

Esame di stato di istruzione secondaria superiore

Indirizzo: ITCL - Costruzioni, Ambiente e Territorio

Opzione tecnologie del legno nelle costruzioni

Sessione Ordinaria 2019



Il candidato svolga la prima parte della prova e risponda a due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

PRIMA PARTE

Un lotto di proprietà privata è situato in un contesto particolarmente suggestivo, lontano da inquinamento luminoso e nei pressi di un osservatorio astronomico. Nel sito insiste un manufatto a destinazione abitativa ad un piano fuori terra, in pessimo stato di conservazione, con superficie lorda di circa 300 m². (È data facoltà al candidato di ampliare la superficie in funzione della soluzione distributiva adottata e in relazione a considerazioni opportune).

Il proprietario, un astrofisico, intende trasformare il suo sito in una sorta di “**giardino delle stelle**” creando un polo di attrazione turistica per gli appassionati di astronomia. Attraverso una ristrutturazione edilizia totale (demolizione e ricostruzione), desidera realizzare una struttura turistico-ricettiva (in particolare un **Bed & Breakfast**) che offra possibilità di avvicinare anche i non esperti all’astronomia.

L’idea-progetto è quella di favorire - ad esempio tramite finestre installate sul tetto o poste in combinazione sia sul tetto che in verticale - la contemplazione della volta celeste. Ampie vetrate dovranno essere previste anche nella sala comune per consentire alla struttura di dialogare con il paesaggio circostante.

L’edificio dovrà essere realizzato **in legno con sistema costruttivo a scelta del candidato**. Le scelte progettuali dovranno essere coerenti con gli indirizzi dell’architettura bioclimatica e del risparmio energetico.

Gli spazi da prevedere sono¹:

• Ingresso/Reception

(L’ingresso può fungere anche da reception ed essere utilizzato come zona filtro tra la camera del titolare e l’ambiente comune degli ospiti).

• Camera del titolare con bagno

(Il soggetto titolare dell’attività di B&B, ha l’obbligo di residenza e di domicilio nella struttura e deve riservarsi una camera da letto con bagno all’interno della stessa).

• Sala comune (superficie minima: 14 m²) in cui è prevista una cucina per la somministrazione della prima colazione

(Il B&B deve assicurare uno spazio condiviso in cui consumare la colazione ma non è richiesta una vera e propria “sala colazioni”, bensì uno spazio in cui gli ospiti possano avere accesso alle bevande e agli alimenti).

• N° 3 camere per un totale di 6÷8 posti letto

(Requisiti dimensionali minimi previsti dalle norme per le camere: camera da letto singola: 8 m²; camera da letto doppia: 14 m²; camera da letto da più posti: + 6 m² per ogni posto letto in più rispetto alla camera

¹ Nota: Per le superfici minime si è fatto riferimento alla normativa della Regione Lazio per le strutture ricettive extralberghiere: Regolamento regionale n. 14 del 16 giugno 2017. Il candidato è libero di assumere i limiti normativi imposti dalla propria Regione.

doppia; camera da letto con 1 posto letto in più a castello: + 1 m² o + 3 m³ rispetto alle camere precedentemente elencate. Le dimensioni minime delle camere da letto sono al netto del bagno).

• **N° 1 bagno per ogni camera**

(Superficie minima del bagno ad uso esclusivo di una camera: 3 m²).

Il candidato fissi a suo giudizio ogni altro dato da lui ritenuto necessario oppure utile per la redazione del progetto. (estensione del lotto con relativa conformazione, orientamento, eventuale dislivello, indice di edificabilità, tipo di copertura, etc).

Il candidato illustri la propria proposta progettuale con la planimetria (completa di inserimento nel lotto dell'edificio, sistemazione esterna e accessi), piante del piano terra e della copertura, una sezione significativa, un prospetto, e il particolare costruttivo dell'attacco parete verticale esterna-fondazione, ricorrendo alle scale di rappresentazione che riterrà più opportune. Gli elaborati dovranno comunque essere tali da consentire di leggere con chiarezza impianto distributivo e schema strutturale.

Il candidato, inoltre, predisponga una breve relazione tecnica che contenga:

- i criteri assunti per l'impostazione strutturale del progetto;
- le motivazioni delle soluzioni tecnologiche adottate;
- il calcolo, anche parziale, della dispersione termica dell'involucro edilizio.

Il candidato ha facoltà di integrare la propria soluzione progettuale con una indicazione schematica degli arredi a dimostrazione del dimensionamento funzionale-distributivo.

SECONDA PARTE

Dovranno essere sviluppati due dei seguenti quesiti, eventualmente avvalendosi delle conoscenze e competenze maturate attraverso le esperienze formative extrascolastiche, qualora effettuate:

- 1) Con riferimento alla soluzione progettuale proposta, il candidato illustri la **tipologia di copertura adottata e proceda all'analisi dei carichi con eventuale calcolo degli elementi portanti.**
- 2) Il candidato illustri le **relazioni tra le procedure edilizie e gli strumenti urbanistici nell'iter progettuale.**
- 3) Il candidato illustri **soluzioni tecnologiche alternative per le chiusure orizzontali degli edifici** (di copertura, intermedie e di base), **con riferimento** anche alle normative sulle **questioni energetiche.**
- 4) Il candidato illustri il **comportamento al fuoco delle strutture in legno** analizzando i criteri di progettazione comunemente usati per garantire adeguati livelli di sicurezza. Il candidato fornisca anche indicazioni sulle procedure per il calcolo della **resistenza al fuoco delle strutture lignee.**

Durata massima della prova: 8 ore.

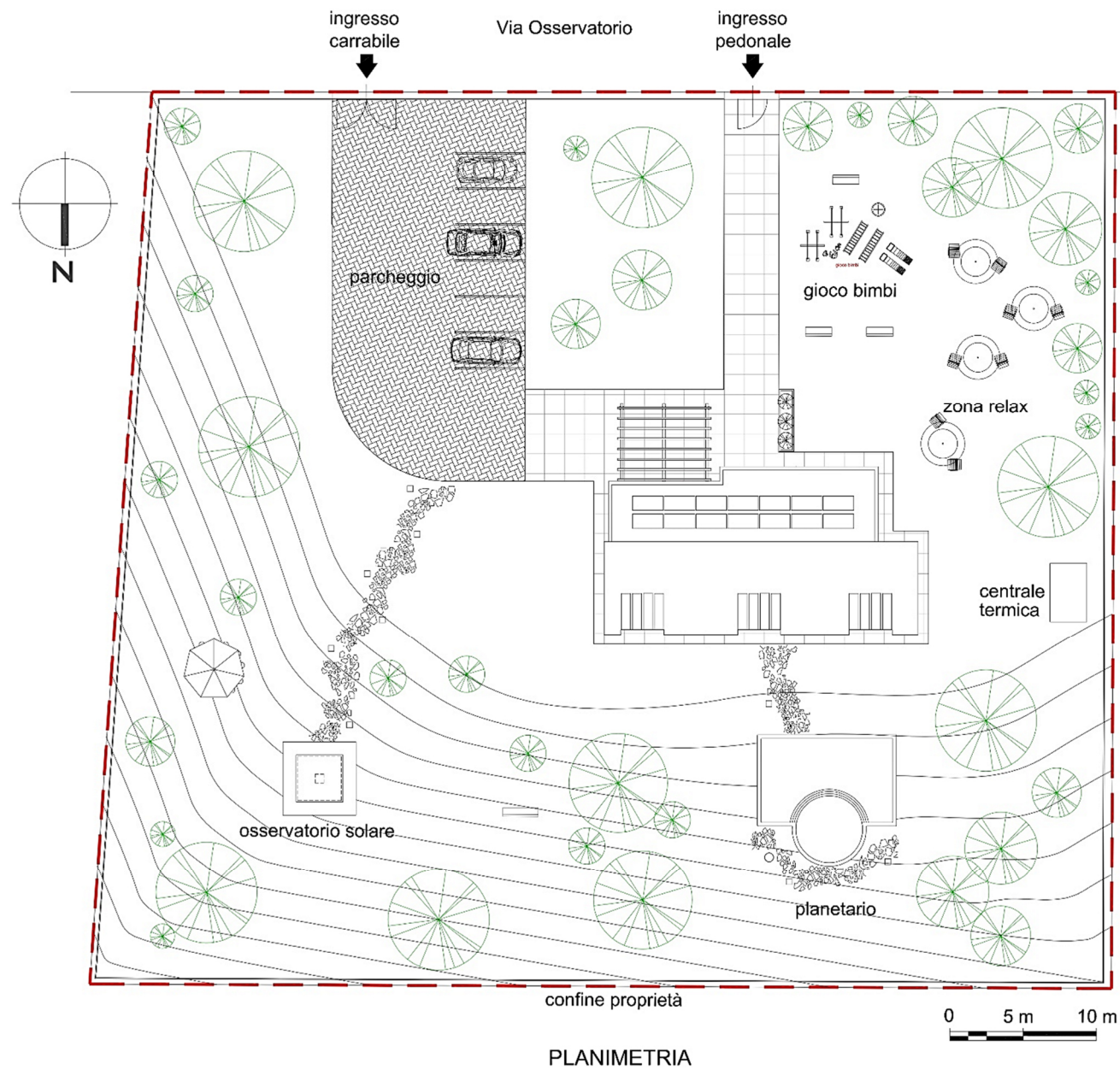
L'elaborato scritto-grafico potrà essere redatto a mano libera, con l'ausilio di righe e squadre, oppure con l'ausilio del CAD (o programmi di grafica computerizzata equivalenti), ma comunque eseguito in scala.

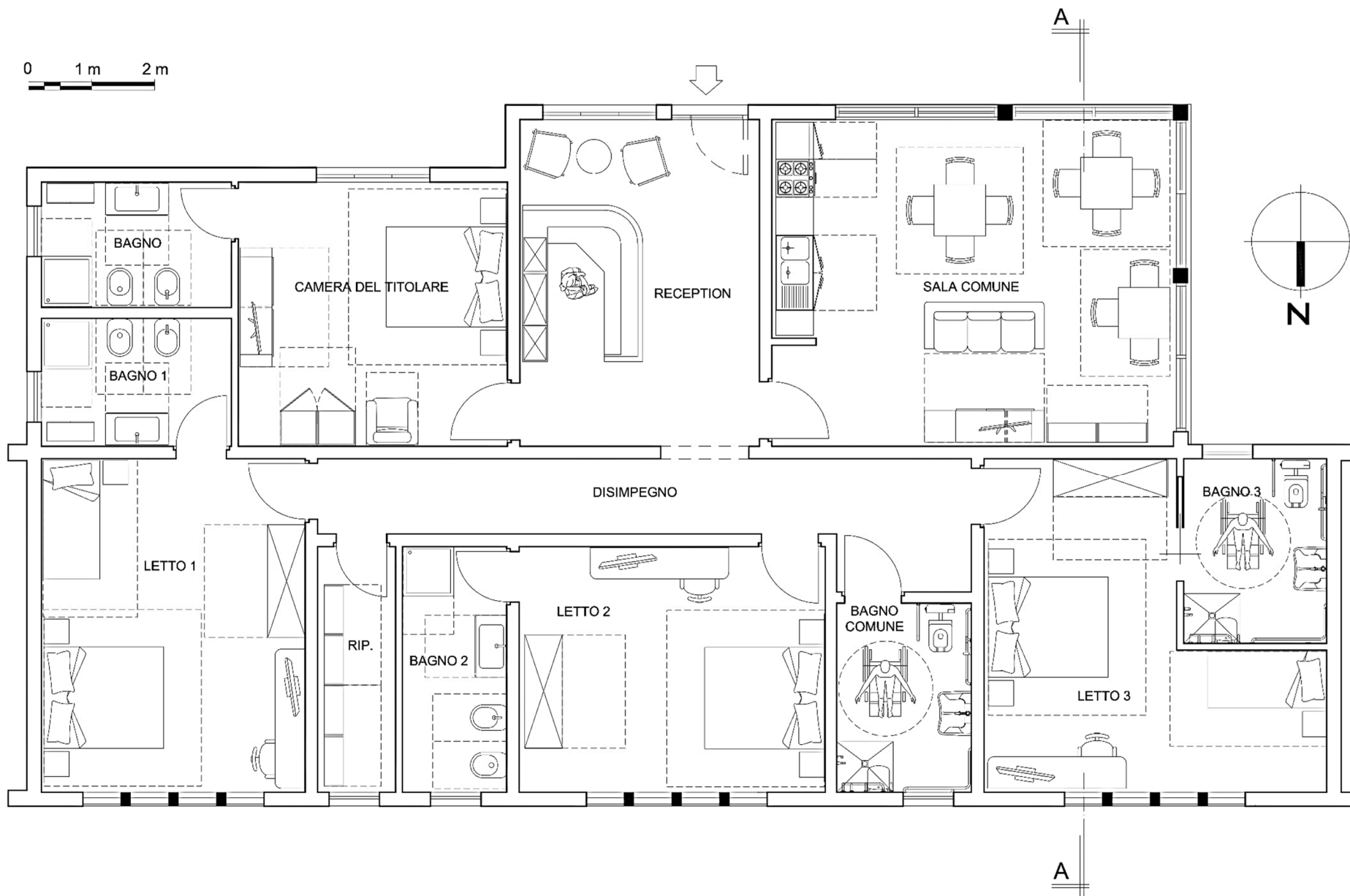
È consentito anche l'utilizzo di software parametrici purché sia inibito l'impiego di eventuali librerie di "pacchetti" già predisposti per i particolari costruttivi.

È consentito l'uso del manuale del geometra, di manuali tecnici, prontuari e di calcolatrici scientifiche e/o grafiche purché non siano dotate di capacità di calcolo simbolico (O.M. n. 205 Art. 17 comma 9).

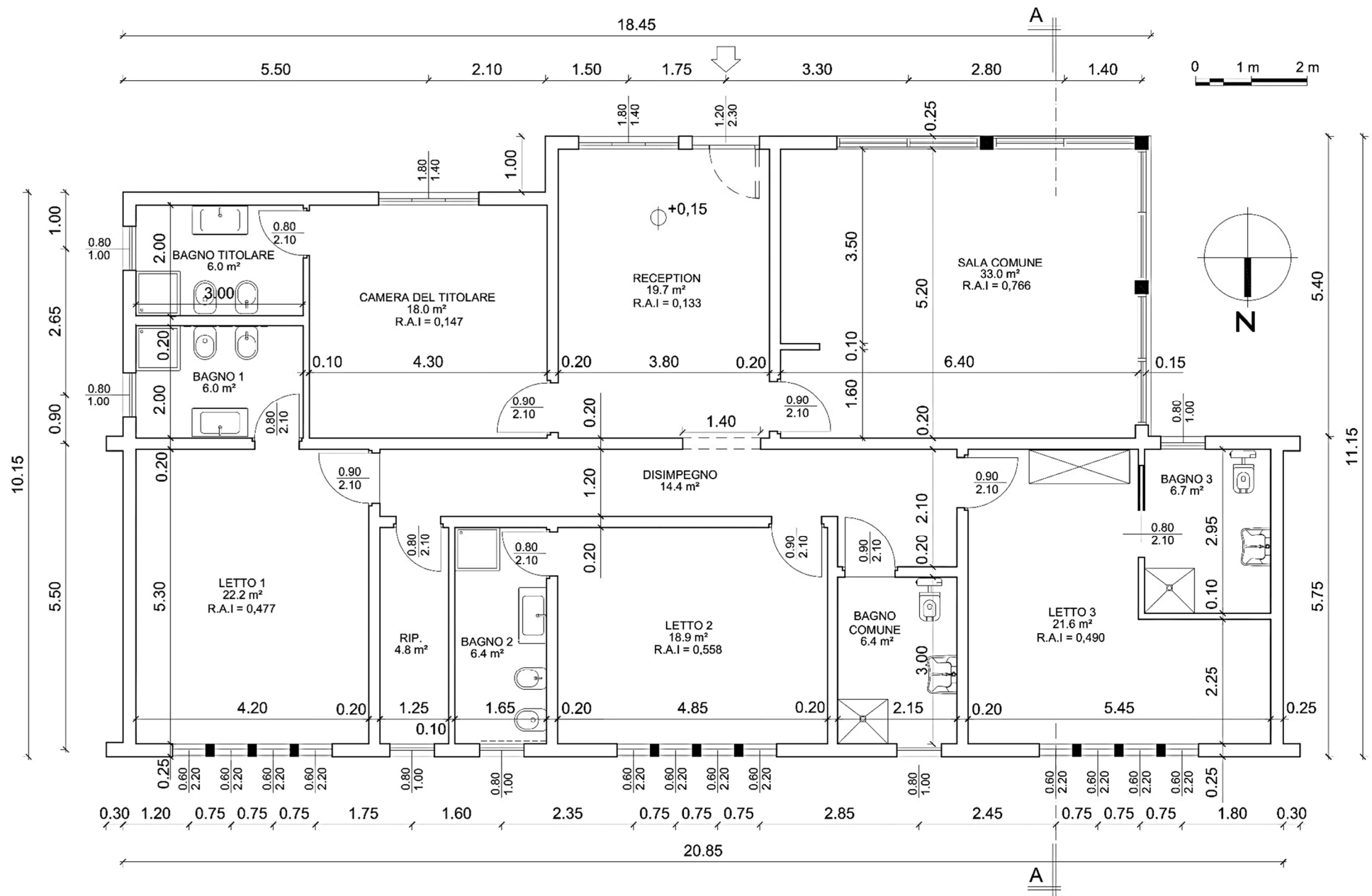
È consentito l'utilizzo delle "librerie" di arredo (che dovranno essere rese disponibili sui computer dalla Commissione prima della data della prova di esame).

È interdetto l'uso di Internet e di qualunque supporto di dati digitali (chiavette usb, cd, dvd od altro). Non è consentito lasciare l'istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.



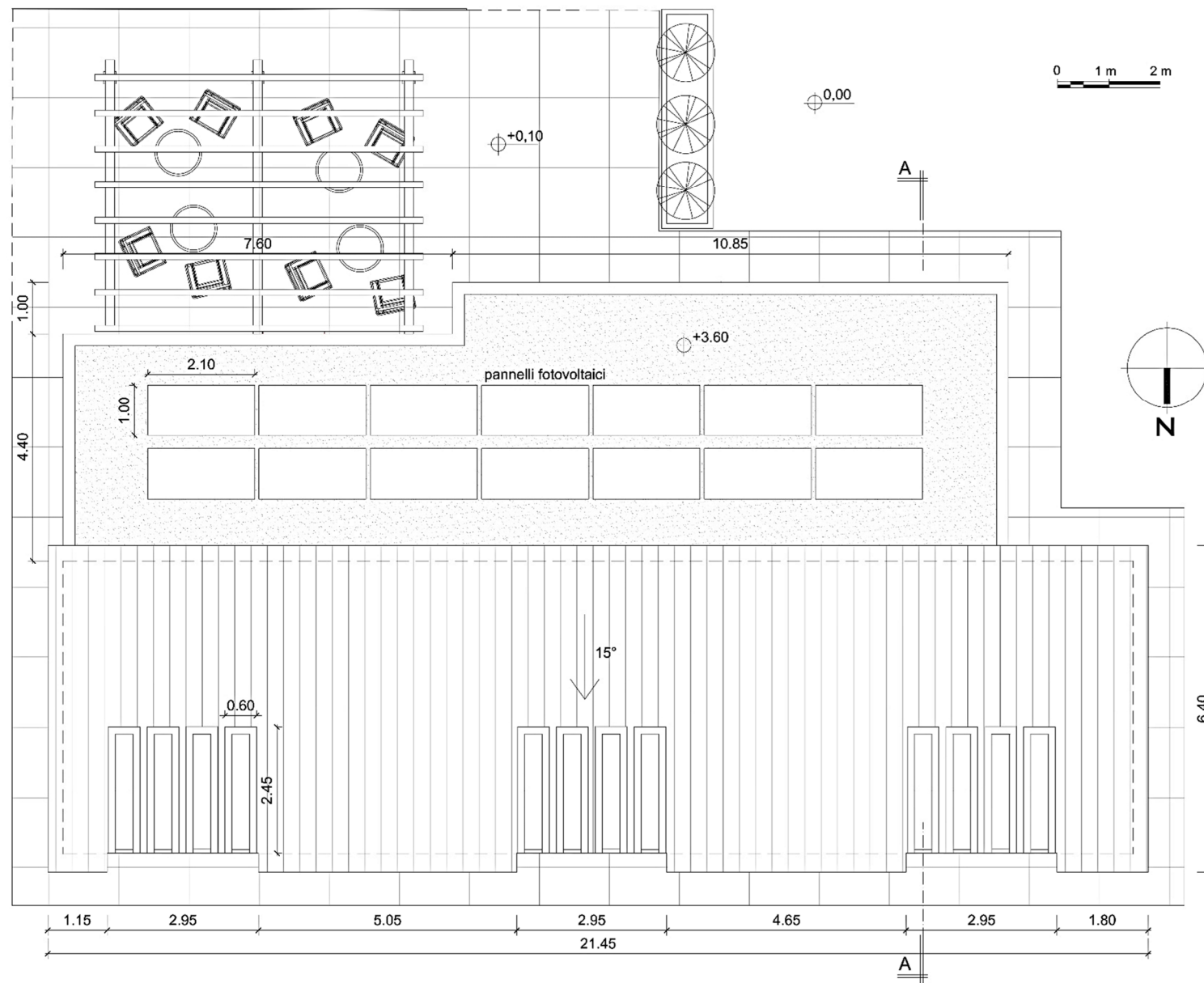


PIANTA ARREDATA

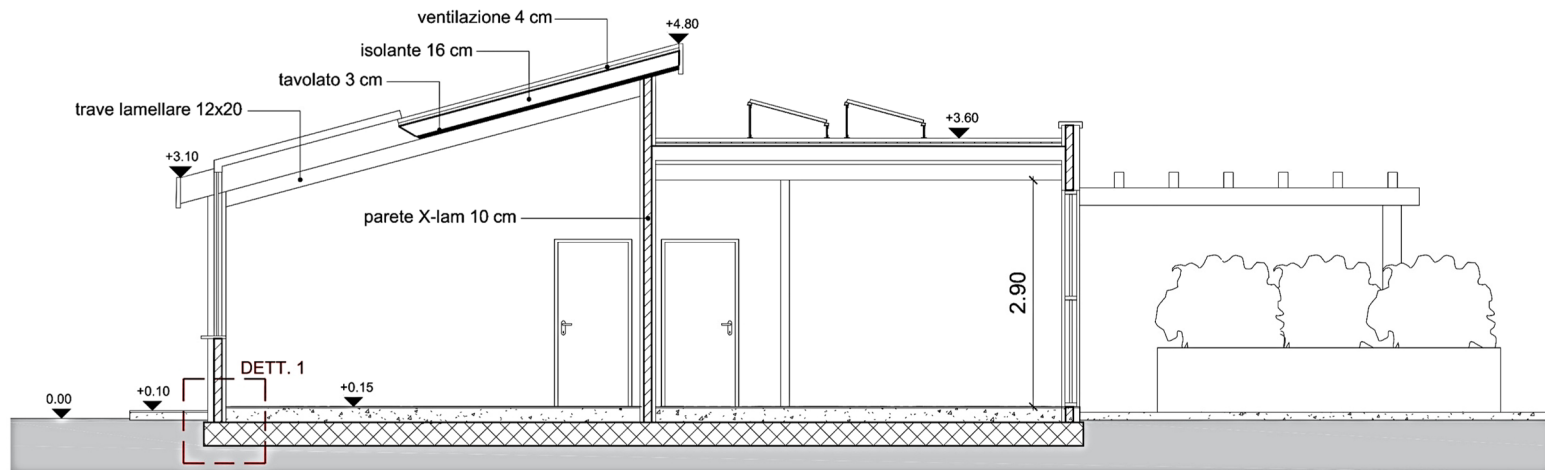


PIANTA QUOTATA

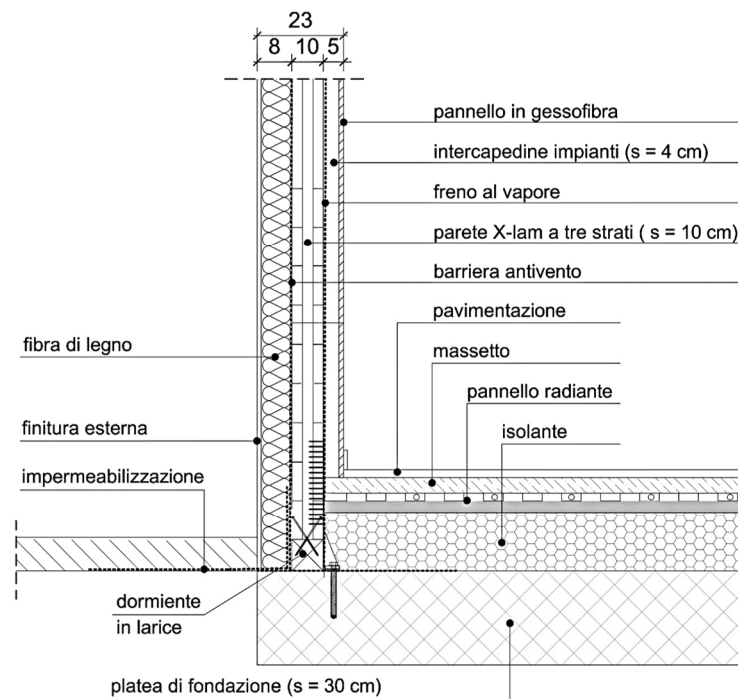
V. Baraldi, F. Zanghì, *Progettazione, Costruzioni e Impianti* ©Hoepli Editore Spa



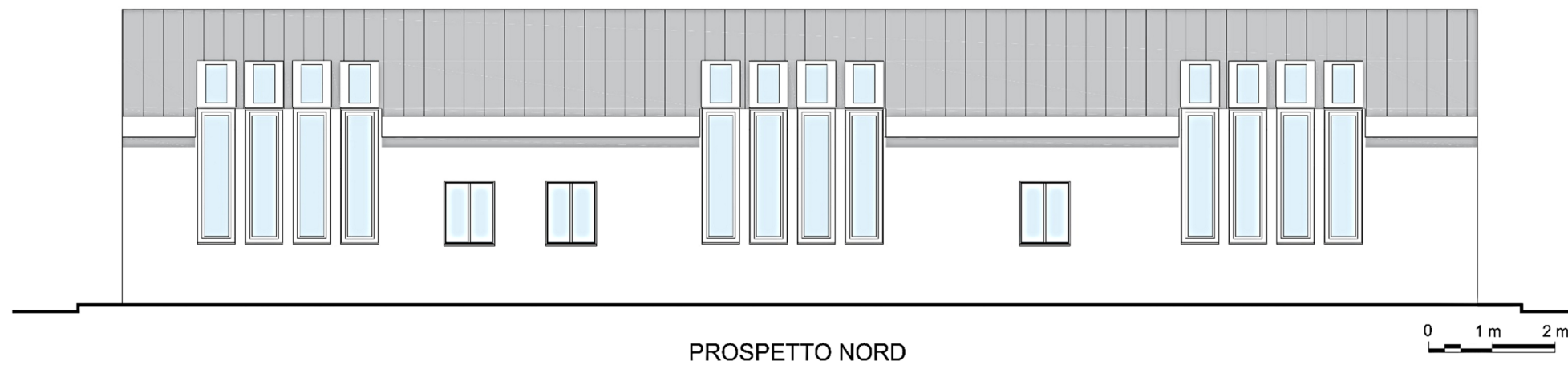
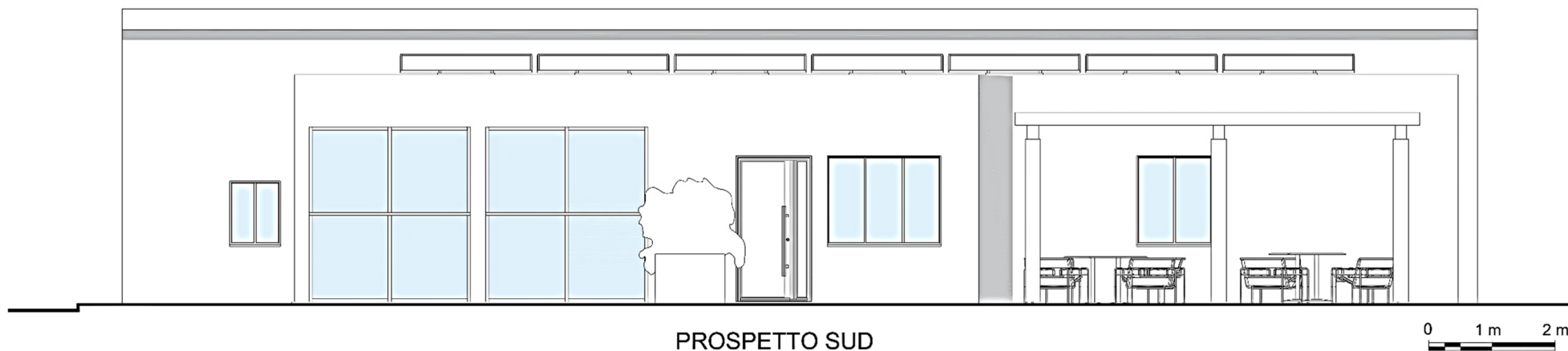
PIANTA DELLA COPERTURA

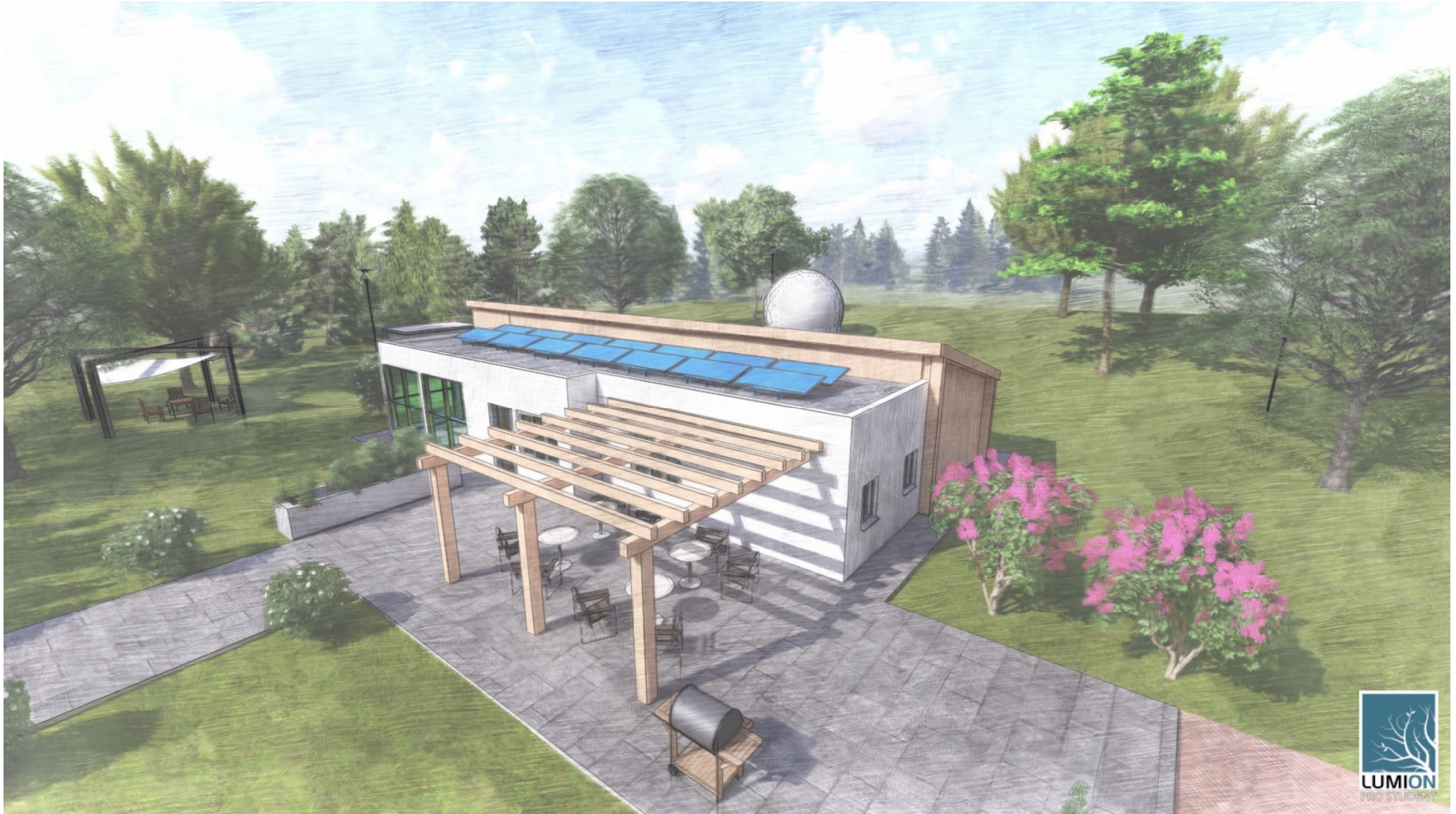


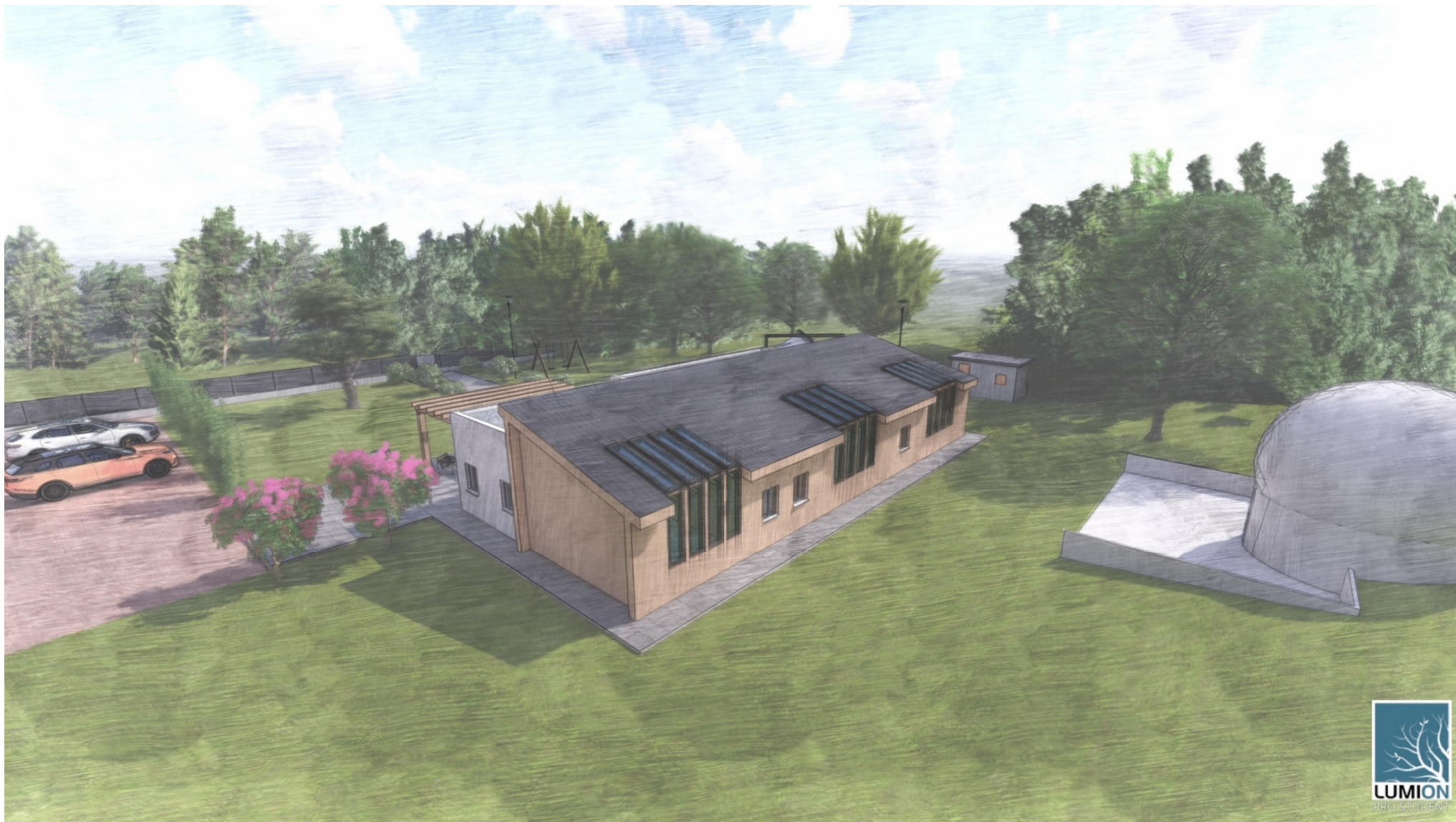
SEZIONE A-A



DETTAGLIO 1









Relazione descrittiva

L'edificio originario, di circa 300 m², viene completamente demolito e ricostruito con struttura portante in legno, impiegando il sistema costruttivo denominato X-lam, chiamato anche CLT, che prevede l'impiego di pannelli portanti di legno massiccio di conifera, dello spessore complessivo pari a 10 cm, composti da tre strati di tavole, sovrapposti e incollati uno sull'altro in modo che la fibratura di ogni singolo strato sia ruotata nel piano di 90° rispetto agli strati adiacenti.

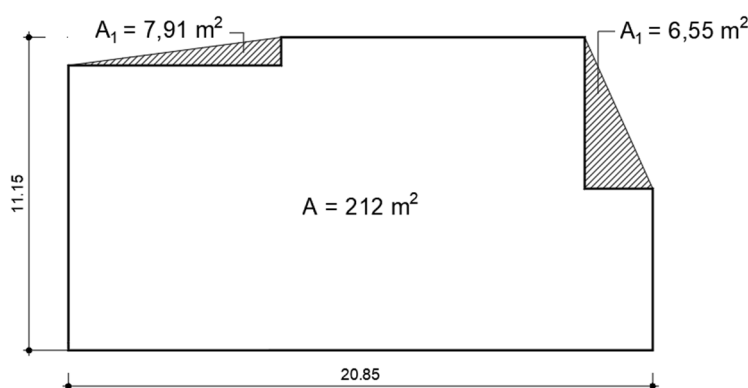
Il nuovo edificio avrà una capacità ricettiva di n.8 posti letto e sarà ad una elevazione fuori terra, per una superficie coperta pari a circa 225 m², con l'aggiunta di un pergolato esterno in legno lamellare, di 40 m², collegato all'edificio.

Le tramezzature non portanti, dello spessore di 11 cm, verranno realizzate mediante telaio in listelli di legno massello e pannelli di rivestimento esterni in gessofibra. Lo spessore della parete sarà di 20 cm nei locali nei quali è previsto il passaggio degli impianti.

Per realizzare le ampie finestrate della sala comune verranno impiegati pilastri e travi in legno lamellare. Il loro numero è limitato, pertanto non altera il comportamento scatolare complessivo del sistema costruttivo a pareti portanti.

La fondazione sarà di tipo diretto, a platea generale in cemento armato, dello spessore di 30 cm. I pannelli portanti poggeranno direttamente sulla platea, adeguatamente impermeabilizzata, interponendo un dormiente in legno di larice.

L'edificio soddisfa i requisiti di regolarità in pianta previsti dalle NTC 2018 in quanto il rapporto tra i lati del rettangolo circoscritto alla pianta è inferiore a 4 e le due rientranze sono tali che l'area compresa tra il perimetro della pianta e la linea convessa esterna circoscritta non superi il 5% dell'area della superficie (vedi figura sottostante).



In corrispondenza della zona notte, ovvero delle camere degli ospiti, l'edificio presenta una copertura ad unica falda inclinata di 15°, sostenuta da falsi puntoni in legno lamellare, di sezione 12x20, posti ad interasse di circa 80 cm, poggianti sulla parete portante perimetrale e quella intermedia, sui quali è disposto un tavolato dello spessore di 3 cm. La porzione restante dell'edificio, relativa alla reception, sala comune e camera del titolare, presenterà una struttura di copertura piana, realizzata col medesimo sistema costruttivo, in modo da collocare i pannelli fotovoltaici, orientati a sud, con inclinazione ottimale di circa 30°.

Il sistema di isolamento esterno prevederà l'impiego di un cappotto in fibra di legno. L'intercapedine interna degli impianti sarà invece isolata mediante lana di roccia.

Calcolo della dispersione termica dell'involucro

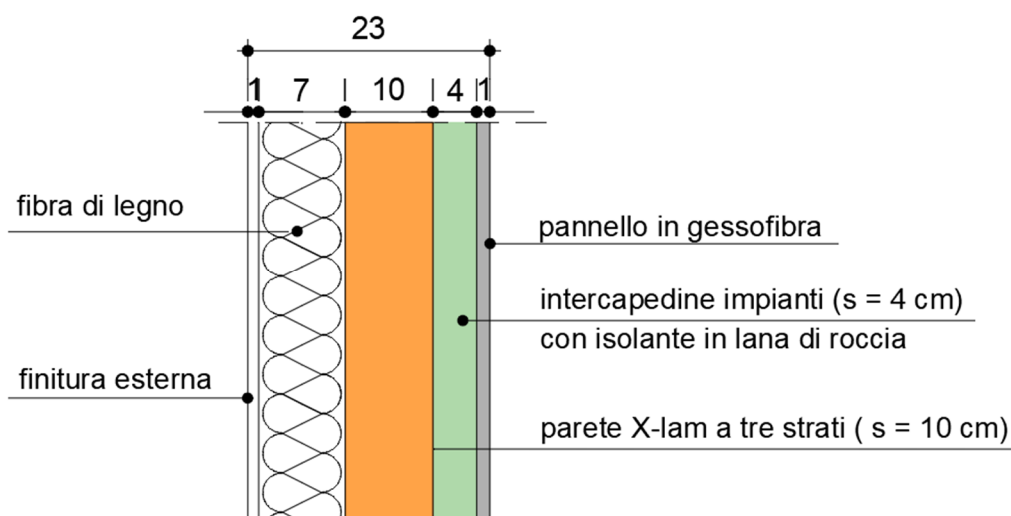
Quando si parla di dispersioni termiche dell'involucro si fa riferimento alla capacità che ha il calore stesso di attraversare le pareti dell'edificio.

Nella presente relazione verrà calcolata, a titolo esemplificativo, la potenza termica Q , dispersa attraverso la superficie perimetrale esterna del prospetto ovest, priva di finestre, pari a $5,75 \times 3,00 = 17,25 \text{ m}^2$. Si ipotizza che l'edificio sia ubicato a Modena.

Calcoleremo in primo luogo la trasmittanza termica della parete attraverso la relazione:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s_x}{\lambda_x} + \frac{1}{h_e}\right)} = \frac{1}{(R_i + \sum R_x + R_e)}$$

- h_i = coefficiente di adduzione interna
- h_e = coefficiente di adduzione esterna
- s_x = spessore dell'elemento
- λ_x = conduttività dell'elemento



I valori di resistenza termica dei vari strati sono di seguito calcolati:

strato	descrizione materiale	s	ρ	ρ_s	λ	R
		m	kg/m ³	kg/m ²	W/m K	m ² K/W
	<i>Adduttanza esterna</i>					0,040
1	Intonaco plastico per cappotto	0,0100	1200	12,000	0,900	0,011
2	Pannelli in fibra di legno	0,0700	190	13,300	0,045	1,556
3	Parete X-lam	0,1000	500	50,000	0,130	0,769
4	Lana di Roccia	0,0400	30	1,200	0,040	1,000
5	Pannelli in gessofibra	0,0100	900	9,000	0,320	0,031
	<i>Adduttanza interna</i>					0,13

Il valore di trasmittanza calcolato è pari a: $U = 0,283 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

La potenza termica Q dispersa verrà calcolata tramite la seguente relazione:

$$Q = U \cdot A \cdot (t_i - t_e) \cdot f$$

- U = trasmittanza termica unitaria, calcolata in precedenza;
- t_i = temperatura interna di progetto della zona riscaldata, assunta pari a 20°C ;
- t_e = temperatura esterna di progetto, assunta pari a -5°C , ricavata dalla seguente tabella:

Torino	-8	Reggio Emilia	-5
Alessandria	-8	Ancona	-2
Asti	-8	Ascoli Piceno	-2
Cuneo	-10	Macerata	-2
Alta valle cuneese	-15	Pesaro	-2
Novara	-5	Firenze	0
Vercelli	-7	Arezzo	0
Aosta	-10	Grosseto L.	0
Valle d'Aosta	-15	Livorno	0
Alta valle d'Aosta	-20	Lucca	0
Genova	0	Massa Carrara	0
Imperia	0	Pisa	0
La Spezia	0	Siena	-2
Savona	0	Perugia	-2
Milano	-5	Terni	-2
Bergamo	-5	Roma	0
Brescia	-7	Frosinone	0
Corno	-5	Latina	2
Provincia di Como	-7	Rieti	-3
Cremona	-5	Viterbo	-2
Mantova	-5	Napoli	2
Pavia	-5	Avellino	-2
Sondrio	-10	Benevento	-2
Alta Valtellina	-15	Caserta	0
Varese	-5	Salerno	2
Trento	-12	L'Aquila	-5
Bolzano	-15	Chieti	0
Venezia	-5	Pescara	2
Belluno	-10	Teramo	0
Padova	-5	Campobasso	-4
Rovigo	-5	Bari	0
Treviso	-5	Brindisi	0
Verona	-5	Foggia	0
Verona (zona lago)	-3	Lecce	0
Verona (zona montana)	-10	Taranto	0
Vicenza	-5	Potenza	-3
Vicenza (zona altopiani)	-10	Matera	-2
Trieste	-5	Raggio Calabria	3
Gorizia	-5	Catanzaro	-2
Pordenone	-5	Cosenza	-3
Udine	-5	Palermo	5
Bassa Carnia	-7	Agrigento	3
Alta Carnia	-10	Caltanissetta	0
Tarvisio	-15	Catania	5
Bologna	-5	Enna	-3
Ferrara	-5	Messina	5
Forlì	-5	Ragusa	0
Modena	-5	Siracusa	5
Parma	-5	Trapani	5
Piacenza	-5	Caoliari	3

- f_i = coefficiente maggiorativo per esposizione, pari a 1,05 e ricavato dalla seguente tabella:

Esposizione	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
f	1	1,02 – 1,05	1,05 – 1,10	1,10 – 1,15	1,15 – 1,20	1,15 – 1,20	1,10 – 1,15	1,05 – 1,10

Nel nostro caso si ha:

$$Q_1 = 0,283 \cdot 17,25 \cdot (20 + 5) \cdot 1,05 = \mathbf{128,14 \text{ W}}$$

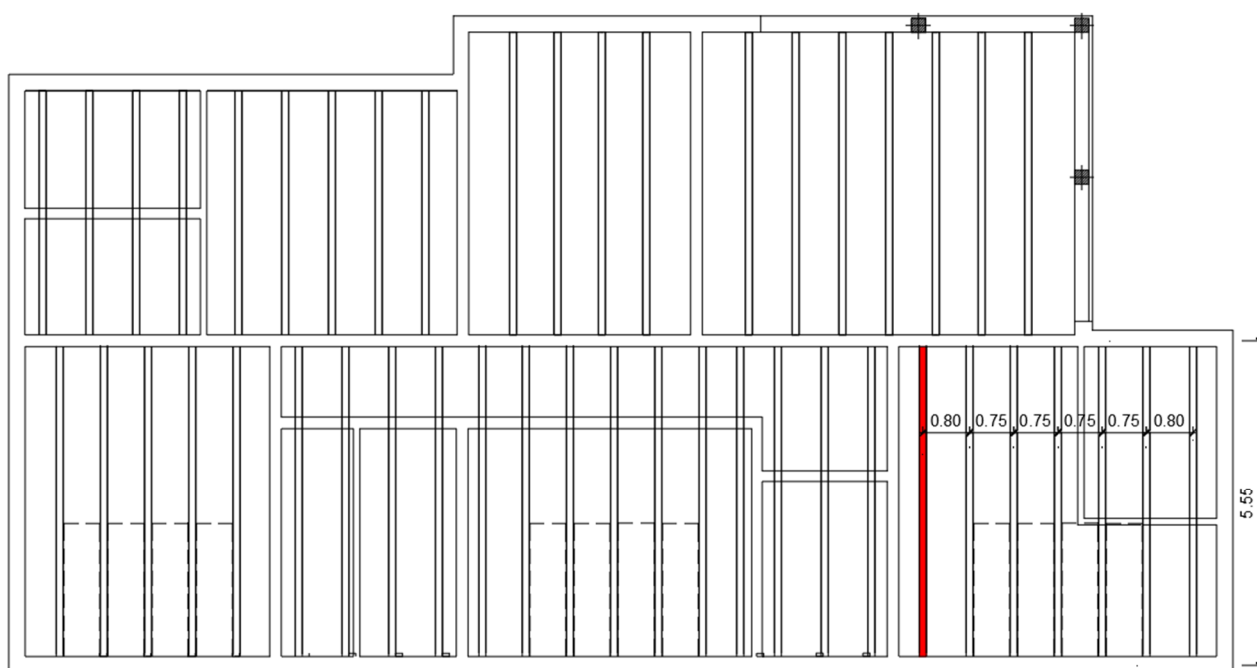
Calcolo della copertura

Il pacchetto di copertura prevede la seguente stratigrafia:

- strato termoisolante in sughero con sottostante freno al vapore e sovrastante guaina traspirante. Verrà dunque sfruttata la notevole qualità isolante del sughero, il maggiore sfasamento termico e la sua capacità di respingere l'umidità consentendo tuttavia la dispersione all'esterno del vapore acqueo;
- controlistelli in legno;
- listelli di ventilazione con sovrastanti pannelli OSB da 1,5 cm;
- guaina ardesiata impermeabilizzante.

Per la falda inclinata si impiegherà un manto di copertura in tegole innovative piane multistrato, a base cementizia, con elevata impermeabilità all'acqua, resistenza a rottura per flessione e resistenza a gelo e disgelo. La parte piana della copertura prevede uno strato di zavorramento in ghiaia di fiume stesa e sciolta, di spessore pari a 5 cm, con sottostante strato in geotessile di grammatura pari o superiore a 300 g/m².

Si effettuerà la verifica di uno dei falsi puntoni della falda inclinata, posti ad interasse pari a 0,80 m, assumendo una luce di calcolo di 5,55 m. Si impiegherà legno lamellare di tipo GL24h, considerando una classe di servizio 2 con carichi di breve durata. Si assume un carico neve pari a 1 kN/m². Per semplicità si utilizzerà per tutti gli elementi in legno un peso specifico pari a 6 kN/m³.



SCHEMA STRUTTURALE DELLA COPERTURA

Caratteristiche dei materiali

Legno lamellare GL24h:

Resistenza caratteristica a flessione:

$$f_{m,g,k} = 24 \text{ MPa}$$

Resistenza caratteristica a taglio:

$$f_{v,g,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

Modulo elastico medio parallelo alle fibre:

$$E_{0,g,mean} = 11500 \text{ MPa}$$

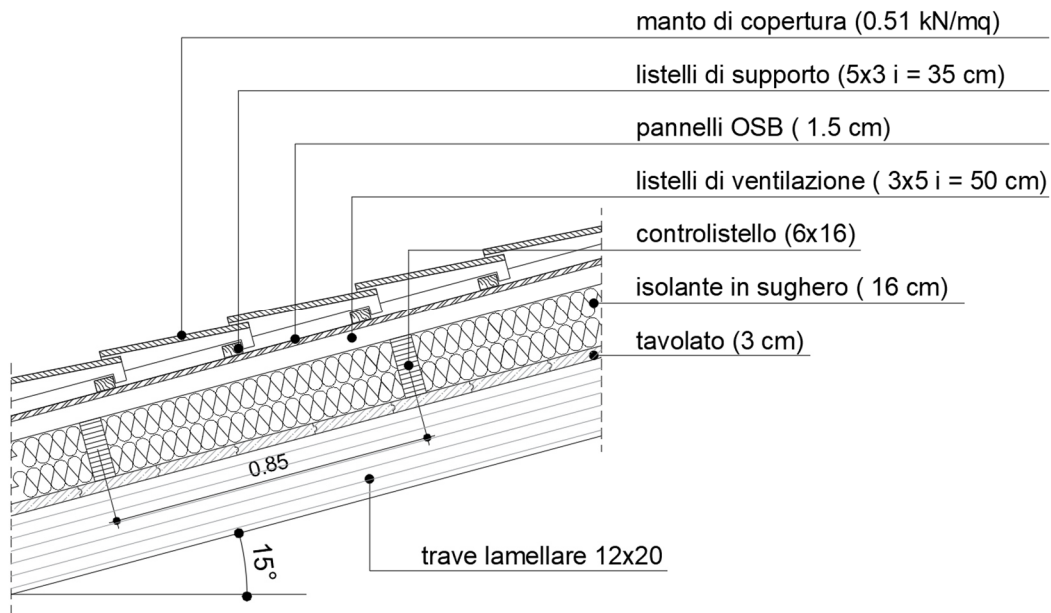
Coefficiente correttivo per carichi di breve durata e classe di servizio 2:

$$k_{mod} = 0,90$$

Coefficiente parziale di sicurezza per legno lamellare:

$$\gamma_M = 1,45$$

Analisi dei carichi unitari



- *Permanente strutturale G_1*
 - Peso falso puntone: $(1 \cdot 0,12 \cdot 0,20) \cdot 6 / 0,80 \text{ kN/m}^3 = 0,18 \text{ kN/m}^2$
 - Peso tavolato: $(0,03 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 6 = 0,18 \text{ kN/m}^2$
 - TOTALE $G_1 = 0,36 \text{ kN/m}^2$
- *Permanente non strutturale G_2*
 - Controlistelli: $(1 \cdot 0,06 \cdot 0,16) \cdot 6 / 0,85 \text{ kN/m}^3 = 0,07 \text{ kN/m}^2$
 - Isolante in sughero: $(0,16 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 1,8 = 0,29 \text{ kN/m}^2$
 - Listelli ventilazione (i=50 cm): $(0,03 \cdot 0,05 \cdot 1) \cdot 6 / 0,50 = 0,02 \text{ kN/m}^2$
 - Pannelli OSB: $(0,015 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 6,5 = 0,10 \text{ kN/m}^2$
 - Listelli supporto (i=35 cm): $(0,05 \cdot 0,03 \cdot 1) \cdot 6 / 0,35 = 0,03 \text{ kN/m}^2$
 - Tegole cementizie: $= 0,51 \text{ kN/m}^2$
 - TOTALE $G_2 = 1,02 \text{ kN/m}^2$
- *Variabile Q*
 - Sovraccarico neve: $= 1,00 \text{ kN/m}^2$

I carichi distribuiti in proiezione orizzontale sono:

- *Permanente strutturale G_1* : $0,36 / \cos 15^\circ = 0,37 \text{ kN/m}^2$
- *Permanente non strutturale G_2* : $1,02 / \cos 15^\circ = 1,05 \text{ kN/m}^2$
- *Variabile Q* : $1,00 / \cos 15^\circ = 1,03 \text{ kN/m}^2$

Carico di progetto allo SLU $\rightarrow q_{sd} = [1,3 \cdot 0,37 + 1,5 \cdot (1,05 + 1,03)] \cdot 0,80 = 2,88 \text{ kN/m}$

Calcolo delle sollecitazioni

$$M_{sd} = \frac{q_{sd} \cdot l^2}{8} = \frac{2,88 \cdot 5,55^2}{8} = 11,09 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = \frac{q_{sd} \cdot l}{2} \cdot \cos \alpha = \frac{2,88 \cdot 5,55}{2} \cdot \cos 15^\circ = 7,72 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\text{Modulo di resistenza della sezione } W = \frac{bh^2}{6} = \frac{12 \cdot 20^2}{6} = 800 \text{ cm}^3$$

$$\text{poiché } h < 60 \text{ cm} \rightarrow k_h = \min \left[\left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} ; 1,1 \right] = \min \left[\left(\frac{600}{200} \right)^{0,1} ; 1,1 \right] = 1,1$$

$$\sigma = \frac{M_{sd}}{W} = \frac{1109}{800} = 1,38 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k} \cdot k_h}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 2,4 \cdot 1,1}{1,45} = 1,63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \rightarrow OK$$

Verifica a taglio

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot V_{sd}}{2 \cdot bh} = \frac{3 \cdot 7,72}{2 \cdot 12 \cdot 20} = 0,048 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 0,35}{1,45} = 0,217 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \rightarrow OK$$

Comportamento al fuoco delle strutture in legno

Come sappiamo il legno è un materiale organico combustibile, tuttavia, quando un elemento strutturale portante in legno brucia, lo strato esterno di materiale carbonizzato, di spessore variabile tra 20 e 40 mm, riduce l'afflusso di ossigeno agli strati sottostanti, rallentando molto la velocità di carbonizzazione. Ciò avviene perché il carbone ha una conducibilità termica che è circa il 15% della conducibilità del legno stesso. Questo aspetto conferisce al legno strutturale una buona resistenza al fuoco dal momento che, a differenza dell'acciaio o della muratura, ad alte temperature le sue proprietà meccaniche non subiscono alterazioni di rilievo.

In generale il legno e i prodotti a base di legno hanno reazione al fuoco pari a 3 o 4; questo valore esprime il grado di partecipazione del materiale alla combustione. Per le travi e i pilastri tale requisito non viene richiesto.

Nel valutare la resistenza al fuoco di una struttura in legno facciamo riferimento alla sola stabilità (R), ovvero come il tempo, espresso in minuti, trascorso dall'inizio dell'incendio al crollo della struttura stessa.

La resistenza al fuoco si può valutare secondo tre modalità:

- metodo sperimentale (mediante prove);
- metodo analitico (mediante calcoli);
- metodo tabellare (mediante uso di tabelle).

Le procedure di calcolo della resistenza al fuoco prevedono le seguenti fasi:

1. determinazione sperimentale della velocità di penetrazione della carbonizzazione. In mancanza di dati sperimentali si può assumere per il legno massiccio una velocità di 0,9 mm/min mentre per il legno lamellare si può assumere una velocità di 0,7 mm/min;
2. valutazione della sezione efficace ridotta dopo un certo periodo di esposizione al fuoco;
3. verifica strutturale allo stato limite ultimo di collasso nella sezione più sollecitata.

Se l'elemento strutturale è protetto occorre tenere conto dell'incidenza della protezione sulla velocità di carbonizzazione.

I principali criteri di progettazione comunemente usati per garantire adeguati livelli di sicurezza possono basarsi su due approcci distinti:

- lasciare l'elemento non protetto, prevedendo uno strato "sacrificale" aggiuntivo che, bruciando, agisca come strato protettivo al fuoco;

- proteggere l'elemento strutturale rivestendolo con strati di materiale non combustibile (cartongesso, pannelli cementizi prefabbricati, pannelli ai silicati) o facendo uso di intercapedini isolanti. Naturalmente questo approccio, a differenza del primo, comporta costi minori ma non consente di apprezzare le caratteristiche estetiche ed architettoniche del legno.

Un altro importante aspetto da prendere in considerazione è la protezione al fuoco dei collegamenti metallici utilizzati per unire elementi in legno, che rappresentano un elemento di vulnerabilità della struttura in caso di incendio. Questo accade perché le caratteristiche meccaniche dell'acciaio subiscono un decadimento alle alte temperature; inoltre il metallo, essendo un ottimo conduttore termico, diventa un veicolo di trasmissione del calore dall'esterno verso l'interno della struttura. Il problema può essere risolto mediante l'utilizzo di singoli tasselli in legno, da inserire all'interno dei fori dove si trovano i connettori, oppure ricorrendo al rivestimento dell'intero elemento secondo l'approccio conservativo descritto in precedenza.