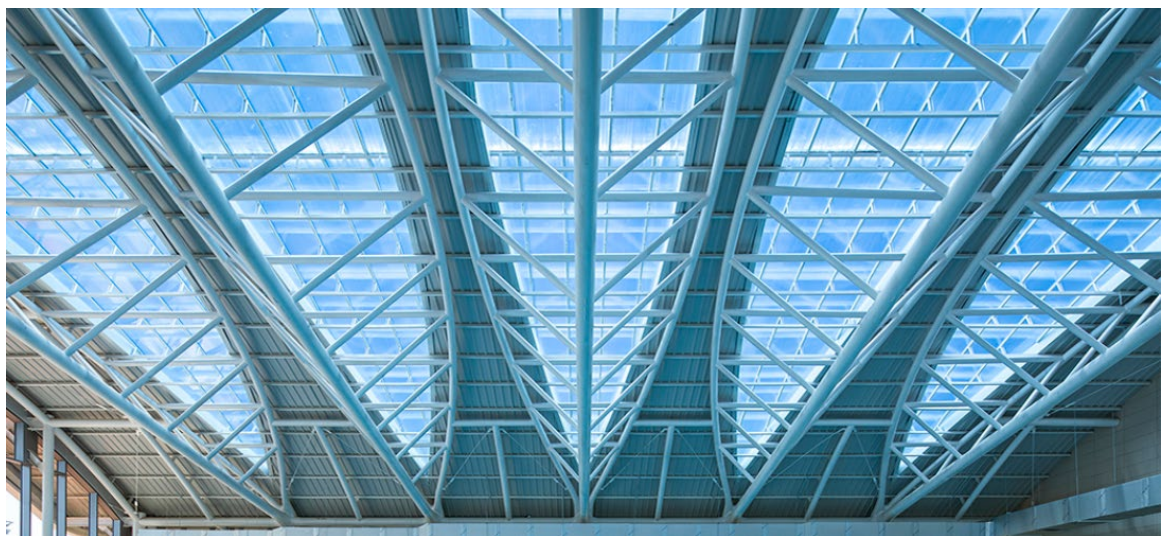


Figura 16 – West Yangju Sports Centre (www.danpal.com)

2.3.1.2.2 Sistema a cassette in policarbonato (doppio strato)

Un sistema a cassette in policarbonato a doppio strato è esaminato come alternativa che può consentire un aspetto più trasparente del tetto in conformità con l'intento architettonico. Il sistema comprende n.2 lastre in policarbonato solido, che vengono incollate a una struttura in alluminio con uno spazio intermedio per formare una "cassette". La cavità ha il potenziale per essere dotata di dispositivi di ombreggiatura al fine di migliorare le prestazioni solari del pannello. Il pannello è fissato meccanicamente su una struttura con un sistema di chiusura a pressione che garantisce l'impermeabilità del tetto. Si consiglia una pendenza tra il 10% e 25% per garantire un drenaggio adeguato.

Un potenziale rischio con questo sistema è la formazione di condensa all'interno della cavità tra i due pannelli. Questo può essere affrontato introducendo aperture per la ventilazione e il drenaggio attraverso il telaio esterno, come mostrato in Figura 17.

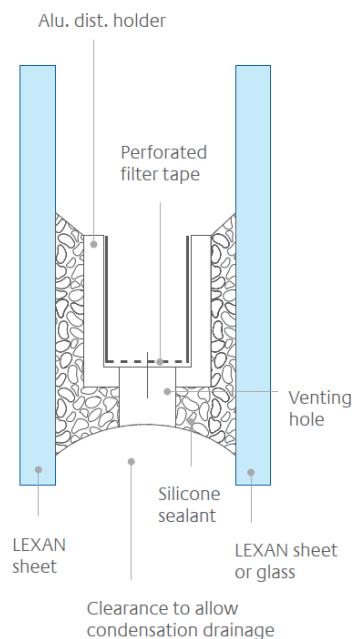


Figura 17 – Sistema in policarbonato a cassette (DGU) con aperture per il drenaggio della condensa

Sebbene questo sistema soddisfi i requisiti architettonici di massima trasparenza, la disponibilità sul mercato è molto limitata, il che può comportare rischi di approvvigionamento nelle fasi successive. La fattibilità tecnica di questa alternativa sarà ulteriormente investigata durante le prossime fasi di progettazione tramite anche il coinvolgimento dei fornitori del sistema.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

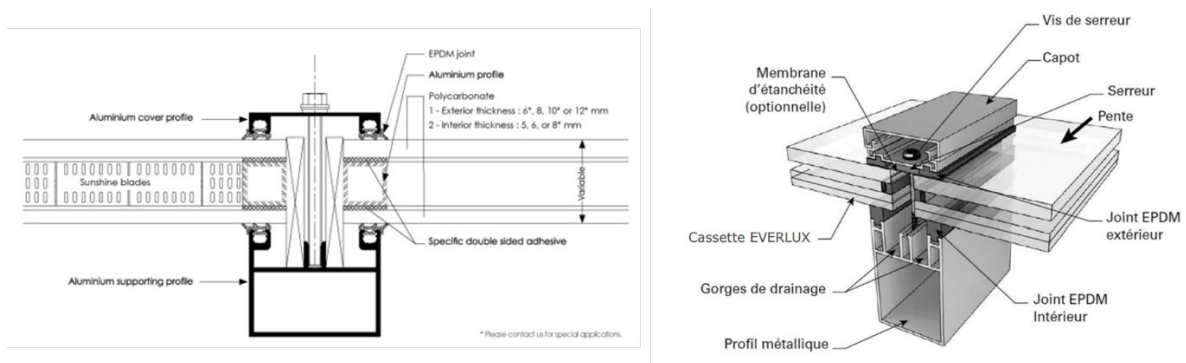


Figura 18 – Policarbonato a doppio strato (DGU) (Everlux series from www.everliteconcept.com)



Figura 19 – Sistema a cassette in policarbonato con (sx) e senza (dx) schermatura integrata (www.everliteconcept.com)

2.3.2 Involucro edilizio interno

L'involucro edilizio interno costituisce il confine tra gli spazi interni ed esterni/semi-esterni e rappresenta la linea termica dell'edificio. Pertanto, è progettato per soddisfare i requisiti termici e visivi per le pareti esterne e le aperture in conformità con le normative locali ed europee.

Sono inclusi diversi sistemi di facciata, a seconda della posizione e degli elementi edilizi considerati. I seguenti sono i sistemi di facciata identificati e preliminarmente analizzati in relazione all'involucro edilizio interno:

- **Capsule** - Involucro opaco, comprensivo di rivestimento esterno, isolamento termico e finiture interne utilizzato per l'involucro delle capsule;
- **Facciata vetrata** - Involucro trasparente, situato sulle passerelle tra le capsule e nell'edificio racchiuso dall'involucro esterno;
- **Pareti opache** - Involucro opaco, comprensivo di rivestimento esterno, isolamento termico e finiture interne situato nell'edificio racchiuso dall'involucro esterno;
- **Facciata dell'edificio esistente** - valutazione preliminare della facciata esistente e degli strati aggiuntivi richiesti.

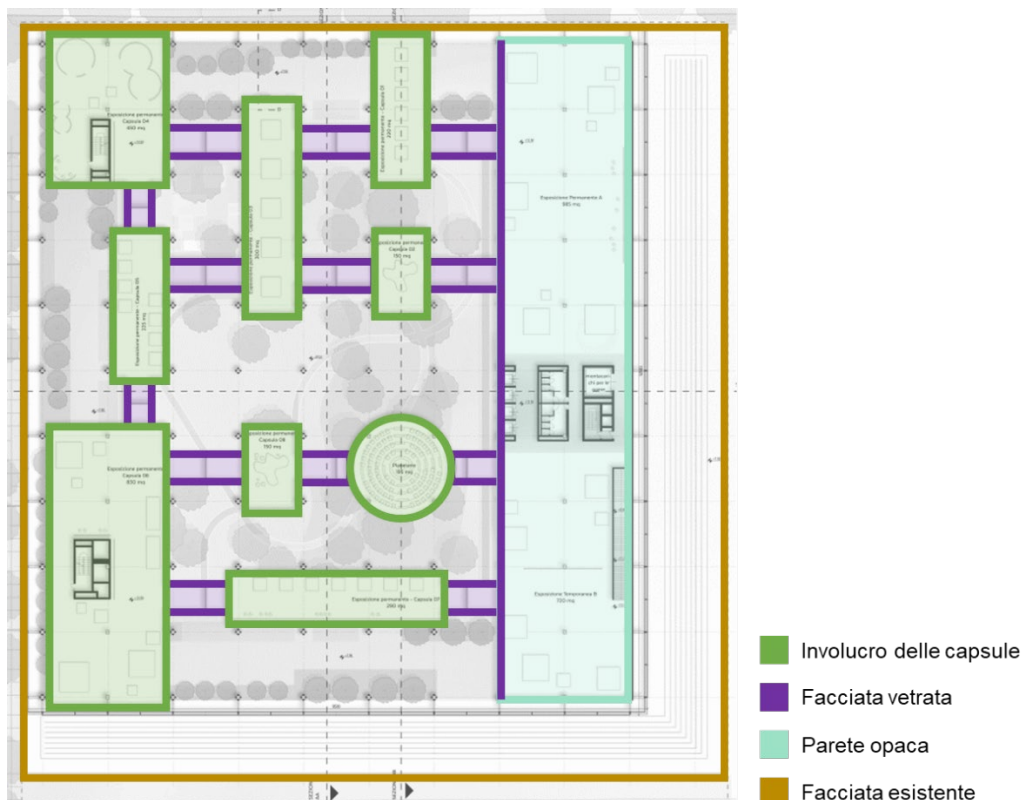


Figura 20 – Sistemi di facciata dell'involucro edilizio interno

2.3.2.1 Capsule

Le capsule - aree di esposizione galleggianti - contenute nell'involucro di vetro, sono progettate come spazi climatizzati per ospitare aree del museo e varie mostre. Per evitare qualsiasi rischio di riflessioni acustiche ed effetti di riverbero, i soffitti (parte inferiore delle capsule galleggianti) sono trattati con forature nel rivestimento e materiali isolanti fonoassorbenti all'interno. L'involucro delle capsule è realizzato con un sistema a secco integrato nella struttura portante, consentendo così una soluzione di pannelli leggeri che possono essere facilmente smontati alla fine della loro vita utile. Un diagramma esploso della soluzione dell'involucro è riportato nella Figura 21.

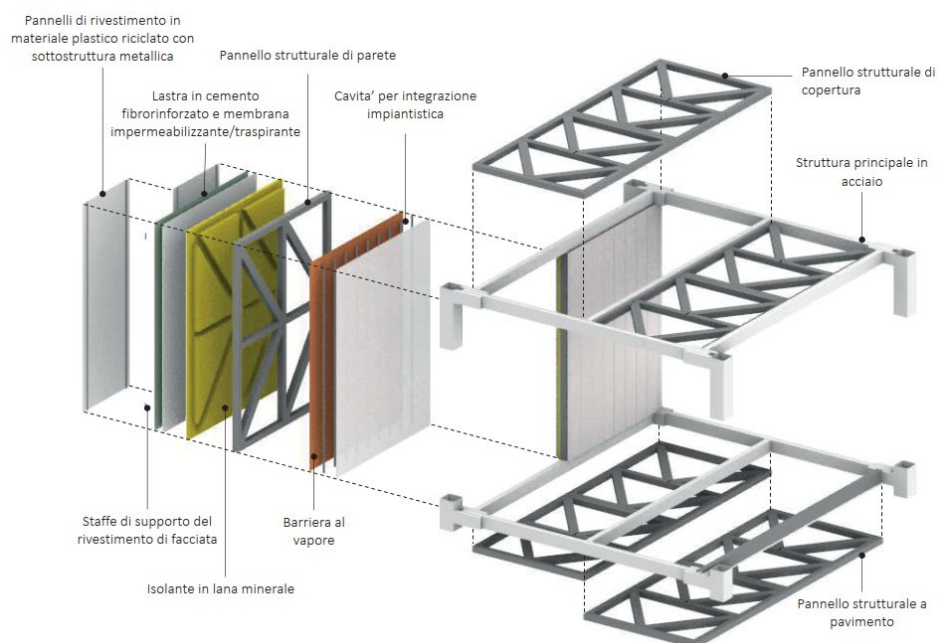


Figura 21 – Esploso dell'involucro delle capsule

L'involucro delle capsule serve anche da confine tra l'ambiente semi esterno e quello interno condizionato, rappresentando la linea termica dello spazio. Pertanto, la stratigrafia dell'involucro include uno strato isolante in lana minerale (materiale non combustibile) per uno spessore complessivo preliminare di circa 0,45 metri (compreso il pannello strutturale che fa parte della struttura portante primaria).

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

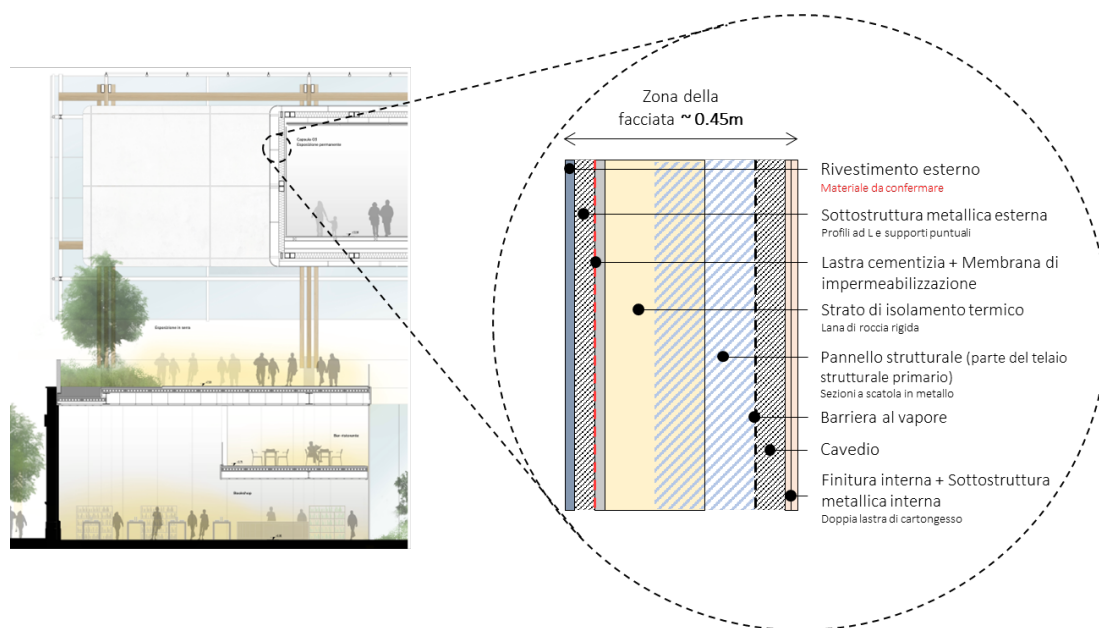


Figura 22 – Stratigrafia della facciata delle capsule

Il rivestimento esterno, in linea con l'intenzione di ridurre l'impronta ambientale del progetto, sarà composto da materiali integralmente o parzialmente riciclati, con l'obiettivo di includere un sistema leggero che possa ridurre i carichi sulla struttura primaria. Esempi di possibili rivestimenti esterni sono riportati nelle Figura seguenti con esempi di pannelli laminati (High Pressure Laminated – HPL) e pannelli in fibrocemento.

Ulteriori analisi e coordinamenti verranno effettuati in una fase successiva per dettagliare ulteriormente i materiali e gli strati dell'involucro.



Figura 23 – Esempi di pannelli laminati (HPL). Immagini tratte da trespa.com

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA



Figura 24 – Esempi di pannelli in fibrocemento. Immagini tratte da swisspearl.com

2.3.2.2 Pareti vetrate

La facciata vetrata dell'involucro edilizio interno include un sistema di parete continua con una vetrocamera (DGU) e la potenziale integrazione di dispositivi di schermatura esterni per soddisfare i requisiti termici, visivi e solari stabiliti dalle normative locali.

La zona complessiva della facciata, compresa la profondità dei pannelli di facciata e lo spazio necessario tra la superficie interna dei montanti e la struttura primaria per l'installazione dei supporti e fasce di separazione, è stimata preliminarmente in circa 350 mm. Una prima rappresentazione del sistema e dei suoi elementi costitutivi è mostrata nella Figura 25.

Analisi e coordinamenti verranno effettuati in una fase successiva per definire ulteriormente i componenti e le connessioni della facciata.

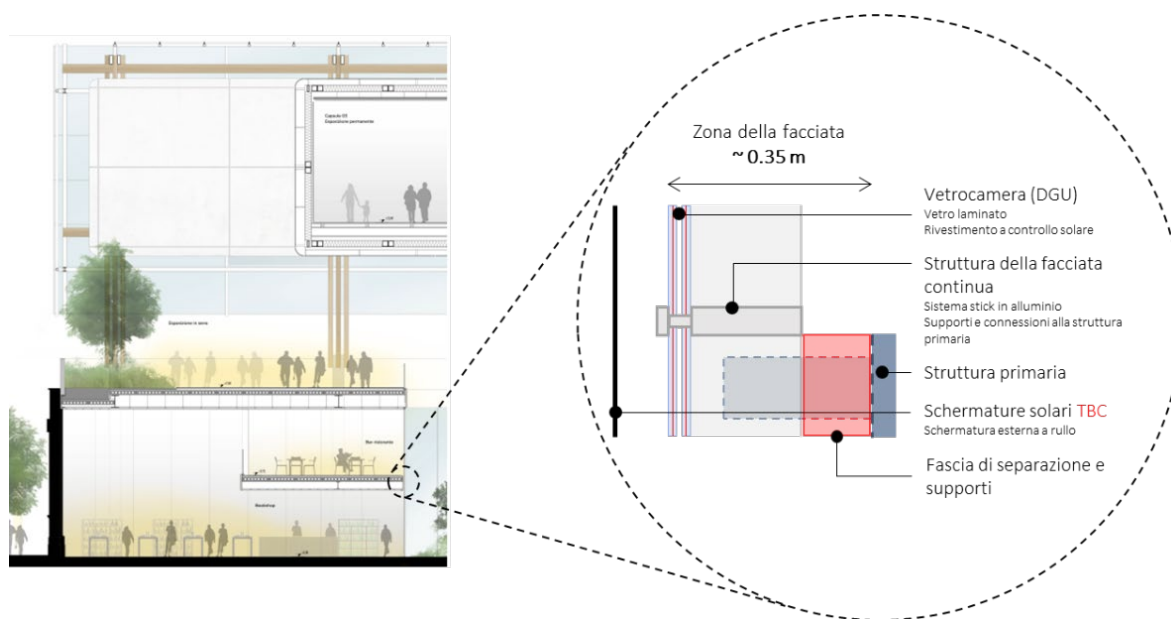


Figura 25 – Diagramma della facciata vetrata

2.3.2.3 Pareti opache

La parete opaca inclusa nell'involucro edilizio interno è analizzata preliminarmente di seguito. Si tratta di una soluzione leggera, che include rivestimento esterno (verrà realizzato con un sistema a basso contenuto di embodied carbon e leggero), uno strato isolante in lana minerale (materiale non combustibile) e una struttura metallica interna (SFS) con relative finiture interne, per uno spessore totale preliminare di circa 0,45 metri. Per quanto riguarda il rivestimento esterno della facciata, si prega di fare riferimento al paragrafo dell'involucro delle capsule e i gli esempi riportati di seguito.

Questo sistema di facciata si riferisce alle aree opache racchiuse all'interno dell'involucro edilizio esterno e verrà ulteriormente valutato e coordinato in una fase successiva.

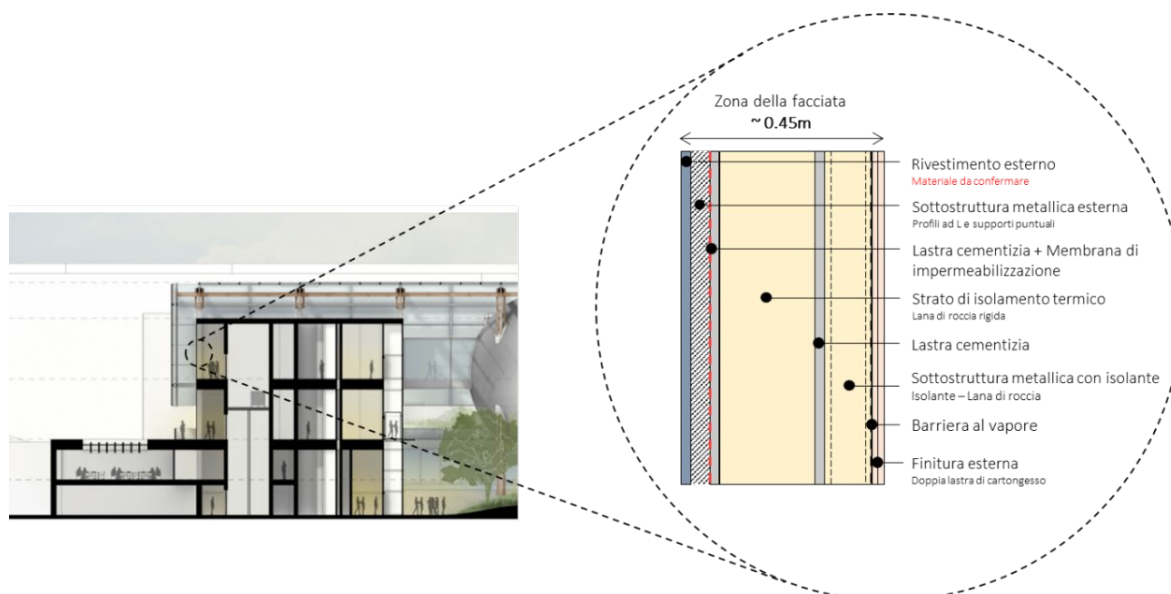


Figura 26 – Stratigrafia della parete opaca

2.3.2.4 Facciata esistente

La finitura esterna ad intonaco della facciata esistente verrà ripristinata con una finitura simile realizzata con prodotti a base di materiali biologici, mentre l'isolamento termico, installato internamente, sarà realizzato in fibra di legno con un contenuto di embodied carbon fino al 80% inferiore rispetto ai materiali isolanti tradizionali. Internamente, una soluzione di rivestimento a secco combinata con barriera al vapore completerà le pareti, consentendo una rapida realizzazione delle finiture interne e riducendo gli scarti in cantiere (Figura 27).

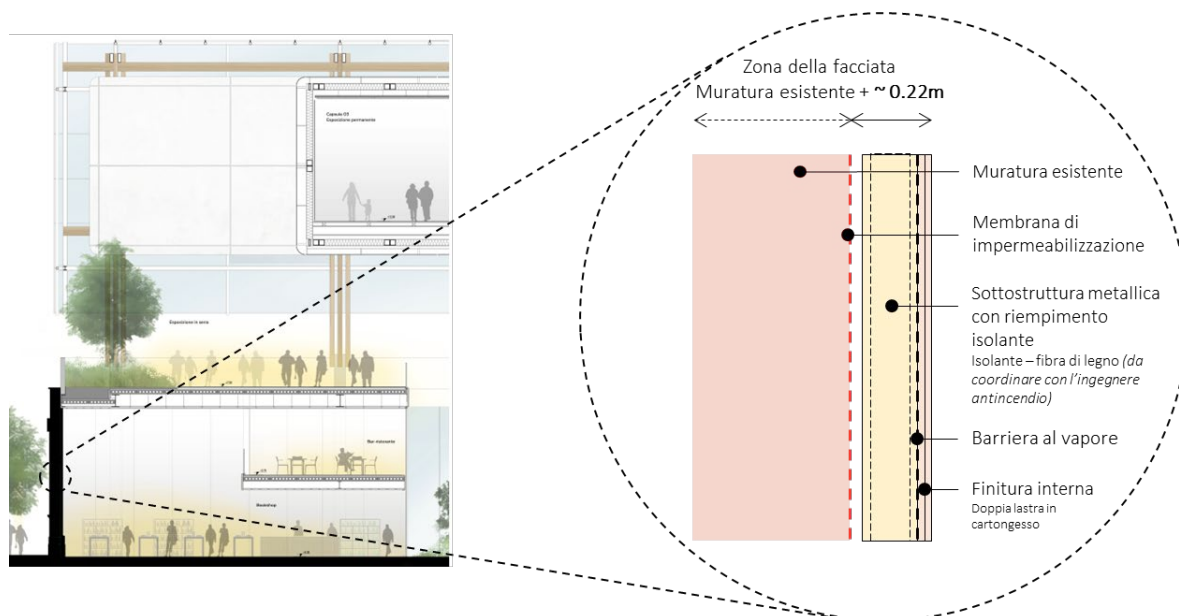


Figura 27 – Stratigrafia della facciata esistente

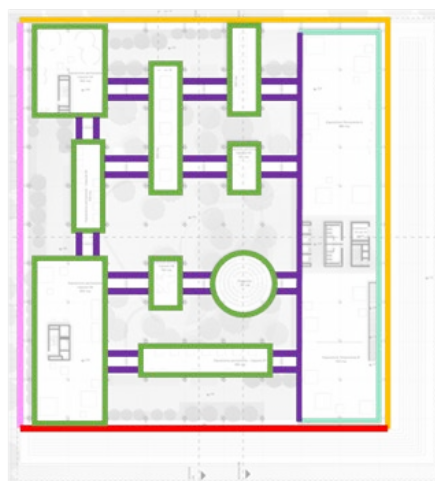
Le porzioni vetrate dell'involucro esistente verranno ripristinate con finestre e porte in alluminio con tagli termici realizzate in alluminio riciclato (post-consumer scrap) con un contenuto riciclato >75%. Il vetro sarà una vetrocamera a doppio vetro ad alte prestazioni con rivestimenti selettivi per ridurre i carichi termici durante l'estate.

2.4 Prestazioni Termiche, Solari e Visive

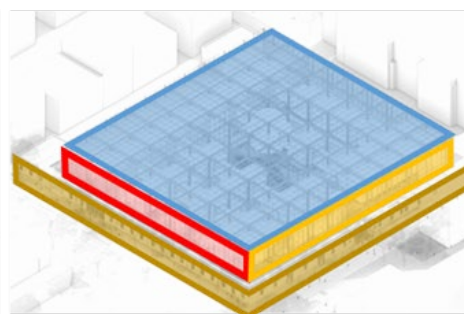
Le prestazioni termiche, solari e visive preliminari dei sistemi di facciata descritti nei paragrafi precedenti sono riportate nella Figura 28. Si prega di notare che i valori di g-value e i valori di trasmittanza luminosa possono variare in base all'attivazione dei dispositivi di ombreggiatura solare.

Prestazioni termiche e visive degli elementi di facciata			
Sistemi di facciata	U-value [W/m ² K]	g-value [-]	T _{vis} [-]
Facciata esterna Include contributo preliminare per il telaio	6.84	0.86	0.89
Facciata esterna con BIPV Include contributo preliminare per il telaio	6.84	0.4	0.5
Facciata esterna con Schermature Include contributo preliminare per il telaio	6.84	0.2	0.1
Tetto esterno (senza BIPV) Include contributo preliminare per il telaio	2.16	0.65	0.4
Involucro delle capsule Basato su normativa italiana	< 0.29	-	-
Facciata vetrata Basato su normativa italiana	< 1.8	< 0.35	< 0.7
Parete opaca Basato su normativa italiana	< 0.29	-	-
Facciata esistente Basato su normativa italiana	< 0.32	-	-

Legenda dei sistemi di facciata



Pianta



Vista esterna

Figura 28 – Prestazioni termiche e visive dei sistemi di facciata

2.4.1 Progettazione delle schermature

L'integrazione di strategie di controllo solare è essenziale per ridurre i carichi solari sull'involucro edilizio esterno, migliorando le condizioni termoigrometriche dello spazio semi-aperto racchiuso teca vetrata esterna e riducendo la richiesta di climatizzazione degli spazi condizionati del museo.

Le strategie analizzate per diverse aree del progetto sono le seguenti:

- **Pannelli in vetro con BIPV** (Pannelli Fotovoltaici Integrati nell'Edificio) - posizionate sulla facciata sud dell'involucro edilizio esterno;
- **Pannelli in polycarbonato con sistemi BIPV/PV flessibili** - Posizionati su parte del tetto dell'involucro edilizio esterno;
- **Pannelli PV opachi** - Posizionati su parti del tetto dell'involucro edilizio esterno;
- **Dispositivi esterni di schermatura solare** - Posizionati sulla facciata ovest dell'involucro edilizio esterno e potenzialmente sulla facciata vetrata dell'involucro edilizio interno.

2.4.2 Pannelli fotovoltaici (PV) e BIPV

2.4.2.1 Pannelli in vetro con BIPV

L'integrazione di BIPV all'interno delle vetrocamere e/o dei pannelli in vetro è presa in considerazione per la facciata sud dell'involucro esterno in vetro. L'introduzione del BIPV può contemporaneamente aumentare la protezione solare e fornire una fonte attiva di produzione di energia, grazie all'orientamento favorevole e all'estesa superficie di applicazione.

Questi sistemi includono uno strato fotovoltaico all'interno del pannello di vetro/vetrocamera. Il tipo di celle fotovoltaiche, la loro densità, il distanziamento e il colore possono essere selezionati in base alle esigenze di progettazione, in collaborazione con l'appaltatore e il fornitore.

Sono possibili diverse disposizioni delle celle, offrendo un notevole grado di libertà per la progettazione della facciata e i livelli di trasmissione luminosa della facciata. Questi sistemi richiedono anche una progettazione completa delle connessioni elettriche tra i pannelli per raccogliere l'energia prodotta dalle celle fotovoltaiche. Generalmente, le giunzioni dei pannelli e i cavi di collegamento si trovano all'interno del telaio del pannello vetrato.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Ulteriori analisi e collaborazioni con appaltatori e fornitori specialistici saranno necessarie per procedere con la progettazione in una fase successiva.



Figura 29 – Centro AGC Technovation, Gosselies, Belgio. Immagine tratta da agc-activeglass.com.

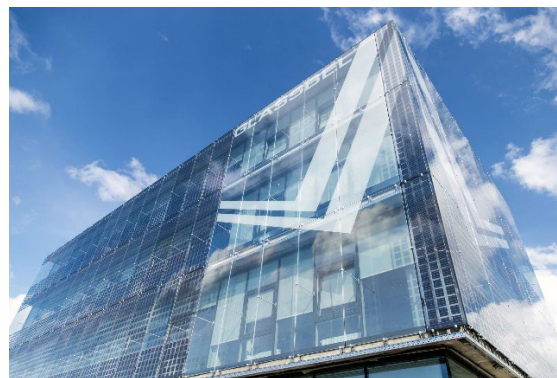


Figura 30 – Ufficio Glassbel con prodotti BIPV sulla facciata verticale, Klaipeda, Lituania. Immagine tratta da metsolar.eu.

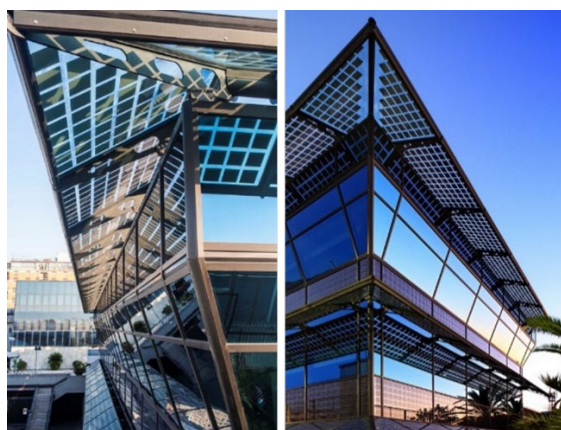


Figura 32 – Ufficio Glassbel con prodotti BIPV sulla facciata verticale, Klaipeda, Lituania. Immagine tratta da metsolar.eu.

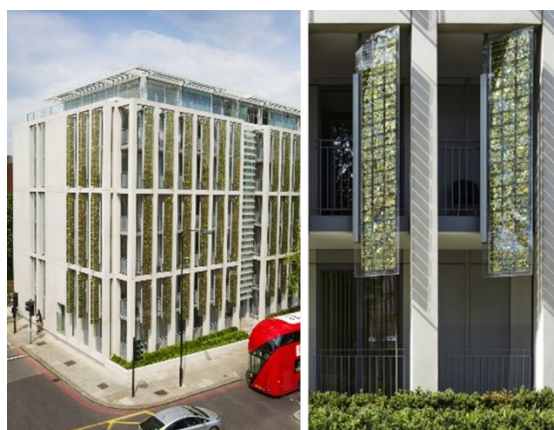


Figura 31 – Kingsgate House | Londra. Immagine tratta da willmott Dixon.co.uk e hcla.co.uk.

2.4.2.2 Pannelli in policarbonato con BIPV

L'introduzione di pannelli in policarbonato sul tetto dell'involucro edilizio esterno offre l'opportunità di accoppiare elementi leggeri e ad elevate prestazioni termiche con sistemi fotovoltaici integrati.

L'uso di pannelli in policarbonato con BIPV è previsto per le aree del tetto visibili dalla piazza sottostante, ovvero escludendo la porzione di tetto sopra l'edificio orientale e le capsule occidentali. L'inclusione di tali elementi consentirebbe di aumentare la produzione di energia riducendo al contempo i carichi solari nello spazio semi esterno racchiuso dall'involucro edilizio esterno. Anche in questo caso, le giunzioni e le connessioni dei vari pannelli dovranno essere ulteriormente dettagliate per essere racchiuse all'interno del telaio esterno del pannello.

La combinazione di pannelli in polycarbonato e elementi BIPV installati in fabbrica non è una soluzione comune, e ulteriori analisi saranno condotte per finalizzare la fattibilità e la disponibilità sul mercato di una soluzione personalizzata. Tuttavia, non vi è motivo per credere che questa soluzione non possa essere implementata durante la successiva fase di progettazione, studiando e mitigando tutti i rischi identificati.



Figura 33 – Pannello in polycarbonato con BIPV. Immagine tratta da SABIC

2.4.2.3 Sistemi BIPV flessibili e semi-flessibili

I pannelli in polycarbonato hanno il potenziale per essere accoppiati a diverse soluzioni, come elementi BIPV flessibili. Questo tipo di BIPV è generalmente costituito da una sottile pellicola fotovoltaica attaccata a speciali substrati flessibili, che consentono di ottenere un pannello flessibile, in grado di adattarsi a diverse superfici. Per quanto riguarda l'aspetto, questi prodotti sono generalmente opachi. La vasta disponibilità di pannelli BIPV flessibili o semi flessibili sul mercato consente potenzialmente un certo grado di flessibilità di progettazione da approfondire in una fase successiva. Prodotti di riferimento sono presentati nelle figure. La fattibilità tecnica di accoppiare tali elementi fotovoltaici flessibili ai pannelli in polycarbonato richiede ulteriori indagini e coordinamenti con appaltatori e fornitori specialistici.



Figura 34 – Flextron – Sistema BIPV flessibile prodotto da BIPVco



Figura 35 – Triangle House | Sussex, UK. Immagine tratta da Bipvco.com



Figura 36 – eFlex – Sistema BIPV flessibile prodotto da Flisom



Figura 37 – Progetto in Italia. Immagine tratta da flisom.com

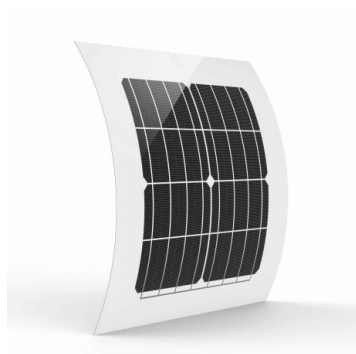


Figura 38 – Sistema BIPV semi-flessibile prodotto da Metsolar



Figura 39 – Pannello solare a strato sottile (thin film), immagine tratta da arka360.com

2.4.2.4 Pannelli fotovoltaici (PV) opachi

Infine, un'altra strategia che combina il controllo solare e la produzione di energia è l'inclusione di pannelli fotovoltaici tradizionali (PV) opachi sulla parte superiore del tetto dell'involucro edilizio esterno. Attualmente, questi elementi sono progettati per essere

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

posizionati sul tetto esterno, in corrispondenza dell'edificio orientale e delle capsule più grandi sul lato ovest dell'involucro esterno, in modo da essere nascosti ai visitatori del museo.

L'inclusione di pannelli fotovoltaici (PV) potrebbe ridurre notevolmente i carichi solari sul tetto esterno, considerando l'opacità completa dei pannelli, garantendo allo stesso tempo una maggiore efficienza nella produzione di energia rispetto ai sistemi fotovoltaici integrati nell'edificio.

Questi sistemi dovrebbero essere progettati per essere supportati dalla struttura sottostante, e ulteriori analisi per il posizionamento, l'inclinazione e le connessioni saranno effettuate in una fase successiva. Sarà necessaria ulteriore coordinazione con l'architetto e i servizi dell'edificio.



Figura 40 – Animo Leadership Charter High School, Lennox, CA. USA. By Brooks + Scarpa. *Imagine tratta da brooksscarpa.com/green-dot-charter-high-school*



Figura 41 – Pannelli fotovoltaici tradizionali (PV) opachi sul tetto (www.solarsense.com)

2.4.3 Schermature solari

Dispositivi di schermatura esterni sono adottati per ridurre i carichi solari sull'involucro edilizio esterno e per mitigare il rischio di abbagliamento per i visitatori del museo. Sono

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

previste tende esterne sulla facciata vetrata ovest dell'involucro esterno e sulla facciata vetrata della struttura interna.

L'uso di tende esterne apribili offre l'opportunità di controllare la quantità di radiazione solare e la trasmissione di luce in tutto l'involucro esterno a seconda delle condizioni meteorologiche, riducendo così i carichi solari e/o il rischio di abbagliamento durante le condizioni di picco. L'inclusione di dispositivi di schermature esterne per gli edifici interni servirà anche a soddisfare i requisiti italiani in termini di valore massimo del fattore solare (g-value) per la progettazione del nuovo involucro dell'edificio, preservando al contempo un vetro trasparente e chiaro.

Ulteriori indagini e analisi sul sistema e sui materiali saranno condotte e coordinate con l'Architetto e l'Ingegnere Impiantista in una fase successiva. I sistemi di controllo solare sono integrati con il sistema automatizzato (BMS – Building Management System – sistema di monitoraggio e gestione automatizzata dell'edificio), creando così un involucro edilizio reattivo all'ambiente.

2.5 Manutenzione e accessibilità della facciata

L'accesso regolare per la pulizia e la manutenzione delle facciate è di importanza vitale. Sono proposte diverse strategie di accesso per le diverse aree di questo progetto, tenendo conto delle sfide presentate dalla geometria unica. L'obiettivo è fornire un edificio che sia facile da mantenere e da accedere, prolungando così la sua vita utile e riducendo i costi di manutenzione.

2.5.1 Lato superiore del tetto in vetro

2.5.1.1 Carrelli mobile (Traveling Gantries)

Stiamo proponendo un sistema di carrelli mobili che opereranno sopra il tetto esterno, consentendo l'accesso per la pulizia, la manutenzione semplice e la sostituzione. Ciascun carrello mobile coprirà una lunghezza di circa 10 metri e si muoverà su rotaie all'interno dei montanti della facciata. I motori permetteranno ai carrelli mobili di percorrere l'intera lunghezza del tetto. Quando non sono in funzione, i carrelli mobili saranno parcheggiati su un lato del tetto, rimanendo non visibile.



Figura 42 – Esempio di un carrello mobile sul tetto con un'elevata campata.

2.5.1.2 Pulizia automatizzata (Robotic Cleaning)

La pulizia automatizzata può essere introdotta anche sulla parte superiore del tetto esterno. I robot per la pulizia possono operare sulla superficie orizzontale e pulire regolarmente la superficie. Punti di alimentazione e punti di approvvigionamento dell'acqua devono essere introdotti a intervalli regolari per consentire ai robot di operare. Si prega di notare che i carrelli mobili saranno comunque necessari, poiché i robot non possono fornire accesso per la manutenzione semplice o la sostituzione di pannelli.



Figura 43 – Riferimento di un dispositivo per la pulizia automatizzata

2.5.2 Lato inferiore del tetto in vetro

2.5.2.1 Carrelli mobili sospesi (Suspended Gantries)

Sono previsti anche requisiti di accesso e pulizia non frequenti per la parte inferiore del tetto esterno. Il sistema proposto consiste in una serie di carrelli sospesi che si spostano su binari motorizzati all'interno di monorotaie nascoste all'interno dei montanti dei pannelli del tetto. I carrelli possono atterrare al piano terra, possono essere smontati in pezzi più piccoli e possono essere nascosti quando non sono in uso. Questo sistema consentirà anche la manutenzione regolare dell'illuminazione e degli apparecchi di segnalazione.



Figura 44 – Esempio di un carrello mobile sospeso

2.5.3 Chiusure trasparenti verticali

2.5.3.1 Carrelli leggeri per il tetto (Lightweight roof trolley)

Si propone l'uso di un carrello leggero in alluminio per il tetto che sostiene una cella per due persone per accedere sia alla facciata verticale interna che esterna dell'involucro edilizio esterno. Il carrello per il tetto si muoverà su un sistema di binari gemelli in alluminio installato

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

sul perimetro del tetto. La cella atterrerà a livello del suolo, dove potrà staccarsi dal sistema e verrà conservata in altri luoghi quando non è in uso.



Figura 45 – Esempio di un carrello con cella sospesa per accedere alla facciata

2.5.3.2 Piattaforme di lavoro mobile elevate (Mobile Elevating Working Platforms - MEWPs)

Alternativamente, è possibile utilizzare MEWPs dal livello del suolo per accedere alla facciata verticale. Sarà necessaria una coordinazione per garantire che i rivestimenti del pavimento possano sopportare i carichi puntuali delle MEWP e che le MEWP possano operare attorno agli ostacoli presenti a livello del suolo. Inoltre, si prega di notare che durante l'operazione delle MEWP alcune aree potrebbero necessitare di essere delimitate.



Figura 46 – esempio di una piattaforma di lavoro mobile elevato (MEWP)

2.6 Conclusioni

Questa relazione illustra la fattibilità tecnica della progettazione della facciata per il progetto "Science Forest". L'involucro edilizio è suddiviso in due aree principali: l'involucro esterno e l'involucro interno. L'involucro esterno è progettato come un'area semi esterna leggera, trasparente/traslucida che copre il parco interno, nonché gli edifici nuovi ed esistenti. L'involucro interno comprende tutte le funzioni della facciata (quali termiche, acustiche, tenuta alle intemperie, ecc.) e delimita le aree espositive e gli spazi ausiliari.

Il fattore primario per la progettazione dell'involucro esterno si basa sui principi bioclimatici passivi. È stata prestata particolare attenzione alla progettazione del tetto, data la sua vasta superficie esposta ad un'intensa radiazione solare. Per mitigare l'effetto serra, particolarmente impegnativo nel clima di Roma, sono stati introdotti elementi di schermatura (come dispositivi esterni a rullo, pannelli fotovoltaici PV e BiPV) per controllare i carichi solari e prevenire temperature elevate che potrebbero influire sul comfort interno. Il tetto incorpora pannelli BIPV e pannelli PV opachi posizionati strategicamente in allineamento con gli edifici al fine di preservare le viste interne. Inoltre, per prevenire il surriscaldamento del tetto e la trasmissione di calore radiativo all'interno, è stato scelto di introdurre pannelli in polycarbonato rispetto al tradizionale vetro, per trarre vantaggio delle sue prestazioni isolanti superiori. Sono state introdotte aperture per la ventilazione nella facciata e nel tetto in modo tale da favorire il rilascio dell'aria calda grazie all'effetto camino e, allo stesso tempo, promuovere la ventilazione incrociata.

Nel perseguire la massima trasparenza, la facciata vetrata è stata progettata con un sistema ibrido telaio-cavi per garantire il rispetto dei requisiti strutturali e ridurre l'impatto visivo degli elementi strutturali (uso di elementi snelli). La facciata ovest è dotata di tende esterne che vengono attivate nelle ore di punta per ridurre i carichi solari e mitigare il rischio di abbagliamento. contemporaneamente, vengono utilizzati fotovoltaici integrati (BIPV) per la facciata sud, garantendo un maggiore controllo solare e contemporaneamente una produzione attiva di energia.

L'involucro performante interno è composto da zone vetrate, opache e l'edificio esistente al piano terra. L'involucro delle capsule è progettato come un sistema leggero a secco, in cui la facciata e la struttura portante sono integrate in pannelli prefabbricati per facilitarne l'installazione. La facciata vetrata è composta da un sistema di pareti continue con vetrocamera a doppio vetro e telai in alluminio a taglio termico per ottenere le prestazioni termiche richieste. Le pareti opache sono progettate come elementi leggeri per ridurre al minimo i carichi permanenti imposti sulla struttura portante. Infine, l'edificio esistente è isolato internamente per migliorarne le prestazioni termiche, mentre i pannelli in vetro

esistenti saranno sostituiti con vetrocamere a doppio vetro e telai in alluminio a taglio termico.

Varie strategie sono state guidate dai principi di sostenibilità per ridurre l'impronta di carbonio (embodied carbon content) della facciata. E' stata posta attenzione ai materiali in uso, favorendo materiali con contenuto riciclato, come alluminio riciclato (post-consumer) e policarbonato riciclato, rispettivamente per i telai e il rivestimento. Sono stati utilizzati materiali a basse emissioni di carbonio per l'isolamento e il rivestimento opaco. I vari tipi di facciate e i loro componenti sono stati progettati per ridurre al minimo i carichi imposti sulla struttura portante, ottimizzando così l'uso dei materiali strutturali e conseguentemente ridurre il loro impatto ambientale. Inoltre, sono stati adottati sistemi a secco per consentire la smontabilità e aumentare le possibilità di riciclo e riuso alla fine della vita utile dei componenti (End-of-Life potential).

Infine, sia per l'involucro edilizio interno che esterno sono state prese in considerazione diverse strategie per consentire la manutenzione e la sostituzione dei rispettivi componenti.

2.7 Opportunità progettuali e passi successivi

2.7.1 Opportunità

- Integrazione BIPV (Building-Integrated Photovoltaics):
 - Progettazione e integrazione di BIPV semitrasparenti sul tetto e sulla facciata per ridurre i carichi solari sull'involucro esterno e migliorare così le condizioni ambientali nello spazio semichiuso da esso racchiuso.
- Integrazione di pannelli fotovoltaici (PV) opachi:
 - Riduzione dei carichi solari sull'involucro esterno e generazione di energia rinnovabile.
- Utilizzo di pannelli in policarbonato:
 - Miglioramento delle prestazioni termiche;
 - Riduzione dei carichi (peso del rivestimento) sulla struttura primaria;
 - Riduzione carichi termici.
- Utilizzo di dispositivi automatizzati di pulizia e manutenzione per facciata e tetto, soggetti a ulteriore sviluppo progettuale e identificazione di tutte le interfacce.
- L'esplorazione del legno come alternativa all'alluminio per l'impalcatura della facciata e del tetto per migliorare l'impronta ambientale (embodied carbon content) dell'edificio.

- La revisione della griglia della facciata in modo che le dimensioni dei pannelli in vetro (attualmente 2x5m) possano essere ottimizzate in base ai pannelli jumbo, 3,21x6m, al fine di risparmiare sia materiali che costi.

2.7.2 Rischi

- Integrazione BIPV:
 - La disponibilità sul mercato dei pannelli di copertura BIPV in polycarbonato è limitata e dovrà essere esplorata in collaborazione con un appaltatore specializzato.
- Integrazione di pannelli fotovoltaici (PV) opachi:
 - Interfaccia complessa con la struttura del tetto e la strategia di manutenzione.
- Utilizzo di pannelli in polycarbonato:
 - Potrebbe richiedere una maggiore manutenzione e pulizia. I pannelli sono caratterizzati da una vita utile prevista più breve rispetto ai pannelli in vetro.
 - Integrazione BIPV da esplorare ulteriormente (mancanza di prodotti pronti in commercio).

2.7.3 Passi successivi

- Coinvolgimento di appaltatori specializzati per lo sviluppo di un pannello di copertura BIPV in polycarbonato su misura.
- Continuare il coinvolgimento con i fornitori di polycarbonato per valutare la fattibilità tecnica di un sistema a cassette (DGU) in polycarbonato.
- Determinare i materiali del rivestimento opaco per le capsule e le pareti opache.
- Sviluppo ulteriore della strategia di accesso e manutenzione della facciata.
- Sviluppo e dimensionamento del sistema di facciata esterna.
- Sviluppo e dimensionamento del sistema di copertura.
- Sviluppo e coordinamento delle interfacce della facciata con le Strutture, l'Impiantistica e l'Accesso alla facciata.
- Sviluppo della strategia di schermatura.
- Valutazione dell'uso di materiali sostenibili, ad esempio il legno, per gli elementi di impalcatura della facciata e del tetto al fine di migliorare l'impronta ambientale (embodied carbon content) dell'edificio.

Si prega di notare che la coordinazione con tutte le discipline dovrà essere effettuata per valutare tutte le opportunità e i potenziali rischi durante le fasi successive di progettazione.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

3 Servizi meccanici, elettrici e di sanità pubblica (MEP)

Le sezioni che seguono sono state sviluppate per riassumere le proposte progettuali relative alle strategie impiantistiche (impianti meccanici, elettrici ed idrico-sanitari) per il Museo della Scienza di Roma - Science Forest.

Lo scopo di queste sezioni è quello di ricevere l'approvazione del Cliente e fornire le basi di partenza per le fasi future della progettazione. Dovrebbe essere considerato come un documento per l'approvazione e una base concordata su cui si può procedere nella fase successiva della progettazione.

3.1 Criteri di progettazione

I criteri di progettazione proposti per i sistemi di ingegneria meccanica, elettrica e sanitaria pubblica saranno i seguenti:

3.1.1 Servizi Meccanici

3.1.1.1 Temperatura esterna di progetto

Le analisi qui presentate utilizzano file meteorologici raccolti da database ASHRAE di dati meteorologici globali. Il file meteo disponibile piu' idoneo per il progetto è riferito alla città di Roma. Roma si trova ad una longitudine di 12,23° e ad una latitudine di 41,8°.

Per l'identificazione iniziale di tutti i carichi termici e la selezione delle apparecchiature, sono state applicate le seguenti condizioni ambientali:

Tabella 3-1 - Temperature di progetto esterne

	Temperatura di progetto esterna invernale ()°C	Temperatura di progetto esterna estiva ()°C
Per il calcolo delle perdite e degli apporti di calore	-4 (Temperatura di bulbo secco)	31.8 (Temperatura di bulbo secco) 23.2 (Temperatura di bulbo umido)

3.1.1.2 Prestazioni dell'involucro

Per la struttura edilizia sono stati utilizzati i seguenti valori:

Tabella 3-2 - Parametri Involucro

Orientamento della facciata / Elemento dell'edificio	Valore U (W/m ² . K)	g-value (apporto solare)
Facciata esterna (involucro esterno)	6.84	0.86
Facciata esterna con BIPV	6.84	0.4
Facciata esterna con schermature	6.84	0.2

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Copertura (tetto) in pannelli di polycarbonato	2.16	0.65
Porte	2.16	Da confermare
Partizioni interne	0.29	N/A
Parete esterne	0.29	N/A
Piano terra	3.36	N/A
Lucernai	1.8	0.5
Vetrature interne	1.8	0.5

3.1.1.3 Tasso di infiltrazione

Tabella 3-3 - Tasso di infiltrazione

Tasso di infiltrazione	Ai fini del calcolo dell'apporto e della perdita di calore, i tassi di infiltrazione sono considerati pari a 0,25 ACH in tutto l'edificio.
------------------------	--

3.1.1.4 Temperature interne di progetto

Per gli spazi interni vengono proposte le seguenti temperature interne di progetto:

Tabella 3-4 - Temperature interne di progetto

Area	Inverno	Estate	Umidità (%UR)
Libreria	20 ± 2°C	24 ± 2°C	Non controllato
Cucina	17 ± 2°C	21 ± 2°C	Da confermare
Bar/Ristorante	20 ± 2°C	24 ± 2°C	Da confermare
Biblioteca/ Uffici	20 ± 2°C	24 ± 2°C	Da confermare
WC	20 ± 2°C	Nessun raffrescamento	Non controllato
Circolazione	20 ± 2°C	24 ± 2°C	Non controllato
Scala secondaria	20 ± 2°C	Nessun raffrescamento	Non controllato
Sale Espositive	20 ± 2°C	24 ± 2°C	Da confermare
Auditorium	20 ± 2°C	24 ± 2°C	Da confermare
Spazi non condizionati	Nessun Riscaldamento	Nessun raffrescamento	Non controllato
Locali Tecnici	Nessun Riscaldamento	Nessun raffrescamento	Non controllato

3.1.1.5 Occupazione

Per gli spazi interni viene proposta la seguente densità di occupazione:

Tabella 3-5 - Densità di occupazione

Area	Densità di occupazione (m^2 / persona)
Cucina	6.67
Bar/Ristorante	3.13
Biblioteca/ Uffici	10.14
WC	8.08
Circolazione	8.08
Scala secondaria	Nessun occupante – spazio transitorio
Sale Espositive	6.68
Auditorium	6.67
Spazi non condizionati	Nessun occupante
Non condizionata	9.09
Locali Tecnici	8.56

3.1.1.6 Ventilazione

La tabella seguente elenca i tassi di ventilazione proposti per gli spazi:

Tabella 3-6 - Tassi di ventilazione assegnati a ciascun tipo di area.

Zona servita	Ventilazione (L/s/persona)
Cucina	25
Bar/Ristorante	10
Biblioteca/ Uffici	10
WC	8 (ACH)
Circolazione	10
Scala secondaria	In queste aree non è necessaria alcuna ventilazione ausiliaria (spazio transitorio).
Sale espositive	10
Auditorium	10
Spazi non condizionati	In queste aree non è necessaria alcuna ventilazione ausiliaria.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Locali Tecnici	In queste aree non è necessaria alcuna ventilazione ausiliaria.
Libreria	10

3.1.1.7 Apporti termici interni

3.1.1.7.1 Apporti termici da occupazione in base al livello di attività previsto.

Tabella 3-7 - *Apporti termici attesi dovuti all'occupazione*

Area	Apporto sensibile (W/persona)	Apporto latente (W/persona)
Cucina	180	117
Bar/Ristorante	110	42.9
Biblioteca/ Uffici	133	54.06
WC	140	70
Circolazione	140	70
Scala secondaria	Spazio transitorio	Spazio transitorio
Sale espositive	156	78
Auditorium	140	54.6
Spazi non condizionati	Nessun occupante	Nessun occupante
Locali Tecnici	180	90
Libreria	140	70

3.1.1.7.2 Apporti termici da illuminazione ed apparecchiature varie.

La tabella seguente evidenzia tutti gli apporti termici dovuti all'illuminazione ed alle altre apparecchiature necessari per determinare i carichi di raffrescamento:

Tabella 3-8 - *Apporti termici interni dovuti ad illuminazione ed attrezzature varie*

Area	Apporti da illuminazione (W/m ²)	Apporti da altre attrezzature (W/m ²)
Sale espositive	13	4
Uffici	8	14
WC	8	6
Circolazione	8	2
Libreria	8	5
Cucina	8	65
Bar/Ristorante	8	25

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Auditorium	8	2
------------	---	---

3.1.1.8 Livelli di rumore (NR)

I livelli di rumore di ciascun locale devono essere definiti a valle di uno studio dedicato condotto da un uno specialista acustico:

Tabella 3-9 - Livelli di rumore proposti

Area	Livello NR
Sale espositive	30-35
Auditorium	25-30
Uffici	35
Cucina	40-45
Circolazione	40
Bar/Ristorante	40-45
Libreria	35-40
WC	35-45

3.1.2 Servizi Elettrici

3.1.2.1 Progettazione illuminotecnica

Nella tabella seguente sono riportati i criteri di progettazione illuminotecnica:

Tabella 3-10 - Livelli di illuminazione proposti

Area	Illuminazione (Lux)
Spazi multifunzionali	Da confermare
Sale formazione	500 Lux
Mostre (temporanee)	Da confermare
Ufficio	500 Lux
Sala Riunioni	300 - 500 Lux
Capsule + Rampe	Da confermare
Planetario	Da confermare
Corridoi / circolazione generale / Negozi	100 – 150 Lux
WC	200 Lux
Locali tecnici Switchroom e DB Armadi / Cassette	200 Lux
Ristorante/bar	Allestimento da parte di altri

3.1.3 Servizi Sanitari Pubblici

L'accumulo di acqua fredda deve garantire 6 litri per persona al giorno.

Per il dimensionamento delle condutture si è fatto riferimento alla norma BS EN 806-3. La definizione di portate e domanda si è basata sulle tabelle ivi fornite.

Le pressioni minime di esercizio da raggiungere a monte dei terminali devono essere di 3,0 bar.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

3.2 Modellazione termica

3.2.1 Modellazione dinamica

Per la modellazione dinamica è stato utilizzato il software Integrated Environmental Solutions Virtual Environment (IES VE) versione 2023.1.0.0, che ha fornito i requisiti di picco di riscaldamento e raffrescamento per tutti gli ambienti che devono essere serviti dagli impianti meccanici, elettrici ed idrico-sanitari. Questa sezione riassume la filosofia di modellazione termica adottata durante tutto il processo di progettazione per determinare i carichi dell'edificio.

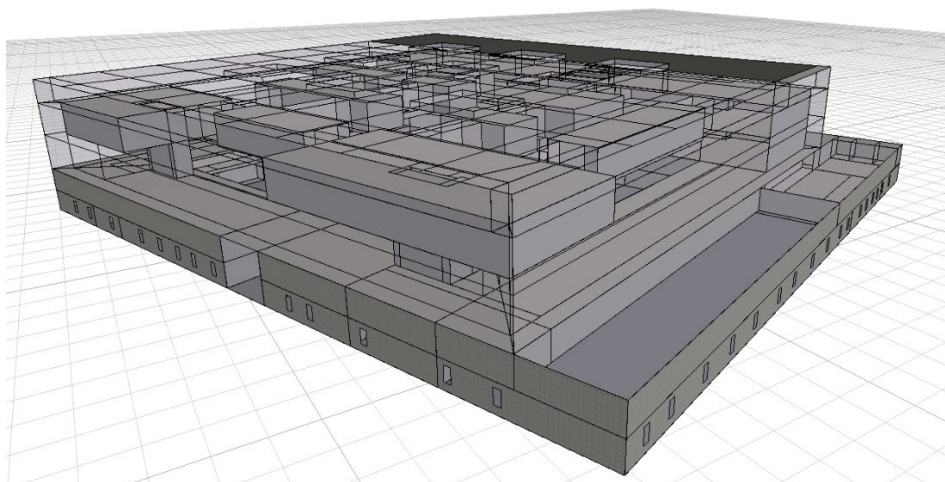


Figura 3-1: Modello Termico dell'Edificio

3.2.2 Zone modellate

Diverse zone sono state utilizzate nel processo di modellazione per separare gli ambienti in base alle condizioni di progettazione, alle ore di utilizzo ed agli apporti interni. Gli orari di utilizzo per tutte le zone sono stati impostati dalle 09:00 alle 18:00, con il riscaldamento per le zone "WC" e "scala secondaria" impostate per essere disattivate durante i mesi estivi di

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

giugno - settembre. Le informazioni sui modelli assegnati alle diverse zone sono reperibili all'interno della sezione relativa ai criteri di progettazione riguardanti:

- Condizioni interne di progettazione
- Densità di occupazione
- Requisiti di ventilazione
- Apporti interni

Le figure seguenti mostrano i diversi modelli assegnati alle varie zone dell'edificio.

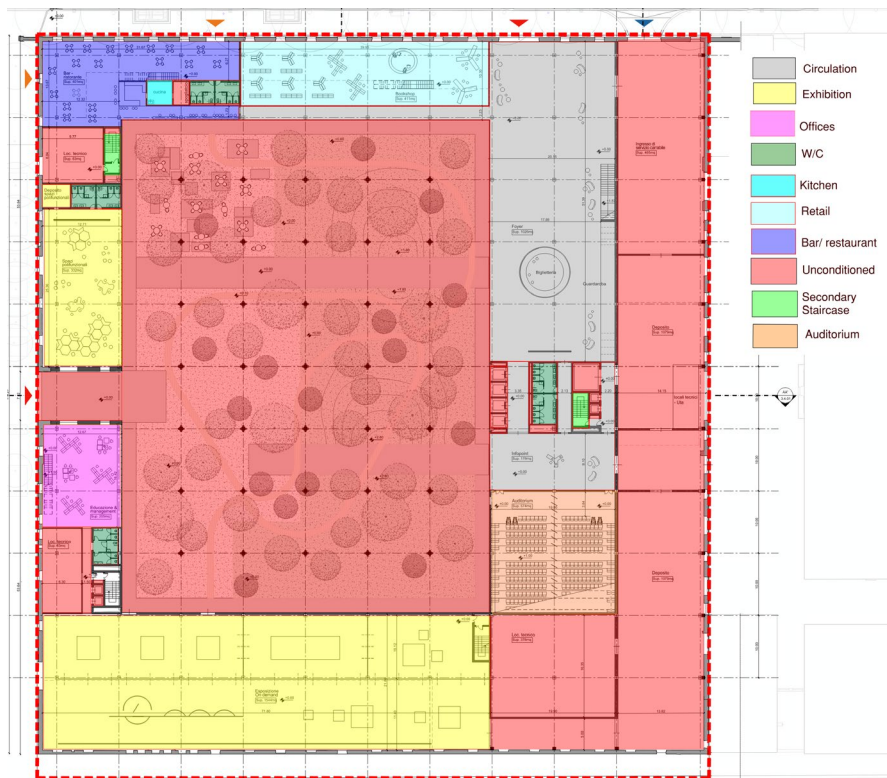


Figura 3-2: Livello 00 – mark-up

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA



Figura 3-3: Livello 01 – mark-up

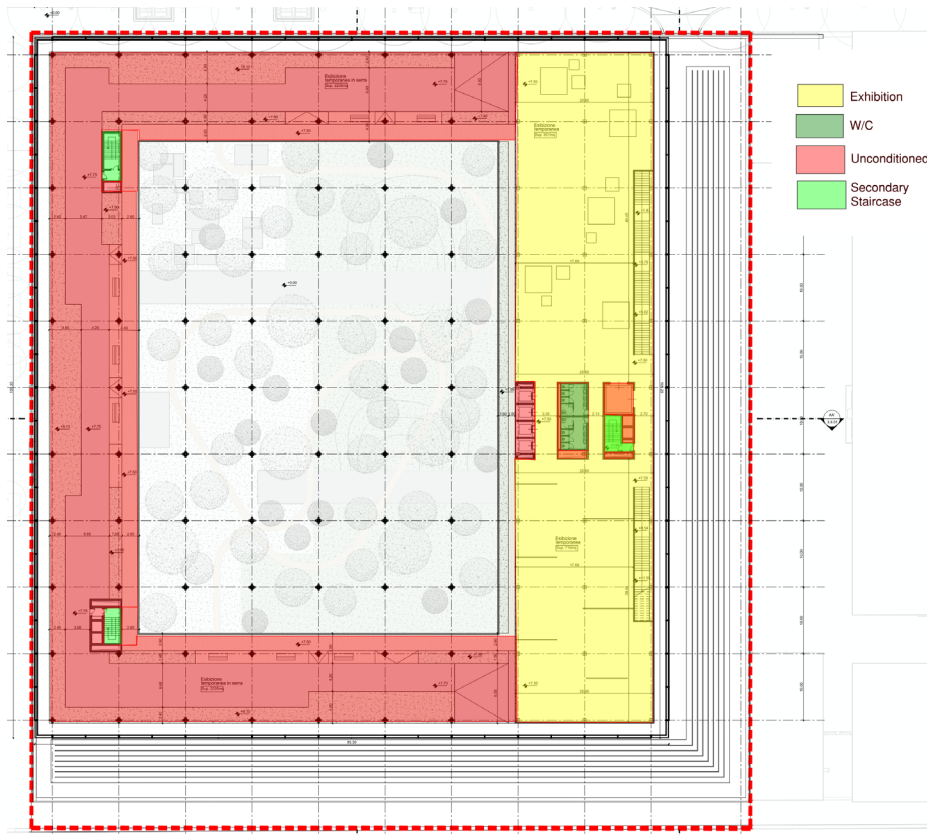


Figura 3-4: Livello 02 – mark-up

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

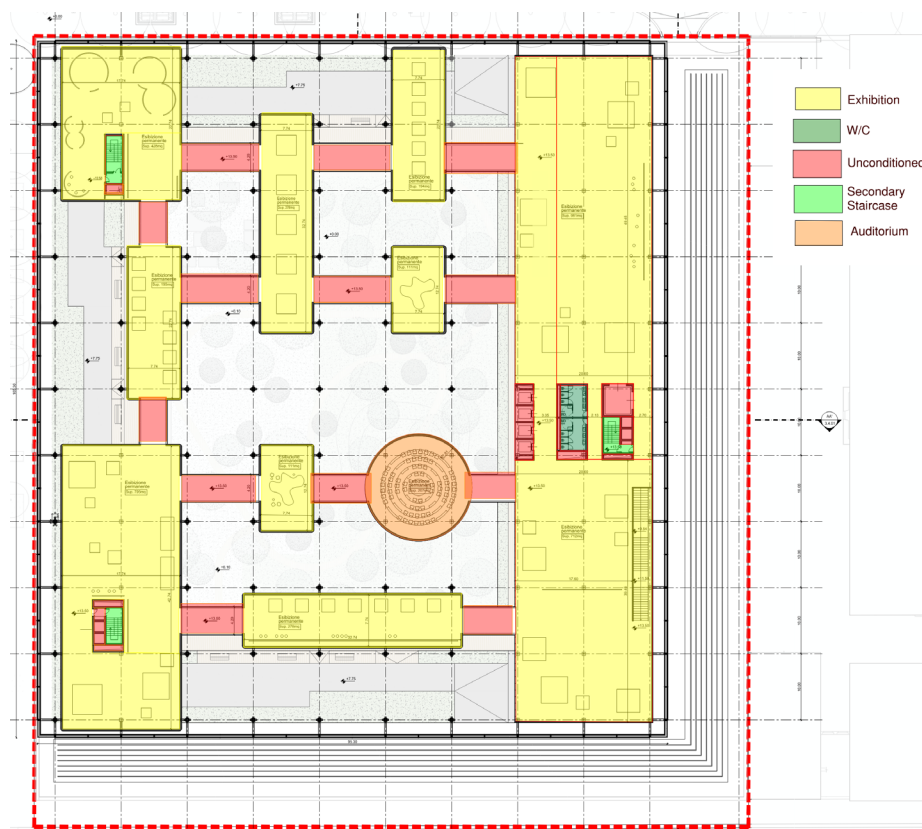


Figura 3-5: Livello 03 – mark-up

3.2.3 Scenari di progettazione

La modellazione termica è stata utilizzata durante tutto il processo di progettazione per ridurre i carichi di raffrescamento attraverso un'attenta selezione dei materiali della struttura edilizia e modifiche alla geometria dell'edificio. Sono stati esaminati i seguenti scenari:

- Scenario 1 (modello base): costruzione uniforme dell'involucro esterno
- Scenario 2: Facciata esterna sud con BIPV
- Scenario 3: Facciata esterna con schermature
- Scenario 4: Copertura in pannelli in policarbonato
- Scenario 5: Apertura lucernario e PV.

I dettagli dei cinque scenari sono riassunti di seguito.

3.2.3.1 Scenario 1 (modello base): costruzione uniforme della calotta esterna

Il primo scenario prende in considerazione una costruzione uniforme dell'involucro esterno ed è l'iterazione iniziale del processo di progettazione dell'involucro attraverso l'utilizzo della modellazione dinamica. I dettagli sulle proprietà dell'involucro sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 3-11 - Scenario 1: Proprietà termiche dell'involucro esterno

Elemento	Valore U (P/K)m ²	g-value	Trasmissività
----------	------------------------------	---------	---------------

Involucro esterno (20% di tolleranza per telaio incluso)	6.84	0.86	0.89
Porte	2.16	Da confermare	
Partizioni interne	0.29	N/A	
Parete esterna	0.29	N/A	
Piano terra	3.36	N/A	
Lucernai	1.8	0.35	0.7
Vetrature interne	1.8	0.35	0.7

3.2.3.2 Scenario 2: Facciata esterna sud con BIPV

Il secondo scenario ha preso in considerazione l'integrazione di un sistema fotovoltaico (BIPV) nella facciata sud, che riduce la trasmittività delle vetrate e i relativi apporti di calore. La figura seguente evidenzia la facciata esterna a cui è stato applicato il BIPV, seguita da una tabella con le proprietà della facciata.

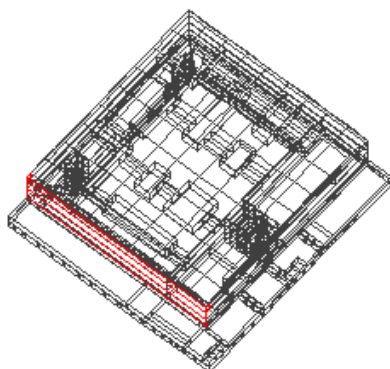


Figura 3-6: Scenario 2: Facciata esterna sud con aggiunta di BIPV.

Tabella 3-12 - Scenario 2: proprietà termiche della facciata esterna

Elemento	Valore U (P/K)m ²	g-value	Trasmittività
Facciata sud con BIPV	6.84	0.4	0.5

3.2.3.3 Scenario 3: Facciata esterna con schermature

Nel terzo scenario, sono state aggiunte schermature alla facciata esterna occidentale per fornire ombra dalla luce solare. L'immagine seguente evidenzia il lato della facciata esterna

su cui si è intervenuto e la tabella sottostante identifica le proprietà termiche risultanti della facciata.

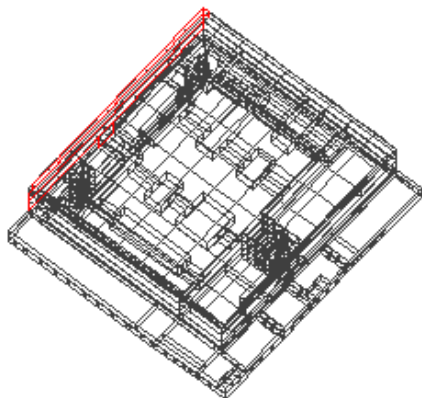


Figura 3-7: Scenario 3: facciata esterna con schermature.

Tabella 3-13 - Proprietà termiche della facciata esterna grazie alle schermature

Elemento	Valore U (P/K)m ²	g-value	Trasmissività
Facciata con schermature	6.84	0.2	0.1

3.2.3.4 Scenario 4: Copertura con pannelli in policarbonato

Il quarto scenario ha esaminato la sostituzione della struttura della copertura di base con pannelli in policarbonato per ridurre i apporti solari interni, pur consentendo il passaggio della luce naturale. L'immagine sottostante evidenzia l'elemento della copertura sostituito con pannelli in policarbonato e la tabella seguente rappresenta le proprietà termiche della costruzione del tetto in policarbonato.

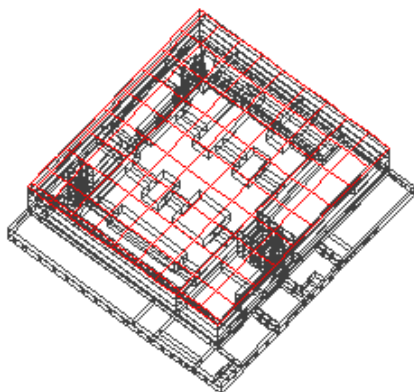


Figura 3-8: Scenario 4: Tetto in pannelli in policarbonato.

Elemento	Valore U (P/K)m ²	g-value	Trasmissività
----------	------------------------------	---------	---------------

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Pannello in polycarbonato	2.16	0.65	0.6
---------------------------	------	------	-----

Tabella 3-14 - *Proprietà termiche della copertura in pannelli di polycarbonato*

3.2.3.5 Scenario 5: Apertura lucernario e PV

Nello scenario progettuale finale, le aperture dei lucernari sono state modellate per consentire il raffrescamento/ventilazione passiva attraverso l'espulsione dell'aria calda in aumento all'interno dell'edificio tramite l'effetto camino. Unitamente a questa modifica, sono stati aggiunti pannelli fotovoltaici (PV) lungo il lato orientale della copertura, contribuendo a ridurre ulteriormente l'apporto solare nelle aree interne ai livelli sottostanti. Le immagini sottostanti evidenziano dove sono state modellate le aperture in copertura e dove sono stati posizionati i PV (in rosso).

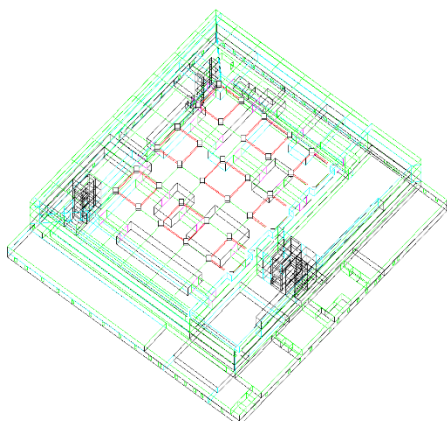


Figura 3-9: Scenario 5: Aperture lucernari

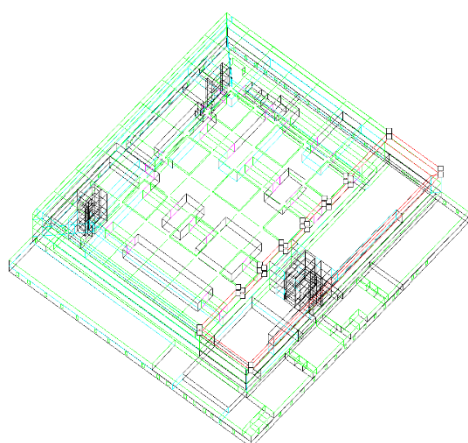


Figura 3-10: Scenario 5: Posizione dei pannelli fotovoltaici in copertura

3.2.3.6 Modellazione Termica - Test Scenari

Il grafico seguente riporta la riduzione del carico di raffrescamento complessivo dell'edificio dovuta alle modifiche implementate nei vari scenari. Nel grafico sottostante che riporta i vari

scenari, da 1 a 5, si può notare una costante diminuzione del carico di raffrescamento dell'edificio.

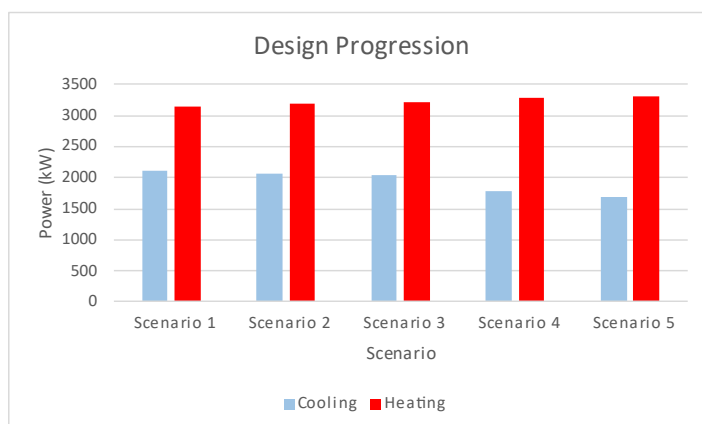


Figura 3-11: Carichi di riscaldamento e raffreddamento dell'edificio per scenario.

3.2.3.7 Carichi termici dell'edificio

Lo scenario 5 è stato utilizzato nella modellazione termica per calcolare i carichi di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio. Il carico di condizionamento degli ambienti è stato calcolato con il software IES ed è rappresentativo della quantità di picco di riscaldamento o raffrescamento necessaria per condizionare gli spazi interni. Il condizionamento con ventilazione si riferisce alla potenza necessaria per condizionare l'aria esterna prima di immetterla negli spazi interni. Queste cifre sono riportate nella tabella seguente.

	Riscaldamento richiesto (kW)	Raffreddamento richiesto (kW)
Carico di condizionamento	3315.32	1688.89
Condizionamento della ventilazione	309.41	176.87
Carico totale	3624.73	1865.77

Tabella 3-15 - Riepilogo del carico di riscaldamento e raffrescamento

I risultati sono stati utilizzati per definire le dimensioni preliminari delle attrezzature necessarie a servire gli spazi interni. La descrizione dei sistemi meccanici, elettrici ed idrico-sanitari proposti è riportata nelle sezioni seguenti.

3.3 Servizi Meccanici

3.3.1 Sistemi di ventilazione

3.3.1.1 Panoramica

La strategia di ventilazione per l'edificio segue generalmente un approccio misto di ventilazione naturale, massimizzata quando possibile, assistita da ventilazione meccanica decentralizzata e zonale basata sulla posizione di ciascuna colonna montante dei servizi. Le

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

figure seguenti indicano i metodi di ventilazione proposti per ciascun livello:

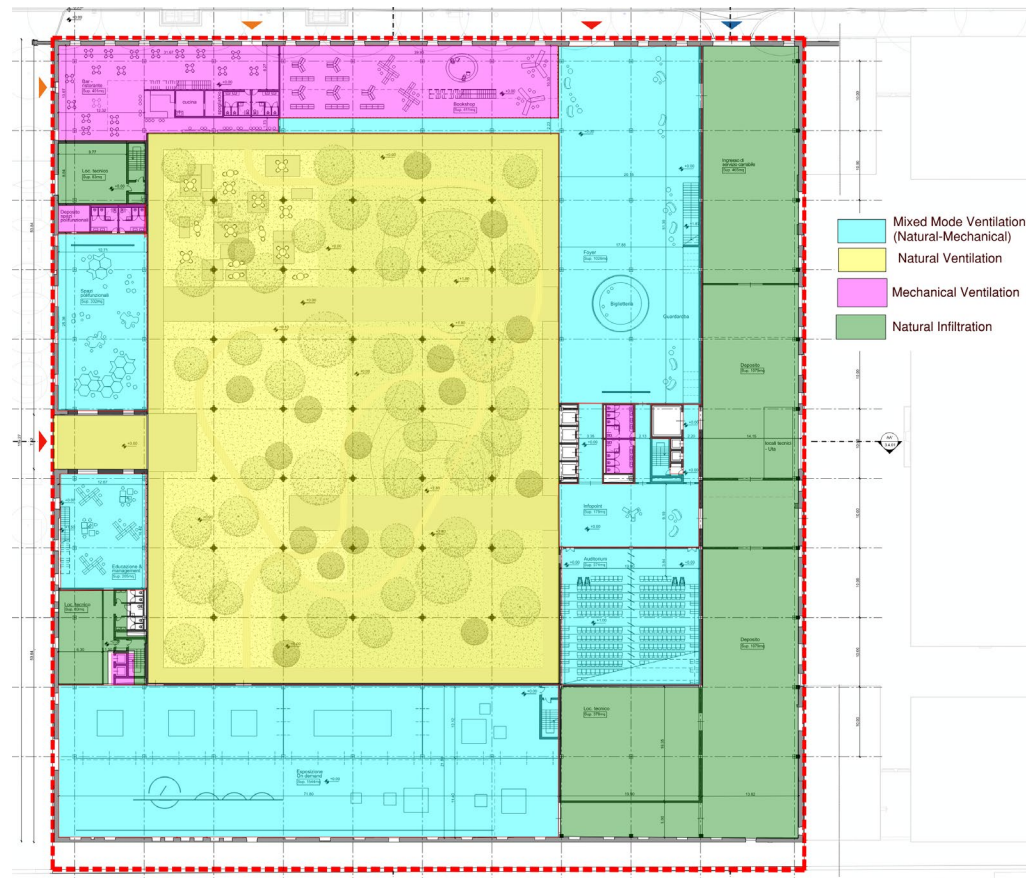


Figura 3-12: Proposta di Livello 00 per la strategia di ventilazione

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 - RELAZIONE TECNICA

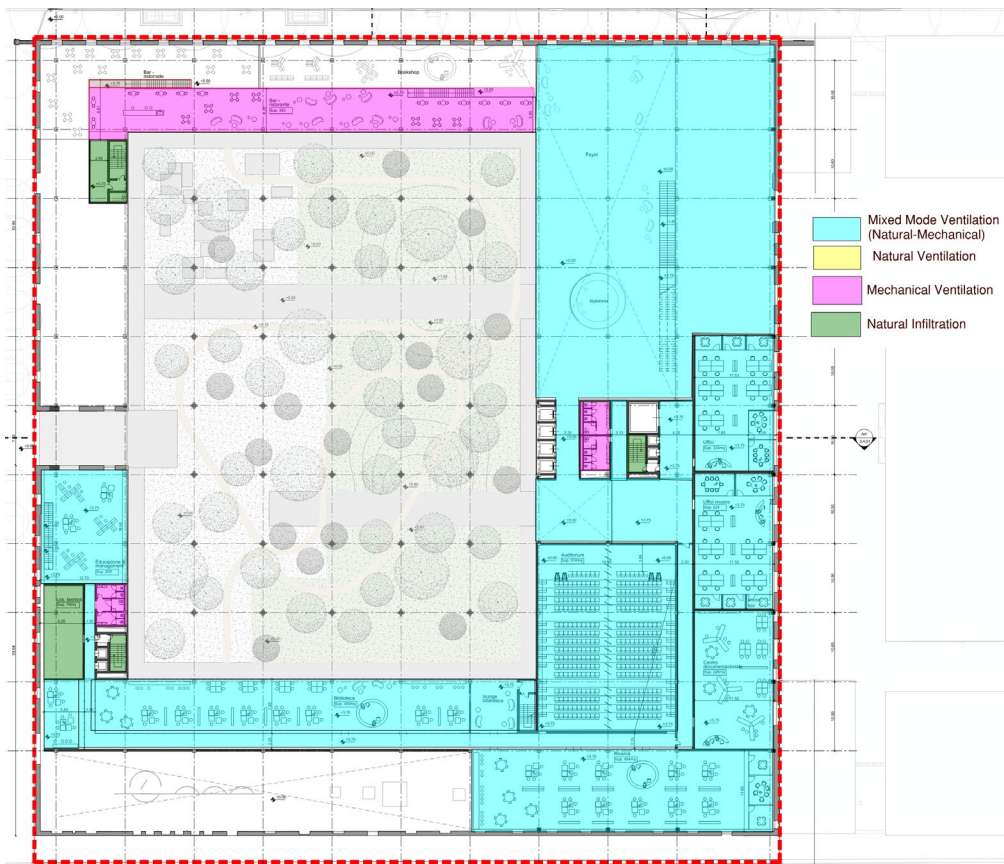
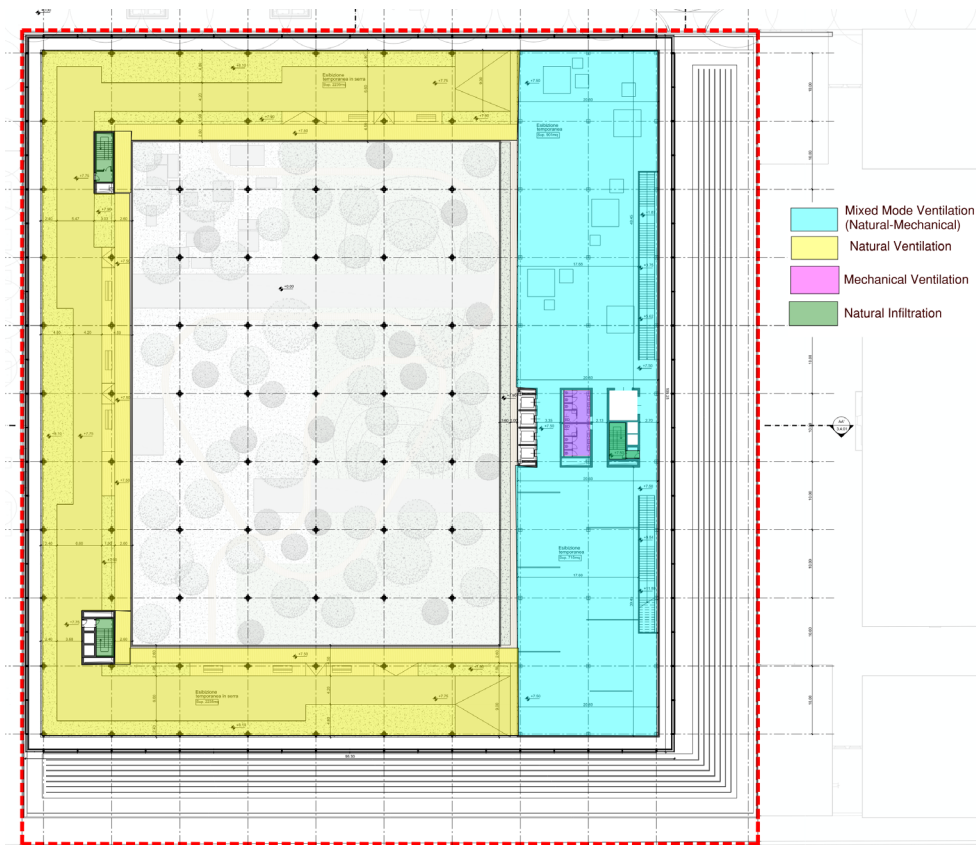


Figura 3-13: Livello 01 Proposta Strategia di Ventilazione



SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Figura 3-14: Livello 02 Proposta di Strategia di Ventilazione

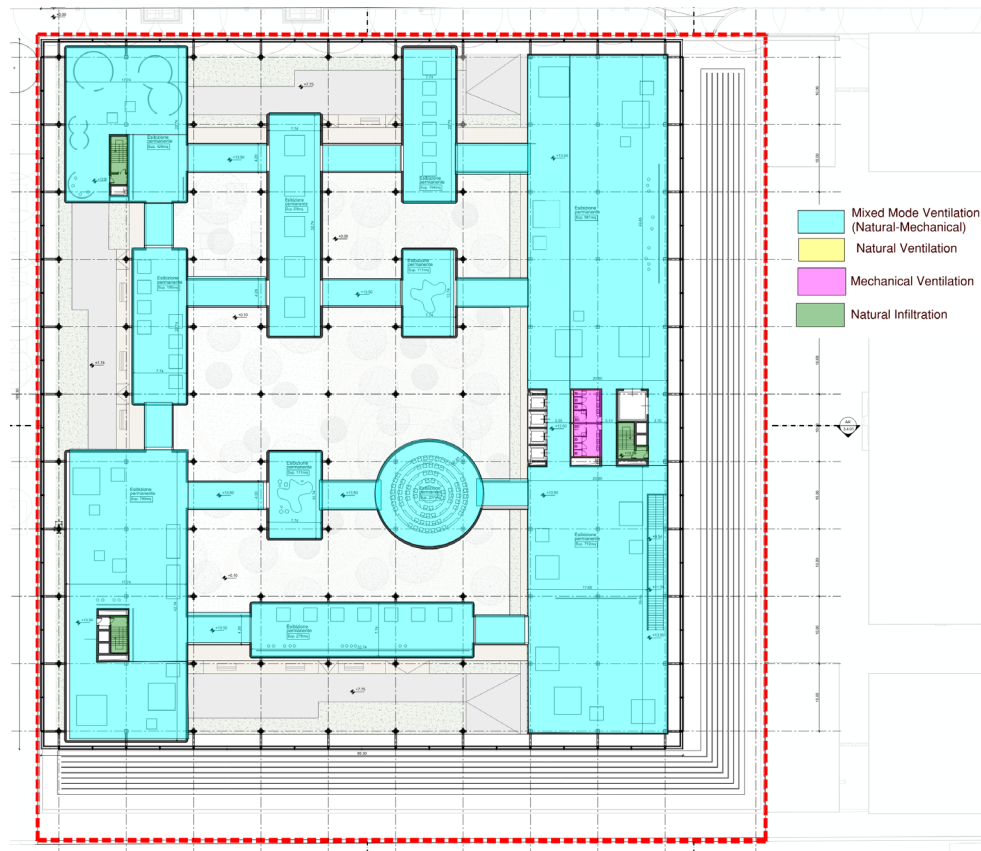


Figura 3-15: Livello 03 Proposta di Strategia di Ventilazione

Le aperture tra gli elementi di facciata nuovi ed esistenti e una serie di aperture sul tetto favoriranno la ventilazione a flusso incrociato all'interno degli spazi pubblici che consentirà di raffreddare naturalmente gli spazi pubblici interni:

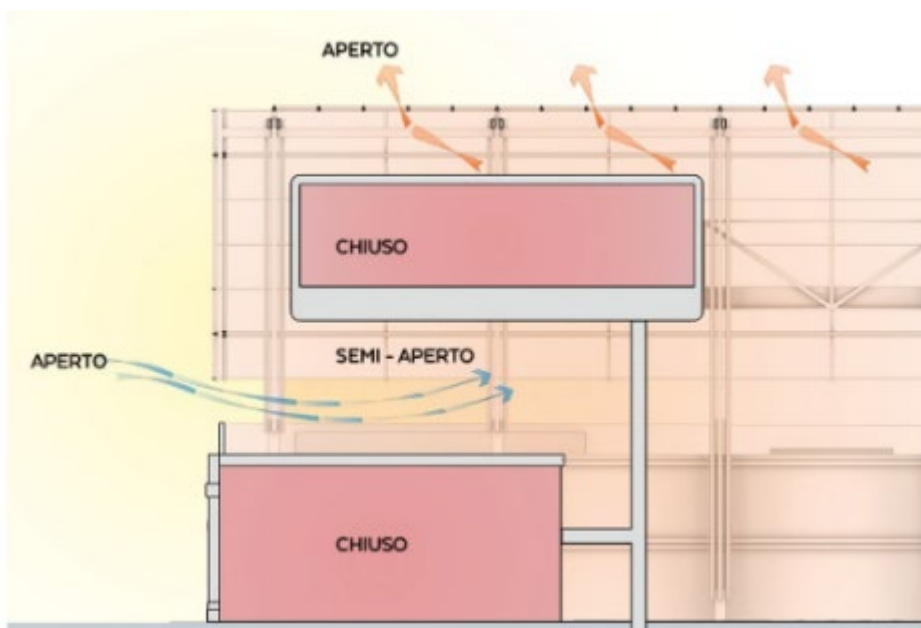


Figura 3-16: Percorsi di ventilazione a flusso incrociato proposti

Inoltre, questa caratteristica di progettazione deve consentire di utilizzare il raffrescamento naturale (free cooling) all'interno degli spazi interni ogniqualvolta le condizioni esterne siano favorevoli. Questa operazione è ulteriormente descritta nelle sezioni seguenti.

3.3.1.2 Spazi con ventilazione in modalità mista

Si propone di utilizzare il sistema di distribuzione dell'aria a pavimento (UFAD) all'interno degli spazi interni che utilizzano la ventilazione in modalità mista come gli spazi espositivi, gli uffici, il punto informazioni e la biglietteria. Tali locali devono essere dotati sia di ventilazione naturale che di UTA zonali. I vari spazi devono essere raggruppati verticalmente per consentire una minima distribuzione orizzontale delle condutture dalle alzate di servizio. Il Concept Ventilation Schematic fornisce una panoramica dello schema di raggruppamento previsto in questa fase di progettazione.

In primo luogo, la ventilazione naturale e il free cooling devono essere ottenuti tramite griglie posizionate strategicamente e servite da serrande motorizzate collegate al sistema di gestione dell'energia dell'edificio (BEMS). Quando la temperatura dell'aria esterna viene misurata al di sotto delle temperature di set-point all'interno degli spazi serviti, le serrande si apriranno e consentiranno la ventilazione naturale. Mentre gli spazi sono in modalità di ventilazione naturale, i sistemi di ventilazione meccanica degli spazi generali saranno disattivati; tuttavia la ventilazione di aree come i servizi igienici verrà mantenuta per garantire che vengano sempre raggiunte portate d'aria minime per i ricambi d'aria. Inoltre, le griglie motorizzate favoriscono i ricambi d'aria notturni per raffreddare gli spazi interni durante la notte.

Quando le condizioni esterne non sono favorevoli e sono al di sopra di una temperatura minima di set-point prestabilita all'interno degli spazi serviti che comporterebbe disagio per gli occupanti, le serrande motorizzate devono essere chiuse e le Unità di Trattamento dell'Aria (UTA) posizionate a livello del tetto, o all'interno dei locali tecnici dedicati in tutto il Piano Terra devono essere completamente attivate. L'aria esterna alle UTA deve essere prelevata tramite apposite feritoie, poi filtrata, raffreddata e riscaldata secondo necessità, tramite serpentine idroniche all'interno delle UTA stesse, e distribuita in tutto l'edificio tramite condotte isolate per fornire aria agli spazi occupati. L'immagine seguente illustra un tipico sistema di ventilazione UFAD per uno spazio chiuso con griglie motorizzate integrate per facciata/parete esterna:

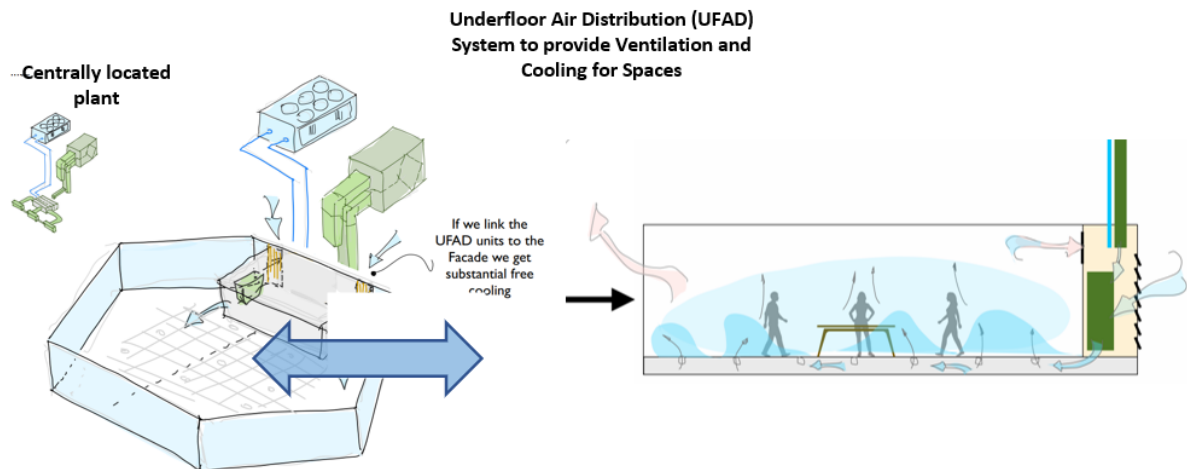


Figura 3-17: Un tipico sistema di ventilazione UFAD per uno spazio chiuso

Per ottimizzare l'uso dell'energia, i sistemi di ventilazione devono essere basati sulla domanda e utilizzare serrande a volume d'aria variabile (VAV) per fornire solo il volume d'aria esterna richiesto per gli occupanti effettivi, e non fornire costantemente il volume di picco in base al numero massimo di occupanti. Le scatole VAV devono essere controllate tramite sensori di presenza locali, sensori di biossido di carbonio (CO₂), sensori di composti organici volatili (COV), BEMS centrale o una combinazione di questi. A seconda dell'uso e della geometria di ciascun locale occupato, l'aria di mandata deve essere distribuita tramite diffusori di mandata situati nel soffitto o nelle pareti, oppure tramite diffusori di mandata a spostamento all'interno del pavimento.

L'aria di ritorno deve essere ritrasmessa alle UTA attraverso una rete di griglie di estrazione e di condutture isolate termicamente. L'aria di ritorno deve passare attraverso un dispositivo di recupero del calore situato all'interno dell'UTA per consentire il recupero o l'espulsione dell'energia termica al variare delle condizioni esterne, consentendo così di ridurre l'energia termica necessaria per il rinvenimento dell'aria di alimentazione dell'edificio.

L'aria di scarico proveniente dalle UTA deve essere convogliata in apposite feritoie dove deve essere espulsa nell'atmosfera. Le griglie di scarico devono essere posizionate in coordinamento con l'architetto per garantire che i flussi d'aria di scarico non abbiano un impatto negativo sulle aree occupate intorno all'edificio.

Durante la fase di progettazione successiva devono essere riesaminati i requisiti di umidità relativa (UR) per ciascun locale. Se necessario, l'impianto di umidificazione deve essere fornito ai sistemi che richiedono uno stretto controllo dell'umidità relativa. Ciò può avvenire tramite le UTA o l'impianto di umidificazione locale montato su condotto.

Attualmente si prevede che almeno due delle UTA siano dotate di batterie di recupero del calore a servizio delle pompe di calore ad aria (ASHP) che generano acqua calda sanitaria

per i servizi igienici. Si prega di fare riferimento alla sezione Salute pubblica di questo rapporto per ulteriori dettagli.

3.3.1.3 Servizi igienici

Durante la progettazione devono essere previste UTA dedicate a servizio dei servizi igienici situati su ciascun piano. Nel caso in cui i servizi igienici siano ubicati intorno alle colonne montanti dei servizi, questi devono essere raggruppati in un unico sistema per ridurre la duplicazione della distribuzione degli impianti e dei servizi.

Le UTA devono essere collocate a livello del tetto per consentire lo scarico dell'aria esausta nell'atmosfera al di fuori delle zone occupate.

L'aria di ricambio dovrà essere aspirata tramite lamelle impermeabilizzate, poi filtrata, raffreddata e riscaldata secondo necessità tramite serpentine idroniche e distribuita ai diffusori di alimentazione all'interno dei servizi igienici tramite condutture isolate termicamente.

L'aria esausta dai servizi igienici deve essere estratta dalle UTA tramite griglie e canalizzata esternamente tramite condotte isolate termicamente. L'aria estratta verrà filtrata e poi fatta passare attraverso un recuperatore di calore per consentire il recupero dell'energia termica dal flusso d'aria estratto.

L'aria di scarico deve essere scaricata dall'UTA nell'atmosfera tramite lamelle resistenti alle intemperie. Le lamelle di scarico saranno posizionate in modo tale che l'aria di scarico non venga aspirata nelle feritoie di aspirazione o nelle aperture di ventilazione naturale.

3.3.1.4 Auditorium

L'auditorium deve essere dotato di un'UTA dedicata per fornire aria esterna temperata alla zona occupata. L'UTA deve essere controllata da sensori di presenza, sensori di CO2 e BEMS per garantire che lo spazio sia ventilato nel modo più efficiente possibile.

L'aria aspirata deve essere aspirata attraverso le apposite lamelle fino all'UTA dove deve essere filtrata, raffrescata e riscaldata secondo necessità, tramite batterie idroniche e fornita ai diffusori locali tramite condotti isolati termicamente. Una doverosa e precisa progettazione garantirà che la temperatura dell'aria di mandata non crei correnti d'aria fredda indesiderate o fastidiose per gli occupanti.

L'aria estratta deve essere prelevata dall'ambiente tramite griglie di estrazione collegate alla canalizzazione isolata termicamente. La canalizzazione di estrazione deve condurre l'aria di estrazione verso l'UTA dove deve essere filtrata e fatta passare attraverso un dispositivo di recupero del calore per consentire il recupero energetico. L'aria esausta deve essere quindi scaricata attraverso la facciata dell'edificio tramite apposite griglie di scarico. Le griglie di

scarico devono essere posizionate in coordinamento con la progettazione architettonica per garantire che il flusso d'aria di scarico non abbia un impatto negativo sulle aree circostanti.

3.3.1.5 Spazi commerciali 'Shell e Core'

Il concept design ha ipotizzato che gli spazi Bookshop & Bar/Ristorante siano forniti come spazi 'Shell e Core'. Pertanto, gli inquilini di questi spazi dovranno progettare i sistemi da installare nell'ambito dei loro lavori di progettazione. Per facilitare le loro esigenze di allestimento, devono essere previste delle lamelle sulla facciata dell'edificio all'interno dell'area degli spazi Shell e Core, dedicate alla loro ventilazione. Le lamelle devono essere dimensionate in base seguendo un approccio "nella peggiore delle ipotesi" per garantire che siano adeguatamente dimensionate e devono essere installate in modo tale che i flussi d'aria di aspirazione e di scarico non vadano in cortocircuito, creando fastidio ai passanti. I sistemi di ventilazione degli inquilini devono anche considerare i requisiti acustici, le vibrazioni, la filtrazione, il comfort, l'efficienza energetica, il controllo, la strategia antincendio, la manutenzione e la messa in servizio. Se i futuri inquilini utilizzano sistemi di ventilazione di estrazione per cucine o angoli cottura, tali sistemi devono essere installati con filtri antiodore per evitare di arrecare fastidio agli spazi circostanti e impedire che gli odori entrino negli spazi ventilati naturalmente di questo sviluppo.

3.3.2 Sistemi di raffreddamento

3.3.2.1 Panoramica

L'approccio generale all'edificio è quello di utilizzare il free cooling tramite ventilazione naturale quando possibile. A tal fine devono essere realizzate mediante griglie posizionate strategicamente servite da serrande motorizzate collegate al BEMS. Quando la temperatura dell'aria esterna viene misurata al di sotto delle temperature di set-point all'interno degli spazi serviti, le serrande si apriranno e consentiranno la ventilazione naturale. Mentre l'edificio è in modalità di ventilazione naturale, i sistemi di ventilazione meccanica degli spazi generali verrebbero disattivati, tuttavia la ventilazione di aree come i servizi igienici verrebbe mantenuta per garantire che vengano sempre raggiunte portate d'aria minime.

Quando le condizioni esterne non sono favorevoli e sono al di sopra di una temperatura minima di setpoint prestabilita all'interno degli spazi serviti che provocherebbe disagio per gli occupanti, le lamelle di ventilazione naturale devono essere chiuse dal BEMS e devono essere utilizzati sistemi meccanici di riscaldamento e raffrescamento per mantenere il comfort termico in tutto l'edificio.

Il riscaldamento e il raffrescamento devono essere derivati da pompe di calore polivalenti ad aria (ASHP) situate al livello del tetto dell'edificio. Tali pompe di calore devono alimentare impianti a 4 tubi in grado di riscaldare e raffreddare simultaneamente, convertendo il calore

di scarto del processo di raffrescamento in energia termica utile, ove possibile, consentendo la massima efficienza energetica.

Le tubazioni dell'acqua refrigerata primaria (CHW) devono partire dalle pompe di calore nei locali impianti situati a piano terra e collegarsi a un collettore con freno idraulico tramite tubazioni di mandata e ritorno isolate termicamente. Il circuito primario deve essere dotato di pompe dedicate a velocità variabile, filtrazione di aria e polvere, impianto automatico di dosaggio dei prodotti chimici, controllo automatico della pressurizzazione e vasi di espansione.

Il CHW secondario si distribuirà dal collettore a tutto l'edificio tramite tubazioni isolate termicamente di mandata e ritorno. Il CHW secondario deve essere dotato di pompe a velocità variabile per consentire l'utilizzo di un sistema a temperatura costante e volume variabile. Ciò garantirà che i rifiuti elettrici generati e distribuiti in tutto l'edificio siano in linea con le esigenze dell'edificio, concentrandosi sull'efficienza energetica del sistema.

3.3.2.2 Edificio generale

Gli spazi generali in tutto l'edificio, compresi gli spazi espositivi, gli uffici, il punto informazioni e la biglietteria, devono essere dotati di aria esterna condizionata dalle UTA e distribuita in tutto l'edificio. Le UTA devono essere dotate di serpentine di raffreddamento idroniche per consentire il raffrescamento dell'aria aspirata durante i mesi estivi. Le batterie di raffreddamento devono essere installate all'interno delle UTA a monte delle batterie di riscaldamento per consentire la deumidificazione dell'aria di mandata mediante sottoraffreddamento e riscaldamento dell'aria di mandata.

Il raffrescamento locale deve essere fornito agli spazi occupati tramite ventilconvettori idronici (FCU) a 4 tubi. Le posizioni finali di ogni FCU saranno sviluppate durante le fasi di progettazione dettagliata in coordinamento con l'architetto ed il cliente per identificare le posizioni ottimali di ciascun FCU. In generale, tuttavia, i FCU devono essere collocati all'interno sotto soffitto per distribuire l'aria raffreddata dai dalla ventilazione primaria; alternativamente i FCU possono essere collocati all'interno del sotto pavimento per fornire aria raffreddata tramite diffusori a basso livello.

Le FCU devono essere collegate al BEMS per il controllo generale, il monitoraggio dello stato e la segnalazione degli allarmi. Ove possibile, possono essere forniti controller semplificati montati a parete per consentire la modifica del setpoint da parte degli occupanti. Le aree probabili per il controller potrebbero essere le aree Back of House (BoH) come gli uffici, tuttavia la strategia di controllo sarà discussa e concordata con il cliente durante la prossima fase di progettazione.

Quando le condizioni esterne lo consentono, il BEMS utilizzerà il free cooling notturno. Ciò consentirà all'aria fresca notturna di attraversare l'edificio attraverso la strategia di ventilazione naturale, rimuovendo il calore accumulato dalla massa termica della struttura dell'edificio. La massa termica raffreddata fungerà quindi da dissipatore di calore per gli apporti termici generati il giorno successivo, contribuendo all'efficienza energetica dell'edificio.

Tutti i terminali di raffreddamento idronico devono essere dotati di valvole di controllo indipendenti dalla pressione (PICV) per consentire il controllo basato sulla domanda e l'efficienza ottimizzata dell'energia termica. I PICV devono essere collegati al BEMS per il controllo e il monitoraggio della posizione.

3.3.2.3 Spazi commerciali 'Shell e Core'

Le aree Bar/Ristorante e Bookshop dovrebbero essere fornite come spazi Shell e Core per l'allestimento da parte del futuro inquilino. Si prevede che richiederanno un raffrescamento confortevole, e come tale un luogo esterno adatto deve essere coordinato con l'architetto e salvaguardato per l'installazione dei condensatori esterni dell'inquilino durante la prossima fase di progettazione.

3.3.3 Sistemi di riscaldamento

3.3.3.1 Panoramica

L'approccio misto alla ventilazione dell'edificio consentirà il free cooling nei mesi intermedi (tipicamente primavera e autunno) utilizzando la ventilazione naturale. Tuttavia, quando le temperature esterne scendono al di sotto di un livello concordato, l'utilizzo della strategia di ventilazione naturale creerebbe correnti d'aria fredda, compromettendo il comfort termico dell'occupante.

Quando le condizioni esterne non sono favorevoli, le lamelle di ventilazione naturale devono essere chiuse dal BEMS e devono essere utilizzati sistemi meccanici di riscaldamento e raffrescamento per mantenere il comfort termico in tutto l'edificio.

Il riscaldamento e il raffrescamento devono essere derivati da pompe di calore polivalenti ad aria (ASHP) situate all'interno del tetto dell'edificio. Tali ASHP devono essere unità a 4 tubi in grado di riscaldare e raffreddare simultaneamente, convertendo il calore di scarto del processo di raffrescamento in energia termica utile, ove possibile, consentendo la massima efficienza energetica.

Le tubazioni primarie dell'acqua a bassa temperatura (LTHW) devono andare dagli ASHP ai Locali Impianti situati a Piano Terra e collegarsi a un collettore a bassa perdita tramite tubazioni isolate di mandata e ritorno. Il circuito primario deve essere dotato di pompe dedicate a velocità variabile, filtrazione dell'aria e dello sporco, impianto automatico di

dosaggio dei prodotti chimici, controllo automatico della pressurizzazione e vasi di espansione.

L'LTHW secondario si distribuirà dal collettore a bassa perdita in tutto l'edificio tramite tubazioni isolate di flusso e ritorno. L'LTHW secondario deve essere dotato di pompe a velocità variabile per consentire l'utilizzo di un sistema a temperatura costante e volume variabile. Ciò garantirà che l'LTHW generato e distribuito in tutto l'edificio sia in linea con le esigenze dell'edificio, concentrandosi sull'efficienza energetica del sistema.

3.3.3.2 Edificio generale

Gli spazi generali in tutto l'edificio, compresi gli spazi espositivi, gli uffici, il punto informazioni e la biglietteria, devono essere dotati di aria esterna temperata proveniente dalle UTA in tutto l'edificio. Le UTA devono essere dotate di serpentine di riscaldamento idronico per consentire il riscaldamento dell'aria aspirata durante i mesi invernali. Le batterie di riscaldamento devono essere installate all'interno delle UTA a valle delle batterie di raffreddamento per consentire la deumidificazione dell'aria di mandata mediante sottoraffreddamento e riscaldamento dell'aria di mandata.

Il riscaldamento locale degli ambienti occupati deve essere fornito tramite ventilconvettori idronici (FCU) a 4 tubi. Le posizioni finali di ogni FCU saranno sviluppate durante le fasi di progettazione dettagliata in coordinamento con l'architetto e il cliente per identificare le posizioni ottimali per ciascuna FCU. In generale, tuttavia, devono essere collocati all'interno delle intercapedini del soffitto che distribuiscono l'aria riscaldata dai diffusori di alto livello, o all'interno delle intercapedini del pavimento che forniscono aria riscaldata tramite diffusori di spostamento di basso livello.

Le FCU devono essere collegate al BEMS per il controllo generale, il monitoraggio dello stato e la segnalazione degli allarmi. Ove possibile, possono essere forniti controller semplificati montati a parete per consentire la modifica del setpoint da parte degli occupanti. Le aree rilevanti per questi dovrebbero essere le aree Back of House (BoH) come gli uffici, tuttavia la strategia di controllo sarà discussa e concordata con il cliente durante la prossima fase di progettazione.

I corridoi di collegamento vetrati tra le capsule devono essere provvisti di un sistema di riscaldamento a trincea. Il dettaglio finale dell'integrazione dei riscaldatori a trincea deve essere sviluppato con l'architetto durante le fasi di progettazione dettagliata.

Tutti i terminali di riscaldamento idronici e i circuiti dei radiatori devono essere dotati di valvole di controllo indipendenti dalla pressione (PICV) per consentire il controllo basato sulla domanda e l'efficienza ottimizzata dell'energia termica. I PICV devono essere collegati al BEMS per il controllo e il monitoraggio della posizione.

3.3.3.3 Spazi commerciali 'Shell e Core'

Le aree Bar/Ristorante e Bookshop dovrebbero essere fornite come spazi Shell e Core per l'allestimento da parte del futuro inquilino. Si prevede che richiederanno un riscaldamento confortevole, e come tale un luogo esterno adatto deve essere coordinato con l'architetto e salvaguardato per l'installazione dei condensatori esterni dell'inquilino durante le prossime fasi di progettazione.

3.3.3.4 Blocchi di servizi igienici e scale di circolazione

Si propone di dotare i blocchi di servizi igienici e le scale di circolazione di un riscaldamento di comfort di fondo tramite radiatori situati all'interno dell'atrio o dei corridoi d'ingresso a ciascun blocco di servizi igienici e pianerottoli delle scale.

3.3.4 Controlli

3.3.4.1 Panoramica

L'edificio deve essere dotato di un sistema centrale di gestione dell'energia degli edifici (BEMS) costituito da una centrale situata all'interno degli uffici di gestione delle strutture, sensori remoti situati all'interno dei sistemi di distribuzione MEP, stazioni BEMS, dispositivi di interfaccia per sistemi specializzati e cablaggi BEMS dedicati.

Il BEMS deve essere dotato di un'interfaccia utente grafica che consenta agli utenti di individuare, selezionare e manipolare facilmente ogni elemento dell'impianto e del sistema MEP collegato al BEMS.

Il BEMS deve essere dotato di un sensore di temperatura dell'aria esterna (OAT). Il sensore OAT deve essere posizionato in una posizione schermata, per misurare con precisione la temperatura dell'aria senza essere influenzato dalla radiazione solare.

Se i sistemi installati all'interno dell'edificio sono dotati di reti di controllo proprietarie, queste devono essere di tipo open source e collegate al BEMS per consentire a quest'ultimo di fornire il controllo generale, il monitoraggio dello stato e gli allarmi.

3.3.4.2 Controlli di ventilazione

Come indicato nella sezione relativa alla ventilazione di questo rapporto, la principale strategia di ventilazione per l'edificio è una modalità mista che comprende sistemi di ventilazione naturale e meccanica.

La strategia di ventilazione naturale deve essere fornita da serrande automatiche collegate a lamelle esterne controllate dal BEMS monitorando la temperatura dell'aria esterna tramite il sensore di temperatura dell'aria esterna dedicato. Quando il sensore di temperatura dell'aria esterna è identificato come all'interno di un'adeguata larghezza di banda preimpostata e regolabile, ad esempio al di sopra di 14 °C e al di sotto di 22 °C, il BEMS deve aprire le serrande motorizzate per consentire la ventilazione naturale. Quando il sensore di

temperatura dell'aria esterna rileva che la temperatura esterna è al di fuori della larghezza di banda accettabile creando il potenziale disagio degli occupanti, il BEMS chiude le serrande motorizzate e inizializza i sistemi di ventilazione meccanica.

I sistemi di ventilazione meccanica devono essere del tipo a volume d'aria variabile (VAV) e saranno controllati da sensori di CO₂, COV, presenza o presenza, in combinazione con il BEMS per fornire la strategia di ventilazione più efficiente possibile dal punto di vista energetico.

Le batterie idroniche situate all'interno delle UTA saranno dotate di valvole di controllo indipendenti dalla pressione per consentire la variazione dinamica delle portate idroniche. Le valvole di controllo saranno collegate a un sensore di temperatura dell'aria all'interno del plenum dell'aria di mandata dell'UTA. Ciò consente di adattare la potenza delle batterie idroniche alle esigenze dell'edificio, migliorando l'efficienza energetica degli impianti di ventilazione meccanica.

Le UTA devono essere progettate con le serpentine di raffreddamento a monte delle serpentine di riscaldamento. Ciò consente di ridurre l'umidità relativa (RH) dell'aria di mandata mediante il sottoraffreddamento e quindi il riscaldamento dell'aria esterna. I requisiti di umidità relativa per ciascun locale devono essere riesaminati durante la fase di progettazione successiva per accertare se è necessario un impianto di umidificazione dedicato.

Se le FCU devono essere installate per garantire il comfort termico degli occupanti, le FCU devono essere dotate di sensori di temperatura situati all'interno dello spazio servito. Nei luoghi della Bosnia-Erzegovina, come gli uffici, devono essere forniti controllori locali semplificati per consentire agli occupanti di modificare il setpoint di temperatura. Nelle aree FoH, come gli spazi espositivi, le FCU funzionano automaticamente per raggiungere un setpoint definito tramite il BEMS centrale.

Tutte le FCU, le scatole VAV, le UTA, le serrande motorizzate, le serrande tagliafuoco, le serrande tagliafuoco e tagliafumo motorizzate e i sensori montati sulle condutture devono essere collegati al BEMS per il controllo completo, la regolazione del setpoint, lo stato e il monitoraggio degli allarmi.

3.3.4.3 Controlli idronici

L'edificio deve essere dotato di ASHP a 4 tubi in grado di produrre contemporaneamente sia LTHW che CHW come richiesto dall'edificio.

I controlli ASHP proprietari devono essere di tipo open-source e collegati al BEMS per il controllo completo, la regolazione del setpoint, lo stato e il monitoraggio degli allarmi.

I contatori di calore devono essere installati su tutte le batterie idroniche ASHP e UTA per consentire il monitoraggio e la registrazione dell'utilizzo dell'energia. Ulteriori zone di misurazione del calore saranno esaminate durante la fase successiva e potrebbero includere zone FCU per la profilazione dettagliata dell'utilizzo dell'energia in tutto l'edificio. Tutti i terminali idronici devono essere dotati di PICV a 2 porte per consentire l'installazione di sistemi a volume variabile e temperatura costante. I PICV devono essere modulati in base alla domanda del terminale per massimizzare l'efficienza energetica. Tutti i PICV devono essere collegati al BEMS per il controllo completo, lo stato e il monitoraggio degli allarmi. Devono essere installate pompe a velocità variabile per facilitare i sistemi a volume variabile e temperatura costante. Questi devono essere controllati dalle esigenze del sistema per massimizzare l'efficienza energetica dell'edificio. Tutte le pompe devono essere collegate al BEMS per il controllo completo, lo stato e il monitoraggio degli allarmi.

3.3.4.4 Utilizzo dell'energia fotovoltaica

L'edificio deve essere dotato di una miscela di celle fotovoltaiche (PV) monocristalline e organiche per consentire la generazione di energia solare in loco. L'energia generata dai campi fotovoltaici deve essere monitorata e visualizzata tramite un output grafico in un luogo pubblico, da concordare con l'architetto nella fase successiva di progettazione. L'output grafico deve mostrare sia l'energia solare attualmente generata dall'edificio che l'attuale consumo elettrico dell'edificio, consentendo di dimostrare la percentuale di energia verde.

3.4 Servizi elettrici

3.4.1 Proposta di alimentazione elettrica in ingresso

Il sito sarà servito da alimentazione elettrica in bassa tensione (BT) 230/400V, prelevata dal trasformatore AT/BT del Gestore della Rete di Distribuzione. Le forniture verranno indirizzate ad una sala interruttori dedicata, posta al Piano Terra.

L'ubicazione di tutti i servizi del sito dovranno essere verificati mediante scansioni e rilievi dettagliati effettuati prima di qualsiasi lavoro in cantiere.

Le prove di resistività del terreno devono essere eseguite dall'Appaltatore al momento dell'occupazione del sito al fine di determinare i necessari progetti di messa a terra e protezione contro i fulmini da sviluppare.

La disponibilità dell'alimentazione elettrica sarà verificata coordinandosi con il gestore della rete BT locale. Verrà effettuata un'offerta al momento della derivazione del carico elettrico per l'edificio, da definire nella fase successiva di progettazione.

3.4.2 Valutazione del carico di progetto

Sono stati effettuati dei calcoli preliminari atti a stimare il carico elettrico previsto per lo sviluppo. Tenendo conto della loro diversità, si è indicato un carico totale di circa 2 MVA. Tuttavia, è importante sottolineare che le funzioni specifiche dell'edificio non sono state finalizzate e concordate con il cliente. Di conseguenza, c'è il potenziale di un aumento dei carichi elettrici effettivi, che sarà affrontato nella prossima fase di progettazione.

I calcoli di cui sopra suggeriscono che lo spazio dell'impianto al Piano Terra dovrà essere tale da ospitare un trasformatore indutivo da 2,5 MVA, se la rete locale non ha una capacità sufficiente per servire direttamente l'edificio.

Il carico elettrico è stato derivato sulla base del fatto che non ci sarà bisogno di alimentazione di gas per il riscaldamento e l'acqua calda.

A quanto sopra è stata concessa un'indennità nominale dell'80% per la diversità. È inclusa anche una capacità inutilizzata del 20% all'interno della tolleranza del trasformatore.

3.4.3 Energie rinnovabili

L'impianto fotovoltaico proposto si baserà su una disposizione di inverter DC/AC per convertire la corrente continua generata dai pannelli fotovoltaici in corrente alternata trifase. Gli inverter saranno collegati a un quadro di distribuzione TPN e saranno collegati al pannello interruttori principale (MSP).

Verrà fornito un data logger interattivo di tipo WebBox o simile e collegato ad un display da determinare che rappresenterà la produzione di energia in kWh e le riduzioni di CO₂.

L'impianto fotovoltaico sarà fornito come:

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

- **Vetrare con BIPV** (Building Integrated Photovoltaic Panel) – posizionate sulla facciata sud dell'involucro esterno dell'edificio;
- **Pannelli in polycarbonato con sistemi BIPV/Flexible PV** – Posizionati su parte del tetto dell'involucro esterno dell'edificio;
- **Pannelli fotovoltaici opachi** – Posizionati su parte del tetto dell'edificio;

Maggiori dettagli nel seguente Report di See Ingegneria delle facciate (Façade Engineering).

Elemento costruttivo	Efficienza	Tetto principale	Facciata sud	Tetto inferiore
Superficie (m2)		9038	1149	1013
Irraggiamento solare (W/m2)		331	143	322
Film sottile trasparente di tellururo di cadmio (CdTe) trasparente. (W)	0.12		19716.84	39142.32
Modulo fotovoltaico (W)	0.2	598315		

Tabella 3-16 - *Tipi di materiali fotovoltaici proposti e potenziali uscite*

In sintesi, il museo ha previsto che il carico elettrico dell'edificio è di 2 MVA, mentre l'impianto fotovoltaico, operando al massimo delle sue potenzialità, potrebbe generare fino a 657,17 kW. Ciò si traduce in una riduzione del carico elettrico totale fino a 1,3 MVA e che deve essere prelevato dalla rete nazionale quando l'impianto fotovoltaico produce la massima potenza.

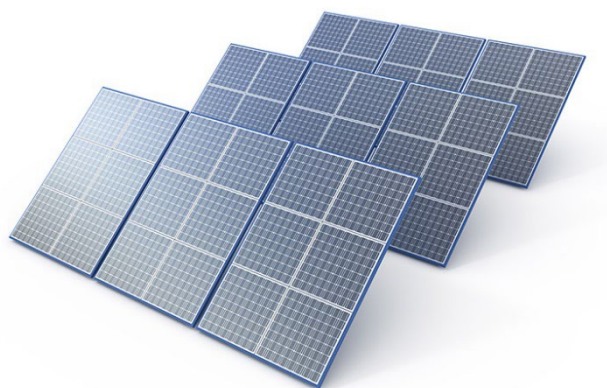


Figura 3-18: Esempio di impianto fotovoltaico.

In questa fase si prevede che tutta l'elettricità generata dall'impianto fotovoltaico sarà consumata dai sistemi e dalle apparecchiature all'interno dell'edificio. Tuttavia, nella fase successiva di progettazione, sarà esplorato l'uso di un sistema di raccolta e stoccaggio dell'energia a batterie, per la produzione in loco e l'esportazione verso la rete Nazionale. La configurazione specifica della rete dell'impianto fotovoltaico finale sarà determinata nella fase successiva in coordinamento con il team di progettazione.

3.4.4 Distribuzione elettrica

Deve essere previsto un locale di comando BT in immissione dedicato e un nuovo quadro generale BT contenente un numero sufficiente di apparecchiature per il museo.

La strategia di distribuzione per il museo sarà quella di alimentare le forniture secondarie con quadri di distribuzione situati in posizioni strategiche su ogni piano. I quadri di distribuzione saranno alimentati direttamente dal quadro di commutazione BT a monte dei quadri di sottodistribuzione, a seconda delle esigenze.

Un quadro elettrico separato sarà alimentato per le forniture secondarie per la sicurezza della vita e altri sistemi essenziali, tra cui ascensori antincendio, sistema di pozzi di fumo, sfiato ad apertura automatica in cima alle scale, pompe sprinkler e sistemi informatici e di comunicazione critici. Il quadro secondario sarà alimentato da una connessione secondaria dal trasformatore principale, in corrispondenza di una connessione sul lato di ingresso del quadro di distribuzione principale.

Verranno forniti interruttori di trasferimento automatico (ATS) che collegano tutti i carichi a doppia alimentazione, per consentire all'alimentazione di riserva di soddisfare il carico in caso di interruzione dell'alimentazione primaria. Ogni ATS che alimenta carichi di sicurezza o sicurezza antincendio sarà dotato di bypass manuali primari e secondari integrati al fine di consentire la manutenzione, mantenendo l'alimentazione dell'impianto sotto tensione.

3.4.4.1 Quadro elettrico BT

Il nuovo quadro elettrico BT sarà un quadro elettrico Form 4 Type 6 indipendente, con accesso fronte/retro situato nel nuovo quadro BT. Un misuratore MCCB separato sarà montato adiacente al pannello BT del cliente.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

I contatori ATT di servizio misureranno le principali forniture nei punti di prelievo. La valutazione del panel è ancora da determinare. Il quadro BT sarà protetto da un interruttore automatico in aria (ACB) dotato di contatori multifunzione di classe 0,2 per le forniture in ingresso. I circuiti in uscita saranno protetti da interruttori automatici scatolati (MCCB) dotati di misuratori MID o Check, ove appropriato.

L'interruttore BT includerà anche l'MCCB per facilitare il collegamento dell'impianto di generazione di energia elettrica in loco, ovvero il fotovoltaico. Questo deve essere sincronizzato con l'alimentazione elettrica principale tramite un'unità G99 o simile all'interno del pannello di controllo FV o sul pannello interruttori principale.

Il nuovo quadro elettrico BT avrà il 20% di vie libere o spazio libero, a seconda di quale sia il maggiore, con la possibilità di aggiungere ulteriori sezioni come misura a prova di futuro.

Il quadro BT sarà dotato di contatori multifunzione nelle sezioni in entrata e in uscita per la contabilizzazione dell'energia e sarà collegato ad una rete di misura e al sistema BMS. I contatori saranno in grado di leggere tensione, corrente, frequenza, energia, valori di richiesta e dove si ha distorsione armonica. I contatori saranno compatibili con MODBUS.



Figura 3-19: Pannello interruttori BT principale

L'apparecchiatura di protezione contro le sovratensioni transitorie di tipo 1 deve essere fornita come parte integrante del pannello.

E' necessario fornire la correzione del fattore di potenza per controllare automaticamente che il fattore di potenza sia al di sopra di 0,95.

Alimentazioni dal quadro BT in ingresso a quadri di distribuzione di tipo locale e di sottorete devono avvenire tramite cavi multipolari di tipo XLPE/SWA/LSF con neutri full size.

Potrebbe essere necessario un generatore di riserva per i sistemi di sicurezza vita/antincendio. Un ingegnere antincendio dovrebbe essere nominato per fornire un rapporto sulla strategia di ingegneria antincendio. Questo sarà determinato nella prossima fase di progettazione.

Eventuali forniture di vita/sicurezza antincendio dal quadro BT in ingresso devono essere alimentate da cavi antincendio in conformità alla norma BS 8519, che deve essere definita dallo specialista antincendio nella fase successiva di progettazione.

Tutte le forniture di sicurezza antincendio saranno dotate di interruttori di trasferimento automatico (ATS) locali per fornire alle apparecchiature fonti elettriche primarie e secondarie come richiesto dall'ufficiale di controllo dell'edificio, che sarà definito dall'ingegnere antincendio nella fase di progettazione successiva.

Per affrontare eventuali correnti armoniche in questo fase di sviluppo, i pannelli incorporeranno filtri armonici e correzione del fattore di potenza, insieme alla protezione contro le sovratensioni per una maggiore sicurezza dei quadri elettrici.

3.4.4.2 Distribuzione secondaria BT

Il quadro di sottodistribuzione MCCB sarà installato dove necessario per fornire un sistema di distribuzione principale BT efficiente e robusto. I quadri di distribuzione MCB finali di alimentazione del quadro di sottodistribuzione o altri elementi dell'apparecchiatura fissa avranno una contabilizzazione secondaria prima del contatore a monte dell'MSP principale e saranno collegati a una rete di misurazione dell'edificio e al sistema BMS.

I quadri MCCB saranno almeno Form 4 di tipo 2 e dotati di coperchi bloccabili.

3.4.4.3 Distribuzione finale LV

I quadri di distribuzione MCB per piccole potenze, l'illuminazione, gli impianti meccanici, le apparecchiature ausiliarie e per eventuali installazioni specialistiche saranno posizionati strategicamente in tutto l'edificio. Ciò consentirà un uso efficiente dei percorsi di distribuzione primaria e delle zone di distribuzione chiaramente definite, consentendo al tempo stesso una facile manutenzione.

Il quadro di distribuzione sarà dotato di coperchi chiudibili a chiave.

Ove appropriato, saranno forniti quadri separati per l'illuminazione e la distribuzione dell'alimentazione.

In caso di elevata concentrazione di apparecchiature ICT all'interno di una stanza, ad esempio sale di comunicazione, verrà fornito un quadro di distribuzione MCB dedicato.

Tutti i quadri di distribuzione saranno adatti per la messa a terra ad alta integrità. La protezione RCD sarà fornita per soddisfare i requisiti della norma BS7671:2022.

Generalmente, i quadri di distribuzione dell'illuminazione e dell'alimentazione saranno quadri a carico diviso, con contatori integrati che forniscono letture separate dei contatori sia per l'illuminazione che per i circuiti di alimentazione.

La contabilizzazione secondaria sarà fornita in corrispondenza dei quadri di distribuzione primari o secondari o, nel caso dei quadri a carico diviso, parte integrante del quadro locale.

I quadri di distribuzione saranno dotati di contatori multifunzione sulle sezioni in ingresso a seconda delle esigenze, collegati ad una rete di misura e al sistema BMS.

Il percorso del cablaggio secondario principale avverrà principalmente all'interno dei canali della passerella portacavi.

Nei rispettivi locali tecnici sarà previsto un quadro di distribuzione dedicato per l'impianto meccanico. Ogni quadro di distribuzione avrà il proprio contatore per monitorare il consumo energetico. Tutti gli impianti meccanici saranno dotati di isolatori locali. Il cablaggio all'impianto sarà SWA o a cavo singolo protetto all'interno di canaline o condotti nel locale tecnico.

3.4.5 Generazione di standby

Si presume che la generazione di energia in standby sarà necessaria solo per i sistemi di sicurezza salvavita. In caso di interruzione di corrente o di emergenza, è previsto che l'edificio venga evacuato e non continui a funzionare normalmente. Lo schema verrà sviluppato nella prossima fase di progettazione.



Figura 3-20: Generatore di esempio

Si propone che la generazione di riserva fornisca quanto segue:

- Ascensori antincendio
- Sistema di evacuazione fumi
- Presa d'aria ad apertura automatica in cima alle scale
- Pompe sprinkler (se applicabile)
- Sistemi informatici e di comunicazione critici (parte della sicurezza della vita)

Gli interruttori di trasferimento automatici (ATS) saranno forniti ai carichi di cui sopra da un pannello di commutazione dedicato.

Il generatore deve essere dotato di una capacità di riserva del 20%.

3.4.5.1 Stoccaggio del carburante

Lo stoccaggio del combustibile sarà assicurato attraverso l'uso di un "serbatoio diurno", in grado di alimentare l'edificio per un periodo ininterrotto di 8 ore. Questa durata è stata attentamente considerata per far fronte alla maggior parte dei guasti di rete e consentire un arresto sicuro e organizzato delle operazioni, se necessario. Il serbatoio diurno sarà posizionato in modo sicuro all'interno del locale di comando del generatore.

Il rifornimento di carburante sarà facilitato da un apposito punto di rifornimento posizionato lungo il perimetro dell'edificio.

3.4.5.2 UPS

Il requisito per il backup UPS del sistema TVCC Power over Ethernet (PoE) deve essere determinato dal consulente specializzato in sicurezza.

In questa fase, si prevede che gli switch di rete e il server del Network Video Recorder (NVR) si trovino all'interno dell'area dell'impianto e saranno dotati di un piccolo UPS statico di backup, nonché di piccoli UPS montati su torre o rack per switch Power over Ethernet per le telecamere IP. I carichi di cui eseguire il backup saranno confermati dal consulente per la sicurezza.

3.4.6 Messa a terra e collegamento

L'impianto di messa a terra deve essere progettato in conformità alle norme BS 7671, BS 7430, BS 50310 e BS 50522.

Devono essere previsti collegamenti multipli di messa a terra ai pavimenti sopraelevati e ai controsoffitti.

Non si propone di fornire un sistema separato di "Terra pulita/isolata".

3.4.7 Arginamento

La gestione del contenimento dei cavi sarà assicurata dai quadri BT principali, dai quadri di distribuzione e dai locali delle apparecchiature informatiche fino ai punti di utilizzo.

La gestione dei cavi sarà separata al fine di fornire un contenimento individuale per i cavi di distribuzione finali, il cablaggio di sottorete, l'allarme antincendio, i sistemi ELV (ad es.

Sicurezza, BMS) e i sistemi di gestione dati. La separazione dei servizi deve essere conforme alla norma BS 7671: 2022 per le installazioni di cavi informatici. In tutti gli spazi vuoti di servizio deve essere previsto uno spazio di riserva minimo pari al 20% della superficie della sezione trasversale.

- Distribuzione a bassa tensione: portascalce, cestello portacavi e vassoio.
- Circuiti finali a bassa tensione: canaline portacavi e condutture.
- Sistemi a bassissima tensione: canalina portacavi, vassoio e cestello.

3.4.8 Piccola potenza

Verrà fornito un piccolo impianto di alimentazione in conformità con i requisiti della norma BS 7671:2022.

La piccola distribuzione di energia sarà data da dispositivi di protezione a 400 V/TPN/50 Hz e 230 V/SPN/50 Hz. Tutte le prese devono essere protette con interruttori differenziali standard (RCD) con sensibilità di 30 mA.

Ogni area sarà alimentata dalla rispettiva unità di consumo MCB protetta da RCD.

I circuiti finali per i servizi di piccola potenza e l'illuminazione saranno generalmente realizzati tramite cavo e terra di grado LSZH (Low Smoke & Zero Halogen) con guaina e isolamento (6242B) da 300/500 V.

I cavi saranno contenuti all'interno di condotti in plastica ad alto impatto sepolti nelle pareti e supportati su cestelli metallici all'interno degli spazi del soffitto.

Generalmente, in tutto l'edificio saranno fornite prese commutate standard da 13 A per la pulizia. Le prese saranno generalmente protette tramite RCBO da 30 mA sul quadro di distribuzione, ad eccezione delle aree e dei casi consentiti dalla norma BS7671:2022.

I locali con apparecchiature fisse installate in modo permanente, come la cucina e l'armadio di servizio, saranno dotati di DB dedicati con circuiti per tali apparecchiature separati, in tali locali, dalle prese di corrente.

Tutte le prese in tutta l'installazione devono essere montate a incasso, ad eccezione di quelle all'interno degli spazi dell'impianto e dei negozi. Queste prese saranno montate in superficie sulla struttura, insieme a un contenimento in acciaio zincato fissato all'edificio.

Nell'ambito della strategia dei trasporti, verranno proposti dei "punti di ricarica" per auto elettriche nei punti di parcheggio all'ingresso del servizio carrabile. Questo aspetto verrà riesaminato nella fase successiva di progettazione.

L'approvvigionamento degli impianti meccanici e delle fonti rinnovabili avverrà tramite opportuni isolatori, contenenti un dispositivo di blocco. L'installazione dei sistemi meccanici, compresi i pannelli di controllo e il cablaggio dall'isolatore, deve essere eseguita dall'appaltatore meccanico.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Per garantire flessibilità alle prese di distribuzione dell'energia, è necessario fornire una combinazione delle seguenti soluzioni:

- Cassoni a pavimento.
- Intorno ai locali perimetrali verrà installata una canalina di derivazione Cat 6a che verrà rivista e concordata con il cliente nella fase successiva di progettazione.
- Prese a parete.

Finiture	Conformità alla parte M
Fronte pubblico della casa	Come specificato dagli Interior Designer
Aree pubbliche nascoste	Plastica bianca
Aree dell'impianto	Rivestimento metallico
Cucine	Cromo opaco
Ufficio / Amministratore	Plastica bianca

Tabella 3-17 – *Finiture proposte per piccole prese di corrente.*

Area	Digitare
Spazi multifunzionali	Prese doppie Speroni fusi Isolatori a servizio di apparecchiature fisse. Cassoni da pavimento
Formazione manageriale	Prese doppie Speroni fusi Isolatori a servizio di apparecchiature fisse. Cassoni a pavimento
Mostre on-demand	Prese doppie Speroni fusi Isolatori a servizio di apparecchiature fisse. Cassoni a pavimento
Ufficio	Prese doppie Speroni fusi Cassoni a pavimento
Sala Riunioni	Prese doppie

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

	Speroni fusi Cassoni a pavimento
Capsule + Rampe	Speroni fusi Isolatori a servizio di apparecchiature fisse. Cassoni a pavimento
Corridoi / circolazione generale / Negozi / Tetto	Prese singole Prese di corrente a montaggio superficiale con grado di protezione IP65 Speroni fusi
Servizi igienici	Speroni fusi
Impianto / Impianto Switchroom e DB Armadi	Prese doppie Speroni fusi Isolatori a servizio di apparecchiature fisse.
Ristorante/bar	ALLESTIMENTO DA PARTE DI ALTRI

Tabella 3-18 – *Proposte di piccole prese di corrente.*

3.4.8.1 Posti a sedere per planetario

Tutte le apparecchiature del planetario richiedono energia elettrica per funzionare. L'area sarà dotata di box a pavimento per aree specifiche da coordinare con l'isola e gli arredi free-standing.

Gli alimentatori di piccole dimensioni comprendono doppie prese di corrente, speroni con fusibile e isolatori per servire apparecchiature fisse, ad esempio un proiettore. La maggior parte delle prese deve essere nella parte "anteriore" e "posteriore" dell'area di seduta.

3.4.9 Illuminazione

Il progetto illuminotecnico ha l'obiettivo di creare ambienti idonei all'interno di ogni spazio, distinguendo le varie aree, e illuminando efficacemente la segnaletica e i potenziali pericoli in base alle necessità.

L'impianto di illuminazione sarà progettato in conformità con lo "SLL Lighting Handbook" rilasciato dal Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE) e "Lighting Guide LG8 – Lighting for Museums and Art Galleries".

Il progetto illuminotecnico mirerà a massimizzare l'uso dell'illuminazione naturale durante le ore diurne come principale fonte di illuminazione interna del museo. L'illuminazione artificiale sarà progettata per completare ed integrare l'uso della luce naturale diurna, quando richiesto, tramite un sistema di controllo.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Il sistema è progettato per soddisfare i requisiti tecnici e sarà inoltre progettato per creare un'atmosfera di apprendimento positiva.

Gli apparecchi di illuminazione saranno selezionati in modo da ottenere un'illuminazione tale da minimizzare il contrasto e raggiunga un buon livello medio di illuminamento. Particolare attenzione sarà posta nel garantire che le pareti e i soffitti siano illuminati per migliorare l'aspetto dell'edificio.

Ove necessario, saranno utilizzati uplight e feature lighting per aumentare le prestazioni estetiche dell'edificio.

Il progetto illuminotecnico sarà tale che i corpi illuminanti selezionati utilizzeranno un numero minimo di elementi per facilitare le procedure di manutenzione.

Nella fase successiva di progettazione verrà coinvolto un lighting designer specializzato per garantire la scelta dell'illuminazione appropriata.

Area	Illuminamento (Lux)
Spazi multifunzionali	Da confermare
Formazione manageriale	500 Lux
Mostre on-demand	Da confermare
Ufficio	500 Lux
Sala Riunioni	300 - 500 Lux
Capsule + Rampe	Da confermare
Planetarium	Da confermare
Corridoi / circolazione generale / Negozi	100 – 150 Lux
Servizi igienici	200 Lux
Impianto / Impianto Switchroom e DB Armadi	200 Lux
Ristorante/bar	Allestimento da parte di altri

Tabella 3-19 - *Proposta illuminotecnica.*

3.4.9.1 Spazio Verde Interno

I principi dell'illuminazione interna saranno determinati in collaborazione con il progetto degli Architetti Paesaggistici. Ciò include l'illuminazione dello spazio pubblico per l'accesso intorno al sito, la segnaletica, l'area di circolazione intorno all'edificio, l'illuminazione sul lato inferiore delle capsule e delle rampe e il percorso verso il punto di raccolta antincendio, soddisfare i requisiti di sicurezza per le telecamere a circuito chiuso, ecc. L'illuminazione sarà fornita da schede dedicate e sarà controllata da PIR, Fotocellule e Cronometri.

3.4.10 Controllo dell'illuminazione

I principi della strategia di controllo dell'illuminazione sono i seguenti:

Saranno previsti comandi manuali per tutte le aree con comandi automatici dell'illuminazione, che si trovano presso la reception.

Il sistema di controllo dell'illuminazione sarà progettato per soddisfare i requisiti operativi di ciascuna area specifica. Si tratta di un sistema centralizzato, con apparecchi di illuminazione indirizzabili individualmente. Ogni apparecchio deve essere dotato di reattori digitali dimmerabili DALI.

Area	Controllo
Capsule	- Collegamento della luce diurna - Rilevamento di presenza (PIR) - Comando manuale su tutte le capsule.
Planetarium	- Rilevamento di presenza (PIR) - Piastra di regolazione Sence - Esclusione manuale dell'interruttore. - Consulenza specialistica
Ristorante/bar	- Collegamento della luce diurna - Rilevamento di presenza (PIR) - Esclusione manuale dell'interruttore.
Corridoi / circolazione generale / Negozi	Deve essere previsto il rilevamento della presenza con ritardo integrale; I rivelatori devono essere posizionati in modo da fornire la massima copertura.
Servizi igienici	Il rilevamento di presenza con ritardo integrato deve essere utilizzato all'interno dei servizi igienici per attivare l'illuminazione.
Locale tecnico	Interruttore manuale

Tabella 3-20 – Proposta di strategia di controllo dell'illuminazione

3.4.10.1 Spazi multifunzionali / Formazione manageriale / Mostre on-demand / Ufficio / Sale riunioni

La proposta di controllo dell'illuminazione per le aree elencate si basa sul rilevamento di fotocellule e rilevamento dell'assenza abbinato alla commutazione manuale per attenuare o accendere e spegnere l'illuminazione quando necessario. Il controllo della luce diurna attenuerà o spegnerà automaticamente l'illuminazione nelle zone con un'illuminazione diurna adeguata.

Il sistema di controllo dell'illuminazione sarà un sistema centralizzato, con corpi illuminanti indirizzabili individualmente. Ogni apparecchio deve essere dotato di reattori digitali dimmerabili DALI.

Il rilevamento delle assenze funziona tramite l'azionamento manuale dell'interruttore locale per accendere le luci, con sensori automatici per spegnere le luci quando la stanza è vuota per un periodo di tempo predeterminato.

L'intento è quello di fornire un sistema di controllo semplice e intuitivo che massimizzi l'uso della luce naturale e riduca al minimo l'uso della luce artificiale utilizzando una funzione intelligente che fornisce dimmerazione e adattamento del livello. Il livello di controllo scelto fornirà una soluzione appropriata e conveniente per i nuovi spazi in tutta la struttura.

L'interruttore di comando si trova sulla porta d'ingresso.

Il personale avrà il controllo di tutta l'illuminazione con un interruttore on/off aggiuntivo vicino al banco della reception.

L'illuminazione adiacente alla lavagna interattiva o al proiettore sarà commutata in modo indipendente dal resto dell'illuminazione in ogni spazio.

3.4.11 Illuminazione esterna

L'illuminazione esterna sarà fornita in conformità ai requisiti della norma BS 5489, CIBSE Lighting guide LG6, note orientative per la riduzione dell'inquinamento luminoso. In genere verrà fornito un valore medio di 5-10 Lux @ 0,4 Uo.

Le aree esterne degli edifici saranno illuminate utilizzando una combinazione di apparecchi di illuminazione montati su colonne ad un'altezza adeguata, apparecchi di illuminazione montati sull'edificio e apparecchi di illuminazione diffusa a basso livello per fornire un'illuminazione dell'edificio di effetto appropriata.

L'illuminazione stradale rimarrà quella esistente, anche se potrebbe essere necessario riposizionare alcune delle colonne per adattarsi alla nuova disposizione del sito all'esterno dell'edificio.

L'illuminazione esterna sarà fornita in linea con le aspirazioni estetiche dell'edificio e con l'ambiente locale.

Gli apparecchi di illuminazione saranno selezionati per resistere ai danni causati da atti vandalici e danni dolosi.

Gli impianti di illuminazione esterna saranno controllati automaticamente da fotocellula e interruttore orario e saranno coordinati per massimizzare l'efficacia dei sistemi di videosorveglianza di sicurezza impiegati.

L'impianto di illuminazione esterna utilizzerà la tecnologia di illuminazione a LED.

Il paesaggio, la progettazione delle piantumazioni e l'illuminazione esterna terranno conto della sicurezza del sito sia in termini di prevenzione dell'accesso non autorizzato, sia di nascondigli e di sicurezza del personale.

L'illuminazione esterna sarà fornita per facilitare l'orientamento e fornire ambienti sicuri per il personale e i visitatori per spostarsi all'interno dell'edificio.

Le luci funzionali saranno integrate, ove opportuno, da un'illuminazione paesaggistica per evidenziare le caratteristiche artistiche, strutturali e paesaggistiche. Questa illuminazione sarà progettata per fornire un ambiente notturno stimolante, riducendo al minimo il consumo energetico e la manutenzione.

3.4.12 Illuminazione di emergenza

L'edificio sarà dotato di un sistema di illuminazione di emergenza per soddisfare tutti i requisiti delle norme BS 5266, BS EN 1838, bollettini edilizi e regolamenti edilizi.

L'edificio deve essere conforme a questi standard per consentire l'uso fuori orario.

L'illuminazione di emergenza sarà fornita a tutte le vie di fuga definite e non definite in tutte le aree aperte specifiche dell'edificio e sarà soggetta all'approvazione del controllo dell'edificio e dei Vigili del Fuoco locali.

Le luci di emergenza saranno gestite da un sistema di batterie centrali.

Sarà inoltre prevista l'illuminazione di emergenza di sicurezza nelle aree a rischio.

Ove richiesto, saranno previsti segnali di uscita luminosi mantenuti.

Verrà fornita una struttura di base per testare gli interruttori a chiave che richiederà un maggiore input da parte dell'utente dell'edificio per mantenere il sistema di illuminazione di emergenza dell'edificio in conformità con BS 5266.

3.4.13 Sistema di diffusione sonora

Il sistema PA coprirà tutte le aree della struttura e comprenderà:

- Possibilità di trasmettere musica, radio e annunci preimpostati
- Possibilità di fornire annunci preregistrati in inglese e italiano.

Zona	Area	Note
1	Spazi di circolazione, compresi i servizi igienici.	
2	Uffici	
3	Spazi per eventi	Controlli del volume
4	Esterno	

Tabella 3-21 - Zonizzazione PA

Il sistema di diffusione sonora è in genere costituito dai seguenti componenti:

Un rack di amplificatori da pavimento, formato standard da 19", sarà installato come un'unità completamente cablata, assemblata, testata e ingegnerizzata in fabbrica. Tutti gli amplificatori di potenza saranno completamente protetti elettronicamente contro le condizioni di sovraccarico e cortocircuito.

Il sistema di comunicazione sonora proposto fornirà una comunicazione al pubblico autonoma con microfono cercapersone 1No.Paging e un lettore CD/MPEG3 multicanale e/o un sintonizzatore DAB per trasmettere musica.

Il sistema sarà caratterizzato da 4 zone, ognuna con un singolo circuito di altoparlanti. Ogni zona è configurata in modo da poter essere chiamata o indirizzata insieme o separatamente da qualsiasi altra zona o combinazione di zone.

Il sistema PA e le zone devono essere confermati con uno specialista e il cliente nella fase successiva di progettazione.

3.4.14 Altoparlanti

Gli altoparlanti montati a soffitto e a parete saranno collegati in parallelo e in fase, cioè con le stesse connessioni, in ogni circuito e ogni altoparlante verrà sfruttato per il wattaggio appropriato per generare la corretta udibilità.

Gli altoparlanti devono essere confermati con uno specialista audio e il cliente nella fase successiva di progettazione.

3.4.15 Controllo del volume

I controlli del volume devono essere forniti per gli spazi chiave e dotati di un controller montato a parete per adattarsi a una scatola posteriore standard a banda singola.

L'installazione del sistema sarà conforme alla norma BS 6259 e sarà collegata all'allarme antincendio.

Gli altoparlanti devono essere confermati con uno specialista audio e il cliente nella fase successiva di progettazione.

3.4.16 Sistema di allarme antincendio

Lo specialista antincendio deve essere coinvolto nella fase di progettazione successiva.

All'interno dell'edificio sarà previsto un sistema di allarme antincendio analogico indirizzabile, collegato a una stazione di monitoraggio centrale. Il sistema includerà pannelli indicatori di controllo dell'allarme antincendio strategicamente posizionati e indicatori di allarme visivi, ove necessario. Il pannello principale sarà posizionato adiacente al punto di ingresso principale dell'edificio.

Il sistema sarà conforme alla norma BS 5839 per la categoria L1 e sarà confermato in conformità con la strategia antincendio concordata per l'edificio nella prossima fase di progettazione.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Si prevede la realizzazione di un sistema di irrigazione.

Verrà effettuata una consultazione completa con il controllo edilizio locale e l'ufficiale dei vigili del fuoco al fine di fornire una soluzione antincendio completa per questo edificio.

Devono essere previsti indicatori visivi di allarme antincendio per avvisare gli occupanti con disabilità sensoriali di una situazione di allarme. I dispositivi di allarme visivo saranno conformi alla norma EN 54 -23 e saranno posizionati nelle seguenti aree dell'edificio:

- Servizi igienici per disabili e accessibili
- Spogliatoi
- Accesso pubblico
- Circolazione

Il sistema di allarme antincendio sarà dotato di un generatore di riserva dimensionato per il mantenimento del sistema.

I dispositivi di blocco della porta aperta saranno installati su tutte le porte trasversali del corridoio, con funzione di esclusione azionata a chiave adiacente a ciascuna porta.

Il cablaggio utilizzerà cavi resistenti al fuoco di tipo standard.

Il sistema include un collegamento ad un sistema di monitoraggio.



Figura 3-21: Esempio di pannello di allarme antincendio



Figura 3-22: Esempio di sistema di rivelazione incendio.

3.4.17 TIC/Comunicazioni

Il museo sarà dotato di un'infrastruttura ICT di cablaggio strutturato, utilizzando una rete di cablaggio di categoria 6A che copre tutte le aree dell'edificio per soddisfare le esigenze del consulente ICT.

Una serie di linee telefoniche analogiche, GSM e rosse saranno fornite ai seguenti servizi:

- Sistema di allarme antincendio
- Ascensori per passeggeri e antincendio
- Pannelli di sicurezza
- BMS

Il numero esatto di linee necessarie per ciascun servizio deve essere determinato durante la fase di progettazione successiva.

È consentita una rete di cestelli per cavi per il cablaggio alle prese IT al piano, ai punti di telefonia e alla fornitura di Wi-Fi.

Le aree generali, tra cui le lobby d'ingresso, le aree di passaggio, gli uffici e l'auditorium, saranno dotate di servizi Wi-Fi secondo le specifiche standard.

Ai pannelli di permutazione verrà fornita una capacità di riserva del 25% per consentire futuri ampliamenti.

3.4.17.1 Rete wireless (punti di accesso wireless)

Verrà installato un sistema di rete wireless per fornire una copertura completa dell'edificio all'interno e alle aree chiave all'esterno. Le unità di accesso wireless saranno dimensionate in modo da prendere in considerazione la copertura e il numero totale di utenti previsti all'interno dell'area di copertura.

Lo specialista ICT specificherà le unità di accesso alla rete wireless e queste funzioneranno tipicamente utilizzando la tecnologia Power over Ethernet, fornendo la flessibilità di consentire, tramite patching, l'utilizzo di qualsiasi presa dati disponibile per la connessione di unità di accesso wireless, senza la necessità di prese di alimentazione adiacenti. Sarà necessario prendere in considerazione il numero di WAPS negli spazi didattici, ecc., in relazione alla larghezza di banda disponibile e la saturazione dei dispositivi.

3.4.17.2 Schermi interattivi ICT, schermi, chioschi e mostre.

I requisiti infrastrutturali per i display, gli schermi e i proiettori interattivi saranno confermati nella fase di progettazione successiva.

La selezione finale degli schermi, ecc. sarà effettuata dopo la gara d'appalto dal team di specialisti ICT / allestimenti del cliente e quindi questi saranno forniti dal cliente e fissati dall'appaltatore principale.

L'ubicazione finale e la posizione delle lavagne, dei display, degli schermi, dei chioschi e dei proiettori saranno coordinati con queste e tutte le altre esigenze in collaborazione con il cliente durante la fase successiva di progettazione.

3.4.18 Sistema di sicurezza

Data la natura predominante dell'edificio museale, verrà implementato un sistema di controllo degli accessi completamente programmabile per garantire l'adozione di misure di sicurezza sia per il personale che per il pubblico, limitando l'accesso al personale autorizzato nelle aree designate.

I dettagli specifici e l'estensione di questo sistema saranno determinati nella prossima fase di progettazione dallo specialista della sicurezza nominato. Si prevede che le porte di controllo degli accessi saranno dotate di serrature magnetiche e dispositivi di prossimità per consentire agli utenti autorizzati di passare liberamente utilizzando lettori di prossimità. Inoltre, saranno messe in atto misure per il controllo degli ascensori per l'utilizzo dei pass per il personale indicati nella sezione Controllo accessi.

Inoltre, le porte saranno dotate di vetri per la rottura di emergenza e interruttori di uscita, con funzionalità di monitoraggio degli avvisi di apertura e riconoscimento delle aperture forzate. Questi sistemi possono anche essere integrati con il Building Energy Management System (BEMS).

Le disposizioni all'interno dell'edificio saranno soggette al brief finale e ai requisiti operativi e saranno quelle specificate dallo specialista della sicurezza nominato.

3.4.18.1 CCTV

Il sistema di telecamere a circuito chiuso farà parte del sistema di rete comune e sarà in grado di funzionare attraverso l'infrastruttura di rete ICT, ad esempio le telecamere IP, con l'alimentazione distribuita alle telecamere interne/fisse utilizzando il cablaggio Cat 6A e gli switch POE (Power over Ethernet) eliminando la necessità di prese di corrente aggiuntive presso le telecamere fisse.

Le telecamere esterne richiederanno tuttavia prese di corrente aggiuntive per fornire le funzionalità aggiuntive di questi dispositivi. Deve essere fornita una rete di condotti alle telecamere a circuito chiuso remote per facilitare il cablaggio dell'alimentazione e dei dati. Verrà fornito un sistema completo di telecamere a circuito chiuso (CCTV) a colori, attivo 24 ore su 24, 365 giorni all'anno, per coprire gli spazi interni.

Le telecamere a circuito chiuso saranno specificamente fornite per coprire le seguenti aree e saranno confermate nella prossima fase di progettazione:

- Accesso veicolare principale e barriere
- Ingresso principale ed ingressi secondari

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

- Perimetro esterno dell'edificio
- Area reception
- Vie di circolazione
- Aree con attrezzature specializzate
- Armadietti ICT e casseforti per laptop.
- Critical Stores – ovvero negozio high-tech.

Tutte le riprese delle telecamere a circuito chiuso saranno registrate e salvate secondo le modalità concordate con l'utente finale.

Saranno installati sistemi di telecamere a circuito chiuso per scoraggiare il crimine e il vandalismo intorno alla struttura.

Il sistema di videosorveglianza deve essere collegato al sistema di allarme antintrusione, di controllo degli accessi e di rivelazione incendi tramite contatti privi di tensione per monitorare aree specifiche se è stato attivato un allarme, ad esempio l'immagine della telecamera della porta i cui sensori saranno attivati per avere la priorità.

Anche le proprietà locali devono essere prese in considerazione durante l'installazione delle telecamere a circuito chiuso esterne, per garantire che la privacy sia mantenuta in ogni momento.

Le telecamere saranno resistenti agli atti vandalici e progettate per funzionare sia di giorno che di notte.



Figura 3-23: Telecamera a circuito chiuso

3.4.18.2 Sistema di controllo accessi

Il consulente per la sicurezza dovrà confrontarsi con il cliente per progettare e sviluppare il sistema di controllo accessi per le aree.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

Si propone di utilizzare la tecnologia della tessera di prossimità che si basa su un sistema Mi-fare Classic in cui i dati sono memorizzati all'interno della carta:

- Privilegi di controllo degli accessi
- Mostrine elettroniche off-line a cui si accedeva in precedenza
- Distributori automatici senza contanti
- Prestito di libri della biblioteca

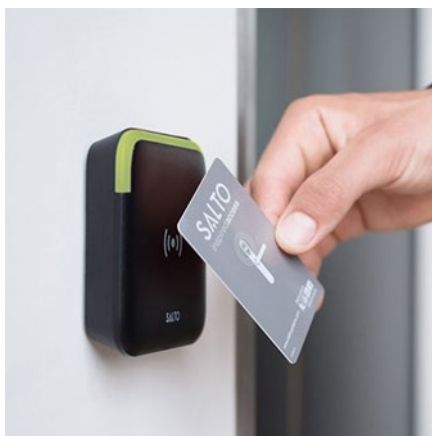


Figura 3-24: Lettore di prossimità per auto

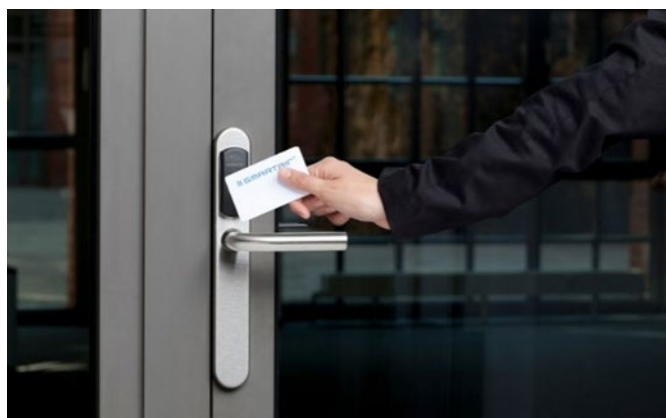


Figura 3-25: Lettore per serrature.

3.4.18.3 Loop di induzione/udito

I sistemi di induzione ad audiofrequenza saranno forniti alle aree confermate dal cliente nella fase successiva di progettazione in conformità con BS 7594:1993.

All'interno dell'edificio saranno forniti sistemi portatili ad induzione ad audiofrequenza per "aree varie come richiesto" e conservati alla reception.

3.4.19 Allarmi disabilitati

3.4.19.1 Allarme WC per disabili

I sistemi di allarme per i servizi igienici per disabili devono essere installati su ogni bagno per disabili all'interno dell'edificio. Quando attivati, questi forniscono un segnale all'area amministrativa all'interno della struttura, oltre a fornire un allarme locale a ciascuna stanza.

3.4.19.2 Allarme Rifugio Disabili

Al fine di favorire l'evacuazione ordinata ed efficiente dell'edificio in caso di incendio, sarà previsto un sistema di interfono bidirezionale tra l'ingresso/reception principale (stazione di chiamata principale) e i punti di raccolta per disabili designati.

Il sistema di interfono deve aiutare a evitare ansia e confusione alle persone disabili in ciascuna delle sedi di raccolta in attesa dell'evacuazione da parte dei vigili del fuoco.

L'interfono deve fornire all'ufficiale dei vigili del fuoco la possibilità di identificare il numero di persone disabili attualmente in attesa di evacuazione, la natura delle loro disabilità e l'ubicazione delle aree di rifugio in cui si trovano.

3.4.20 Protezione contro i fulmini / Protezione contro le sovratensioni

I sistemi di protezione contro i fulmini, conformi alle raccomandazioni della norma BS EN 62305, saranno forniti per coprire gli edifici in caso di fulmini. Il livello di protezione sarà determinato dai calcoli dell'analisi dei rischi di protezione contro i fulmini, che saranno effettuati dallo specialista di protezione contro i fulmini alle dipendenze del Cliente.

Generalmente, il sistema incorporerà la rete di terminazione dell'aria, i conduttori verso il basso ed i dispersori di terra. Ove possibile, gli elementi strutturali dell'edificio saranno utilizzati per formare la rete di protezione. Ciò includerà in genere qualsiasi struttura metallica per il tetto e rinforzo nelle colonne.

I pali di fondazione dovranno essere utilizzati come terminali di terra, con punti di prova appropriati come richiesto.

La soppressione delle sovratensioni deve essere fornita al quadro elettrico in entrata, alle linee telefoniche e alle apparecchiature situate all'interno della LPZ 0B, ai dispositivi di protezione che alimentano le apparecchiature di sicurezza situate > 10 metri dal quadro elettrico principale e dai quadri di distribuzione.

Il sistema di protezione contro i fulmini sarà collegato al punto di terminazione di terra principale dell'edificio. I componenti metallici esterni devono essere collegati al sistema.

3.5 Servizi Sanitari Pubblici

3.5.1 Servizi di acqua fredda

3.5.1.1 Edificio principale

L'acqua fredda per uso domestico a servizio dell'edificio principale deve provenire dall'infrastruttura di pubblica utilità locale. Nell'edificio deve essere previsto un collegamento misurato per servire un serbatoio di stoccaggio dell'acqua fredda dedicato. Questo serbatoio deve a sua volta alimentare un gruppo di pompe booster per garantire che un'adeguata pressione dell'acqua sia costantemente mantenuta in tutto l'edificio.

Le tubazioni isolate devono trasmettere il servizio di acqua fredda potenziato (BCWS) attraverso l'edificio, collegandosi a tutte le prese come WC, lavabi, lavandini, ecc.

Si propone che tutti gli spazi serviti dal BCWS siano dotati di sensori di presenza collegati ad elettrovalvole sul ramo a servizio dello spazio. Ciò consentirà di chiudere automaticamente l'acqua quando uno spazio non è occupato, mitigando il rischio di perdite o fastidi.

Si propone di utilizzare rubinetti dell'acqua efficienti con aeratori, servizi igienici efficienti con scarico e orinatoi senz'acqua al fine di risparmiare l'uso dell'acqua.

Inoltre, si propone di fornire un sistema di raccolta dell'acqua piovana che catturi l'acqua piovana e immagazzini l'acqua all'interno dei bacini idrici per servire lo sviluppo. Questo sistema deve essere utilizzato per l'irrigazione interna delle piante, il risciacquo dell'armadio e dell'orinatoio. Inoltre, i sistemi di irrigazione delle piante devono essere dotati di sensori per le condizioni microclimatiche per garantire che le piante ricevano solo la quantità di acqua di cui hanno bisogno.

Durante la fase iniziale di progettazione deve essere effettuata una valutazione della qualità dell'acqua dell'infrastruttura locale per determinare se sarà necessario un addolcimento dell'acqua. Se i risultati dell'indagine stabiliscono che è necessario l'addolcimento dell'acqua, il progetto deve essere adattato per incorporare l'impianto di addolcimento nella fase di progettazione successiva.

3.5.1.2 Spazi commerciali 'Shell e Core'

Si prevede che siano previsti allacciamenti separati e individuali misurati agli spazi commerciali Shell e Core all'interno dell'edificio per consentire una fatturazione separata per i locatari. Si prevede che questi collegamenti misurati saranno installati all'interno di un tratto di tubazioni entro un metro dalla chiusura di Shell and Core, dove le tubazioni saranno dotate di una valvola di isolamento, impostata in posizione chiusa al completamento dei lavori principali e tappata per un futuro ampliamento da parte dell'inquilino. Le ipotesi attuali prevedono che gli spazi bar/ristorante siano dotati di un allaccio a contatore a servizio sia

del Piano Terra che del Piano Mezzanino e di un allaccio a contatore a servizio del Bookshop.

3.5.2 Servizi di acqua calda

3.5.2.1 Edificio principale

Nell'ambito dei lavori principali, attualmente è prevista la fornitura di acqua calda solo ai servizi igienici in tutto l'edificio. L'acqua calda sanitaria (ACS) è prevista per essere generata da sistemi di riscaldamento bivalenti a due stadi a zone composti da recupero di calore, scaldacqua di preriscaldamento e scaldacqua elettrici di rabbocco/back-up.

Gli scaldacqua di preriscaldamento a recupero di calore incorporeranno una serpentina evaporatore ASHP nel flusso d'aria di estrazione delle UTA che servono le aree generali dell'edificio principale. Questa batteria consentirà di recuperare il calore di scarto dal flusso d'aria di estrazione, catturando l'energia termica e utilizzandola per fornire riscaldamento gratuito per l'ACS. L'acqua calda sanitaria preriscaldata verrà passata dal recupero di calore, dagli scaldacqua preriscaldati agli scaldacqua elettrici di rabbocco. Durante i periodi di mancato o basso funzionamento delle UTA, riducendo le quantità di energia termica nel flusso dell'aria di estrazione, questi scaldacqua di rabbocco utilizzeranno serpentine di riscaldamento elettrico per garantire che la temperatura di mandata dell'acqua calda sanitaria sia aumentata di 65°C per la distribuzione in tutto l'edificio.

Le tubazioni coibentate distribuiranno il flusso di acqua calda sanitaria verticalmente attraverso le colonne montanti dei servizi e orizzontalmente verso i punti di utilizzo.

Si propone un circuito di ritorno dell'acqua calda sanitaria per garantire il mantenimento del flusso di acqua calda sanitaria e quindi non lasciare ristagnare l'acqua, riducendo al minimo i ritardi dell'arrivo dell'acqua calda nei punti di utilizzo. Le tubazioni di mandata dell'acqua calda sanitaria che vanno oltre il collegamento del circuito di ritorno dell'acqua calda sanitaria devono essere dotate di nastro elettrico di mantenimento della temperatura per garantire il mantenimento della temperatura dell'acqua.

Si propone che tutti gli spazi serviti dall'ACS siano dotati di sensori di presenza collegati ad elettrovalvole sul ramo a servizio dello spazio. Ciò consentirà di chiudere automaticamente l'acqua quando uno spazio non è occupato, mitigando il rischio di perdite o fastidi.

Si propone che tutti gli angoli cottura e i punti di preparazione siano dotati di scaldacqua elettrici locali installati a basso livello all'interno delle unità di falegnameria.

3.6 Opportunità di progettazione e prossimi passi

I seguenti elementi devono essere confermati nella fase successiva:

- Integrazione delle reti di sottoservizi esistenti.

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RT_001 – RELAZIONE TECNICA

- Schede tecniche per ogni spazio identificando il numero esatto di occupanti, le temperature interne di progetto, le portate di ventilazione, l'elenco delle apparecchiature da utilizzare, gli accessori elettrici, ecc.
- Integrazione dei lucernari nell'involucro.
- Modellazione CFD per ottimizzare le dimensioni delle aperture in copertura e le lamelle a servizio della ventilazione in modalità mista agli spazi interni.
- Approfondimento della progettazione illuminotecnica ed acustica.
- Conferma del numero di punti di ricarica per veicoli elettrici.
- Definizione/conferma della strategia di sicurezza dell'edificio.
- Finalizzazione del posizionamento dei locali tecnici.
- Conferma delle dimensioni e posizione dei montanti.
- Conferma e coordinamento dei requisiti degli impianti per Ristorante e Bookshop.
- Definizione delle finiture per gli accessori elettrici e delle tipologie dei corpi illuminanti.

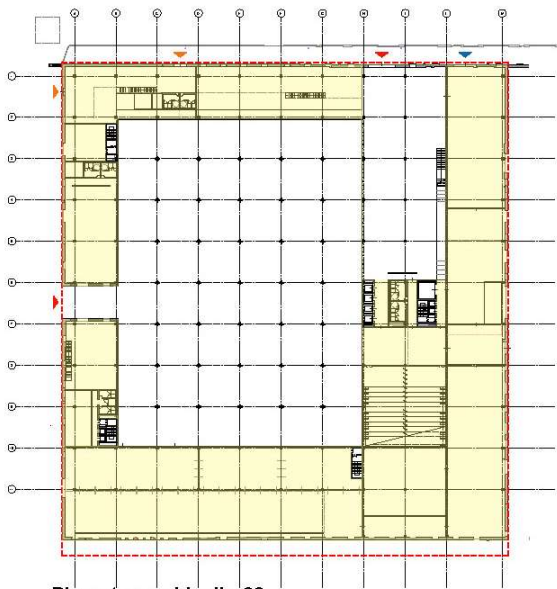
SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RG_001 - RELAZIONE TECNICA

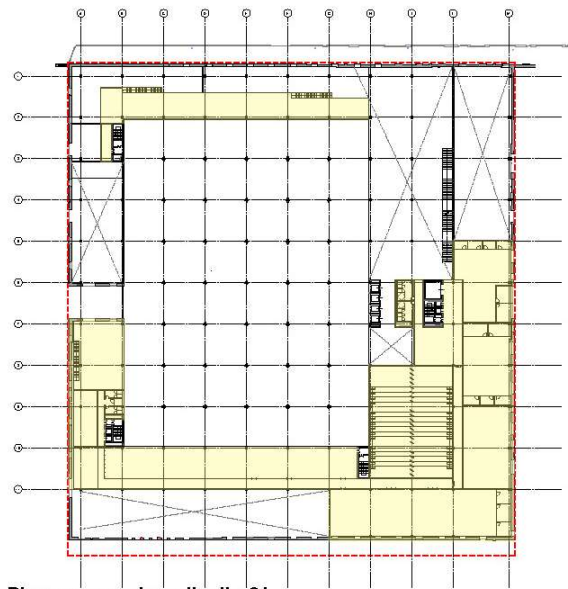
4 Tabella di Calcolo Superfici

1. CALCOLO DELLA SUL

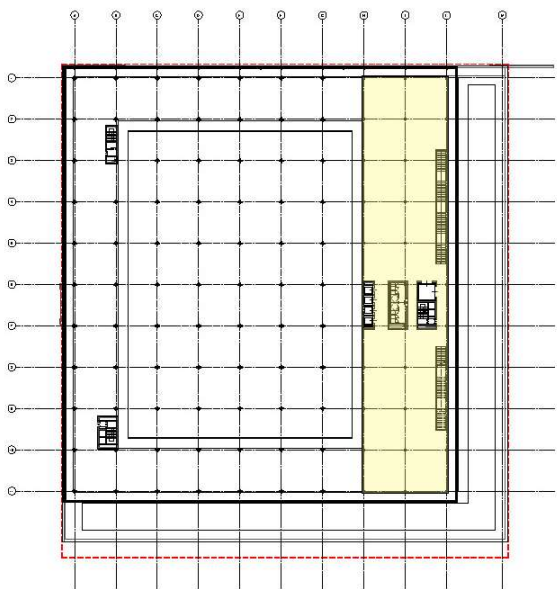
Piano	SUL - mq
Piano terra - Livello 00	6345,496
Piano mezzanino - Livello 01	4168,496
Livello 02	2020
Livello 03	4549,5
tot.	17083,492



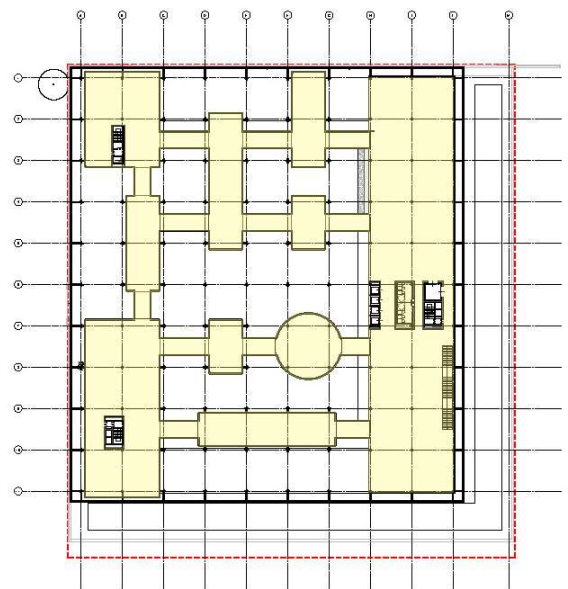
Piano terra - Livello 00



Piano mezzanino - livello 01



livello 02



livello 03

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RG_001 – RELAZIONE TECNICA

1.1 CALCOLO DELLE SUPERFICI PER LIVELLO E FUNZIONE

Piano	Funzione	Superficie - mq
Piano terra Livello 00	Foyer guardaroba e biglietteria	1205
	Auditorium	575
	Esposizione on Demand	1540
	Educazione and management	200
	Spazi polifunzionali	332
	Bar-ristorante	400
	Bookshop	410
	Locali tecnici e di controllo	540
	Deposito	1080
	Ingresso carrabile e area di carico e scarico	465
	Servizi igienici	153
	Connettivo orizzontale	290
	* Corte verde	4780
Piano mezzanino Livello 01	Uffici mostre	220
	Uffici	220
	Centro di documentazione	226
	Ricerca	494
	Biblioteca	510
	Educazione and management	200
	Bar -ristorante	383
	Servizi igienici	85
	Connettivo orizzontale	490
Livello 02	Esibizione temporanea	1615
	Esibizione temporanea in serra	2235
	Servizi igienici	55
	Connettivo orizzontale	155
Livello 03	Esposizione permanente	4730
	Servizi igienici	55
	Connettivo orizzontale	208
tot.		19071

note

* esclusa dal calcolo la corte verde

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RG_001 – RELAZIONE TECNICA

1.2 TABELLA RIASSUNTIVA

Funzione	SDP -Superfici - mq
Aree per il pubblico	
Foyer	1105
Biglietteria e guardaroba	100
Bookshop	410
Auditorium	575
Bar - Ristorante	783
Biblioteca	510
tot.	3483
Aree per l'esposizione	
Esposizione temporanee	3850
Esposizione permanente	4730
Esposizione on demand	1540
tot.	10120
Aree per la ricerca	
Studi documentazione	226
Spazi per la ricerca	494
Educazione public management	400
tot.	1120
Aree di servizio	
Uffici	220
Uffici mostre	220
Servizi igienici	348
Deposito	1080
Locali tecnici e di controllo	540
Spazi polifunzionali	332
tot.	2740
Connettivo orizzontale e verticale	1418

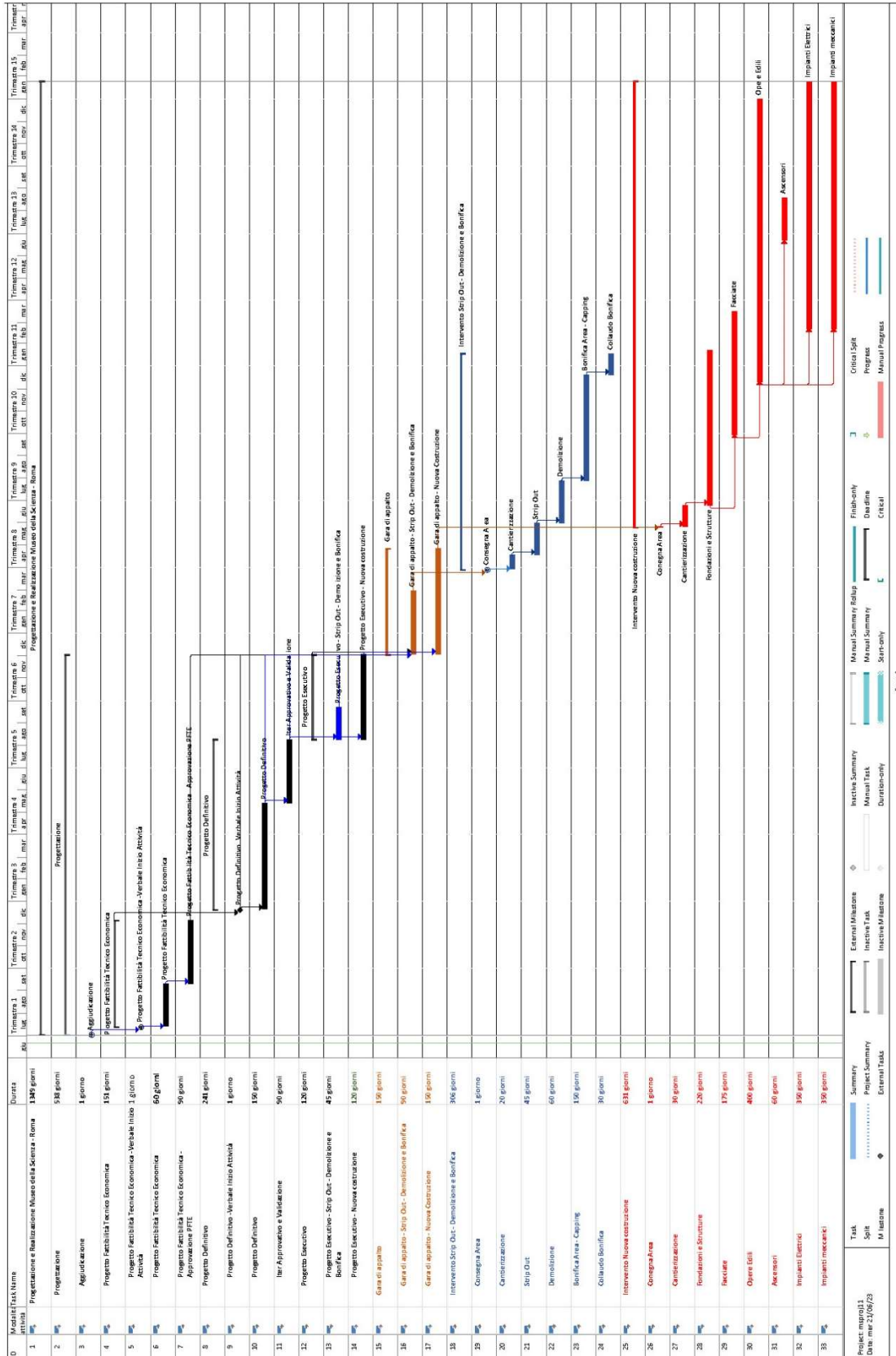
note

** esclusa dal calcolo la corte verde*

SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

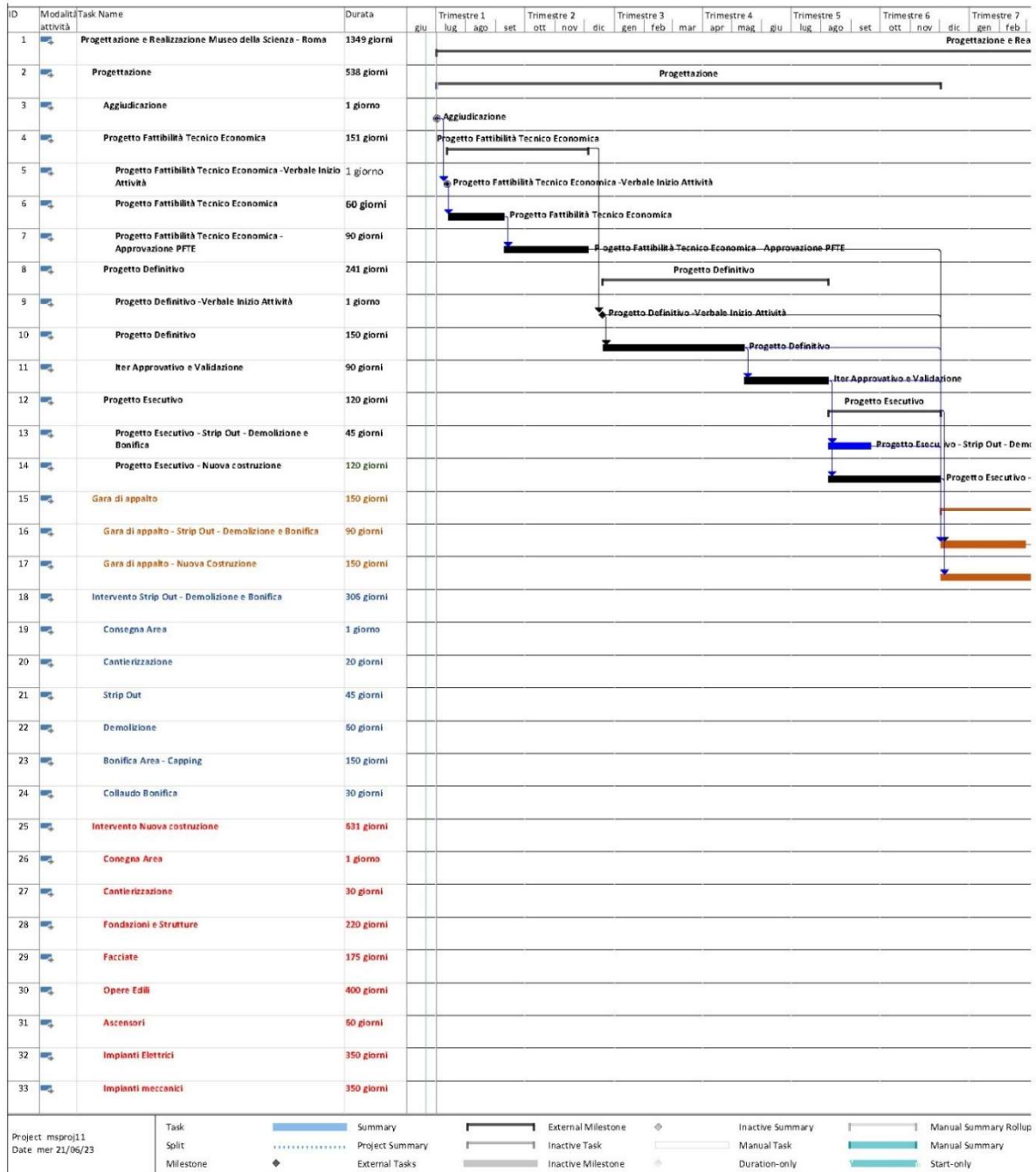
PFFE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RG_001 – RELAZIONE TECNICA

5 Cronoprogramma



SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
0006_F_0.0.02_AR_RG_001 – RELAZIONE TECNICA



SCIENCE FOREST - MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

PFTE - PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
 0006_F_0.0.02_AR_RG_001 – RELAZIONE TECNICA

