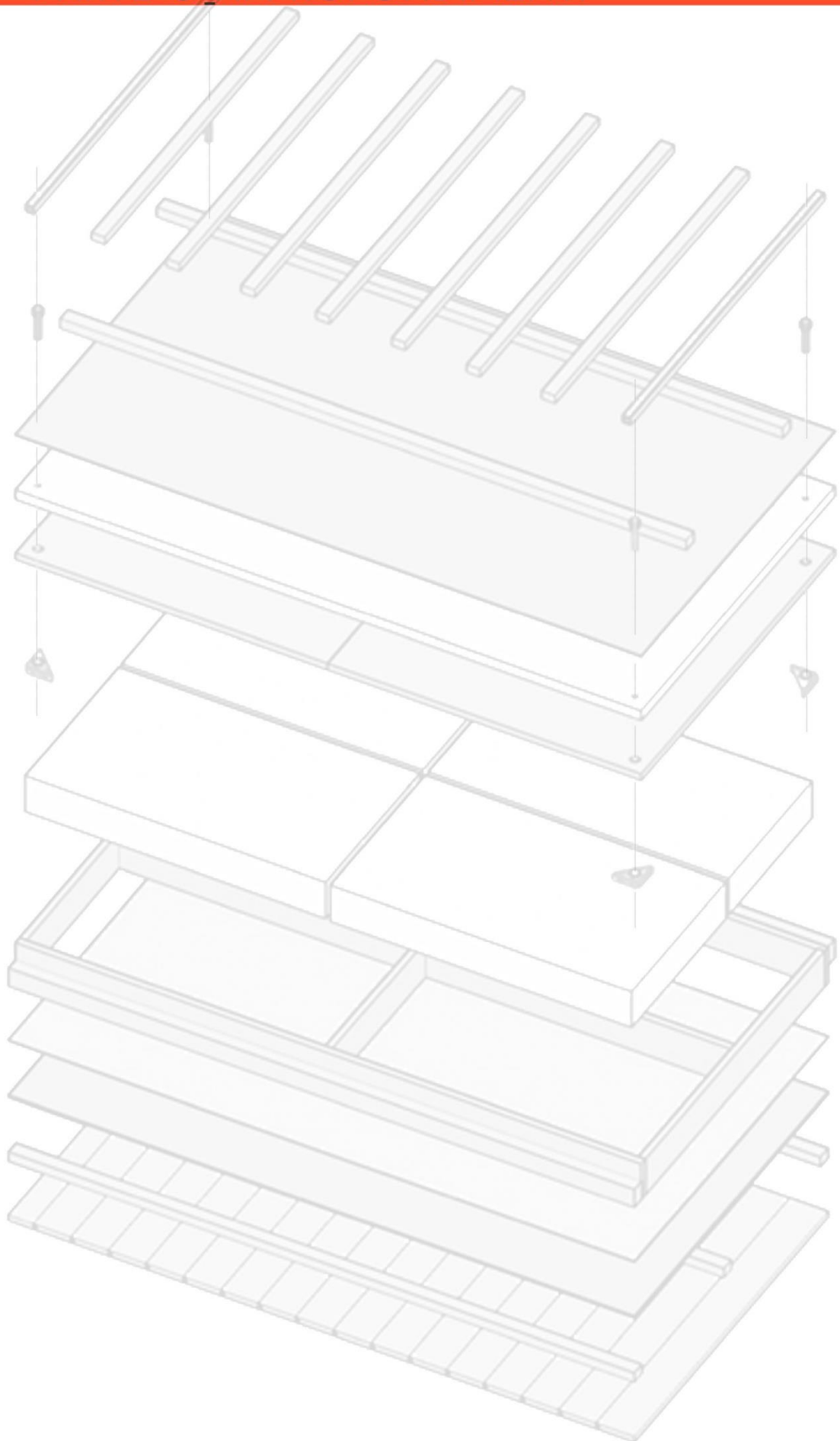




PARTE 3 APPROFONDIMENTI





SOLUZIONI PREFABBRICATE

Sistemi prefabbricati per il recupero edilizio 6.1

Pannello “EASEE” 6.2

Ottimizzazione del numero di pannelli 6.2.1

Studio dei dettagli di ancoraggio 6.2.2

Pannello “HABITAT” 6.3

Il progetto di ricerca 6.3.1

Soluzioni integrate 6.3.2

Processo di ottimizzazione 6.3.3

Analisi dei tempi e dei costi 6.3.4

6 SOLUZIONI PREFABBRICATE

I principali obiettivi progettuali hanno come chiave di volta le più diverse declinazioni del tema della prefabbricazione. Rapidità, Flessibilità e Sicurezza diventano le parole chiave di un progetto pensato per un “indeterminato” profilo di utenza, al quale possa essere presentato un diverso modo di abitare comune, modificabile ed adattabile alle esigenze nel tempo e riconoscibile per la sua peculiarità di autosufficienza energetica.

Così come l'organizzazione degli ambienti, anche la tecnologia costruttiva risponde alle esigenze di flessibilità spaziale nel tempo, consentendo di modificare il numero e la superficie degli alloggi con facilità in relazione ai possibili cambiamenti.

6.1 Sistemi prefabbricati per il recupero edilizio

Gli interventi di riqualificazione edilizia fanno parte di uno scenario sempre più diffuso nei contesti urbani contemporanei. La presenza di una normativa energetica sempre più stringente e restrittiva nei suoi parametri, ha portato a interpretare le strategie di intervento verso la riqualificazione energetica degli edifici, in particolare di quelli residenziali.

La riqualificazione è un'opportunità di miglioramento prestazionale del manufatto e di allineamento degli edifici esistenti ai livelli qualitativi delle nuove costruzioni; obiettivo principale del progettista è infatti il coniugare un aumento della funzionalità globale dell'edificio ed un miglioramento dell'efficienza energetica verso modelli abitativi contemporanei.

In Italia la strategia più diffusa negli interventi di riqualificazione degli edifici residenziali è quella che agisce sull'involucro esterno con elementi superficiali/bidimensionali, con intensità variabile in rapporto ai vincoli e alle limitazioni di diversa natura cui è soggetto il manufatto, al fine di conseguire un miglioramento delle prestazioni complessive ed insieme un rinnovamento dell'immagine, attraverso la riconfigurazione delle facciate.

La logica di sovrapposizione di nuovi elementi all'involucro - pareti o pannelli prefabbricati - permette di realizzare una nuova pelle più performante.

Il processo di prefabbricazione vede una stretta relazione tra gli attori del processo, professionisti e imprese, con un grado di precisione necessariamente molto elevato, poiché oggi l'industrializzazione edilizia è molto più accorta alla qualità che alla quantità di un prodotto.

Questo consente di ridurre i costi dell'intero processo di recupero, rendendolo paragonabile ad un intervento di sovrapposizione di cappotto termico sull'edificio.

L'obiettivo operativo della prefabbricazione non è più solamente la produzione dell'oggetto a “catalogo”, ma la versatilità e flessibilità di un processo, che pur mantenendo un altro grado di industrializzazione, si rende adattabile alle svariate esigenze del committente; infatti un sistema

eccessivamente rigido rende difficile l'adeguamento nelle condizioni non standard, compromettendo la qualità complessiva dell'edificio.

I vantaggi di questa tipologia di approccio si riscontrano sia dal punto di vista economico, che dal punto di vista organizzativo dell'intero processo progettuale, avendo ritorni in termini di tempo e gestione con la riduzione delle risorse messe in opera.

La peculiarità delle tecnologie prefabbricate sta nel garantire il controllo rigoroso del processo edilizio nella sua completezza, orientando all'ottimizzazione le fasi per la definizione della qualità e del budget economico.

Partendo dallo studio delle caratteristiche prestazionali residue ottenute mediante le analisi preliminari dell'involucro edilizio, è possibile avere un quadro iniziale già sufficientemente chiaro degli interventi da compiere.

Quindi una volta messi a punto gli elementi tecnologici prefabbricati necessari per una riqualificazione, ovvero il pannello di facciata EASEE, che verrà a costituire una seconda pelle, e il pannello di copertura Habitat, che consentirà di avere un sottotetto abitabile, potranno essere affinati dall'analisi della specificità del caso.

È importante sottolineare che

Le soluzioni utilizzate non sono studiate a prescindere per un singolo caso, ma tali da essere applicate a diversi contesti, a fronte di necessari adattamenti mirati.

Le soluzioni tecnologiche prefabbricate adottate offrono il vantaggio di conoscere in partenza le caratteristiche base del sistema e successivamente integrare le informazioni con i dati di progetto. Questo approccio permette di individuare i requisiti non soddisfatti e quali interventi di adattamento debbano essere programmati.

Gli interventi di riqualificazione, come anche nel caso studio in oggetto, riguardano nella maggior parte dei casi i requisiti di benessere, poiché la quasi totalità degli edifici di edilizia popolare presenta carenze di tipo termico, acustico e non vengono raggiunti gli standard minimi di isolamento termico e di trasmittanza di parete. Essi comprendono spesso anche ampliamenti/ridistribuzione degli spazi abitativi e una riqualificazione dell'immagine architettonica.

Tra le difficoltà inerenti l'intervento sul patrimonio edilizio esistente, la condizione strutturale dell'edificio è sicuramente il punto nodale dell'operazione in termini tecnici e tecnologici, l'orientamento all'impiego di sistemi prefabbricati leggeri rappresenta una delle soluzioni più pertinenti e adeguate nella direzione della riduzione del carico aggiuntivo sulla struttura.

Ad un'analisi approfondita dello stato di fatto, deve far seguito una strutturazione rigorosa del processo di intervento. Una fase preliminare, se ben eseguita, può garantire la base di partenza corretta per predisporre un piano di intervento adeguato e commisurato alle esigenze del committente, inoltre se correlato ad un processo di modellazione preventiva può quantificare la rispondenza delle soluzioni proposte agli obiettivi finali dell'intervento.

La facilità di messa in opera dei sistemi prefabbricati permette di intervenire in condizioni sicure sugli edifici abitati, riducendo il tempo di mobilitazione delle utenze.

L'ottimizzazione delle fasi di intervento diviene l'obiettivo primario che viene perseguito, in quanto l'organizzazione sistematica del processo può costituire la chiave di volta per il ritorno dell'investimento e la garanzia del successo dell'intervento.

Le principali categorie d'intervento che nel progetto sfruttano il concetto di prefabbricazione sono le seguenti:

- **SOPRAELEVAZIONE CON CONTINUITÀ DI FORMA**
La sopraelevazione di edifici esistenti rappresenta un contesto operativo in cui si instaura un rapporto con l'esistente che combina la ricerca progettuale architettonica e urbana con la tecnologia impiegata.
- **ADDIZIONE IN FACCIATA**
L'addizione è un intervento di ampliamento dello spazio esterno di pertinenza in facciata, di revisione dell'immagine complessiva del manufatto, adatto nel caso in cui vi sia scarso rapporto tra esterno ed interno.
- **RIQUALIFICAZIONE INVOLUCRO**
Riqualificazione energetica e architettonica dell'edificio attraverso l'applicazione di sistemi prefabbricati sulla pelle dei manufatti esistenti (doppio involucro), si mostra come sia possibile aumentare le prestazioni dell'involucro e riconfigurare il valore estetico.



Figura 6.1, Interventi sull'esistente. Fonte autore tesi

Lo sfruttamento della copertura e dell'involucro edilizio come operazioni di riqualificazione architettonica ed energetica innesca processi di valorizzazione immobiliare rendendo maggiormente appetibili nuovi spazi sviluppati a partire dalla preesistenza.

L'intervento sulle chiusure verticali dell'involucro edilizio del manufatto si è tradotto con una metodologia che prevede un'addizione sulla preesistenza, senza necessariamente stravolgerne l'aspetto originale. Si tratta di un modello di 'stratificazione' che nei propri principi costitutivi e compositivi si differenzia dal restauro tradizionale degli edifici: il sistema

Pannelli di facciata

consente di ottenere un involucro reversibile, adattabile alle esigenze di personalizzazione espresse dal committente, combinabile con sistemi e tecnologie di altra provenienza (strutture in acciaio, legno, ecc.), che favorisce lo smontaggio delle componenti e la separazione dei materiali quando l'edificio verrà demolito.

La "strategia di addizione", cioè l'aggiunta di elementi prefabbricati in facciata può comportare un miglioramento del manufatto dal punto di vista prestazionale, ma anche modificarne l'immagine complessiva e il rapporto con l'intorno.

Il rapporto con l'esistente dal punto di vista compositivo nel caso studio può essere letto come integrazione, in cui l'aggiunta viene combinata all'esistente nella ricerca di una nuova unitarietà, ma effettuando un'addizione che riprenda i caratteri dell'edificio sottostante.

Il progresso dell'innovazione tecnologica nella ricerca di sistemi e tecniche di intervento compatibili con l'intervento sul costruito è sempre più ricorrente fra le azioni di recupero e/o riconversione; esso è applicato tramite la gestione del cantiere, individuando nella prefabbricazione e industrializzazione dei componenti edili un ambito di sperimentazione sempre più consolidato.

Pannelli di copertura

Un sistema costruttivo in legno, applicato in modo specifico alla riqualificazione della copertura, può essere visto nella sua definizione morfologica come strumento per costruire nuove spazialità interne ad uso degli utenti: nel caso studio la dimensione dell'intervento è stata promossa verso la realizzazione di nuove unità abitative.

Il livello di prefabbricazione dei pannelli di copertura può essere spinto sino alla produzione di componenti preassemblati che vengono depositati molto più celermente sull'edificio interessato, lasciando come unica lavorazione in cantiere la definizione dello strato di finitura terminale.

Lo studio approfondito di sistemi prefabbricati leggeri in legno ha costituito l'incipit del processo dell'intervento, con l'intenzione di verificare l'efficacia di un sistema costruttivo a secco in legno in specifiche condizioni di intervento, come può configurarsi la riqualificazione di un edificio di residenza pubblica.

La costruzione di un manufatto con sistemi costruttivi leggeri offre vantaggi dovuti principalmente al peso, al comportamento strutturale, alle modalità costruttive di questo tipo di elementi, ed ai tempi di realizzazione brevi.

L' utilizzo di componenti in legno, oltre ad offrire una soluzione sostenibile dal punto di vista ambientale, offre condizioni vantaggiose nell'intervento su strutture esistenti grazie al ridotto carico proprio ($400-600 \text{ kg/m}^3$), in grado di non incidere in maniera significativa sul comportamento strutturale del manufatto esistente. La soluzione adottata si inserisce in linea di continuità con l'intervento di sopraelevazione che prevede l'uso elementi leggeri in acciaio e non massivi.

I sistemi prefabbricati lignei progrediscono rapidamente e stanno stimolando l'interesse del mercato; questo grazie alla garanzia sull'affidabilità dei prodotti, sulla qualità dei componenti, sulla riduzione del cantiere a semplice montaggio, sulla possibilità di effettuare meccanicamente lavorazioni sempre più complesse, sulla costruzione di manufatti in tempi minimi e sul controllo sull'impiego delle risorse in gioco.

Quindi l'impiego delle tecnologie prefabbricate consente di raggiungere un livello di sostenibilità elevato, se si valutano tutte le esternalità dovute ai caratteri ambientali e strutturali del materiale, nonché la facilità di posa in opera e le potenzialità espressive e formali raggiungibili.

I vantaggi di una soluzione prefabbricata in legno dal punto di vista operativo sono la facile lavorabilità e la velocità di posa in opera, (soprattutto per la mancanza di tempi di asciugatura e di puntellazioni provvisorie), la maggiore sicurezza in cantiere (notevole riduzione del numero di lavorazioni in quota in caso di preassemblaggio), e la riduzione degli sfridi.

6.2 Pannello “EASEE”

Envelope Approach to improve Sustainability and Energy efficiency in Existing multi-storey multiowner residential buildings.

Il progetto di ricerca europeo si propone come obiettivo il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici esistenti mediante la riqualificazione dell'involucro edilizio con soluzioni innovative integrate.

Il progetto sviluppato dal Politecnico di Milano prende forma sull'edificio oggetto di studio, messo a disposizione da ALER, avendo così un caso dimostrativo su cui applicare i componenti di facciata precedentemente testati all'interno dell'università su una cella sperimentale.

L'involucro dell'intero edificio, ad esclusione del piano terra che non richiede un isolamento completo di tutti e quattro i lati, è rivestito da elementi modulari leggeri fabbricati fuori opera e installati a secco.

I pannelli prefabbricati e preassemblati sono formati da due lastre di TRM (Textile Reinforced Mortar) con interposto un isolante EPS (Expanded Polystyrene Sintered).

Il TRM è un materiale composito e consiste in una matrice cementizia a grana fine ad altissima resistenza; rinforzata una rete realizzata in materiale tessile che gli conferisce una buona capacità di flessione.

Il calcestruzzo fibrorinforzato ha una migliore durabilità, in quanto l'aggiunta delle fibre limita il fenomeno fessurativo dovuto al ritiro plastico, al ritiro da essiccamento ed alle variazioni termiche. Poiché non si può evitare la fessurazione del calcestruzzo, si cerca di limitarne la propagazione, in modo da garantire la migliore durabilità nel lungo periodo.

L'EPS (comunemente chiamato “polistirolo”) è una lastra per l'isolamento termico in polistirene espanso sinterizzato ed è tra i materiali più utilizzati perché coniuga ottime prestazioni termiche con costi contenuti e semplicità di applicazione grazie al peso molto ridotto.

Tra le principali caratteristiche del materiale si evidenziano la conducibilità termica bassa, le buone prestazioni meccaniche (i pannelli

sono in grado di resistere agli urti), un coefficiente di resistenza al passaggio del vapore che varia tra 20 e 100 μ , (permettendo la traspirazione degli elementi costruttivi limitando la formazione di condensa interstiziale), l'impermeabilità, la composizione che prevede il 98% d'aria o gas innocui all'ambiente, il peso ridotto e la massa volumica compresa fra 10 e 40 kg/m^3 , la resistenza agli attacchi degli animali, la salubrità (non crea allergie e non presenta alcun fattore di pericolo per la salute), e la riciclabilità al 100%.

Inoltre è presente in commercio anche in forma autoestinguente (EPS RF - a ritardata propagazione di fiamma), per migliorare il suo comportamento al fuoco.

Le dimensioni massime ottenibili per il pannello sono legate alla tipologia di cassero utilizzato e sono pari 330 cm di altezza e 150 cm di larghezza. Lo spessore è di 12,4 cm, dato da due lastre di TRM, ciascuna di 1,2 cm e 10 cm di isolante EPS. Il pannello ha un peso di 50 kg/m^2 .

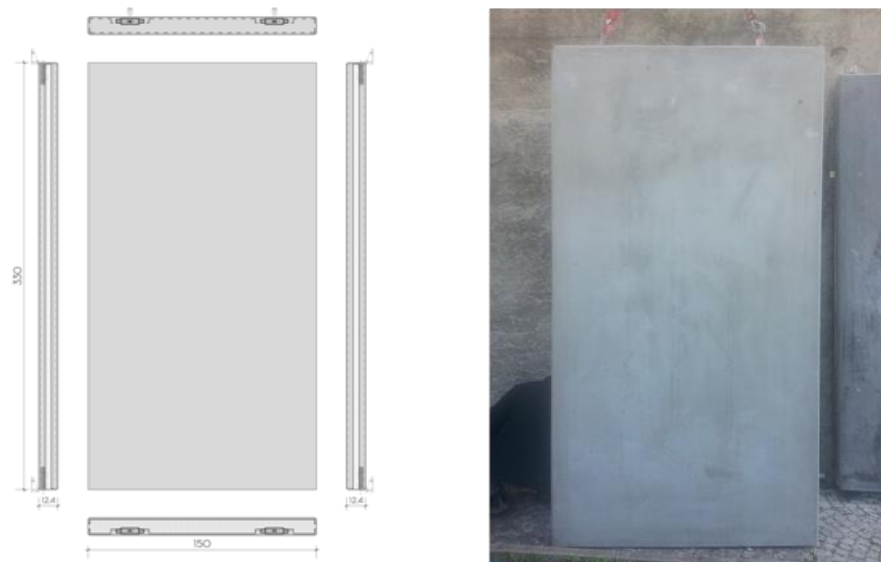


Figura 6.2, Pannello EASEE, vista frontale e sezioni, Dimensioni max 300 x 150 cm



Figura 6.3, Stratigrafia del pannello EASEE. Fonte Politecnico di Milano

I due materiali accoppiati riescono a garantire, anche in spessori ridotti, una buona elasticità e resistenza del pannello. L'approccio adottato garantisce rapidità esecutiva e minori lavorazioni in cantiere.

Dal punto di vista prestazionale, i valori di trasmittanza termica e resistenza termica sono i seguenti:

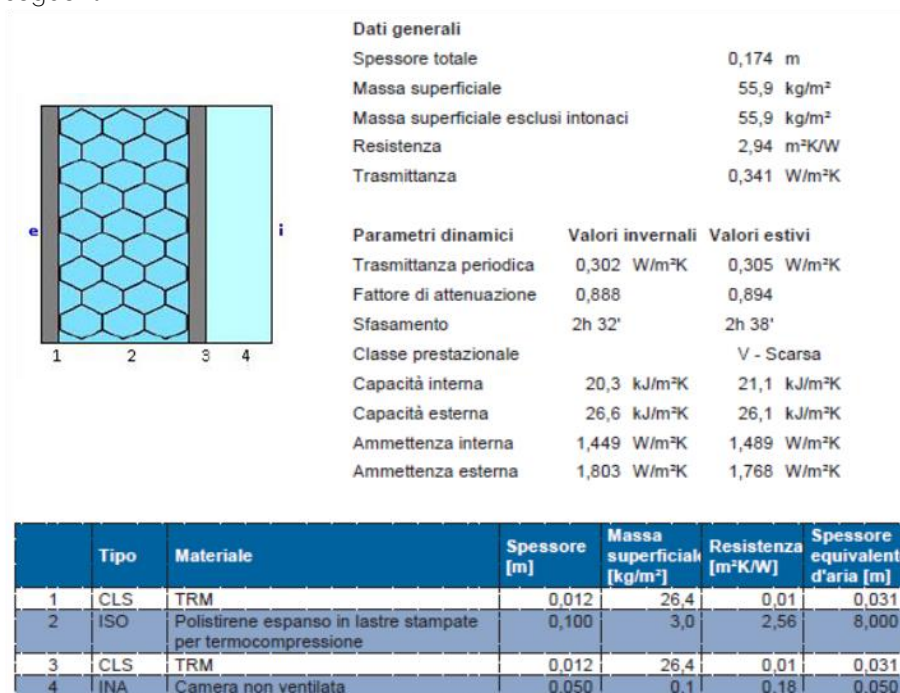


Figura 6.4, Modello, composizione strati e risultati del pannello EASEE

La tenuta all'aria e all'acqua è assicurata da guarnizioni perimetrali posate una volta che i moduli sono accoppiati fra loro in opera. Il giunto è costituito da una guaina cilindrica di polietilene espanso e successivamente sigillato con del silicone.

Questa soluzione permette innanzitutto una miglior tenuta ad acqua ed aria, una maggiore durabilità e anche un miglior impatto dal punto di vista cromatico poiché il silicone è facilmente colorabile ed eventualmente mascherabile uniformandolo alla finitura scelta.

Inoltre è facilmente tagliabile alla lunghezza desiderata, è semplice da lavorare ed è realizzabile in diversi spessori.

Lo spessore del giunto è fissato ad 1 cm, ma può essere aumentato fino ad 1,5 cm, per permettere di assorbire le tolleranze indotte dalle imperfezioni delle pareti esistenti.



Figura 6.5, Giunto di tenuta all'acqua pannello EASEE. Fonte Politecnico di Milano

Il rivestimento delle chiusure verticali con la soluzione EASEE contribuisce alla definizione di un intervento che richiama la finitura originaria dell'edificio in cemento faccia a vista.

Una particolarità della lastra di TRM infatti è la possibile personalizzazione della finitura, sia attraverso il colore che la texture. Quest'ultima è definibile grazie all'utilizzo di matrici elastiche accessorie, che vengono adagate sulle casseforme permettendo di variare l'aspetto delle finiture superficiali con giochi di luce e ombre.

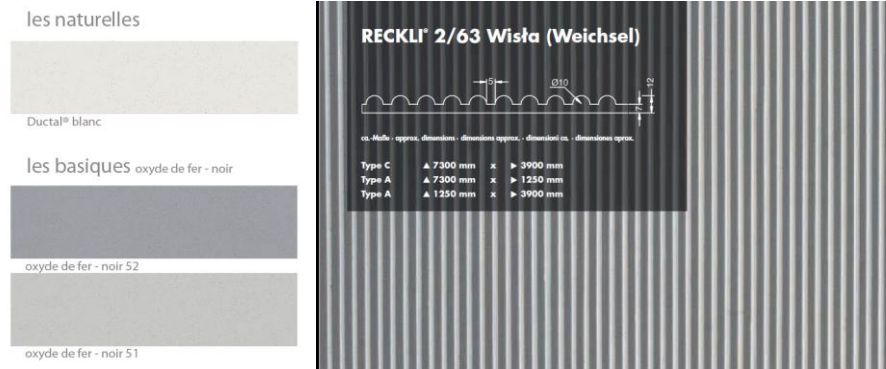


Figura 6.6, Finitura superficiale: colore e texture del progetto EASEE

I vari colori ottenibili sono prodotti tramite pigmenti in pasta che vengono inseriti nell'impasto cementizio.

Nella sua forma originale, senza lavorazioni che alterino le proprietà della finitura, il pannello presenta una superficie liscia ad effetto marmo striato, color grigio chiaro con venature più scure.

A causa dello spessore ridotto (1,2 cm) della lastra in TRM, le texture si devono limitare ad una profondità massima di 2-3 mm. Lavorazioni più profonde ne comprometterebbero infatti la resistenza.



Figura 6.7, Ipotesi applicazione pannelli progetto EASEE. Fonte Politecnico di Milano



Figura 6.8, Dettagli logge: confronto stato di fatto e proposta d'intervento EASEE. Fonte Politecnico di Milano

Scopo principale dell'applicazione del pannello oltre alla riqualificazione architettonica ed energetica è la semplificazione della posa in opera. I moduli che arrivano in cantiere completi di ogni dettaglio, sono applicati tramite fissaggio meccanico con agganci metallici rendendo l'applicazione rapida e pratica.

La tipologia e la metodologia di posa dei pannelli prevedono il solo ausilio di una gru, senza la necessità di ponteggio. L'operatore, tramite piattaforma elevatrice a pantografo, pone in posizione il pannello collocandolo sugli agganci precedentemente fissati.

L'ancoraggio dei fissaggi costituisce una parte delicata e fondamentale di tutto il processo. La loro posizione deve essere accurata e precisa, perché le tolleranze in gioco sono ridotte.

Il particolare sistema d'ancoraggio, la "scatoletta", è provvisto di un'apposita asola che permette l'aggancio tramite gru per un più semplice sollevamento.

Il processo di produzione dei pannelli viene rigidamente controllato in fabbrica e tra i principali vantaggi si evidenzia la praticità di messa in opera. I componenti giungono sul posto già pronti per essere installati, rendendo molto più rapide le operazioni in cantiere e contenuta la invasività dei lavori.

Si rimanda alla tavola di riferimento inerente al progetto di ricerca EASEE PR 01.

6.2.1 Ottimizzazione del numero di pannelli

La scelta compositiva per l'applicazione dei pannelli EASEE è orientata all'ottimizzazione del numero e delle tipologie di pannelli utilizzati.

Nella definizione della collocazione dei moduli si è tenuto conto dei seguenti vincoli:

- possibilità di avere un giunto massimo di 1,5 cm;
- variabilità delle dimensioni del pannello a intervalli di 0,25 cm;
- necessità di porre il pannello ad una distanza massima di 5 cm dai serramenti.

Di seguito si riportano le principali problematiche riscontrate nella fase di "composizione" delle facciate:

- mancato allineamento delle finestre;
- difficile allineamento d'angolo tra pannelli di facciate diverse;
- definizione di una soluzione alternativa per consentire l'ancoraggio dei balconi

A differenza della soluzione sviluppata dal Politecnico, nel progetto in oggetto si è deciso di non utilizzare pannelli con differenti texture e colori, ma applicare pannelli di colore bianco ai quali si andranno poi a sovrapporre elementi schermanti verticali di colori differenti.

Una volta scelta in via approssimativa la disposizione dei moduli per comporre le facciate dell'edificio si è proceduto a definirne nel dettaglio le dimensioni.

Si è cercato di standardizzare il più possibile le dimensioni dei moduli giungendo alla definizione di una soluzione che prevede l'applicazione di 212 pannelli di 43 tipologie.

Dalla tavola **PR 02** si può osservare che i pannelli si diversificano sia per altezza che per larghezza, sempre rispettando le dimensioni massime e minime (non sono ammessi pannelli più piccoli di 50 cm), grazie alla possibilità di variare le dimensioni del cassero.

Dai prospetti della tavola sopra citata si nota come i pannelli siano stati differenziati tramite i colori: ad ogni colore corrisponde un'altezza e ad ogni gradazione corrisponde una larghezza.

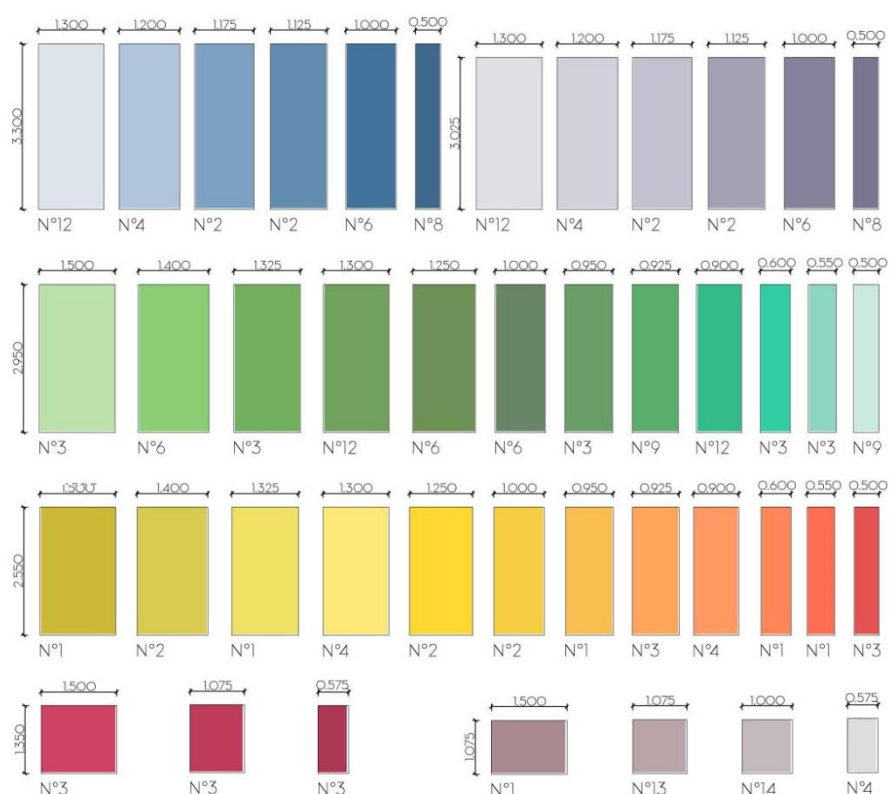


Figura 6.9, Catalogazione delle tipologie dei moduli EASEE utilizzati. Fonte autore tesi

6.2.2 Studio dei dettagli di ancoraggio

Di particolare importanza è il sistema di fissaggio. Per poter alloggiare un particolare sistema di ancoraggio e rinforzo che viene denominato “scatoletta” lo strato di isolante EPS viene sagomato. La “scatoletta” è in calcestruzzo ad alta resistenza e sostanzialmente svolge due compiti: alloggiare il perno (che si inserirà nel foro visibile in *Figura 6.10*), utile a mantenere in posizione il pannello, proveniente all’ancoraggio a parete e garantire un punto di aggancio per la messa in opera dei pannelli.

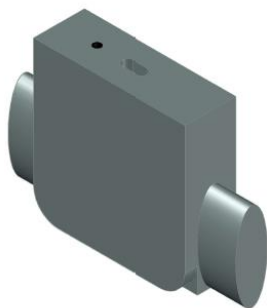


Figura 6.10, Scatola di ancoraggio HPRCC

È importante che l’ancoraggio sia fissato su elementi portanti dell’edificio. Per la parte esistente dell’immobile non vi sono problemi, poiché le murature perimetrali sono portanti e i pannelli possono essere collocati senza problematiche in ogni punto delle facciate; maggior attenzione invece si è dovuta porre per la sopraelevazione realizzata con struttura

leggera con profili di acciaio, si è dovuta inserire una sottostruttura metallica complementare a quella portante, disposta puntualmente in corrispondenza degli agganci.

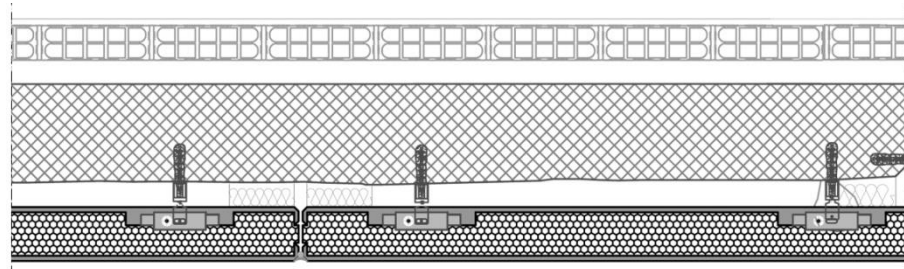


Figura 6.11, Sistema di ancoraggio alla stratigrafia esistente in cemento armato-ganci Halfen. Fonte autore tesi

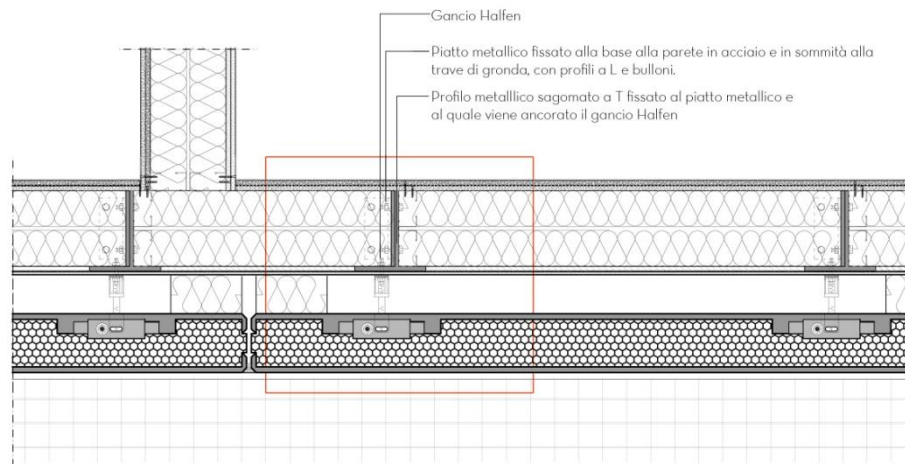


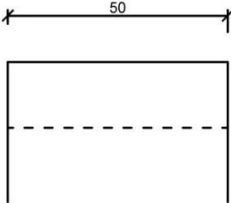
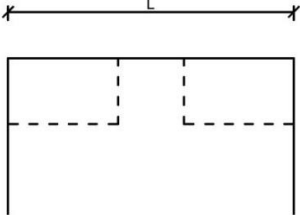
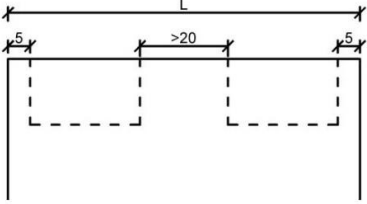
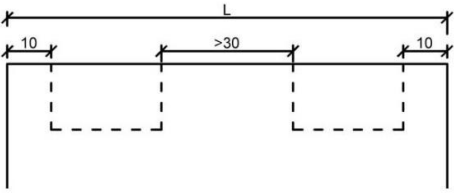
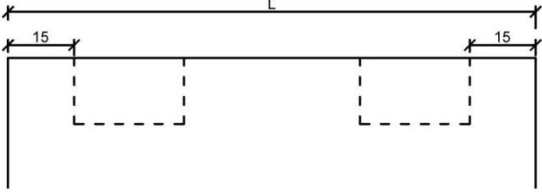
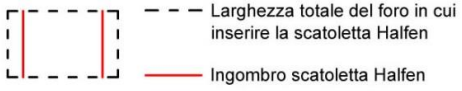
Figura 6.12, Sistema di ancoraggio alla stratigrafia a secco-ganci Halfen. Fonte autore tesi

Il sistema di ancoraggio a parete è prodotto da Halfen ed è realizzato in acciaio inox A4/AISI 316. La sua conformazione permette due tipi di regolazione: una dedicata alla sua altezza sulla parete grazie all'asola, un'altra relativa alla profondità del perno di supporto garantita dal sistema a vite.

Proprio quest'ultimo aspetto è fondamentale in quanto il sistema è pensato per essere separato dalla parete esistente di una distanza variabile da 3 a 10 cm. Questa flessibilità permette ai pannelli di assecondare la notevole irregolarità e la mancanza di verticalità delle facciate.

Il numero di ancoraggi per un pannello varia in base alla sua larghezza, infatti per i moduli di 50 cm è prevista un'unica scatoletta, negli altri casi invece due.

Tabella 9, Posizione ancoraggi Halfen, Fonte autore tesi

<p>Caso pannello da 50 cm c'è un unico foro</p>	
<p>Pannello $50 < L < 79.5$</p>	
<p>Pannello $80 < L < 99.5$</p>	
<p>Pannello $100 < L < 129.5$</p>	
<p>Pannello $130 < L < 150$</p>	
	

La camera d'aria considerabile come ferma, unita a dei giunti a perfetta tenuta d'aria, realizza un ulteriore strato isolante e non arreca problemi dal punto di vista della condensazione interstiziale.

L'intercapedine è chiusa in corrispondenza del sottogronda, in prossimità dei balconi, dei davanzali e del piano terra attraverso l'applicazione di pannelli isolanti in poliuretano espanso.



Figura 6.13, Ganci Halfen per ancoraggio pannelli EASEE. Fonte Politecnico di Milano

I dettagli costruttivi del pannello e l'analisi dei punti critici sono riportati nelle tavole del precedente capitolo **PTO3, PT 08, PT 09**.

6.3 Pannello “HABITAT”

La soluzione “tetto pronto” fornisce un pacchetto completo in ogni sua parte, che comprende qualità, rapidità d’esecuzione e quindi minor costo.

La copertura deve essere in grado di assolvere contemporaneamente più funzioni: resistere alle sollecitazioni meccaniche (carichi statici, quali il proprio peso e la neve, carichi dinamici come il vento e urti come la grandine), isolare termicamente e acusticamente, resistere all’acqua e non dare luogo a fenomeni di condensa.

Il cosiddetto “tetto pronto” fornisce una soluzione “all in one” , per effetto di un pacchetto completo di ogni sua parte che unisce alla qualità controllata e garantita, una rapidità di esecuzione (e quindi un costo) assolutamente competitiva. Tale soluzione è sempre più frequentemente associata a un’offerta che interessa tutto il processo, che parte dall’ideazione (posa in opera con manodopera specializzata) e si estende per tutta la vita utile (interventi manutentivi programmati)della copertura. I maggiori vantaggi però sono dovuti alla possibilità di garantire una superiore accuratezza esecutiva e quindi di ridurre i tempi di realizzazione in cantiere, rispondendo ai requisiti di razionalizzazione produttiva e costruttiva.

Ogni soluzione però fornisce delle differenti prestazioni che sono determinate dalla tecnica, e soprattutto dai materiali adottati.

Le prestazioni maggiormente significative da controllare sono: isolamento termico, isolamento acustico a rumori aerei, tenuta all’acqua, tenuta all’aria, resistenza ai carichi, modulo della trasmittanza termica periodica. Per la soluzione specifica le prestazioni maggiormente critiche sono lo sfasamento termico e l’isolamento acustico ai rumori aerei. Per l’isolamento acustico è quindi necessario, al fine di potere rispettare il vincolo normativo, progettare una soluzione che possa assolvere, alla prestazione con un sistema “massa-molla-massa” facendo sì che agli elementi massivi siano intervallati elementi con comportamento elastico. Si ricorda che la pendenza minima della falda viene definita, in relazione alla tipologia dell’elemento di tenuta e all’intorno climatico, nella UNI 9460.

Prestazioni e criticità

Vincoli normativi primari :

- Conducibilità termica : da $0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $0.38 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Dlgs. 192/2005 e successivi aggiornamenti e legislazione regionale);
- Isolamento acustico standardizzato di facciata (D_{2mnt}) \geq a 40dB (D.P.C.M 5.12.1997), per residenza;
- Resistenza ai carichi verticali distribuiti: valori calcolabili secondo il D.M. 14.01.2008 (Norme tecniche per la costruzione);
- Modulo della trasmittanza termica periodica $YIE \leq$ a $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (D.Lgs 192/2005 e successivi aggiornamenti, ad esclusione della zona climatica F);
- Sicurezza durante la fase di manutenzione : installazione di un sistema di ancoraggio progettato (EN 795:2012,valido nella Regione Lombardia).

Vincoli normativi secondari :

- UNI9460:2008. Coperture discontinue - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture realizzate con tegole di laterizio o calcestruzzo

6.3.1 Il progetto di ricerca

Progettazione tecnologica in campo edile per la realizzazione di materiali innovativi compatibili con l'ambiente e commercializzabili da cooperative sociali di tipo B.

Il progetto Habitat nasce dall'accordo intrapreso dal Politecnico di Milano con la Fondazione Provincia di Lecco, il consorzio CONSOLIDA Società Cooperativa Sociale, l'Istituto Nazionale di Bioarchitettura (INBAR) e ITALCERT. Il progetto di ricerca ha l'obiettivo di delineare soluzioni sostenibili per il recupero edilizio caratterizzate da un alto contenuto di riciclato commercializzabili da cooperative sociali di classe B

Cooperative sociali di classe B

Le Cooperative sociali rappresentano una particolare forma di impresa, presente quasi esclusivamente in Italia, che pone al centro della propria attività le problematiche e le "domande" sociali e che per questo gode di un'attenzione particolare da parte delle istituzioni. Le norme sulla cooperazione sociale sono frutto di un lungo dibattito fra le forze sociali e politiche che ha portato a una prima definizione nel 1991 con la legge 381 "Disciplina delle cooperative sociali". Più recentemente il tema è stato ripreso dal Decreto Legislativo 155/2006 Disciplina dell'impresa sociale.

Le cooperative sociali pongono al centro della propria attività di impresa, le "domande" sociali. Le modalità attraverso le quali questo impegno si realizza costituiscono le due forme di cooperazione sociale:

- COOPERATIVA SOCIALE DI TIPO A: Si tratta di una forma di impresa cooperativa che opera esclusivamente nella gestione dei servizi socio-sanitari ed educativi. I soci di tale forma di impresa sono generalmente operatori specializzati nella gestione dei servizi sociali (OSS - Operatore Socio Sanitario) o educativo (Educatore). L'ambito di attività è quello dei servizi pubblici (su incarico) o privati (gestione diretta) alla persona. Non possono operare in altri settori merceologici al di fuori dei servizi alla persona.
- COOPERATIVE SOCIALI DI TIPO B: Si tratta di una forma di impresa che può operare in tutti i settori merceologici per la produzione di beni o servizi (attività diverse come agricole, industriali, commerciali, di servizi) ma che deve avere fra i suoi soci una quota almeno pari al 30% di persone svantaggiate.

Le persone svantaggiate sono quelle definite dall'art. 4 della legge 381 ed in particolare:

- gli invalidi fisici, psichici e sensoriali;

- gli ex degenti di istituti psichiatrici, anche giudiziati;
- i soggetti in trattamento psichiatrico;
- i tossicodipendenti;
- gli alcolisti;
- i minori in età lavorativa in situazioni di difficoltà familiari;
- le persone detenute o internate negli istituti penitenziari,
- i condannati e gli internati ammessi alle misure alternative alla detenzione e al lavoro all'esterno;
- altri soggetti indicati con eventuale decreto del Presidente del Consiglio.

Nelle cooperative possono operare soci lavoratori o dipendenti assunti con normale contratto di lavoro. In entrambi i casi si fa riferimento ad un Contratto collettivo nazionale di lavoro (CCNL). Ne esistono di varia natura, siglati da diverse associazioni di categoria e di lavoratori con trattamenti più o meno favorevoli all'impresa o al lavoratore.

La consulenza ha per oggetto la messa a punto di soluzioni sostenibili (materiali, componenti, semilavorati) per il recupero edilizio caratterizzate da un alto contenuto di riciclato e utilizzabili da cooperative sociali di tipo B.

Consulenza progetto
HABITAT

La prestazione di consulenza si articola in tre fasi:

- FASE 1: "Analisi del mercato dei prodotti per il recupero edilizio ed in particolare di quelli che impiegano materiali di riciclo disponibili o in fase pre-competitiva". Sono state individuati ed analizzati i principali prodotti edili biocompatibili, sostenibili e con un alto contenuto di riciclato applicabili nel campo del recupero edilizio e maggiormente rappresentativi della buona pratica costruttiva
- FASE 2: "Identificazione di soluzioni (materiali, componenti, semilavorati) ad alto contenuto di riciclato utilizzabili da manodopera attiva nelle cooperative sociali di tipo B e per i quali sia possibile mettere a punto filiere di produzione locale";
- FASE 3: "Analisi LCA (Analisi del Ciclo di Vita) delle soluzioni studiate nella Fase 2, concentrata soprattutto su materiali di provenienza locale e adeguati ai contesti climatici di riferimento e su una prefigurazione di eventuali partner industriali (produttori di materiali, imprese edili)."

Sono stati indagati alcuni tra i più diffusi prodotti edili utilizzabili nell'ambito del recupero edilizio e per ognuno di essi è stata svolta un'attenta lettura critica sulla base di una schedatura per inquadrare gli aspetti commerciali, fisico-prestazionali, ambientali, operativi e di mercato. Ogni prodotto schedato è stato successivamente valutato, secondo alcuni criteri descrittivi, con un punteggio all'interno di una matrice.

Tale approccio critico ha permesso di valutare la vasta gamma di prodotti presenti sul mercato al fine di trovare le alternative più appetibili a livello di mercato per coinvolgere i lavoratori delle cooperative di "tipo B".

Prima fase di ricerca

Per ogni prodotto censito è stata compilata una schedatura creata ad hoc per soddisfare gli scopi della ricerca.

La schedatura è stata strutturata nei seguenti livelli di approfondimento:

- Identificazione del prodotto;
- Caratteristiche fisiche;
- Impatto ambientale;
- Caratteristiche operative;
- Prezzo;
- Certificazione.

TITOLO		cod.	SIS XX
IDENTIFICAZIONE DEL PRODOTTO (rif. DITTA - Nome commerciale - sito internet)			
DESCRIZIONE			
[Voce di capitolato]		FOTO	
COMPONENTI			
1.			
2.		FOTO	
3.			
4.			
5.		FOTO	
6.			
7.			
8.			
DIMENSIONI			
Spessore		m	FOTO
Lunghezza		m	
Larghezza		m	
PESO		kg	FOTO
INTERASSE APPOGGI		m	
AMBITO DI UTILIZZO	Recupero	Nuova costruzione	
IMPIEGO	Orizzontale	Inclinato	Verticale
APPLICAZIONE	Autoportante	Necessità di supporto discontinuo	Necessità di supporto continuo
MODALITA' DI GIUNZIONE	Battente/Maschio-femmina	A incastro	Fissaggio meccanico puntuale
	Malta	Adesivi/colle	
VENTILAZIONE	Si	No	FOTO
IMPERMEABILIZZAZIONE	Si	No	
POSSIBILITA' DI INTEGRAZIONE CON FOTOVOLTAICO	Si	No	
NOTE			
[necessità di ventilazione, tenuta, ponti termici, integrazione impiantistica, ...]			

Figura 6.14, Format per la schedatura dei materiali. Fonte Report progetto HABITAT 1° Fase

Al termine della schedatura dei prodotti nel database è emerso che la gran parte dei prodotti interessanti per il recupero dell'involucro edilizio si presenta sotto forma di semilavorato, sia esso pannello o materassino e nessun prodotto analizzato è dotato di integrazione impiantistica.

Solo alcuni prodotti consentono la loro posa in opera con la permanenza degli inquilini durante l'installazione e le operazioni solitamente vengono eseguite a secco, senza l'utilizzo di leganti, da un operaio edile e con un minimo di adattamento in cantiere.

Nella fase successiva a questo screening si sono identificate le soluzioni ad alto contenuto di riciclato utilizzabili da manodopera attiva nelle cooperative sociali di tipo B e per le quali sia possibile mettere a punto filiere di produzione locale (Fase 2).

I criteri di valutazione sono stati i seguenti:

- Reperibilità delle materie prime nel territorio lecchese
- Biocompatibilità delle materie prime:
- Grado di utilizzo di materiali da recupero, con la possibilità di ottimizzazione con altre attività svolte da cooperative sociali.
- Grado di innovazione
- Economicità delle materie prime
- Costo della produzione
- Grado di utilizzo della manodopera nella fabbricazione
- Possibilità di fornitura come "semilavorato"
- Durabilità
- Potenziale interesse del mercato

La ricerca si è focalizzata su prodotti a base di materiali biocompatibili/riciclati reperibili a un basso costo e la cui produzione non necessiti grandi macchinari che lavorino ad alta temperatura sia per la mancanza di disponibilità economica per grandi investimenti che per esporre i lavoratori delle cooperative a un rischio minore.

I risultati hanno evidenziato che i prodotti più interessanti sono quelli a base legno, a base carta e a base tessuti e su di essi sono stati fatti approfondimenti in relazione alle loro reali tecnologie produttive e per verificarne l'effettiva fattibilità.

Una variabile fondamentale che è stata tenuta in considerazione è la quantità di materiale approvvigionabile per garantire la fattibilità del progetto.

A seguito di questa prima fase di analisi dei prodotti disponibili sul mercato, sono stati studiati i possibili campi di applicazione di alcuni dei prodotti ottimali risultanti dalla matrice di valutazione. La variabile economica è la discriminante fondamentale che ha guidato la scelta del prodotto finale.

In questa fase sono state individuate le attività di recupero edilizio più frequenti nel mercato delle costruzioni e, una volta individuato l'elemento tecnico oggetto di più frequenti interventi, sono stati analizzati i principali sistemi/componenti utilizzati per la sua riqualificazione.

Seguendo i principi di biocompatibilità e sostenibilità già analizzati nella prima fase della consulenza sono state proposte diverse alternative dell'elemento tecnico individuato, riponendo particolare attenzione alla semplicità di realizzazione e di assemblaggio per favorire il lavoro delle cooperative sociali di tipo B.

L'elemento tecnico caratterizzato dal maggior numero di interventi è la copertura, di edifici principalmente con destinazione d'uso residenziale. L'area geografica maggiormente interessata è il Nord Italia e la sostituzione/rinnovo della copertura è uno degli interventi più frequentemente applicati.

La ricerca è proseguita con l'analisi di un componente da applicare in copertura e che potesse essere sia adottato su solai esistenti senza prevederne la demolizione che adattato a configurazioni strutturali lineari o puntuali residue al processo di demolizione.

L'obiettivo è stato quello di riuscire a garantire le prestazioni termiche e strutturali integrando le esistenti o fornendole ex novo.

In seguito sono state proposte alcune alternative metaprogettuali. Le principali criticità con le quali ci si è dovuti confrontare sono la tipologia di supporto esistente (continuo o discontinuo) e il suo stato di fatto (più o meno degradato), la resistenza strutturale dell'esistente, la presenza di ponti termici, la necessità di intervenire in presenza di abitanti creando minimo discomfort, la presenza punti critici (lucernari, cambio di geometria, ...).

Dopo aver studiato vantaggi e criticità del sistema copertura è stata svolta un'analisi dei prodotti, sistemi o componenti, presenti sul mercato e adatti all'applicazione in copertura in presenza o meno di una sottostruttura/supporto.

Lo strumento utilizzato per il confronto è stato un format di schedatura.

TITOLO		cod.	SIS XX
IDENTIFICAZIONE DEL PRODOTTO (rif. DITTA - Nome commerciale - sito internet)			
DESCRIZIONE			
[Voce di capitolato]			
COMPONENTI		FOTO	
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
DIMENSIONI		FOTO	
Spessore		m	
Lunghezza		m	
Larghezza		m	
PESO		kg	
INTERASSE APPOGGI		m	
AMBITO DI UTILIZZO	Recupero	Nuova costruzione	
IMPIEGO	Orizzontale	Inclinato	Verticale
APPLICAZIONE	Autoportante	Necessità di supporto discontinuo	Necessità di supporto continuo
MODALITA' DI GIUNZIONE	Battente/Maschio-femmina	A incastro	Fissaggio meccanico puntuale
	Malta	Adesivi/colle	
VENTILAZIONE	Si	No	
IMPERMEABILIZZAZIONE	Si	No	
POSSIBILITA' DI INTEGRAZIONE CON FOTOVOLTAICO	Si	No	
NOTE		FOTO	
[necessità di ventilazione, tenuta, ponti termici, integrazione impiantistica, ...]			

Figura 6.15, Format per la schedatura dei sistemi e componenti per copertura. Fonte Report progetto HABITAT 2° Fase

Per il recupero del sistema di copertura (riqualificazione energetica) "Habitat" si è focalizzato sullo studio di pannelli prefabbricati multifunzione, che permettano di semplificare le operazioni di messa in opera avendo la possibilità di fabbricare e assemblare gli elementi in officina, a fine di limitare il numero di operazioni da effettuare in situ e di ridurre il rischio strettamente connesso al lavoro in quota.

Partendo dall'analisi dei prodotti disponibili sul mercato, nello specifico sono state proposte tre tipologie di pannello in grado di soddisfare diverse esigenze:

- soluzione "LATEROCEMENTO";
- soluzione "DESIGN";
- soluzione "CHALET".

La soluzione "Laterocemento" è adatta a coperture con solaio continuo (tipo laterocemento) che funge da supporto al pannello. Il componente è costituito da montanti in legno con funzione non strutturale, isolamento morbido, finitura inferiore con uno strato di supporto continuo e superiore con uno strato isolante rigido, rivestito con strato di tenuta all'acqua al quale sono fissati i listelli primari di sostegno alla finitura (che creano lo strato di ventilazione del pannello). In opera verranno montati i listelli secondari per il supporto degli elementi di finitura.

Soluzione laterocemento

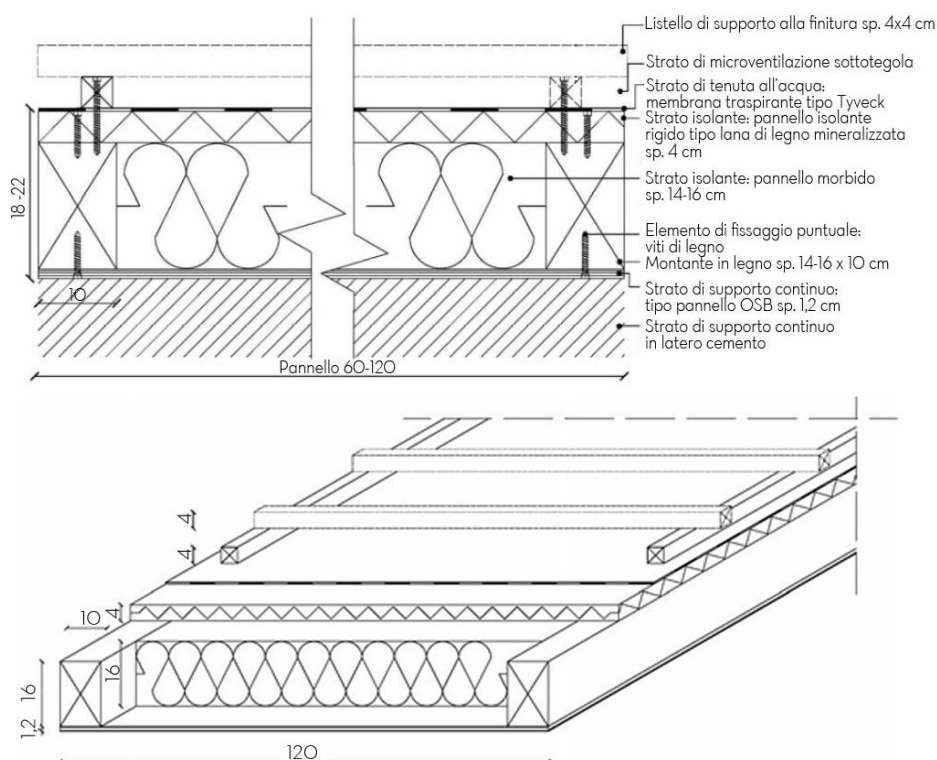


Figura 6.16, Concept pannello "Laterocemento". Fonte Report progetto HABITAT 2° Fase

Il pannello "Design" è adatto a coperture con supporto non continuo. Il componente è costituito da montanti in legno con funzione strutturale (orditura secondaria, con interasse variabile in funzione delle esigenze progettuali) tra i quali sono interposti uno strato di isolante morbido e lo

Soluzione "Design"

strato di ventilazione; la finitura inferiore è costituita da un pannello facciavista e la parte superiore è realizzata con uno strato di supporto continuo. Il pannello è adeguatamente impermeabilizzato ed è provvisto di listelli primari di sostegno alla finitura (che creano un ulteriore strato di ventilazione al pannello). In opera verranno montati i listelli secondari per il supporto degli elementi di finitura.

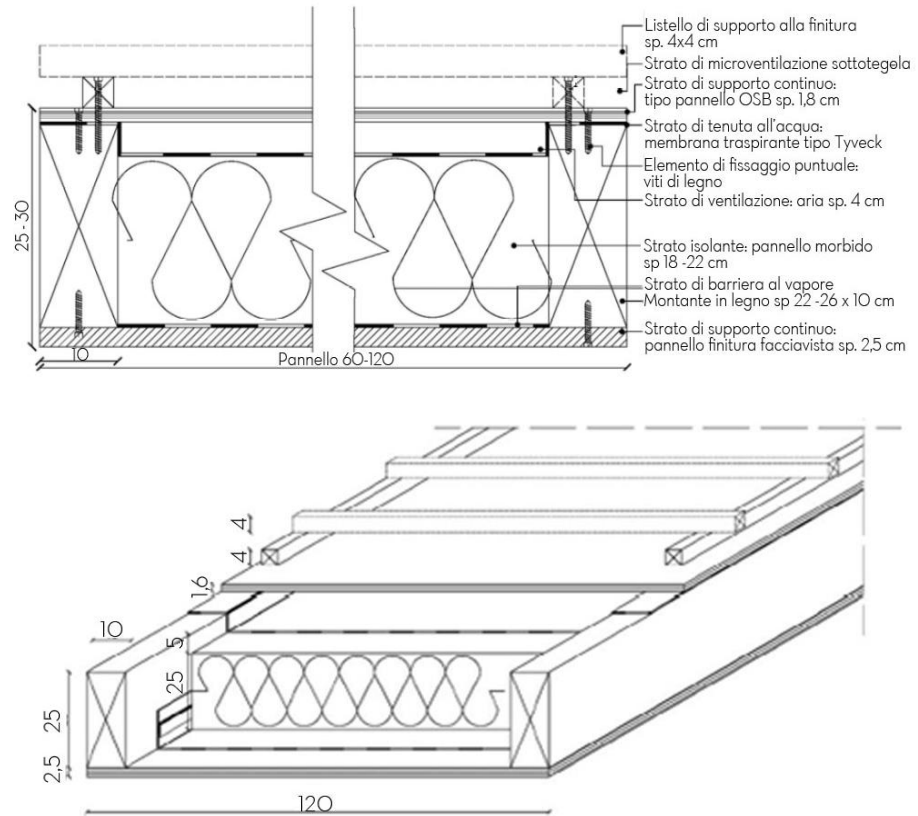


Figura 6.17, Concept pannello "Design". Fonte Report progetto HABITAT 2° Fase

Soluzione "Chalet"

Il tipo "Chalet" è adatto a coperture con supporto non continuo. Il componente è costituito da montanti in legno con funzione strutturale a vista (orditura secondaria, con interasse variabile in funzione delle esigenze progettuali) tra i quali è posto un isolamento morbido; la finitura inferiore è costituita da uno strato di supporto continuo e quella superiore da uno strato isolante rigido. Il pannello è adeguatamente impermeabilizzato ed è provvisto di listelli primari di sostegno alla finitura (che creano lo strato di ventilazione). In opera verranno montati i listelli secondari per il supporto degli elementi di finitura.

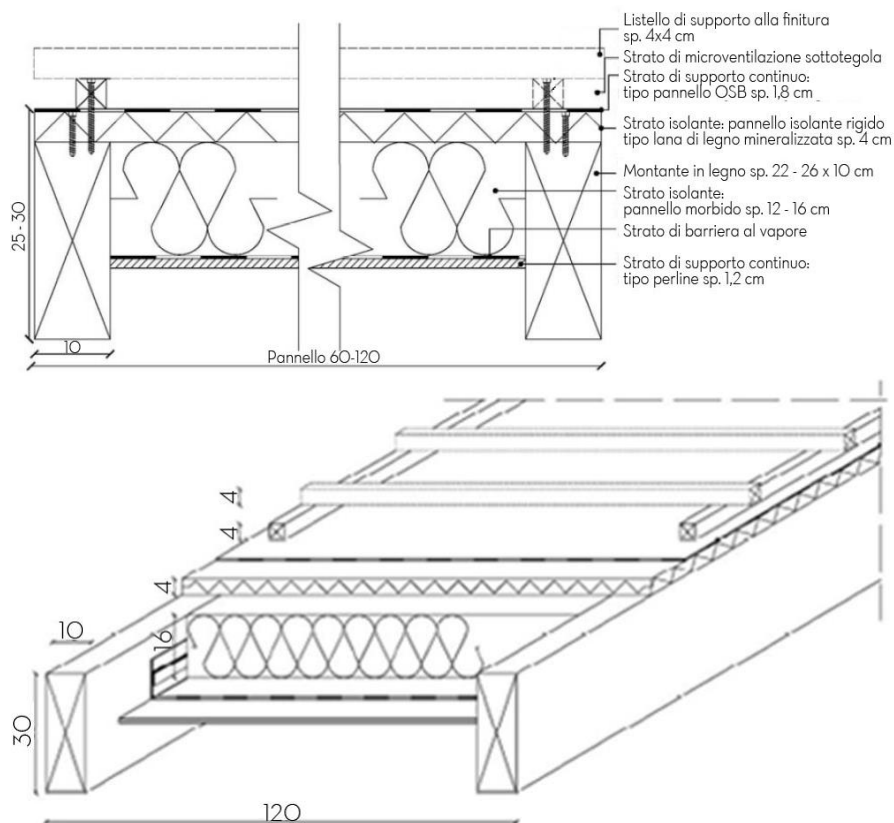


Figura 6.18, Concept pannello "Chalet". Fonte Report progetto HABITAT 2° Fase

Il vantaggio del sistema proposto consiste nella riduzione del numero di "pezzi speciali" e nel possibile controllo dei punti critici fuori dal cantiere.

Il pannello proposto consente di variare la tipologia di isolante, solitamente morbido, in funzione della sua disponibilità sul mercato.

Per poter standardizzare la produzione dei pannelli è necessario prevedere una gamma di pannelli le cui dimensioni riescano a soddisfare, tramite giustapposizione di diversi pannelli, la geometria di gran parte delle coperture esistenti.

Le larghezze proposte per il pannello sono 60/80/120 cm e la lunghezza è variabile in funzione della lunghezza di falda, dal colmo alla gronda. In questo modo gli addetti delle cooperative, basandosi su tre dimensioni standard di larghezza, costruendo altrettante dimensioni, possono armonizzare e uniformare la produzione, riducendo la variabilità di ogni caso studio.

Ovviamente occorrerà costruire "pezzi speciali" costituiti da pannelli standard al cui interno vengono inseriti raccordi per corpi emergenti, finestre da tetto o agganci per il posizionamento di pannelli solari o fotovoltaici in copertura.

Terza fase di ricerca

Nella terza fase di ricerca sono stabiliti i materiali necessari per la realizzazione del pannello e le caratteristiche tecniche e tecnologiche necessarie per la messa a punto di un prototipo in scala 1:1.

Gli obiettivi principali sono stati la definizione di una configurazione progettuale della soluzione di copertura orientata verso un alto livello di prefabbricazione al fine di garantire un'ottimale integrazione impiantistica e strutturale, lo sviluppo del progetto esecutivo per la realizzazione di un elemento prototipo, l'analisi di dettaglio delle principali sezioni critiche più ricorrenti in campo edile.

È stato definito un modello ottimale per il quale sono stati poi realizzate le distinte di taglio e definite le lavorazioni dei singoli pezzi e le operazioni di montaggio per la realizzazione di un prototipo in scala reale di dimensioni ridotte.

Sono stati inoltre analizzati cinque nodi costruttivi che risultano ricorrenti nell'edilizia residenziale: nodo di gronda, nodo di colmo, nodo di compluvio a due falde, nodo con finestra a tetto e nodo con terminale impiantistico o camino di ventilazione.

Si è stabilito di sviluppare la soluzione "Chalet" in quanto la più complessa dal punto di vista dell'ottimizzazione dei componenti e, dall'analisi di mercato effettuata, è stata individuata come la soluzione con il potenziale maggiore in termini di applicabilità nei vari casi di riqualificazione di coperture esistenti e risposta alle esigenze del mercato.

È importante sottolineare che si è deciso di slegare le funzioni della struttura portante dell'edificio da quella che è la struttura del pannello a cassone multi-celle autoportante a base legno.

Si è prestata particolare attenzione a garantire una tenuta all'aria ottimale tramite diffusione del vapore attraverso la struttura, evitando così infiltrazioni e fenomeni convettivi concentrati che possano degradare l'isolamento e le parti in legno più esposte a fenomeni di condensazione.

Anche la capacità di integrazione impiantistica è stato un punto centrale della progettazione. È stato introdotto un cavedio impiantistico (intercapedine d'aria non ventilata) per facilitare le operazioni di manutenzione durante la vita di servizio dell'edificio. Inoltre il pannello è stato progettato per poter ospitare già in fase di assemblaggio gli infissi e tutti i terminali impiantistici, così da controllare la qualità degli elementi di tenuta all'acqua e all'aria già in fase di assemblaggio, con grandi vantaggi in termini di controllo della qualità e rapidità di messa in opera.

Il pannello di copertura utilizzato nel progetto è così composto a partire dall'esterno:

1. Manto di copertura discontinuo in coppi
2. Listelli di ventilazione in abete con sezione 40x50 mm, sp. 80mm
3. Strato impermeabile traspirante al vapore sp. 0.3
4. Pannelli in lana di legno mineralizzata sp. 40 mm
5. Pannelli OSB 25 mm
6. Isolamento termico in tessuti riciclati sp. 160 mm
7. Freno vapore sp. 0.2 mm
8. Pannello MDF sp. 8 mm

9. Intercapedine d'aria non ventilata per l'integrazione impiantistica sp. 40mm
10. Rivestimento interno in perline di abete sp. 22mm

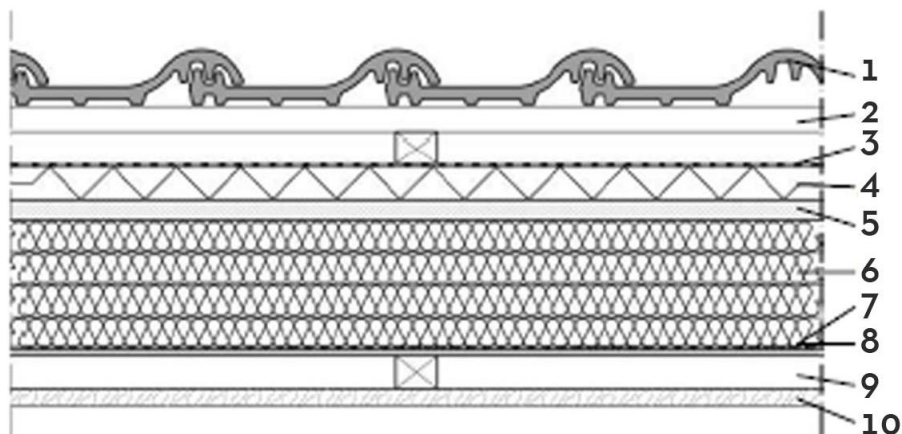


Figura 6.19, Sezione corrente del pannello di copertura. Fonte autore tesi

L'ultima configurazione adottata è composta da struttura a cassone multi-cella in pannelli sottili in OSB multistrato di pioppo o betulla, da un giunto laterale asimmetrico per la giustapposizione dei vari elementi di copertura, dall'integrazione già in fase di assemblaggio in officina della membrana impermeabile superiore e dei listelli di ventilazione e poggia tegola, dall'inserimento di uno strato irrigidente inferiore in pannelli MDF per il conferimento della protezione al fuoco e stesura della guaina di tenuta al vapore, dall'inserimento di piastre metalliche di connessione per l'irrigidimento degli angoli del cassone e disposizione di due traversi poggia tegola in tubolare in acciaio zincato necessari per la movimentazione del pannello in fase di trasporto e messa in opera.

Il pannello è disposto secondo la pendenza della copertura stessa. Questo orientamento permette maggior flessibilità rispetto a una disposizione ortogonale, soprattutto per la disposizione del rivestimento interno.

Il maggior criticità si è presentata nell'ottimizzazione dei materiali isolanti disposti nell'intercapedine del pannello, ma attraverso le informazioni raccolte si è riscontrato che nella maggior parte dei casi di recupero/riqualificazione edilizia avviene il rifacimento della struttura portante di copertura (almeno che non si abbia a che fare con legni o altri materiali di particolare pregio) per cui è possibile adattare l'isolante alle misure standard del pannello.

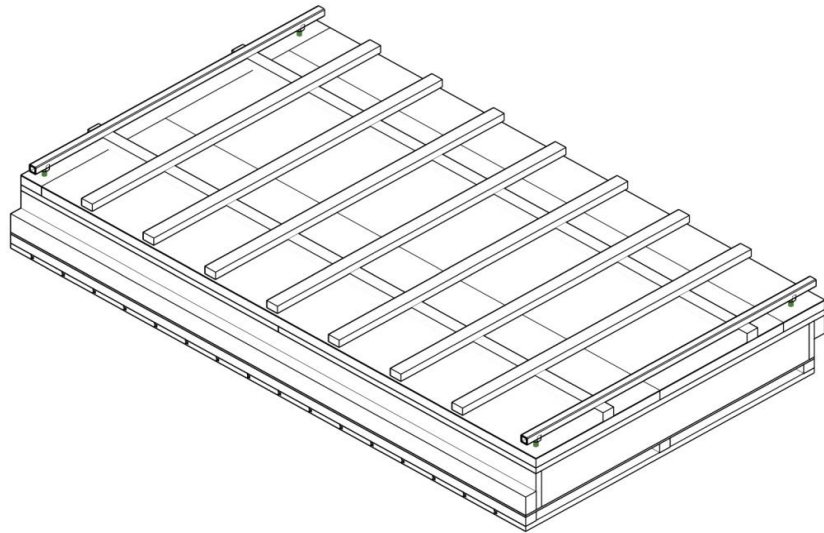


Figura 6.20, Pannello prototipo. Fonte autore tesi

La cassa rigida strutturale del pannello è realizzato con pannelli in OSB collegati tra loro tramite piastre metalliche e viti, ed è chiusa dal pannello superiore in OSB e dal pannello inferiore in MDF.

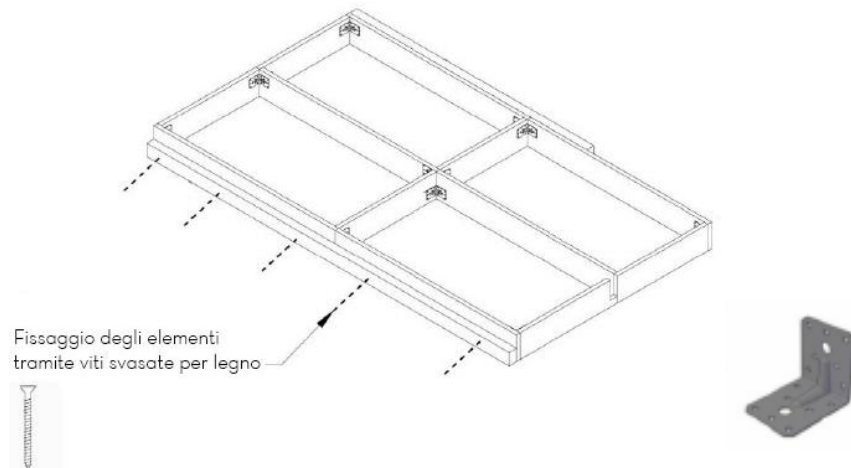


Figura 6.21, Fase di montaggio della cassa rigida strutturale. Fonte autore tesi

Tutti gli elementi di tenuta, dalla membrana interna con la funzione di freno al vapore a quella esterna di tenuta all'acqua, sono integrate già in fase di preassemblaggio, così come i travetti di ventilazione e pendenza e quelli porta tegola.

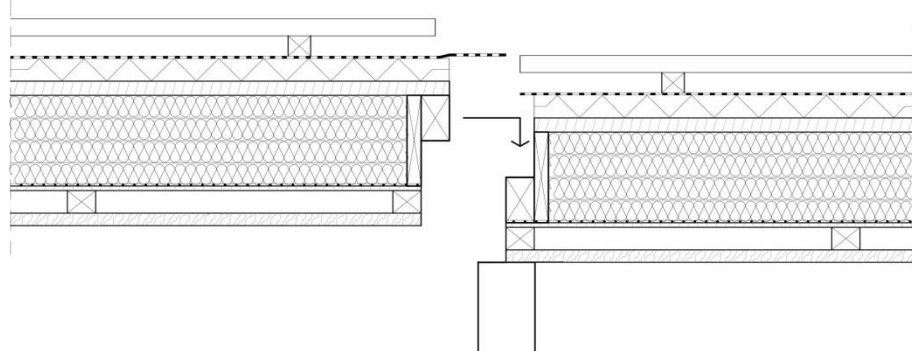


Figura 6.22, Sezione di unione di due pannelli. Fonte Report HABITAT 3° Fase

Per la movimentazione in fase di trasporto e di messa in opera sono stati inseriti due elementi di supporto tubolari, uno di gronda e uno di colmo, in acciaio zincato, saldamente vincolati alla struttura in OSB del pannello, capaci di supportare il carico generato dal sollevamento e posizionamento del pannello.



Figura 6.23, Esempio di movimentazione di un pannello prefabbricato

Quanto detto fin'ora in merito al progetto di ricerca Habitat ed alla soluzione definitiva applicata sul caso studio è rappresentato nelle tavole di riferimento PR 03, PR 04.

6.3.2 Soluzioni integrate

Partendo dalla soluzione del pannello Habitat sviluppata all'interno del progetto di ricerca del Politecnico di Milano, sono state poi sviluppate ulteriori soluzioni per l'integrazione di funzioni accessorie.

Il pannello progettato per la collocazione della finestra Velux predispone al suo interno dei montanti trasversali e dei bilanci in legno per creare l'asola di alloggiamento della finestra da tetto. All'asola viene ancorato il falso telaio e il telaio fisso della finestra.

La parte mobile del serramento, con le opportune scossaline, viene montata in opera data la fragilità dell'elemento.



Figura 6.24, Finestra Velux, Fonte BigMat-VASS

Essendo un corpo emergente, un' accortezza particolare dovrà essere riposta nel corretto risvolto della guaina impermeabile.

Pannello con Velux
integrata

Il pannello deve essere sagomato opportunamente, in corrispondenza della finestra da tetto, per garantire una corretta illuminazione degli ambienti interni.

E' necessario raccordare tutti gli strati di isolante del modulo con le superfici laterali della finestra da tetto, garantendo l'assenza di ponti termici.

Lo strato di finitura avverrà in opera con intonacatura.

(Riferimento tavole **PR O5** e **PT O4**).

Pannello con superfici captanti integrate

Nella falda di copertura rivolta a sud-ovest si prevede l'installazione di pannelli Habitat con l'integrazione di moduli fotovoltaici e collettori solari. L'applicazione di moduli di copertura integranti pannelli solari migliora il risultato architettonico e ottimizza tempi e costi di installazione, rispetto alla realizzazione con sovrapposizione della struttura di supporto degli elementi captanti.

Entrambe le tipologie d'impianto utilizzano il sole come fonte energetica, catturandone la radiazione attraverso superfici captanti: mentre i moduli fotovoltaici trasformano direttamente la radiazione solare in energia elettrica, i pannelli solari termici utilizzano l'energia termica del sole per riscaldare l'acqua da utilizzare per uso igienico sanitario o per il riscaldamento degli ambienti.

Pannello con integrazione fotovoltaica

Nel pannello con integrazione fotovoltaica i moduli fotovoltaici sostituiscono il tradizionale materiale di rivestimento del tetto dell'edificio, diventando parte integrante del pannello HABITAT.

Dal punto di vista funzionale la superficie fotovoltaica, unitamente con il sistema di montaggio dotato di brevetto europeo (o di richiesta di concessione di brevetto europeo con opinione positiva rilasciata da European Patent Office), deve garantire:

- la tenuta all'acqua e la conseguente impermeabilizzazione della struttura edilizia;
- una tenuta meccanica comparabile con quella dell'elemento edilizio sostituito;
- una resistenza termica tale da non compromettere le prestazioni dell'involucro edilizio.

L'assemblaggio della superficie attiva sulla guaina di supporto è normalmente effettuato in fabbrica.

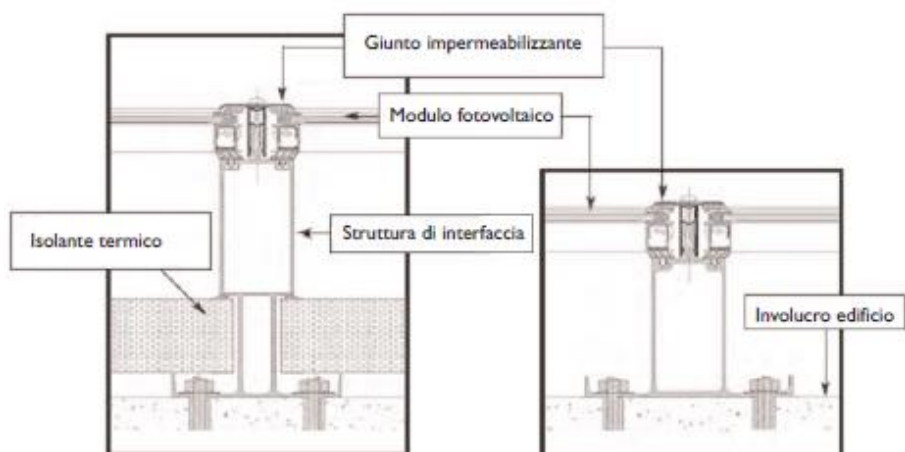


Figura 6.25, Funzioni caratteristiche del pannello fotovoltaico in sostituzione del manto di copertura (tenuta meccanica e impermeabilizzazione). Fonte GSE - Gestore Servizi Energetici

Un' accortezza importante in fase di realizzazione e montaggio consiste nel garantire una retroventilazione sufficiente, di spessore maggiore/uguale a 4 cm, tramite provvedimenti adatti (ad esempio i controlistelli previsti per l'appoggio tegole) per evitare surriscaldamenti che potrebbero intaccare l'efficienza del sistema.

E' assolutamente necessario un isolamento sottotetto (funzione svolta dai pannelli in lana di legno mineralizzata sp. 40 mm, vedere *Figura 6.19*).

Per una corretta tenuta all'acqua i pannelli devono essere sovrapposti per almeno 10 cm in direzione della pendenza della copertura.

I moduli fotovoltaici per essere sovrapposti hanno bisogno di una guarnizione in gomma per evitare che i due vetri si tocchino e per garantire la tenuta (effetto guarnizione).

Le dimensioni dei pannelli progettati (larghezza 60-80-120 cm e lunghezza anche superiore a 6m) consentono l'integrazione dei moduli standard disponibili in commercio, senza dover ricorrere a moduli custom.

I pannelli fotovoltaici dovranno essere tra loro collegati lungo la linea di profilatura longitudinale con appositi morsetti in acciaio inox che determinano l'irrigidimento del sistema e assicurano la continuità del manto di copertura fotovoltaico.

Per evitare infiltrazioni al di sotto del pannello inoltre è bene porre attenzione nell'applicare le scossaline di protezione sia in sommità dei pannelli, che nella parte terminale in prossimità della gronda, in modo da convogliare adeguatamente le acque meteoriche ai canali.

Un'altra possibile soluzione per massimizzare lo sfruttamento attivo dell'energia solare è l'installazione dei collettore solari nei pannelli.

Le tubazioni di mandata e ritorno integrate possono essere convogliate nel preposto vani impiantistico del pannello (vedere *Figura 6.19*). Il collettore solare è composto da un radiatore in grado di assorbire il calore dei raggi solari e trasferirlo al serbatoio di acqua. La circolazione dell'acqua dal serbatoio al rubinetto domestico è realizzata mediante circolazione naturale o forzata, in quest'ultimo caso il pannello solare integra una pompa idraulica con alimentazione elettrica.

Pannello con collettore
solare integrato

Effettuare una elevata copertura del fabbisogno per riscaldamento, comporta inevitabilmente un elevato apporto del sistema solare nel periodo estivo, per questo motivo che l'impianto solare viene usualmente dimensionato per coprire al massimo il 30% del fabbisogno per riscaldamento.

Al fine di evitare danni causati da forti raffiche di vento i collettori solari devono essere sufficientemente assicurati ai pannelli di copertura.

Sarà necessario quindi realizzare un adeguato sistema di ancoraggio. Nel caso di coperture con pendenze inferiori ai 35° particolare attenzione deve essere posta alle correnti che si sviluppano alle estremità e agli angoli.

La lunghezza a rappresenta il lato minore della pianta del tetto dato dalla larghezza dell'edificio più il cornicione di gronda, mentre b è il lato lungo della pianta del tetto pari alla lunghezza dell'edificio più il cornicione di gronda. R è la larghezza laterale su cui non devono essere installati i pannelli. Per edifici chiusi, R deve essere maggiore o uguale ad $a/8$.

I pannelli inoltre devono essere posizionati ad una distanza di almeno 0,5 m dal colmo del tetto.

Nel caso di pannelli con montaggio di due o più collettori affiancati è necessario collegarli fra loro mediante giunti di raccordo elastici e comprimibili, per assorbire eventuali dilatazioni termiche che possono provocare deformazioni.

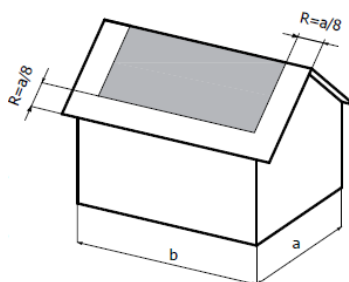


Figura 6.26, Sezione del tetto su cui non predisporre l'uso di pannelli con collettori solari

Riferimento tavola PR O6 e PI O2 .

6.3.3 Processo di ottimizzazione

In fase di analisi sono stati realizzati i disegni esecutivi per il taglio e montaggio di un modulo di copertura per falde di grandi dimensioni, considerando come caso studio la copertura di un edificio esistente situato nel comune di Dervio, in provincia di Lecco, recentemente riqualificata con un sistema tradizionale isolato a travi e travetti in legno e rivestimento interno in doghe perliniate.

La stessa metodologia di lavoro è stata applicata anche per l'edificio oggetto di studio a Cinisello Balsamo.

In primo luogo si è valutata la geometria della copertura e verificato quante e quali fossero le lavorazioni da fare sui pannelli dalle dimensioni "non-standard" (presenza di tagli terminali particolari, integrazione di impianti e comignoli, finestre da tetto). La geometria a due falde risulta particolarmente adatta all'applicazione delle soluzioni studiate.

È stato definito un passo tra i travetti di sostegno dei pannelli di 60 cm che consente l'applicazione dei moduli da 120 cm in grado di alloggiare

pannelli solari delle dimensioni standard e al tempo stesso adattarsi al passo della maglia strutturale esistente. Solo in tre punti risulta necessaria l'applicazione di moduli di dimensioni differenti per adattarsi alla maglia strutturale esistente e per risolvere il nodo che si colloca all'estremità della falda.

Si prevede l'applicazione di 42 pannelli di 14 tipologie.

L'asimmetria della copertura (una falda ha una lunghezza di 6.12 m e l'altra di 6.79) ha comportato un maggior numero di tipologie di pannelli con le larghezze uguali, ma lunghezze differenti.

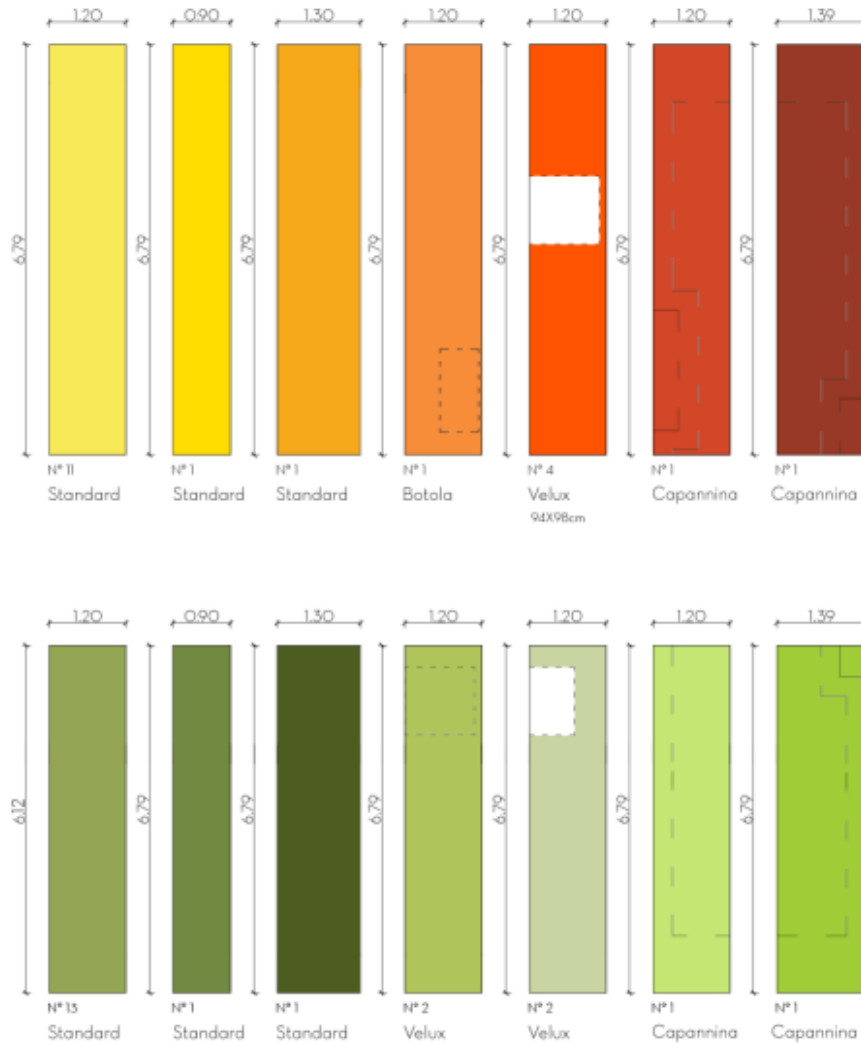


Figura 6.27, Ottimizzazione del numero e tipologia di pannelli HABITAT. Fonte autore tesi

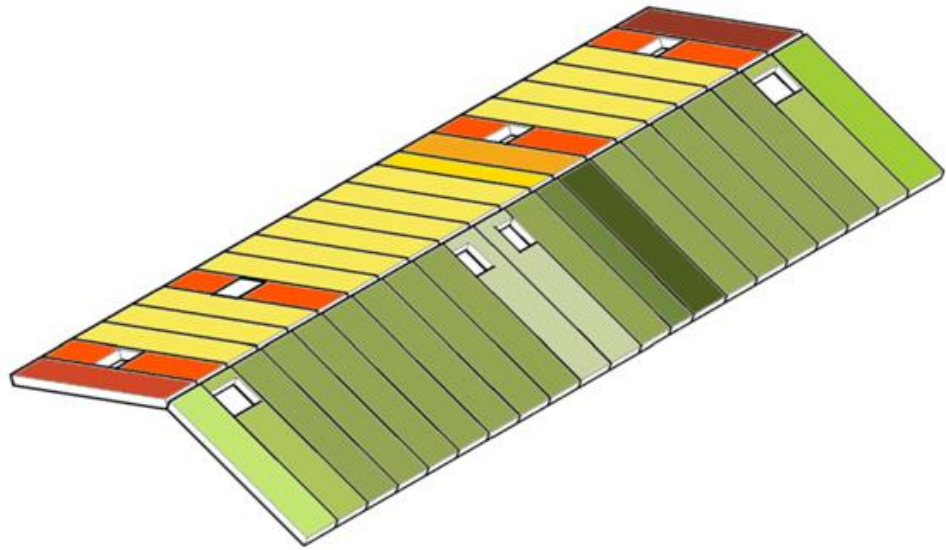


Figura 6.28, Disposizione dei pannelli HABITAT in copertura. Fonte autore tesi

La scelta di usare moduli da 120 consente di minimizzare gli sfridi dei diversi materiali, dall'analisi dei prodotti in commercio è risultato infatti che la maggior parte dei materiali utilizzati hanno dimensioni multiple di 60 cm.

L'ottimizzazione del numero di tipologie di pannelli comporta un minor costo di produzione, grazie alla razionalizzazione in fase costruttiva e dell'approvvigionamento delle materie prime da utilizzare.

Quanto descritto è stato rappresentato nelle tavola **PRO6**.

Analisi dei pannelli "speciali" e dei punti singoli

All'interno del progetto di ricerca Habitat sono stati studiati i seguenti pannelli "speciali":

- Pannello con foro per i camini
- Soluzione di colmo
- Soluzione di gronda
- Soluzione del compluvio

Ulteriori dettagli analizzati nel presente progetto riguardano il modulo finestra e i nodi di colmo e di gronda su struttura in acciaio.

L'analisi approfondita è riportata nella tavole di riferimento **PR 05, PT 03, PT 04**.

6.3.4 Analisi dei tempi e dei costi

Per valutare la competitività in termini economici della soluzione HABITAT si è scelto di effettuare un confronto tra l'utilizzo della soluzione prefabbricata e l'utilizzo di una soluzione di copertura tradizionale. L'analisi si è estesa anche alla scelta di tipo strutturale ipotizzando l'utilizzo delle soluzioni a confronto su struttura in legno e su struttura in acciaio.

La valutazione dei costi è stata effettuata partendo da un computo metrico estimativo, che ha consentito di effettuare delle prime osservazioni per la definizione alle scelte progettuali relative alla struttura ed al manto della copertura. Il calcolo dei costi cos'è effettuato fa affidamento a prezzi standard desunti da prezziari.

L'utilizzo di una soluzione prefabbricata, la cui realizzazione può differire, in termini di tempi e costi, dalle tipologie tradizionali, ha richiesto un'analisi più dettagliata che faccia riferimento ai costi effettivi di soluzioni analoghe presenti sul mercato. Sulla base delle informazioni forniteci da imprese produttrici di strutture tradizionali e soluzioni prefabbricate, comparabili per differenti aspetti a quella studiata, sono state effettuate valutazioni più approfondite, in grado di restituirci una stima che meglio rappresenti i costi reali di produzione e messa in opera.

Il prezzo rappresenta l'elenco dei prezzi da applicare per la determinazione del costo di costruzione del futuro bene edilizio, con riferimento ad ambiti territorialmente omogenei da un punto di vista della struttura economica, produttiva e morfologica. Territorialmente le Regioni definiscono un prezzo delle opere pubbliche in conformità a quanto disposto dal D.Lgs. 163/2006 art.133 comma 8.

Esistono diverse tipologie di prezzo, che forniscono la necessaria definizione del costo di costruzione, rispetto al corrispondente livello di progettazione, sulla base di dati effettivamente disponibili.

- Il PREZZARIO PER TIPOLOGIE EDILIZIE riporta il costo di diverse tipologie edilizie. È usato nella fase di programmazione dell'opera o nella fase di progettazione preliminare, quando l'unica possibilità di determinazione del costo di costruzione può avvenire tramite comparazione con casi simili. Il metodo di stima è di tipo parametrico.
- Il PREZZARIO DELLE OPERE è usato nella fase di progettazione definitiva ed esecutiva dell'opera, ovvero quando, con diversi approfondimenti, sono state definite le lavorazioni necessarie alla realizzazione dell'opera e quindi è possibile procedere analiticamente alla stima del costo di costruzione.

I costi unitari, ai quali si è fatto riferimento per le lavorazioni più comuni, sono quelli indicati nel "Prezzo Opere Pubbliche Regione Lombardia 2011" e nel "Listino dei prezzi per l'esecuzione di Opere Pubbliche e manutenzioni (vol.1.1) del Comune di Milano"; per i costi unitari non indicati

Il computo metrico

si è fatto riferimento a costi desunti da prezzi di mercato. Inoltre, I costi totali sono stati calcolati tenendo conto degli sfridi ossia dell'incidenza del costo che risulta dalla lavorazione dei materiali stessi per la messa in opera.

Per ognuna delle quattro soluzioni analizzate è stato svolto il computo metrico per risorse, partendo dalla quantificazione economica e descrittiva delle lavorazioni, scomposte negli elementi che le costituiscono:

- Mano d'opera
- Noli e trasposti
- Materiali

Il procedimento di stima ha previsto:

- l'analisi dei prezzi di ogni singola lavorazione
- la quantificazione delle risorse diverse per lavorazioni
- l'associazione tra quantità e costo delle risorse

Dai calcoli effettuati è stato ricavato il costo al mq per ognuna delle soluzioni analizzate, che moltiplicato per la superficie totale della copertura consente di ricavarne il costo totale.

Il costo del pannello prefabbricato HABITAT, calcolato tenendo conto del costo dei materiali, degli sfridi, della mano d'opera necessaria per la produzione ed ipotizzando l'utilizzo della finitura interna in legno, risulta di 182 Euro/mq (**Allegato A.1**).

Indagini di mercato

Il prezzo così ottenuto è stato confrontato con il prezzo medio ricavato dall'analisi di tre soluzioni presenti sul mercato che per tipologia di struttura, di materiale isolante, quantità, e grado di prefabbricazione sono stati ritenuti comparabili. Ne risulta che il pannello Habitat, il cui costo varia tra 155 e 182 euro/mq, in funzione della finitura esterna, si inserisce in una linea di conformità con l'offerta di mercato che varia tra 160-180 euro/mq.

Al costo del pannello si aggiungono i costi di di posa in opera, di noli e trasporti, e delle lavorazioni per la disposizione dei coppi e delle lattonerie, al fine di valutare il costo complessivo del pacchetto di copertura realizzato con soluzione prefabbricata.

Come detto, i computi metrici per la stima dei costi delle quattro soluzioni sono stati svolti riferendosi a valori desunti dall'indagine di mercato, sia per quanto riguarda costi e tempi di posa della struttura che per quanto riguarda la valutazione delle durate di messa in opera di soluzioni prefabbricate e tradizionali.

Dai valori ottenuti (**Allegati A.1 - A.5**) è stato innanzitutto possibile osservare come per la soluzione di tipo prefabbricato la richiesta di materiale sia maggiore (26%) rispetto ad una soluzione tradizionale con

basso livello di prefabbricazione . Tali costi aggiuntivi, direttamente legati ai materiali, si compensano tuttavia con la rapidità di posa in cantiere e una relativa diminuzione delle ore di messa in opera dei pannelli, che comportano una diminuzione dei costi dei noleggi e della mano d'opera (46%).

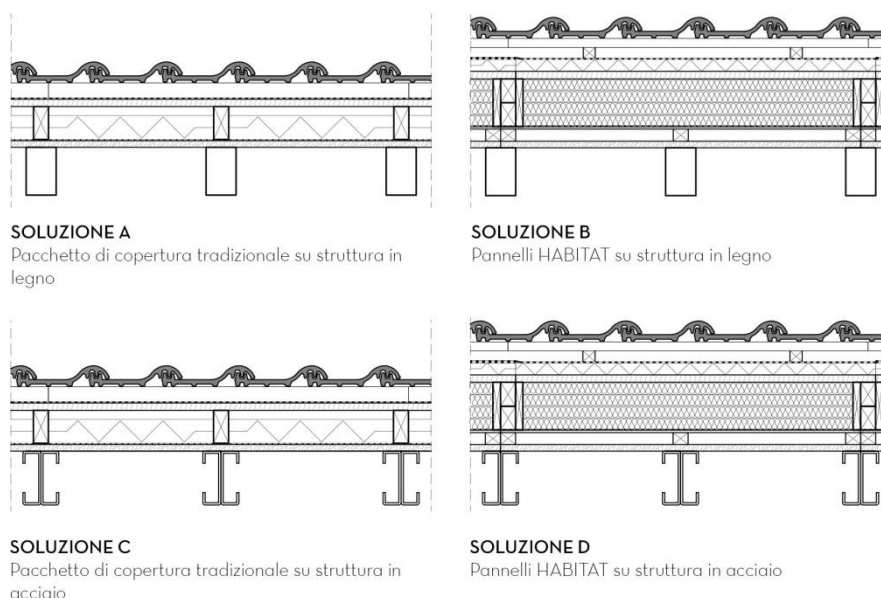


Figura 6.29, Soluzioni a confronto. Fonte autore tesi

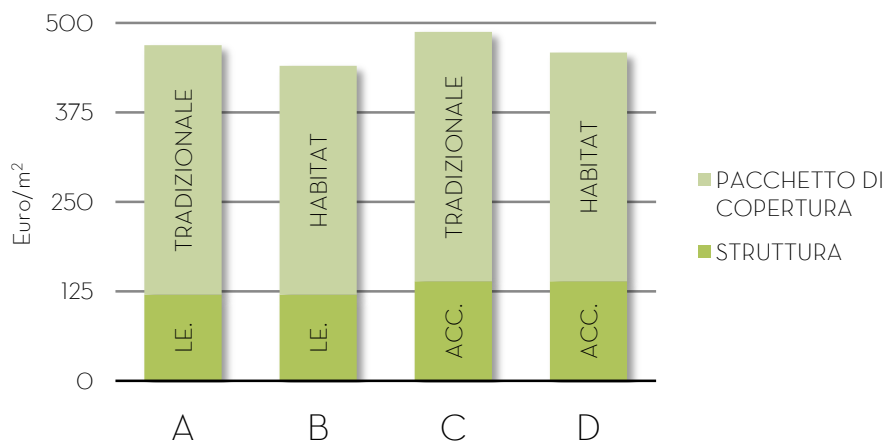


Figura 6.30, Grafico costo della copertura, struttura e pacchetto di copertura. Fonte autore tesi

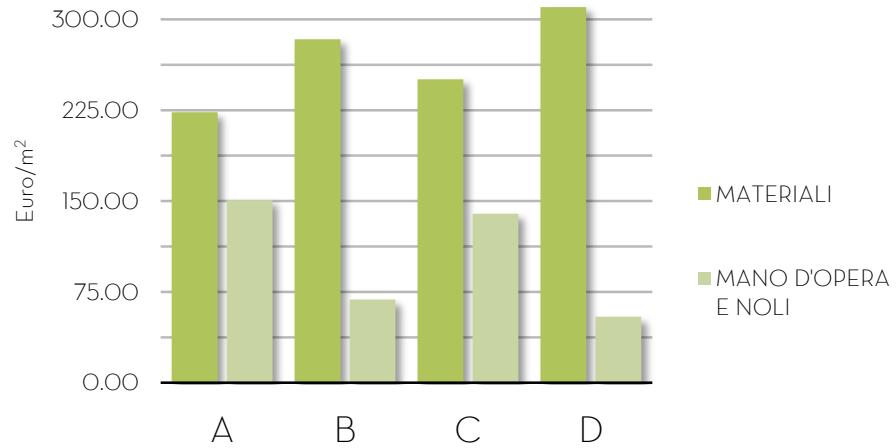


Figura 6.31, Grafico costo della copertura, materiali, mano d'opera e noli. Fonte autore tesi

Per le scelte di tipo strutturale bisogna in primo luogo tenere conto della difficoltà di comparazione legata alla variabilità del costo dell'acciaio dovuto all'andamento del prezzo della materia prima. Di fondamentale importanza è stata la preziosa collaborazione di aziende produttrici di laminati metallici, che condividendo le informazioni a loro disposizione ci hanno consentito di analizzare aspetti difficilmente indagabili. Esaminando il confronto tra i costi per la realizzazione delle strutture, si osserva che il costo maggiore della struttura in acciaio rispetto all'utilizzo di una struttura in legno è solo parzialmente bilanciato dalla minor incidenza della mano d'opera (18% contro il 31% di incidenza della mano d'opera per strutture in legno).

Nonostante il costo della struttura in acciaio sia complessivamente maggiore, la soluzione è risultata per noi conveniente al fine di creare una struttura leggera che non sovraccaricasse la struttura esistente.

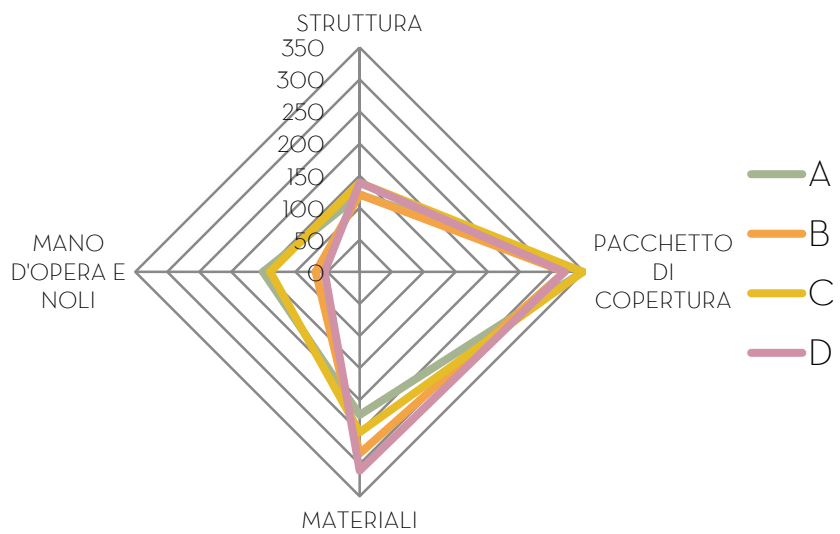


Figura 6.32, Grafico confronto dei costi. Fonte autore tesi

La durata intesa come il periodo di tempo richiesto per lo svolgimento di un'attività, è stata valutata in riferimento alle singole lavorazioni. La durata è uno dei principali parametri utilizzati nella programmazione operativa e va inteso come strumento dinamico utile per la pianificazione e la gestione della fase di costruzione del futuro organismo edilizio.

Il metodo dell'incidenza percentuale della mano d'opera parte dal presupposto che la determinazione del tempo necessario per lo svolgimento della lavorazione, può essere calcolato in base al costo standard della squadra operativa impegnata nella realizzazione della stessa.

Il calcolo delle durate è stato quindi stimato sulla base del tempo delle lavorazioni. Esso è determinato attraverso il costo della mano d'opera a partire dal computo metrico estimativo. Per la valutazione del prezzo della mano d'opera si è fatto riferimento all'incidenza percentuale sul costo totale delle lavorazioni esplicitato dai prezzi ed ai dati forniti dalle indagini di mercato per quanto riguarda il montaggio degli elementi prefabbricati.

(Allegato A.6)

Tavola di riferimento PRO8.

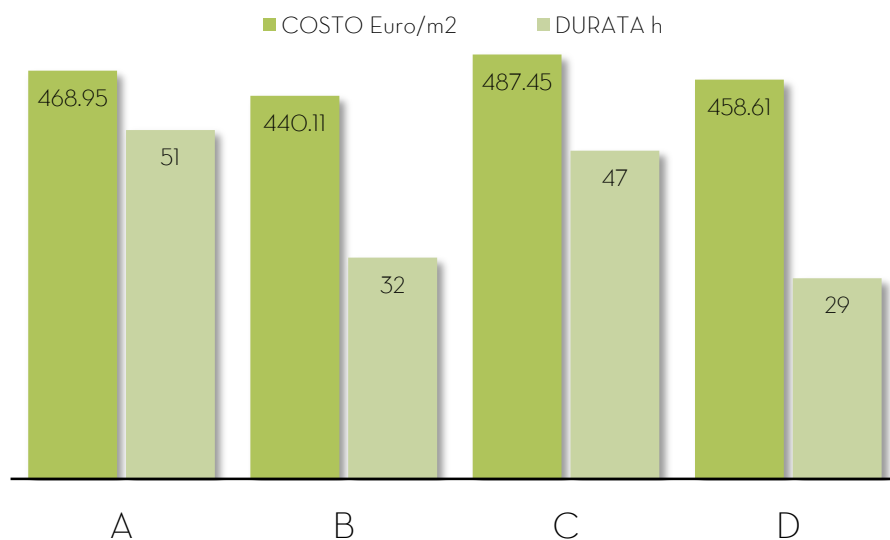


Figura 6.33, Grafico costi e durate. Fonte autore tesi

Tabella 10, Costi e durate per la produzione e messa in opera delle soluzioni studiate, Fonte autore tesi

		Costo materiali (Euro/m ²)	Costo mano d'opera e noli (Euro/m ²)	Costo al m ²	SOLUZIONI		Costo al m ²	Durata (h)	Durata (g)
STRUTTURA	LEGNO	58,84	37,61	120,56	A	LEGNO+TRADIZIONALE	468,95	400,69	51,00
	ACCIAIO	85,43	25,82	139,07	B	LEGNO+HABITAT	440,11	254,12	32,00
PACCHETTO DI COPERTURA	TRADIZIONALE	165,59	96,98	348,38	C	ACCIAIO+TRADIZIONALE	487,45	377,04	48,00
	HABITAT	224,61	54,52	319,54	D	ACCIAIO+HABITAT	458,61	230,47	29,00

ALLEGATO A_Calcolo dei costi e delle durate per la realizzazione della copertura

A.1 Costo produzione pannello HABITAT								
LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Pannelli HABITAT	Materiali	Assito in legno di abete (sp. 2,5 cm)	A75012	Tavolato in legno di abete a vista per falde di tetto dello spessore di 2,5 cm, lavorato a fili paralleli, fornito e posto in opera comprese battentatura e piallatura.	34,05	1	m ²	34,05
		Pannello OSB (sp. 2,5 cm)	Da indagini di mercato	Pannello OSB a base di legno Sfrido	12,42	1,64	m ²	20,369
		Pannello MDF (sp. 0,8 cm)	Da indagini di mercato	Pannello MDF ignifugo 305x186x0,8 cm Sfrido	12,03	1,00	m ²	12,030
		Pannello isolante (sp. 16 cm)	Da analisi INBAR	Pannelli isolanti in fibre miste riciclata (da tessuti) 120x60 cm	6,60	3,60	m ²	23,760
		Pannello lana di legno mineralizzata (sp. 4 cm)	Da indagini di mercato	Pannello isolante termico ed acustico in lana di legno di abete rosso, mineralizzata e legata col cemento portland ad alta resistenza 200x60 cm.	10,80	1,00	m ²	10,800
		Membrana impermeabilizzante (sp. 0,3 cm)	Da indagini di mercato	Manto impermeabile con doppia membrana bituminosa elastomerica autoadesiva.	4,20	1,20	m ²	5,040
		Barriera al vapore (sp. 0,5 cm)	A95024d	Barriera al vapore costituita da un foglio di polietilene estruso, posato a secco e sigllato sui sormonti con nastro biadesivo	3,79	1,20	m ²	4,548
		Listelli in legno di abete (3x5 cm)	IC.11.020.0010.b	Listelli sottomano in legno di abete sezione 3x5 cm con interasse adatti ai manti di copertura. Compresi: tagli, adattamenti, chiodatura alla sottostante struttura (voce compresa nella valutazione delle piccole orditure delle sezioni complete e non comprese nei manti) per manto in tegole a canale (coppi)	9,99	0,01	m ³	0,075
		Tubolari in acciaio laminati a caldo (3x5 cm sp. 0,25cm)	Tipo Marcegaglia	Tubolari in acciaio laminati a caldo (3x5 cm sp. 0,25cm) per la movimentazione del pannello con la gru	3,278	1,20	m	3,934
	Mano d'opera	Addetto alle opere di impermeabilizzazione e isolamento	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,14	h	4,89
		Operaio specializzato	MO1003	Operaio qualificato di II livello edile	32,84	0,40	h	13,14
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,40	h	11,89
	Noli	Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
	COSTO MARGINALE DEI MATERIALI NECESSARI PER 1m ² DI PANNELLO HABITAT							
UTILE IMPRESA					10%			14,56
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			21,84
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								182,041
PREZZO TOTALE PER PANNELLO m ²								658,626

PARTE 3_ APPROFONDIMENTI

A.2 Costo struttura in legno								
LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Posa delle travi	Materiali	Travi principali	A75001b	Grossa orditura di tetto, in legno di abete, fornita e posta in opera lavorata all'ascia e alla sega, compresa la grossa chioderia. Travi uso Trieste a struttura semplice.	834,05	0,0247	m ³	20,63
		Travi secondarie	A75001b	Grossa orditura di tetto, in legno di abete, fornita e posta in opera lavorata all'ascia e alla sega, compresa la grossa chioderia. Travi uso Trieste a struttura semplice.	834,05	0,0458	m ³	38
	Mano d'opera	Addetto al montaggio in opera delle travi	MO1002	Operaio specializzato III livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	35,23	0,28	h	9,86
		Aiuto addetto al montaggio in opera delle travi	MO1003	Operaio qualificato di II livello edile, addetto al montaggio in opera	32,84	0,2	h	6,57
		Aiuto addetto al montaggio in opera delle travi	MO1004	Operaio comune I livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	29,72	0,32	h	9,51
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisionali	41,68	0,28	h	11,67
		Ponte su cavalletti			attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
		Attrezzatura minuta ed energia		Trapano				
COSTO MARGINALE POSA TRAVI 1 m ²								96,45
UTILE IMPRESA						10%		9,65
SPESE DI AMMINISTRAZIONE						15%		14,47
PREZZO FONDO PER POSA TRAVI 1 m ²								120,565
PREZZO FONDO PER POSA TRAVI 428 m ²								51601,61

A.3 Costo struttura in acciaio								
LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Posa delle travi	Materiali	Travi principali	C15005b	Carpenteria metallica realizzata con profilati in acciaio della serie IPE 300,per travature composte, dati in opera bullonati o saldati compresa una mano di vernice antiruggine, comprese opere murarie e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte, per materiale classificato nelle norme del O4/O2/2008 con i gradi da S325 a S460.	3,32	6,36	kg	21,12
		Travi secondarie	C15005b	Carpenteria metallica realizzata con profilati in acciaio della serie HEA260 e HEA 280,per travature composte, dati in opera bullonati o saldati compresa una mano di vernice antiruggine, comprese opere murarie e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte, per materiale classificato nelle norme del O4/O2/2008 con i gradi da S325 a S460.	3,32	13,71	kg	45,53
	Mano d'opera	Addetto al tracciamento e taglio	MO1002	Operaio specializzato III livello edile	35,23	0,04	h	1,41
		Aiuto addetto al tracciamento e taglio	MO1003	Operaio comune I livello edile	29,72	0,04	h	1,19
		Addetto lavorazioni assemblaggio e rifinitura delle travi principali e secondarie	MO1002	Operaio specializzato III livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	35,23	0,06	h	2,11
		Addetto lavorazioni assemblaggio e rifinitura delle travi principali e secondarie	MO1003	Operaio qualificato II livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	32,84	0,04	h	1,31
		Aiuto addetto lavorazioni assemblaggio e rifinitura delle travi principali e secondarie	MO1004	Operaio comune I livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	29,72	0,10	h	2,97
		Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisionali	41,68	0,04	h
	Ponte su cavalletti				attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
	Attrezzatura minuta ed energia			Trapano				
	COSTO MARGINALE POSA TRAVI 1 m ³							
UTILE IMPRESA					10%			7,73
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			11,60
PREZZO FONDO PER POSA TRAVI 1 m ³								96,65
PREZZO FONDO PER POSA TRAVI 428 m ³								41366,39

PARTE 3 _ APPROFONDIMENTI

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE	
Posa dei travetti	Materiali	Profili a C		Carpenteria metallica in profilati a "C" compreso le schiacciate foratura e le saldature di officina, resa ed assemblata in opera con bulloni di classe idonea al tipo di acciaio in conformità alle norme tecniche di cui al DM 5 agosto 1999. Esclusi i trattamenti protettivi in acciaio FE360	0,82	22,90	kg	18,78	
	Mano d'opera	Addetto al tracciamento e taglio	MO1002	Operaio specializzato III livello edile	35,23	0,04	h	1,41	
		Aiuto addetto al tracciamento e taglio	MO1003	Operaio comune I livello edile	29,72	0,04	h	1,19	
		Addetto lavorazioni assemblaggio e rifinitura delle travi principali e secondarie	MO1002	Operaio specializzato III livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	35,23	0,06	h	2,11	
		Addetto lavorazioni assemblaggio e rifinitura delle travi principali e secondarie	MO1003	Operaio qualificato II livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	32,84	0,04	h	1,31	
		Aiuto addetto lavorazioni assemblaggio e rifinitura delle travi principali e secondarie	MO1004	Operaio comune I livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	29,72	0,10	h	2,97	
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisoriale	41,68	0,09	h	3,82	
		Saldatrice		Saldatrice elettrica alimentata a 380V	19,37	0,07	h	1,33	
		Antiruggine		Antiruggine al cromato di piombo o di zinco	2,20	0,46	kg	1,01	
		Ponte su cavalletti			attrezzature minute già a disposizione dell'operaio				
		Attrezzatura minuta ed energia		Trapano					
	COSTO MARGINALE POSA TRAVI 1 m ³								33,93
	UTILE IMPRESA					10%			3,39
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			5,09	
PREZZO FONDO PER POSA TRAVI 1 m ³								42,42	
PREZZO FONDO PER POSA TRAVI 428 m ³								18154,22	

A.4 Costo pacchetto di copertura tradizionale								
LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Assito in legno	Materiali	Assito in legno di abete (sp. 2,5 cm)	A75012	Tavolato in legno di abete a vista per falde di tetto dello spessore di 2,5 cm, lavorato a fili paralleli, fornito e posto in opera comprese battentatura e piallatura.	34,05	1	m ²	34,05
	Manodopera	Operaio specializzato	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,15	h	5,28
		Operaio qualificato	MO1003	Operaio qualificato di II livello edile	32,84	0,15	h	4,93
		Operaio comune	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,15	h	4,46
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisionali	41,68	0,02	h	0,8336
		Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
COSTO MARGINALE DI 1 m ² DI ASSITO IN LEGNO								49,55
UTILE IMPRESA					10%			4,96
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			7,43
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								61,940
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								26535,15

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Barriera al vapore	Materiali	Barriera al vapore (sp. 0,5 cm)	A95024d	Barriera al vapore costituita da un foglio di polietilene estruso, posato a secco e sigillato sui sormonti con nastro biadesivo	3,79	1	m ²	3,79
	Manodopera	Addetto alle opere di impermeabilizzazione e isolamento	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,01	h	0,35
		Operaio qualificato	MO1003	Operaio qualificato di II livello edile	32,84	0,1	h	3,28
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,1	h	2,97
	Noli	Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
COSTO MARGINALE DI 1 m ² DI BARRIERA AL VAPORE								10,40
UTILE IMPRESA					10%			1,04
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			1,56
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								12,998
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								5568,290

PARTE 3_ APPROFONDIMENTI

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Travetti	Materiali	Travetti in legno (5X11 cm)	A75004a	Piccola orditura, fornita e posta in opera compresa l'innestatura, la muratura delle testate e la chiodatura alla struttura sottostante in legno di abete	42	0,0092	m ³	0,385
	Manodopera	Operaio specializzato	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,15	h	5,28
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,15	h	4,46
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisori	41,68	0,2	h	8,336
Attrezzature minute ed energia			Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio				
COSTO MARGINALE DEI TRAVETTI NECESSARI PER 1 m ² MANTO DI COPERTURA								18,46
UTILE IMPRESA					10%			1,85
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			2,77
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								23,079
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								9887,204

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Isolamento	Materiali	Isolante termoacustico (8cm)	A85028a	Polistirene espanso estruso con sola aria nelle celle, conduttività termica λ 0,035 W/mK, resistenza a compressione 2,5 kg/cm ² , omogeneo monostrate in euroclasse E con spessore 3cm.	10,83	2	m ²	21,66
			A85027b	Polistirene espanso estruso con sola aria nelle celle, conduttività termica λ 0,035 W/mK, resistenza a compressione 2,5 kg/cm ² , omogeneo monostrato in euroclasse E. Sovrapprezzo per ogni centimetro in più di spessore.	2,37	2	m ²	4,74
			Sfridi			0,02		0,53
	Manodopera	Addetto alle opere di impermeabilizzazione e isolamento	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,08	h	2,82
			MO1003	Operaio qualificato di II livello edile	32,84	0,06	h	1,97
			MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,14	h	4,16
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisori	41,68	0,01	h	0,4168
		Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
COSTO MARGINALE DI 1 m ² DI ISOLANTE TERMOACUSTICO								36,29
UTILE IMPRESA					10%			3,63
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			5,44
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								45,368
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								19435,651

PARTE 3_ APPROFONDIMENTI

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Assito in legno grezzo	Materiali	Assito in legno grezzo (sp. 2,5 cm)	Da indagini di mercato	Tavolato in legno di abete per falde di tetto dello spessore di 2,5 cm, lavorato a fili paralleli, fornito e posto in opera comprese battentatura.	30,00	1	m ²	30,00
	Manodopera	Operaio specializzato	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,1	h	3,52
		Operaio qualificato	MO1003	Operaio qualificato di II livello edile	32,84	0,1	h	3,28
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,1	h	2,97
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisoriale	41,68	0,02	h	0,8336
		Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
COSTO MARGINALE DI 1 m ² DI ASSITO IN LEGNO GREZZO								40,61
UTILE IMPRESA					10%			4,06
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			6,09
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								50,766
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								21748,047

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Impremeabilizzazione	Materiali	Membrana impermeabilizzante (sp. 0,5 cm)	A95009b	Manto impermeabile prefabbricato costituito da membrana bitume-polimero elasto-plastomericarmata in filo continuo di polistirene non tessuto, flessibilità a freddo -15°.	27,80	1	m ²	27,80
	Manodopera	Addetto alle opere di impermeabilizzazione e isolamento	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,1	h	3,52
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,1	h	2,97
	Noli	Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
COSTO MARGINALE DI 1 m ² DI MEMBRANA IMPERMEABILIZZANTE								34,30
UTILE IMPRESA					10%			3,43
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			5,14
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								42,869
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								18364,973

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Travicelli	Materiali	Travicelli (5x5 cm)	1C.11.020.0010.b	Listelli sottomano in legno di abete 5x5 cm, con interasse 28,5 cm. Compresi: tagli adattamenti chiodatura alla sottostante struttura per manto in coppi.	10,20	0,008	m ³	0,077
	Manodopera	Addetto alle opere di impermeabilizzazione e isolamento	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,1	h	3,52
		Operaio qualificato	MO1003	Operaio qualificato di II livello edile	32,84	0,15	h	4,93
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,15	h	4,46
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisionali	41,68	0,2	h	8,336
Attrezzature minute ed energia			Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio				
COSTO MARGINALE DI TRAVICELLI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DI 1 m ² DI COPERTURA								21,32
UTILE IMPRESA					10%			2,13
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			3,20
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								26,649
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								11416,592

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Coppi	Materiali	Coppi in laterizio	A75016a	Manto di copertura, a coppi in laterizio, disposto su piani predisposti compreso murature accessorie di colmi, diagonali, filari saltuari e rasatura perimetrale.	39,52	1,00	m ²	39,520
	Manodopera	Addetto alle opere di impermeabilizzazione e isolamento	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,13	h	4,58
		Operaio specializzato	MO1003	Operaio qualificato di II livello edile	32,84	0,13	h	4,27
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,26	h	7,73
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisionali	41,68	0,02	h	0,8336
Attrezzature minute ed energia			Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio				
COSTO MARGINALE DI COPPI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DI 1 m ² DI COPERTURA								56,93
UTILE IMPRESA					10%			5,69
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			8,54
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								71,162
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								30485,961

PARTE 3_ APPROFONDIMENTI

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Opere di lattoneria	Materiali	Canale di gronda	C15056A	Canale di gronda, converse e scossaline montate in opera compreso pezzi speciali ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a regola d'arte con esclusione delle sole cicogne di sostegno per i canali di gronda, sviluppo fino a 33 cm in acciaio zincato 6/10	19,82	0,12	m ²	2,331
		Scossaline	C15060A	Converse e scossaline in alluminio montate in opera compreso prezzi speciali ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a regola d'arte, sviluppo fino a 50 cm in alluminio da 8/10	18	0,04	m ²	0,713
	Manodopera	Operaio specializzato	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,12	h	4,23
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,12	h	3,57
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisoriale	41,68	0,0001	h	0,0042
		Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
COSTO MARGINALE DI COPPI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DI 1 m ² DI COPERTURA								10,84
UTILE IMPRESA					10%			1,08
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			1,63
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								13,552
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								5805,784

A.5 Costo pacchetto di copertura con pannello HABITAT								
LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Pannelli HABITAT	Materiali	Pannelli di copertura prefabbricati in legno	A75016a	Manto di copertura, a coppi in laterizio, disposto su piani predisposti compreso murature accessorie di colmi, diagonali, filari saltuari e rasatura perimetrale .	182,04	1,00	m ²	182,04
	Manodopera	Addetto al montaggio in opera	MO1002	Operaio specializzato III livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	35,23	0,02	h	0,70
		Aiuto addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune I livello edile, montaggio in opera delle travi principali e secondarie	29,72	0,06	h	1,78
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisionali	41,68	0,08	h	3,33
		Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
COSTO MARGINALE DI COPPI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DI 1 m ² DI COPERTURA								187,86
UTILE IMPRESA					10%			18,79
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			28,18
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								234,83
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								100600,94

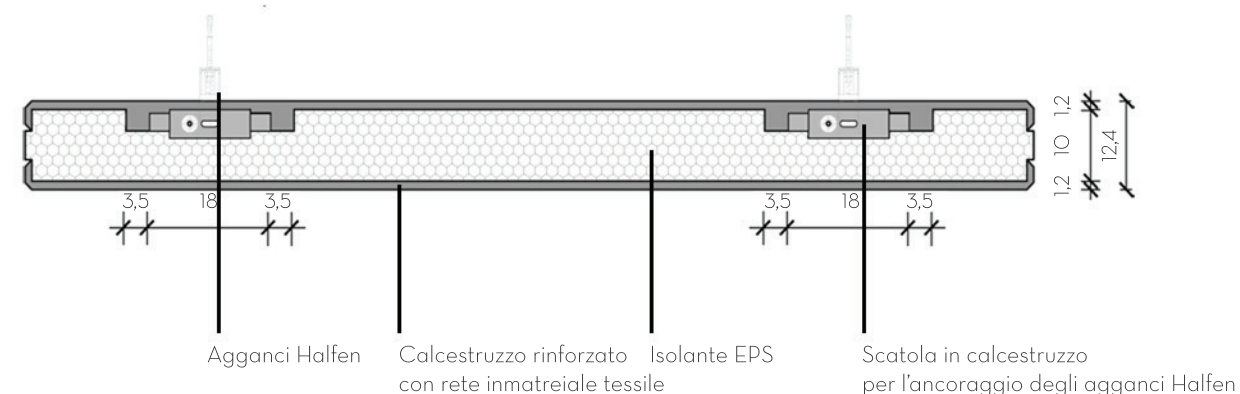
LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Coppi	Materiali	Coppi in laterizio	A75016a	Manto di copertura, a coppi in laterizio, disposto su piani predisposti compreso murature accessorie di colmi, diagonali, filari saltuari e rasatura perimetrale .	39,52	1,00	m ²	39,52
	Manodopera	Addetto alle opere di impermeabilizzazione e isolamento	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,13	h	4,58
		Operaio specializzato	MO1003	Operaio qualificato di II livello edile	32,84	0,13	h	4,27
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,26	h	7,73
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisionali	41,68	0,02	h	0,83
		Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
COSTO MARGINALE DI COPPI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DI 1 m ² DI COPERTURA								56,93
UTILE IMPRESA					10%			5,69
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			8,54
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								71,16
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								30485,96

LAVORAZIONE	CATEGORIA	DESCRIZIONE	CODICE DI RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	U.M.	COSTO TOTALE
Opere di lattoneria	Materiali	Canale di gronda	C15056A	Canale di gronda, converse e scossaline montate in opera compreso pezzi speciali ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a regola d'arte con esclusione delle sole cicogne di sostegno per i canali di gronda, sviluppo fino a 33 cm in acciaio zincato 6/10	19,82	0,12	m ²	2,33
		Scossaline	C15060A	Converse e scossaline in alluminio montate in opera compreso prezzi speciali ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a regola d'arte, sviluppo fino a 50 cm in alluminio da 8/10	18,00	0,04	m ²	0,71
	Manodopera	Operaio specializzato	MO1002	Operaio specializzato di III livello edile	35,23	0,12	h	4,23
		Addetto al montaggio in opera	MO1004	Operaio comune di I livello edile	29,72	0,12	h	3,57
	Noli	Gru a torre con operatore	NO4063d	Sbraccio 31 m, portata 2200 Kg, altezza 31m, esclusi montaggio, smontaggio e opere provvisoriale	41,68	0,0001	h	0,0042
		Attrezzature minute ed energia		Secchio, trapano, frusta, crocette spaziatrici, pinza tagliapiastrelle, cazzuola, spatola dentata, spatola in gomma, bastoncino in legno	attrezzature minute già a disposizione dell'operaio			
COSTO MARGINALE DI COPPI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DI 1 m ² DI COPERTURA								10,84
UTILE IMPRESA					10%			1,08
SPESE DI AMMINISTRAZIONE					15%			1,63
PREZZO TOTALE PER 1 m ²								13,55
PREZZO TOTALE PER 428,4 m ²								5805,78

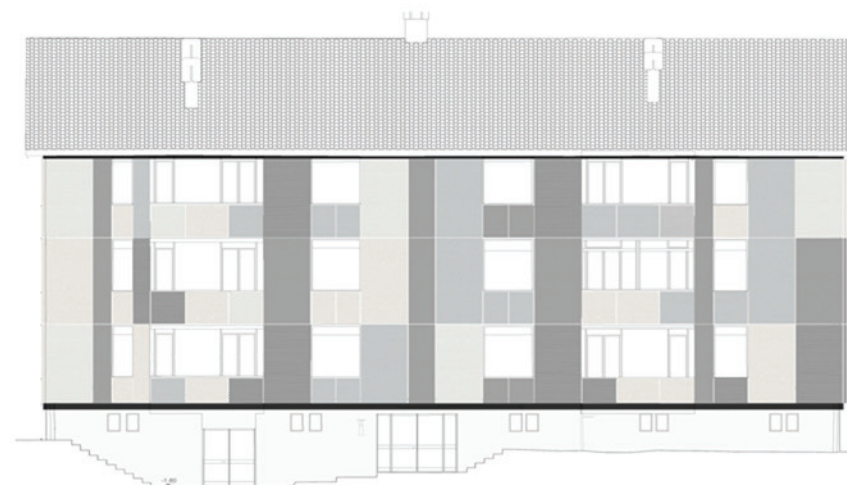
A.6 Calcolo delle durate																
	CIDICE DI RIFERIMENTO	VOCI D'OPERA	PREZZO della voce d'opera (€)	UTILE D'IMPRESA (10% del prezzo) (€)	SPESE GENERALI (15% del prezzo) (€)	COSTO della voce d'opera (manodopera + noli e trasporti + materiali) (€)	incidenza % manodopera	Costo della MANODOPERA (€)	ORE GIORNALIERE standard di lavoro	COSTO ORARIO manodopera (€)	COSTO GIORNALIERO della manodopera (€)	UOMINI GIORNO (arrotondati all'unità superiore)	Durata in ore della lavorazione	NUMERO componenti la squadra operativa standard	durata "NORMALE" della voce d'opera in ore	durata "NORMALE" della voce d'opera in giorni
STRUTTURA LEGNO	A75001b	Posa Travi Legno	VALORE DA INDAGINI DI MERCATO												120,00	15,00
STRUTTURA ACCIAIO	C15005b	Posa travi Acciaio	28525,98	2593,27	3382,53	22550,18	50,00%	11275,09	8,0 0	30,0 0	240,0 0	47	375,84	5,00	75,17	9,40
		Posa travetti acciaio	8037,47	730,68	953,06	6353,73	50,00%	3176,87	8,0 0	30,0 0	240,0 0	14	105,90	5,00	21,18	2,80
POSA HABITAT		Posa pannello HABITAT	VALORE DA INDAGINI DI MERCATO												40,00	5,00
POSA MANTO TRADIZIONALE	A75012	Assito legno	14573,40	1324,85	1728,07	11520,47	65,00%	7488,31	8,0 0	30,0 0	240,0 0	32	249,61	3,00	83,20	10,67
	A95024d	Barriera al vapore	1622,12	147,47	192,35	1282,31	33,00%	423,16	8,0 0	30,0 0	240,0 0	2	14,11	3,00	4,70	0,67
	A75004a	Travetti	164,78	14,98	19,54	130,26	69,00%	89,88	8,0 0	30,0 0	240,0 0	1	3,00	2,00	1,50	0,50
	A85028a	Isolamento	9270,48	842,77	1099,27	7328,44	36,00%	2638,24	8,0 0	30,0 0	240,0 0	11	87,94	3,00	29,31	3,67
		Assito in legno grezzo	12840,0 0	1167,27	1522,53	10150,2 0	60,00%	6090,12	8,0 0	30,0 0	240,0 0	26	203,00	3,00	67,67	8,67
	A95009b	Impremeabilizzazione	11898,40	1081,67	1410,88	9405,85	31,00%	0,36	8,0 0	30,0 0	240,0 0	1	0,01	2,00	0,01	0,50
	1C.11.020.0010.b	Travicelli	32,74	2,98	3,88	25,88	61,00%	15,79	8,0 0	30,0 0	240,0 0	1	0,53	3,00	0,18	0,33
FINITURA	A75016a	Coppi	16914,56	1537,69	2005,68	13371,19	57,00%	7621,58	8,0 0	30,0 0	240,0 0	32	254,05	3,00	84,68	10,67
	C15056A	Opere latoneria	1302,67	118,42	154,47	1029,78	55,00%	566,38	8,0 0	30,0 0	240,0 0	3	18,88	2,00	9,44	1,50
											Soluzione A: LEGNO+ TRADIZIONALE		400,69	52,17		
											Soluzione B: LEGNO+ HABITAT		254,12	32,17		
											Soluzione C: ACCIAIO+ TRADIZIONALE		377,04	49,37		
											Soluzione D: ACCIAIO+ HABITAT		230,47	29,37		

COMPOSIZIONE DEL PANNELLO EASEE

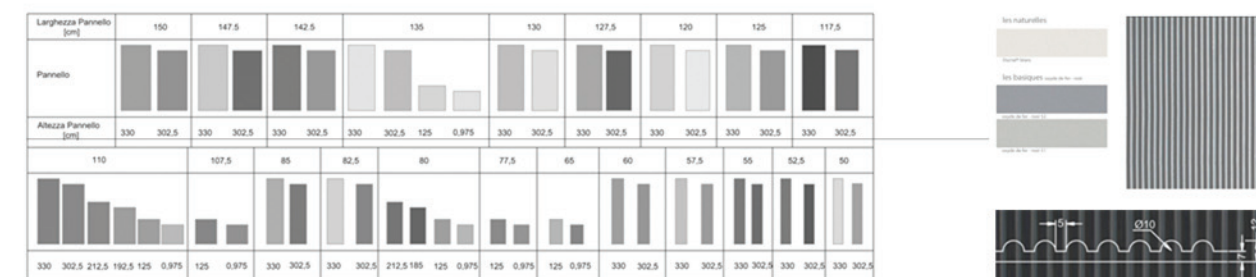
- Due lastre di TRM (Textile Reinforced Mortar): calcestruzzo ad altissima resistenza che contiene al suo interno una rete in materiale tessile che gli conferisce una buona capacità di flessione
- Isolante EPS (Expanded Polystyrene Sintered)



PROGETTO DI FACCIATA



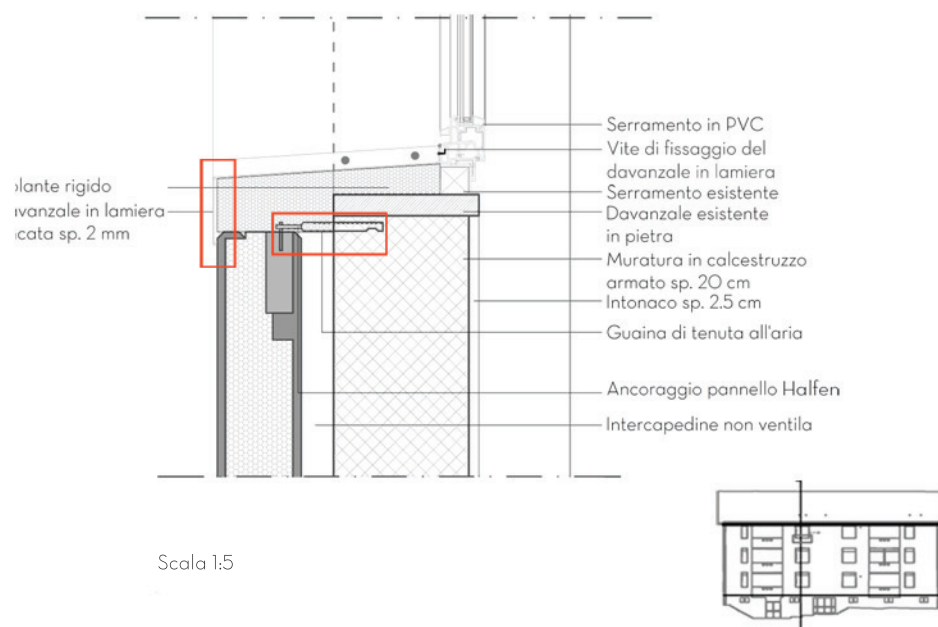
Ipotesi applicativa sul caso studio per l'ottimizzazione del numero e della tipologia di pannelli



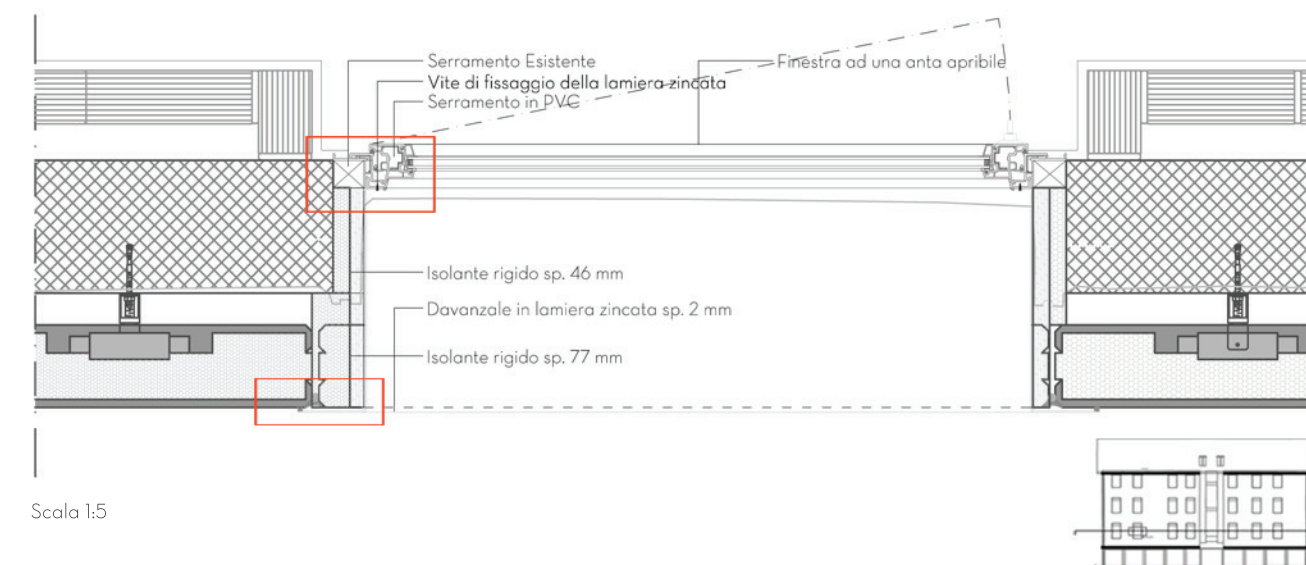
Totale numero pannelli : 195
Totale tipologia pannelli : 42

Sceita dei colori dalcatalogo Ductal e della texture da catalogo Reckli. Lo spessore della lastra in cemento di 1.2 cm vincola la scelta della texture ad una incisione massima di 7mm.

SOLUZIONI DI DETTAGLIO



Sezione verticale della parte inferiore di un serramento: utilizzo di un diverso tipo di ancoraggio, poichè in questo punto non deve sostenere un pannello superiore, ma deve solo tenere in posizione il pannello sottostante. Le scossaline sono dimensionate su misura per ogni serramento.



Sezione orizzontale di un serramento: la scossalina lateralmente risolta esternamente per una lunghezza di 10cm circa. Questo permette: la sovrapposizione alle scossaline superiore e inferiore del serramento, la creazione di continuità con il pannello laterale, per evitare di avere spazi vuoti e consentire eventualmente l'inserimento di isolante rigido. La scossalina consente inoltre nascondere l'appoggio del nuovo serramento sul vecchio.

VALUTAZIONI

PUNTI DI FORZA

- Messa in opera senza utilizzo di ponteggi
- Riduzione del consumo energetico dell'edificio
- Minimizzo dei disagi recati agli inquilini
- Preservazione dell'aspetto originario della facciata grazie alla disponibilità di texture e colori

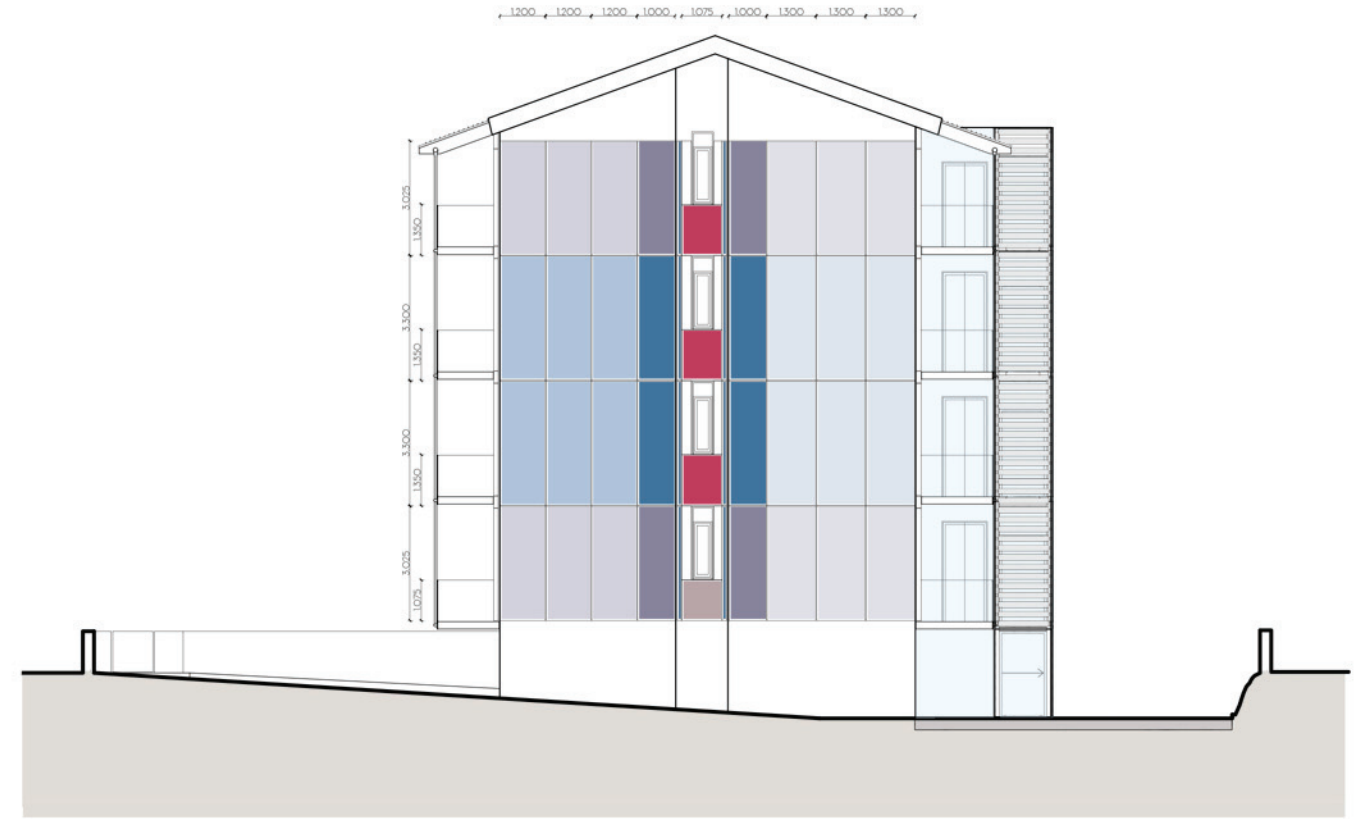
CRITICITA' AFFRONTATE

- Difficile adattabilità ed esigenza di pezzi speciali per edifici con morfologia irregolare e presenza di oggetti
- Studio ad hoc degli elementi di finitura, a causa dell'irregolarità dell'edificio oggetto di studio (es: nuovo sistema di scossaline, ancoraggi pannelli sui parapetti)
- Difficile realizzazione di un'intercapedine d'aria ferma di spessore costante di 3 cm a causa del non regolare andamento delle pareti

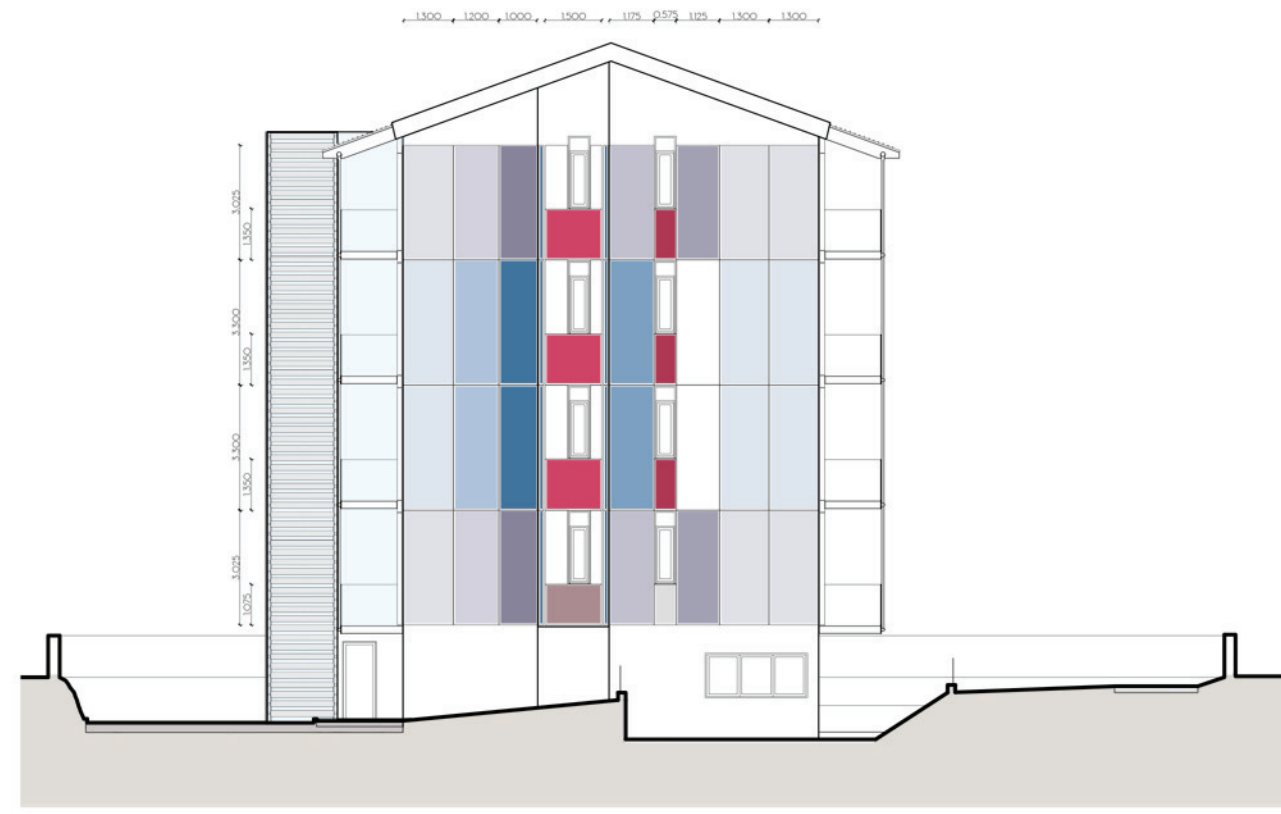
PROSPETTO SUD



PROSPETTO EST



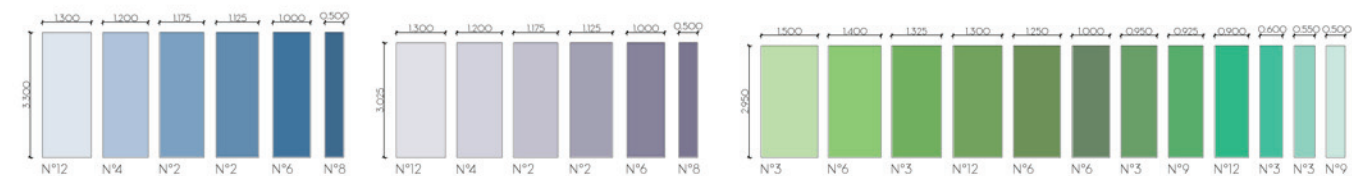
PROSPETTO OVEST



PROSPETTO NORD



N° PANNELLI 212
N° TIPOLOGIE 43



ANALISI

ANALISI E SCHEDATURA DI PRODOTTI AD ALTO CONTENUTO DI MATERIALE RICICLATO

ANALISI E SCHEDATURA DEI MATERIALI COMPONENTI E SEMILAVORATI



Lana di legno mineralizzata



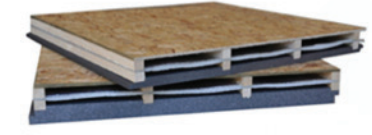
Isolamento sfuso con scarti tessili



Denim riciclato



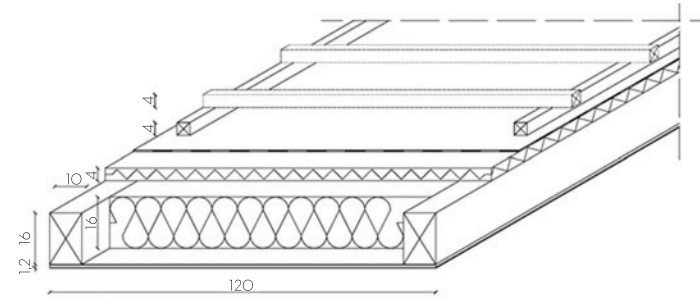
Pannello isolante con listelli integrati



Pannello con doppia intercapedine

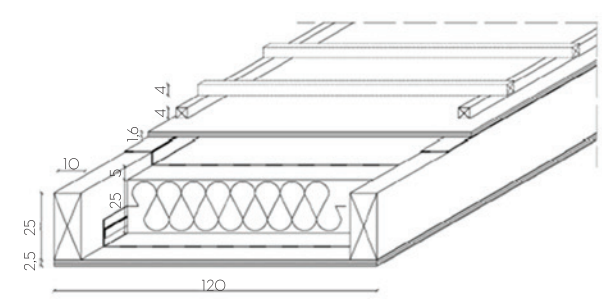
PROGETTAZIONE DEL PANNELLO DI COPERTURA

STUDIO DI TRE DIFFERENTI SOLUZIONI COSTRUTTIVE



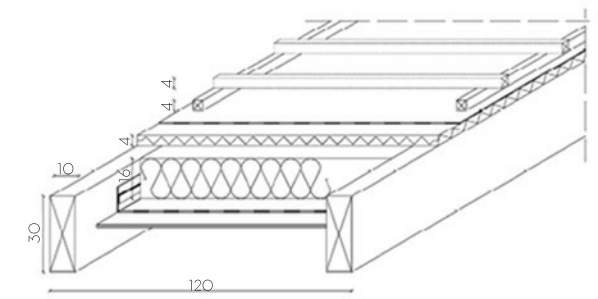
Pannello laterocemento

Adatto a coperture con solaio continuo tipo laterocemento che funge da supporto al pannello. Il componente è costituito da listelli in legno non strutturali



Pannello design

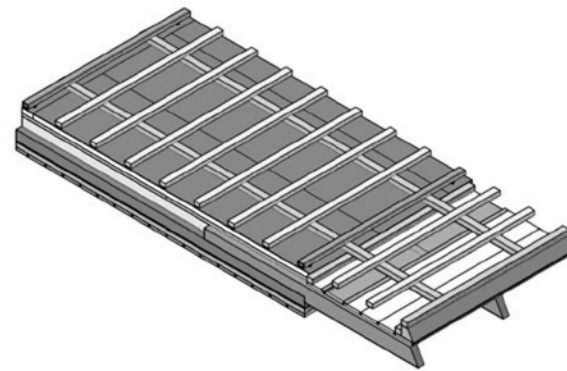
Adatto a coperture con supporto discontinuo. Il componente è costituito da correnti in legno con funzione strutturale (orditura secondaria con interasse variabile in funzione delle esigenze progettuali)



Pannello chalet

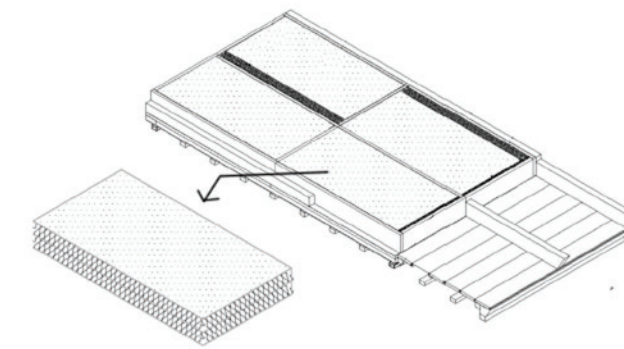
Adatto a coperture con supporto discontinuo. Il componente è costituito da correnti in legno con funzione strutturale a vista

DEFINIZIONE DELLA SOLUZIONE FINALE



Pannello chalet evoluto

- Struttura indipendente dalla copertura
- Struttura a cassone multicella
- Giunto laterale asimmetrico per la giustapposizione dei vari elementi di copertura
- Integrazione in fase di assemblaggio in officina della membrana impermeabile superiore e dei listelli di ventilazione poggiategola
- Inserimento di uno strato irrigidente inferiore in pannelli MDF (protezione al fuoco)
- Stesura della guaina di tenuta al vapore
- Piastre metalliche di connessione per l'irrigidimento degli angoli del cassone
- Disposizione di due traversi poggiategola in tubolare in acciaio zincato necessari per la movimentazione del pannello in fase di trasporto e messa in opera
- Creazione di un'intercapedine imiantistica inferiore nonventilata



Pannello in lana di legno mineralizzata

Materiali

STRUTTURA: pannelli OSB DA 25 mm e multistrato in legno di pioppo e betulla
CONTENIMENTO: pannelli superiori e inferiori OSB da 25 mm e MDF da 8mm
ISOLANTI: sfusi in fiocchi di cellulosa o materassini in tessuti tessili ricilati e PET

VALUTAZIONI

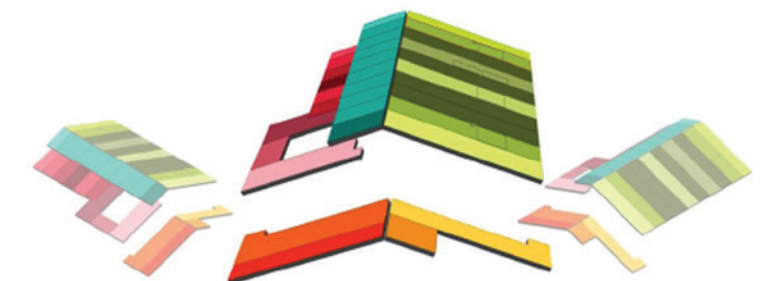
PUNTI DI FORZA

- Posa più semplice dell'elemento in cantiere
- Assemblaggio in officina ottimizzata
- Elemento preassemblato da colmo a gronda, non necessita di attività di taglio in cantiere
- Flessibilità nell'applicazione dei diversi sistemi di rivestimento interno grazie alla disposizione del pannello parallelamente alle travi secondarie
- Ottimizzazione del pannello per applicazione su fide di grandi luci (fino 7m)
- Adatto sia per il recupero del sistema di copertura (riqualificazione energetica) che per nuove costruzioni (tempi di montaggio ridotti)

CRITICITA' AFFRONTATE

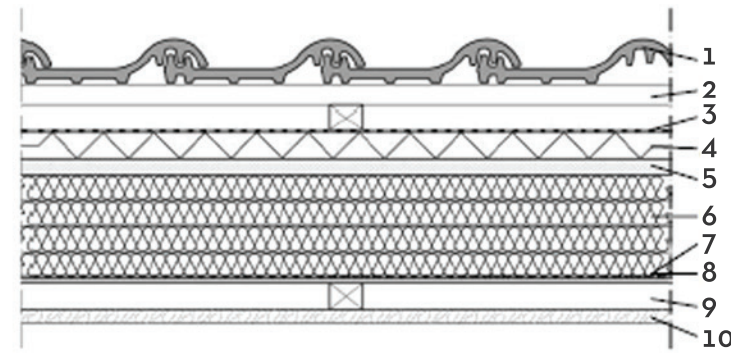
- Progettazione di moduli speciali appositamente studiati: studio dell'elemento di gronda per risolvere la connessione dell'elemento a sbalzo
- La disposizione parallela alle travi secondarie introduce un vincolo dimensionale legato al passo strutturale degli elementi sottostanti e causa criticità nell'ottimizzazione dei materiali isolanti

IPOTESI APPLICATIVA SUL CASO STUDIO E VERIFICA DELLE QUANTITA' DEI MATERIALI



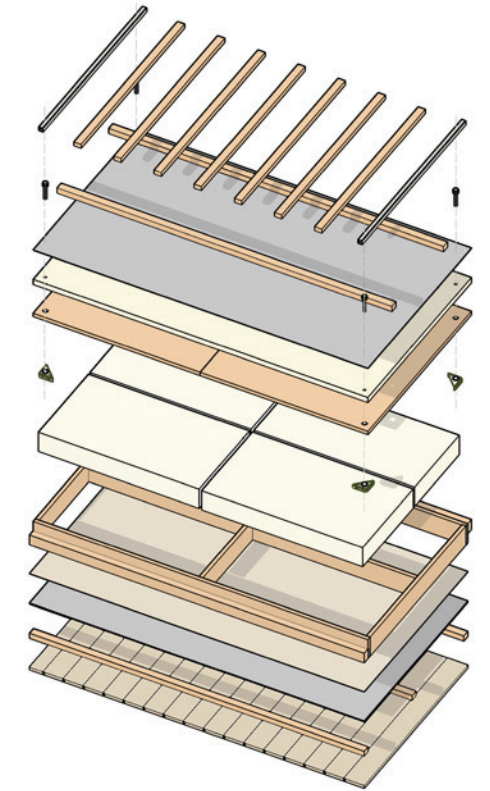
DEFINIZIONE DEGLI STRATI E DEGLI SPESSORI DELL'ELEMENTO DI COPERTURA

SEZIONE CORRENTE DEL PANNELLO DI COPERTURA



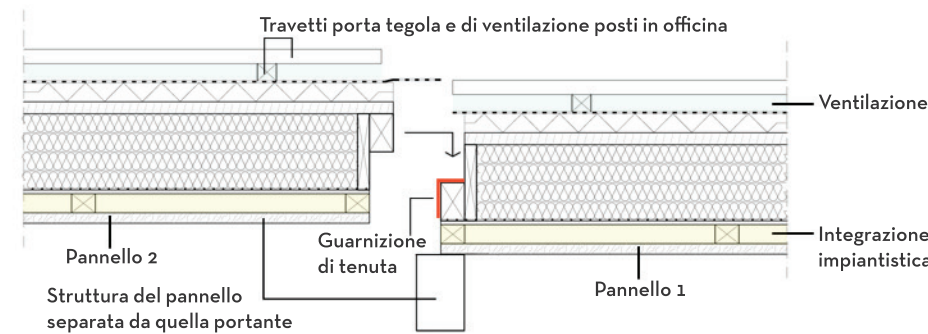
Cod.	Descrizione elemento	Spessore
Esterno		mm
1	Manto di copertura discontinuo	-
2	Listelli di ventilazione in abete 40x50mm	80
3	Strato impermeabile traspirante al vapore	0,3
4	Pannelli in lana di legno mineralizzata	40
5	Pannelli OSB	25
6	Isolamento termico (tipologia variabile)	160
7	Freno al vapore	0,2
8	Pannello MDF	8
9	Intercapedine d'aria non ventilata	40
10	Rivestimento interno in perline d'abete	22
Interno		

SCOMPOSIZIONE PANNELLO

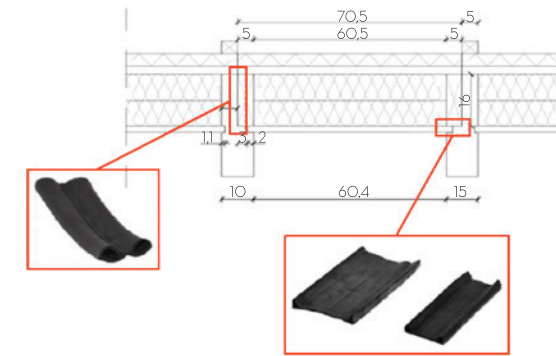


SOLUZIONE "TETTO PRONTO": OFFERTA DI UN PACCHETTO COMPLETO

SEZIONE DI UNIONE DI DUE PANNELLI IN APPOGGIO SU UN TRAVETTO DI LEGNO



MODULI SONO GIUSTAPPPOSTI IN BATTUTA



Separazione della parte portante di copertura da quella del pannello

Così facendo è possibile ridurre le sezioni interne del pannello tramite l'ausilio di pannelli OSB di larghezza 2.50m, collegati tra loro in modo da creare una **struttura rigida a cassone** collegata al pannello OSB superiore e il pannello inferiore in MDF.

Posizionamento e tipologia degli elementi di tenuta

Attenzione per garantire una tenuta all'aria ottimale tramite diffusione del vapore attraverso la struttura, evitando così infiltrazioni e fenomeni convettivi concentrati che possano degradare l'isolamento e le parti in legno più esposte a fenomeni di condensazione.

Tutti gli elementi di tenuta, sia la **membrana interna con la funzione di freno al vapore** che quella **esterna di tenuta all'acqua**, sono state pensate per essere totalmente integrate già in **fase di preassemblaggio**. Questo comporta un attento studio delle sovrapposizioni delle varie parti, al fine di garantire la perfetta sigillatura tra i vari moduli ed evitare danni legati al degrado concentrato.

Soluzione per tetto ventilato

L'intercapedine di ventilazione è realizzata mediante posa di listelli e controlistelli. La ventilazione contiene il riscaldamento estivo degli ambienti interni e facilita l'evacuazione del vapore acqueo, mantenendo asciutto l'isolante.

Integrazione impiantistica e sicurezza per le attività di manutenzione

Realizzazione di cavedi impiantistici appositamente studiati per facilitare le operazioni di manutenzione durante la vita di servizio dell'edificio. Un **apposita intercapedine non ventilata** è stata posta come strato di separazione tra la parte portante del pannello e il rivestimento interno. Questa svolge un **duplice ruolo**: da una parte permette il passaggio di cavi elettrici, eventuali corpi illuminanti incassati e passaggi di canalizzazioni d'aria o d'acqua in assoluta libertà senza intaccare la parte portante del pannello, dall'altra garantisce la continuità della tenuta al vapore dello strato superiore. Per tale motivo risulta fondamentale l'inserimento di uno strato piano di contenimento dell'isolante in intercapedine e per la posa del freno a vapore.

Sostegno manto di copertura

I travetti di ventilazione e pendenza sia quelli porta tegola sono stati studiati al fine di poter essere disposti già in officina.

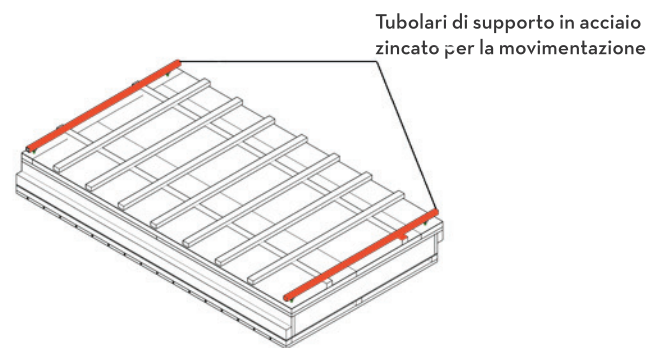
ACCURATEZZA ESECUTIVA

QUALITA' CONTROLLATA



RIDUZIONE DEI TEMPI DI REALIZZAZIONE IN CANTIERE E RAPIDITA' DI POSA

PANNELLO PREASSEMBLATO IN OFFICINA



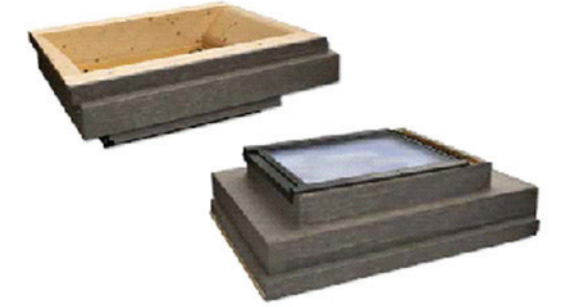
Movimentazione del pannello

Presenza di un elemento trasversale in gronda e al colmo per l'ancoraggio e la movimentazione del pannello in fase di trasporto e di messa in opera. A tal fine è stato inserito un elemento tubolare di supporto in acciaio zincato, saldamente vincolato alla struttura in OSB del pannello, capace di supportare il carico generato dal sollevamento e posizionamento del pannello.

ESEMPIO DI MOVIMENTAZIONE E MOSA DI MODULI DI COPERTURA PREFABBRICATI IN LEGNO



PREDISPOSIZIONE PER ELEMENTI AGGIUNTIVI COME IL MODULO FINESTRA VELUX



OTTIMIZZAZIONE DEL PANNELLO PER APPLICAZIONE SU COPERTURA A CAPANNA

Vantaggi di avere un volume modulare e componibile con diverse dimensioni

Suddivisione regolare delle falde principalmente in **moduli di larghezza 120 cm** (max lunghezza disponibile 140 cm).

Questo permette di avere il maggior numero di pannelli con le stesse dimensioni.

L'uso di **travature in acciaio con passo regolare (60 cm)** ha permesso di ottimizzare l'impiego di **pannelli il più possibile ripetibili**.

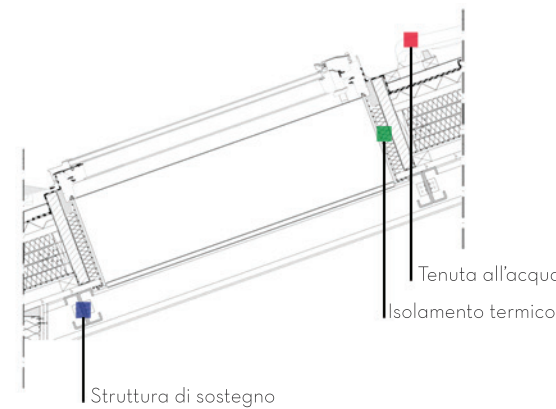
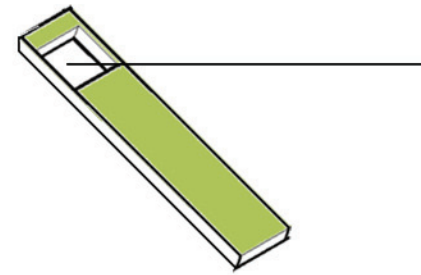
Riduzione in termine di utilizzo di risorse

Pannelli di larghezza 120 cm permettono di ridurre gli sfridi, poiché le **dimensioni** che di norma si trovano **in commercio sono multipli di 60 cm**.

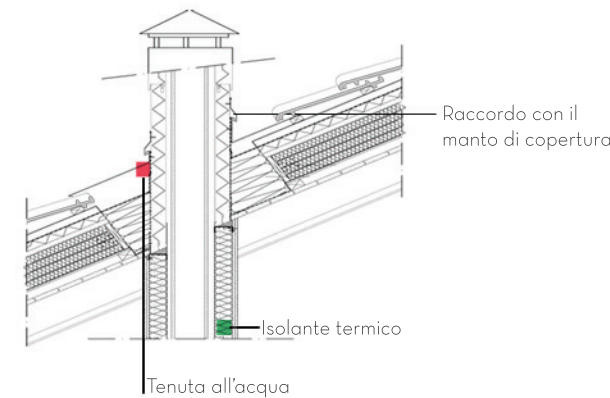
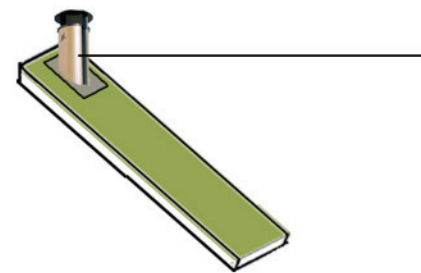
Riduzione dei costi di costruzione

Avere un maggior numero di pannelli uguali comporta una **razionalizzazione produttiva e costruttiva**, di conseguenza un minor costo.

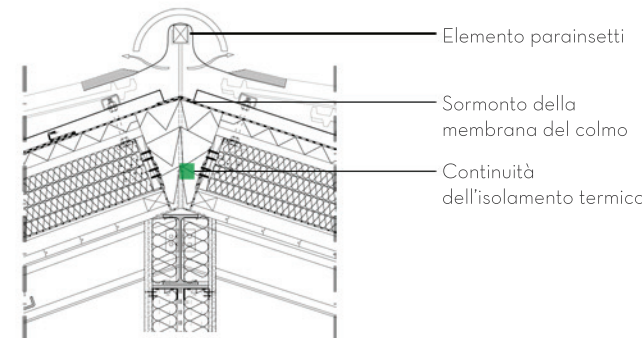
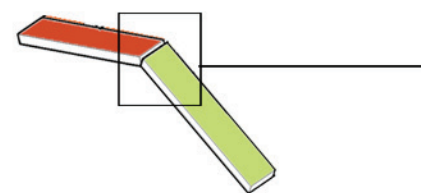
MODULO FINESTRA



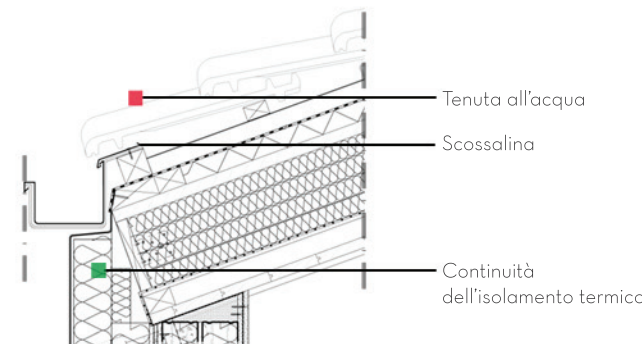
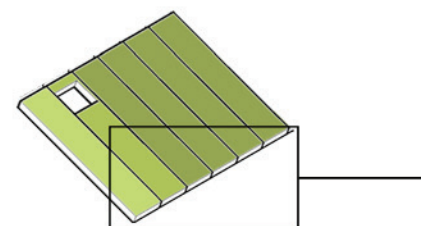
MODULO CON CANNA FUMARIA
(sistemi camino certificati)



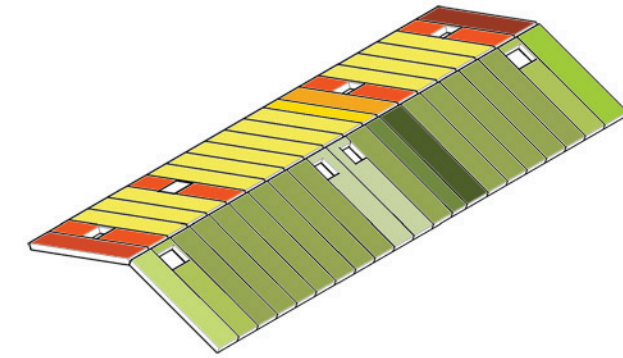
SOLUZIONE DI COLMO



SOLUZIONE DI GRONDA



DEFINIZIONE DELLA QUANTITA' E DELLA TIPOLOGIA DI PANNELLI RICHIESTI



ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI

Il pannello è realizzato con al suo interno dei montanti trasversali e dei bilanci in legno per creare l'asola di alloggiamento della finestra da tetto. All'asola creata sarà ancorato il falso telaio e il telaio fisso della finestra da tetto.

La parte mobile della finestra da tetto, con le opportune scossaline, sarà montata in opera data la fragilità dell'elemento.

Particolare dovrà essere riposto nel corretto risvolto della guaina impermeabile.

Una volta posato il pannello, l'asola (cornice dell'infisso) dovrà essere foderata con un materassino isolante morbido per evitare possibili ponti termici e per consentire le tolleranze di posa del pannello.

Nel caso applicativo l'utilizzo di moduli regolari permette di ottimizzare l'uso di sole due misure standard di finestra Velux.

Assicurare la verticalità del corpo emergente.

Prima del posizionamento del pannello è necessario avvolgere la canna fumaria, al di sopra del solaio con un isolante morbido posto ad anello, di altezza congruente allo spessore del pannello. Tale isolamento consente sia la protezione termica e statica della canna fumaria che le necessarie tolleranze per il posizionamento del pannello per infilaggio.

Il pannello è realizzato con al suo interno dei montanti trasversali di forma trapezoidale (secondo l'angolo di inclinazione della copertura) a cui saranno saldati dei bilanci in legno per creare l'asola di alloggiamento della canna fumaria.

Al pannello, in corrispondenza dell'asola, verranno ancorati degli elementi sandwich metallici, al cui interno è stato iniettata della schiuma di isolante rigido ad espansione. A questi elementi sandwich verrà giustapposto, per incastro, il comignolo metallico del corpo emergente, sagomato per impedire l'entrata di acqua piovana.

A completamento saranno posizionate scossaline e gronde per favorire il deflusso delle acque, fissate al di sopra della guaina opportunamente risvoltata.

Per assecondare la geometria del colmo occorre sagomare i traversi in legni del pannello a forma trapezoidale secondo l'angolo di inclinazione della copertura.

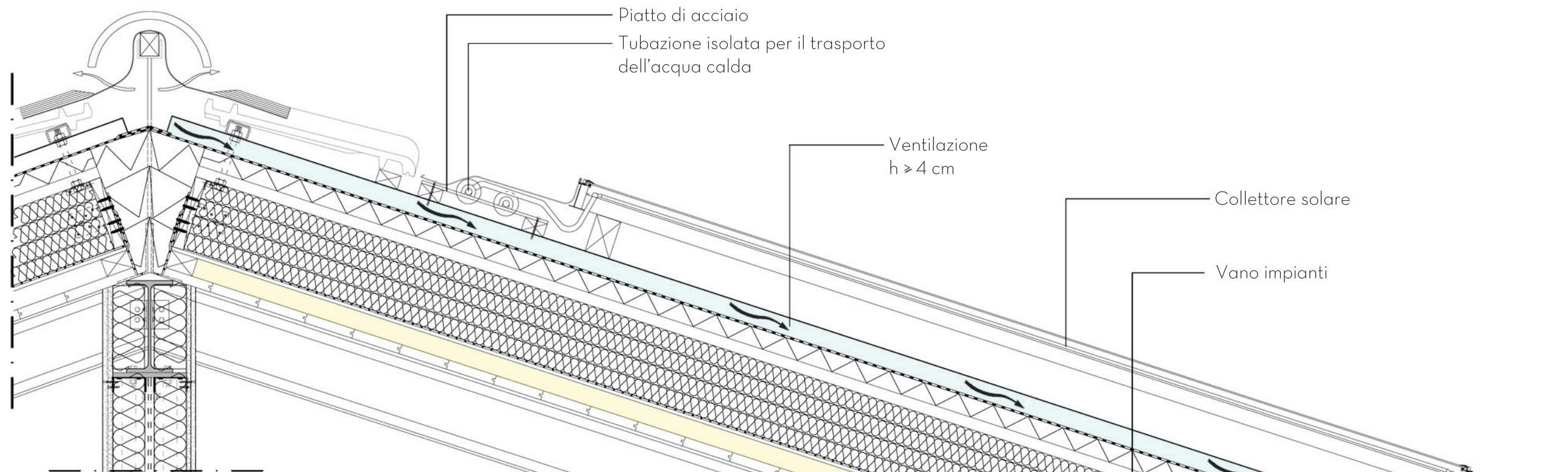
Particolare attenzione deve essere riposta nei sormonti della membrana traspirante posta al di sotto dei listelli di ventilazione. Una ulteriore membrana deve essere posta a ricoprire l'orditura primaria dei listelli di ventilazione per garantire la tenuta (membrana blu di Figura 25).

In corrispondenza delle bocchette di aerazione deve essere posato un elemento che protegga dall'intrusione di insetti e volatili.

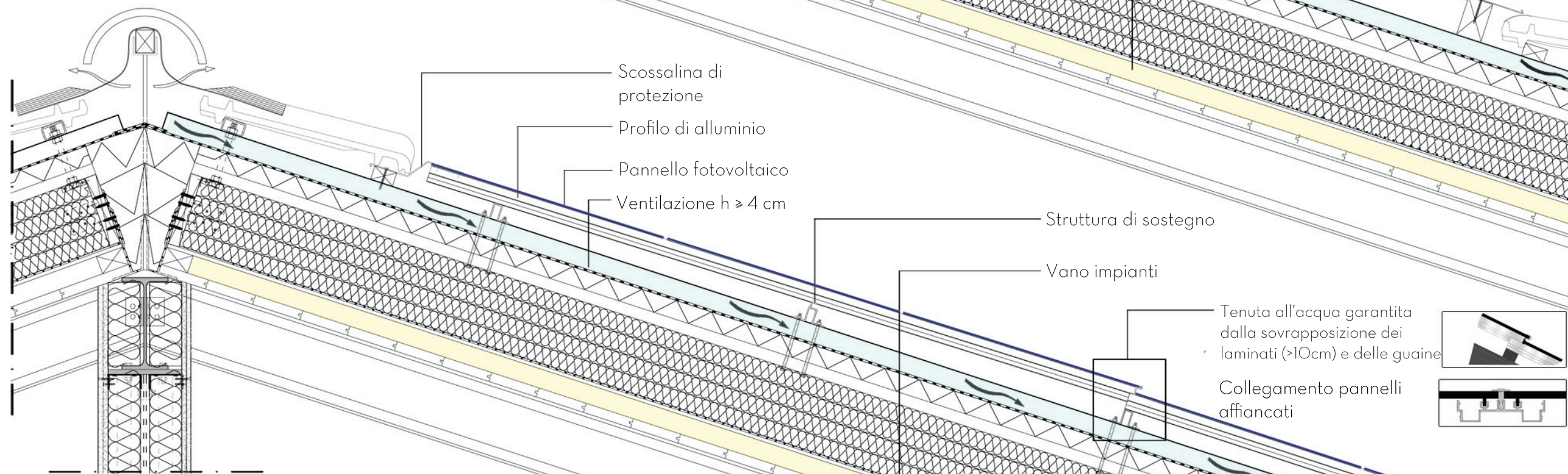
Il canale di raccolta acque piovane deve essere ancorato al listello di ventilazione secondaria e gli elementi di tenuta devono essere posizionati in modo da far confluire le acque nel canale. La ventilazione della copertura è garantita sottogronda e in corrispondenza delle bocchette di aerazione deve essere posato un elemento che protegga dall'intrusione di insetti e volatili.

Lungo tutto lo sporto di gronda deve essere posata una scossalina per favorire il deflusso delle acque e evitare infiltrazioni.

PANNELLO HABITAT CON COLLETTORE SOLARE

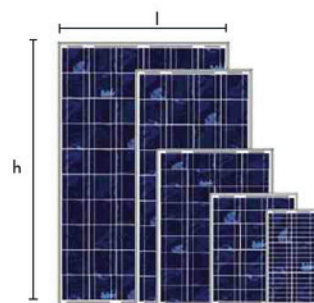


PANNELLO HABITAT CON PANNELLO FOTOVOLTAICO

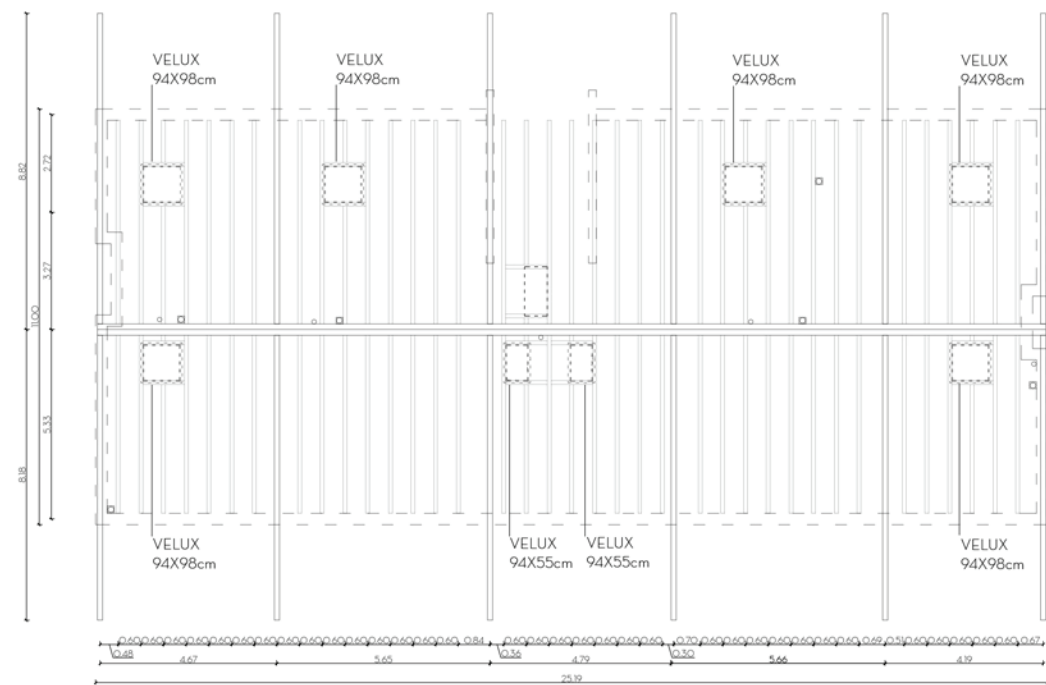


DIMENSIONI STANDARD PANNELLI FOTOVOLTAICI

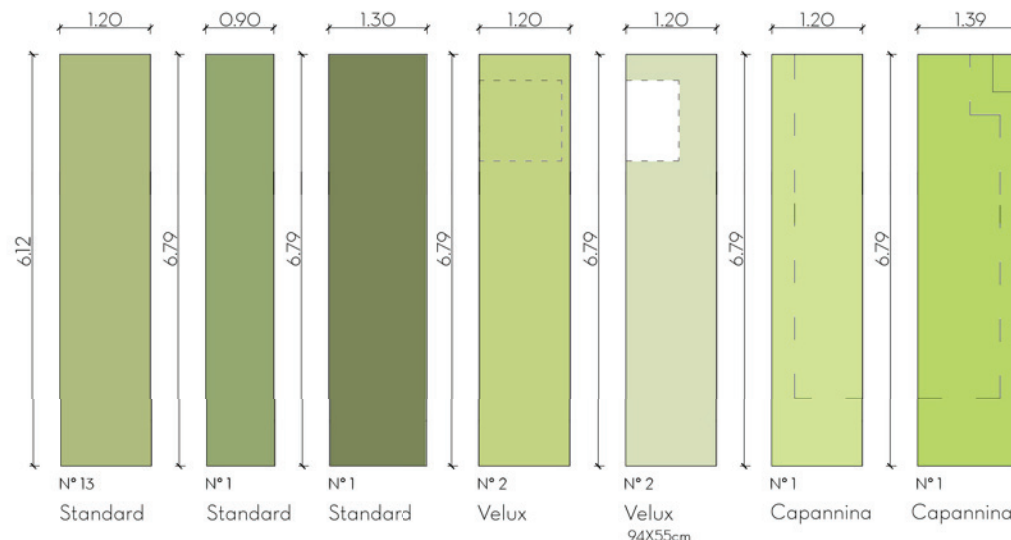
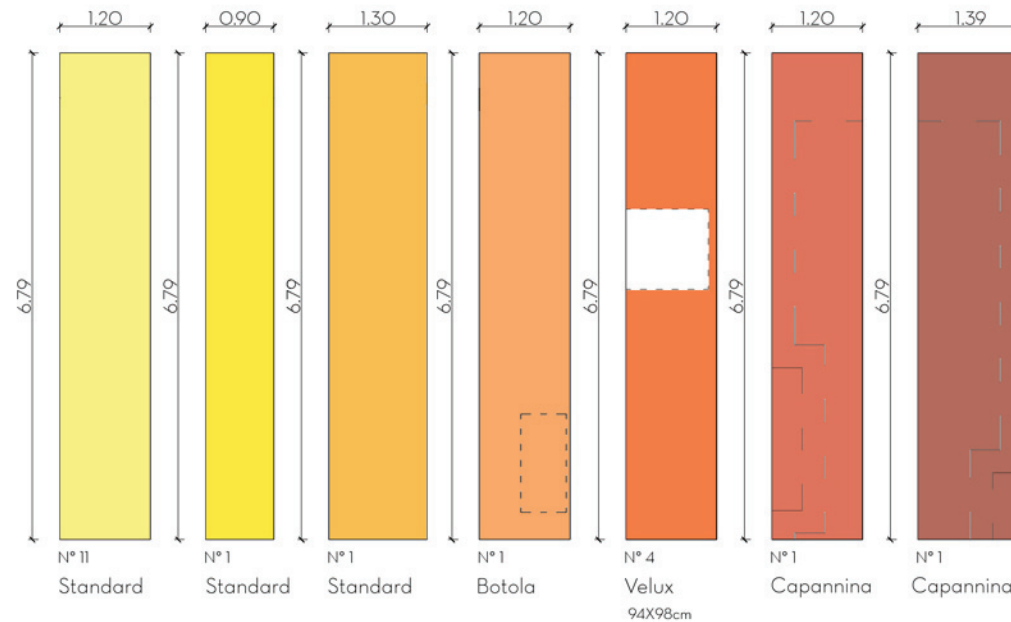
TIPO DI PANNELLO	SILICIO MONOCRISTALLINO	SILICIO POLICRISTALLINO	A FILM SOTTILE
potenza pannello singolo	230/245 watt	230/245 watt	77/88 watt
altezza	160/170 cm	160/170 cm	120 cm
larghezza	90/100 cm	90/100 cm	60 cm
spessore	4-5 cm	4-5 cm	0.6-0.7 cm
metri quadri per kw di potenza	7-9 mq/kw	8-11 mq/kw	11-13 mq/kw
Imp. da 3 kw su tetto a falde	21-27 mq	24-33 mq	33-99 mq
Imp. da 6 kw su tetto a falde	42-54 mq	48-66 mq	66-78 mq
Imp. da 9 kw su tetto a falde	63-81 mq	72-99 mq	99-117 mq



PIANTA STRUTTURALE DEL PROGETTO DI COPERTURA
SCALA 1:200

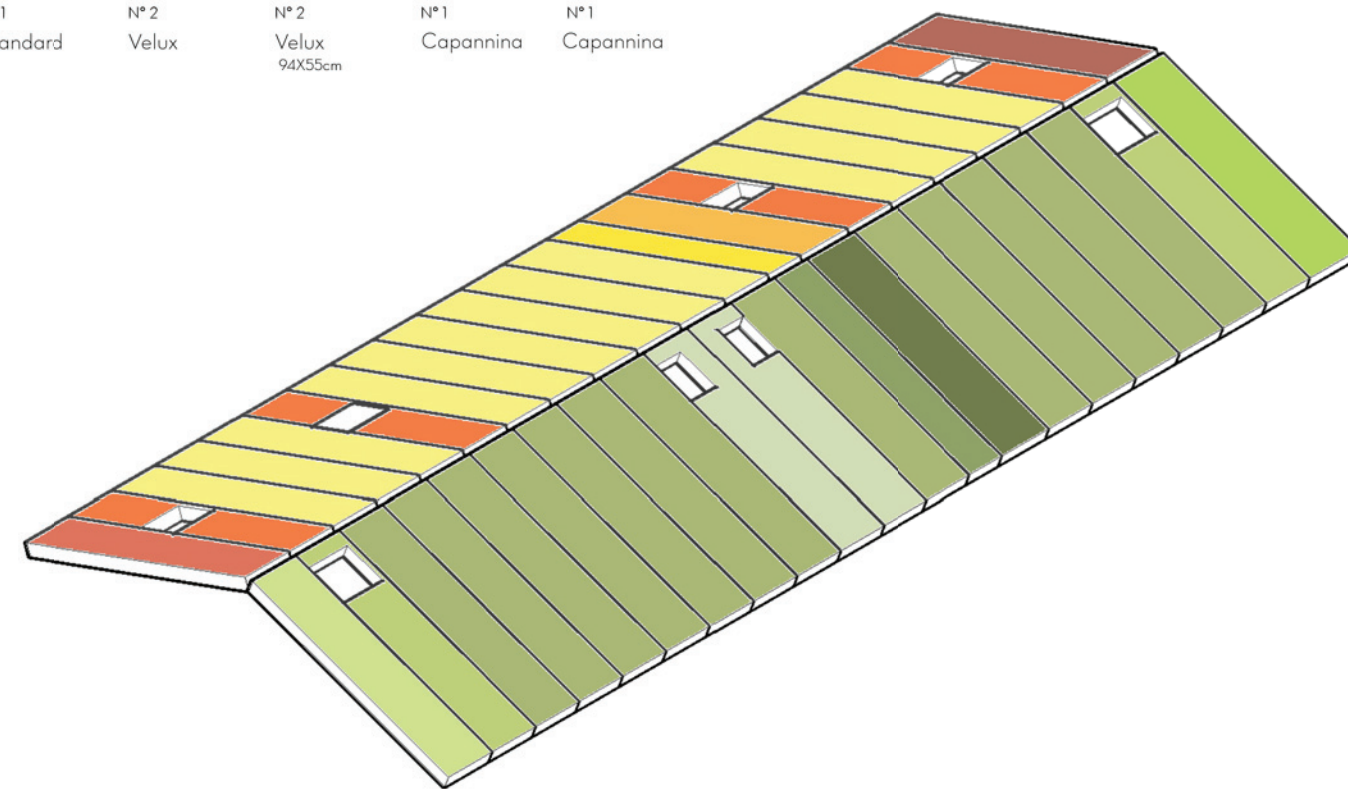
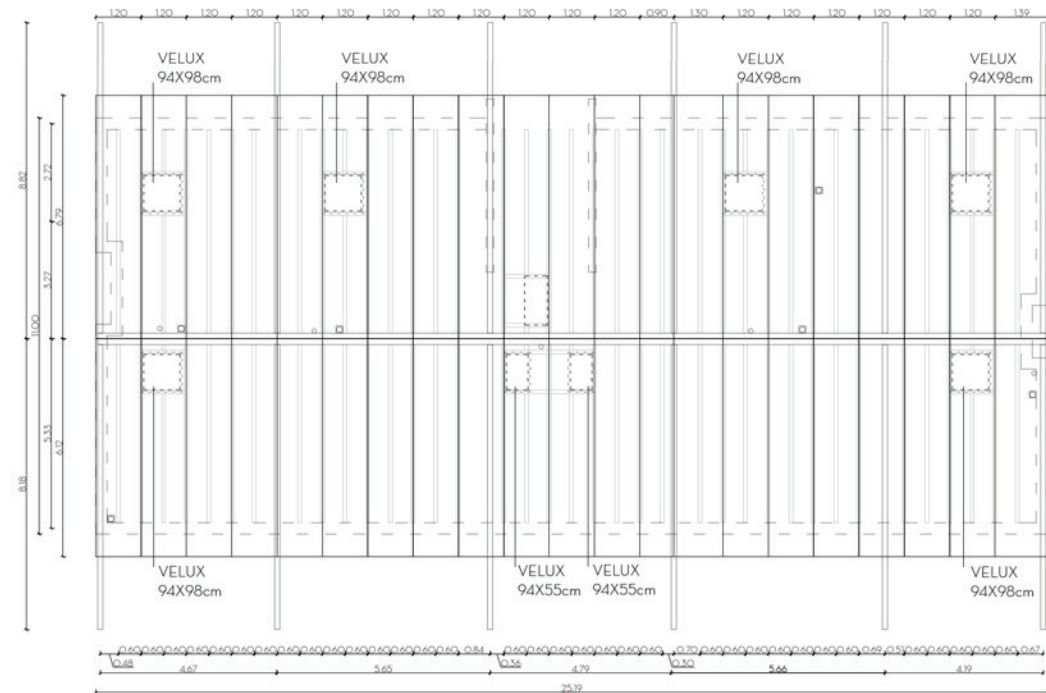


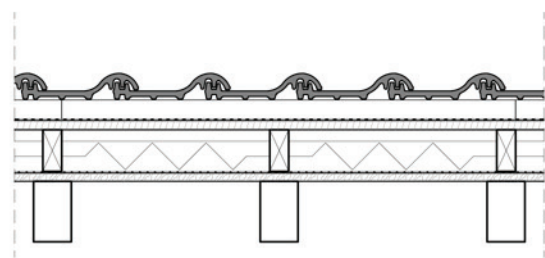
TIPOLOGIE DI PANNELLO
SCALA 1:100



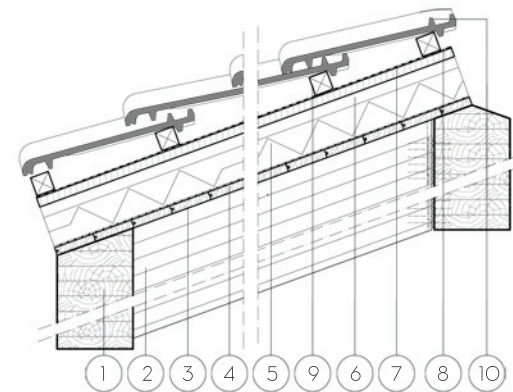
N° PANNELLI 42
N° TIPOLOGIE 14

PROGETTO DELLA COPERTURA
SCALA 1.200





SOLUZIONE A
Pacchetto di copertura tradizionale su struttura in legno

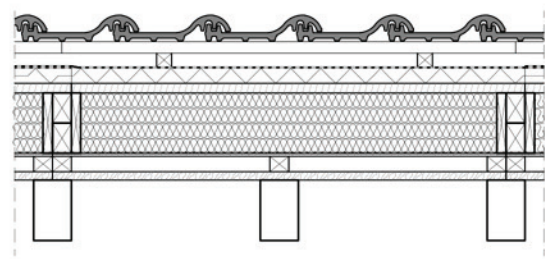


STRUTTURA IN LEGNO

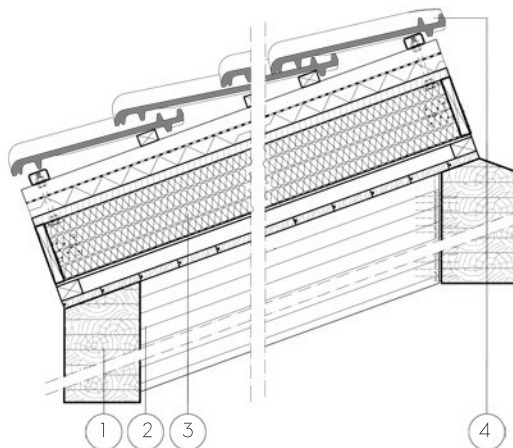
1. Trave in legno lamellare di abete (70X20 cm)
2. Travetto in legno lamellare di abete (10x16 cm)

MANTO DI COPERTURA

3. Tavolato in legno di abete (sp. 2.5 cm)
4. Barriera al vapore in polietilene estruso (sp. 0.5 cm)
5. Isolante rigido in lana di roccia (sp. 8 cm)
6. Travetti di ventilazione in legno (sp. 5x11 cm)
7. Tavolato in legno grezzo (sp. 2.5 cm)
8. Membrana bituminosa impermeabilizzante (sp.0.5 cm)
9. Travicelli poggiategola in legno (sp. 5x5 cm)
10. Coppi in laterizio (44.8x26.5 cm)



SOLUZIONE B
Pannelli HABITAT su struttura in legno

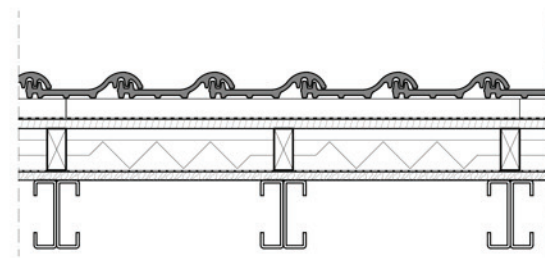


STRUTTURA IN LEGNO

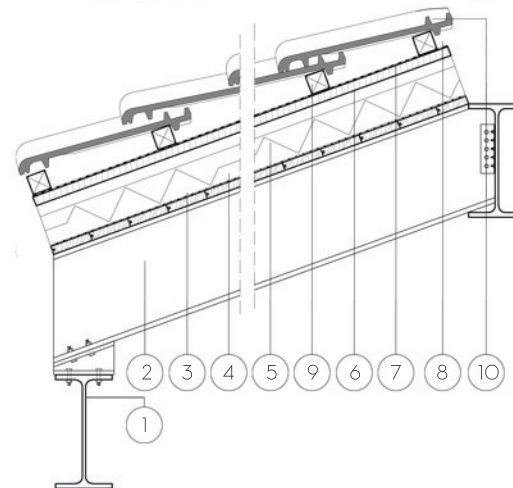
1. Trave in legno lamellare di abete (70X20 cm)
2. Travetto in legno lamellare di abete (10x16 cm)

MANTO DI COPERTURA

3. Pannello HABITAT (120X603 cm)
4. Coppi in laterizio (44.8x26.5 cm)



SOLUZIONE C
Pacchetto di copertura tradizionale su struttura in acciaio

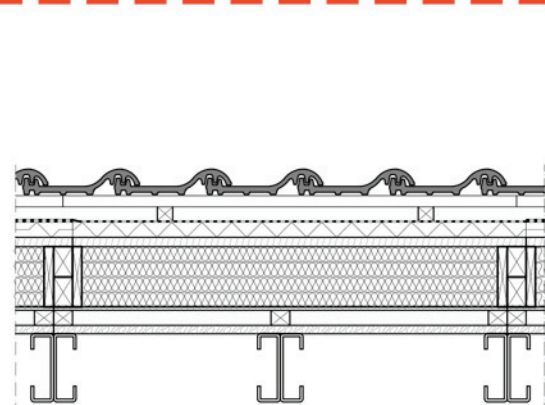


STRUTTURA IN ACCIAIO

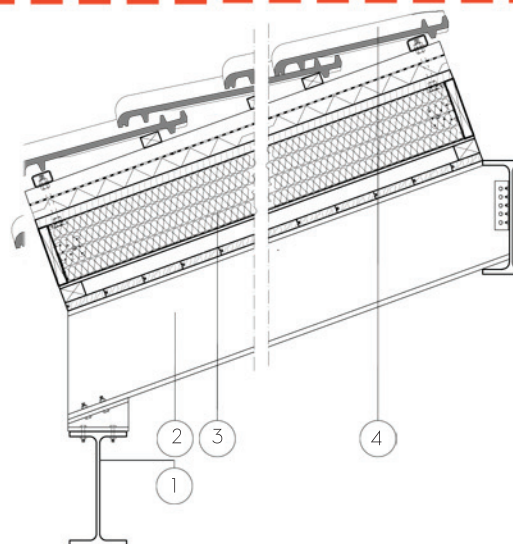
1. Trave in acciaio IPE 300
2. Trave in acciaio HEA 280

MANTO DI COPERTURA

3. Tavolato in legno di abete (sp. 2.5 cm)
4. Barriera al vapore in polietilene estruso (sp. 0.5 cm)
5. Isolante rigido in lana di roccia ad alta densità (sp. 8 cm)
6. Travetti di ventilazione in legno (sp. 5x11 cm)
7. Tavolato in legno grezzo (sp. 2.5 cm)
8. Membrana bituminosa impermeabilizzante (sp.0.5 cm)
9. Travicelli poggiategola in legno (sp. 5x5 cm)
10. Coppi in laterizio (44.8x26.5 cm)



SOLUZIONE D
Pannelli HABITAT su struttura in acciaio



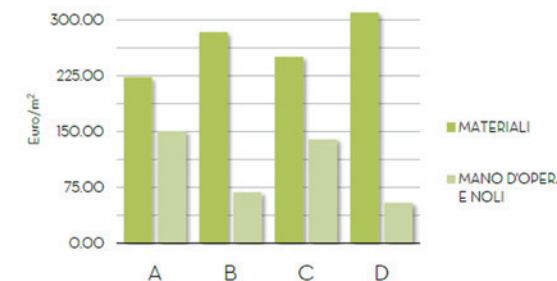
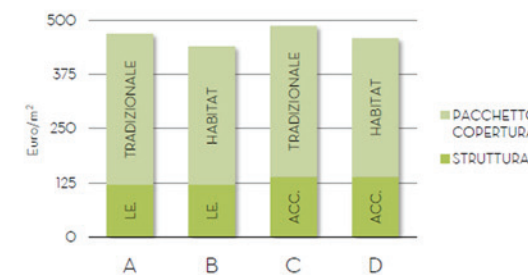
STRUTTURA IN ACCIAIO

1. Trave in acciaio IPE 200
2. Profili pressopiegati a "C" in acciaio laminato a freddo (18x6 x2.5 cm)

MANTO DI COPERTURA

3. Pannello HABITAT (120X603 cm)
4. Coppi in laterizio (44.8x26.5 cm)

		Costo materiali (Euro/m2)	Costo mano d'opera e noli (Euro/m2)	Costo al m ²	SOLUZIONI	Costo al m ²	Durata (h)	Durata (g)
STRUTTURA	LEGNO	58,84	37,61	120,56	A LEGNO+TRADIZIONALE	468,95	400,69	51,00
	ACCIAIO	85,43	25,82	139,07	B LEGNO+HABITAT	440,11	254,12	32,00
PACCHETTO DI COPERTURA	TRADIZIONALE	165,59	96,98	348,38	C ACCIAIO+TRADIZIONALE	487,45	377,04	48,00
	HABITAT	224,61	54,52	319,54	D ACCIAIO+HABITAT	458,61	230,47	29,00

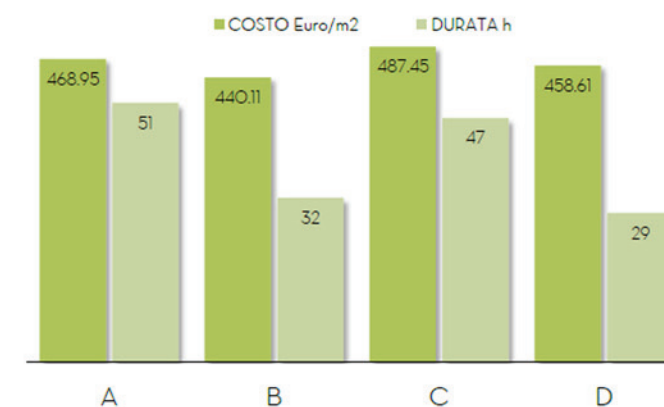
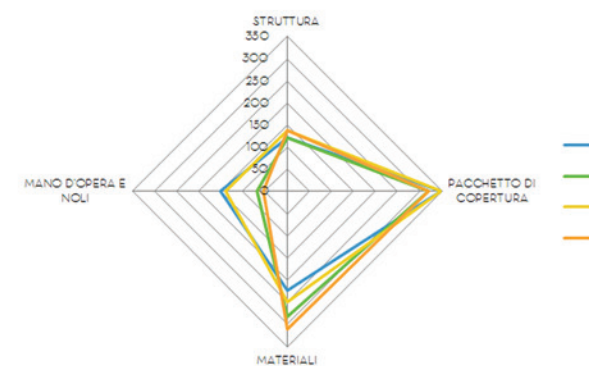
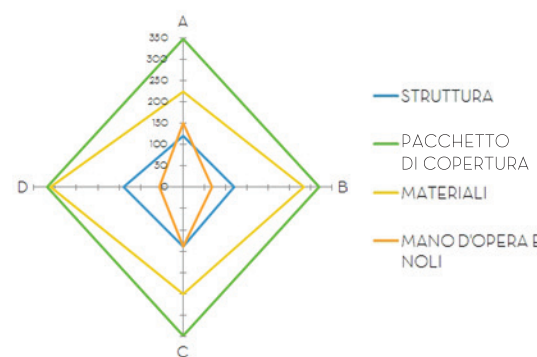


NOTE

Il maggior costo della struttura in acciaio è legata principalmente al costo del materiale mentre l'incidenza della mano d'opera è inferiore per la soluzione in acciaio rispetto all'incidenza del costo della mano d'opera per la realizzazione di una struttura in legno. La struttura in acciaio pur avendo un costo maggiore risulta, per il progetto in esame, conveniente al fine strutturali di creare un elemento leggero che non sovraccarichi la struttura esistente.

NOTE

I costi dei materiali risultano maggiori per le soluzioni di copertura prefabbricata rispetto alla soluzione tradizionale. Tali costi sono però compensati dai costi della mano d'opera e dei noleggi che si riducono per la rapidità di posa e di messa in opera della soluzione prefabbricata HABITAT.



NOTE

I costi unitari sono quelli indicati nel Prezzario Opere Pubbliche Regione Lombardia 2011 e nel Listino dei prezzi per l'esecuzione di Opere Pubbliche e manutenzioni (vol.1.1) del Comune di Milano, per i costi unitari non indicati si è fatto riferimento ai costi desunti da indagini di mercato. I costi totali sono stati calcolati tenendo conto del costo degli sfridi (ossia dell'incidenza del costo che risulta dalla lavorazione dei materiali stessi per la messa in opera).



PARTE 3 _APPROFONDIMENTI





PROGETTO STRUTTURALE

Scelte progettuali	7.1
Analisi dei carichi	7.2
Carichi permanenti non strutturali (G2)	7.2.1
Carichi variabili (Q)	7.2.2
Azione del vento	7.2.3
Azione della neve	7.2.4
Analisi di calcolo	7.3
Sicurezza e prestazioni attese	7.3.1
Combinazioni delle azioni	7.3.2
Dimensionamento delle travi secondarie e dei travetti di copertura	7.4
Stato limite di esercizio (SLE)	7.4.1
Diagrammi di involucro	7.4.2
Dimensionamento	7.4.3
Dimensionamento delle travi principali di colmo e di gronda	7.5
Stato limite di esercizio (SLE)	7.5.1
Valutazione della sicurezza delle travi	7.6
Dimensionamento del pilastro centrato	7.7
Resistenza di calcolo	7.7.1
Verifica a compressione	7.7.2
Verifica di stabilità	7.7.3
Azione del sisma	7.8

7 PROGETTO STRUTTURALE

L'edificio in oggetto è localizzato nella città di Cinisello Balsamo (latitudine 45° 33', longitudine 9° 13', altezza s.l.m. 154 m) ed è costituito da una struttura portante in cemento armato con solai in latero-cemento per i 3 piani esistenti e da una struttura portante in pilastri di acciaio per il nuovo piano sopraelevato.

La nuova copertura sarà composta da tre travi principali, una di colmo e due di gronda, e travi secondarie disposte lungo la pendenza del tetto a due falde. Queste ultime avranno il compito di sostenere la nuova struttura dei balconi sospesi. I travetti di acciaio disposti tra le travi secondarie avranno il compito di sostenere i pannelli prefabbricati di copertura.

In seguito a una redistribuzione degli spazi interni per avere alloggi di diverse metrature, le pareti interne saranno realizzate con strutture leggere a secco rivestite in gessofibra.

7.1 Scelte progettuali

Il dimensionamento e le verifiche dell'edificio sono state eseguite secondo le direttive del D.M. 14.01.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni). Il primo passaggio è stato quello di definire gli elementi tecnici dell'edificio oggetto di studio, si è poi proseguito con l'analisi dei carichi e delle azioni agenti del vento e della neve. Si è passati dunque al dimensionamento della parte strutturale della nuova copertura effettuando le verifiche allo Stato Limite Ultimo e allo Stato Limite di Esercizio. A seguire è stata svolta l'analisi della sicurezza delle travi stesse.

Il passo successivo è stato il calcolo del pilastro centrato.

L'analisi dell'azione del sisma invece è stata fatta di tipo qualitativo e non quantitativo, andando a confrontare i pesi e dalla struttura esistente in cemento armato demolita con quelli della nuova struttura in elementi leggeri prefabbricati.

Nell'intervento di recupero una delle scelte più significative del progetto è quella di appendere i balconi alla copertura per mezzo di "bracci" metallici. Questa decisione è giustificata dalla modalità di installazione dei pannelli di facciata, che deve avvenire dall'esterno e senza ostruzioni, e dall'impossibilità, per questi ultimi, di portare pesi significativi a sbalzo. A ciò si aggiunge l'esigenza di non creare ostruzioni all'accesso ai garage.

Di conseguenza si pone l'attenzione sulle travi a sbalzo del nuovo piano di copertura, alle quali i nuovi balconi saranno ancorati e sostenuti tramite un opportuno cavo di acciaio, fissato in sommità alla trave stessa.

La trave a sbalzo è, a sua volta, fissata a una trave secondaria. La copertura infatti sarà costituita da travi secondarie di maggiore dimensione proprio per queste scelte progettuali, poiché non sarebbero necessarie per il sostegno degli elementi di copertura stessa. Essa sarà costituita da moduli prefabbricati con struttura in legno.

Gli elementi tecnici sono riportati nelle tavole **PT 01, PT 02**.

7.2 Analisi dei carichi

7.2.1 Carichi permanenti non strutturali (G2)

Come afferma la normativa di riferimento D.M. 14.01.2008 (N.T.C) “sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, quali quelli relativi a tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti ed altro, ancorché in qualche caso sia necessario considerare situazioni transitorie in cui essi non siano presenti. Essi devono essere valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi dell’unità di volume dei materiali costituenti. In linea di massima, in presenza di orizzontamenti anche con orditura unidirezionale ma con capacità di ripartizione trasversale, i carichi permanenti portati ed i carichi variabili potranno assumersi, per la verifica d’insieme, come uniformemente ripartiti. In caso contrario, occorre valutarne le effettive distribuzioni”.

Nel nostro caso dunque sono stati analizzati come carichi di tipo “permanente non strutturale” i seguenti elementi:

- Copertura inclinata con pannelli HABITAT :
 - manto di copertura in coppi
 - pannello prefabbricato con struttura in legno (Pannello Habitat)
- Copertura trave a sbalzo:
 - Frangisole a lamelle regolabili
- Balcone sospeso:
 - Griglia metallica
- Partizione orizzontale interna:
 - finitura con lastra bistrato in ceramica
 - sottofondo per pavimenti
 - massetto impiantistico in cemento alleggerito
 - strutture del controsoffitto
 - rasatura a base cementizia
- Partizione verticale interna:
 - pannelli in doppia lastra in gessofibra
 - isolante in lana di vetro
 - profili a "C" in acciaio
- Parete perimetrale portante in acciaio, piano rialzato:
 - pannello EASEE
 - lastre in cemento rinforzato
 - isolante in lana di vetro
 - profili a "C" in acciaio
 - lastre in gesso fibra

- Parete perimetrale portante in cemento armato, esistente:
 - pannello EASEE
 - tramezzi interni con blocchi di laterizio forato (8x10x25cm)

Allegato B : carichi permanenti non strutturali (G_2)

Con riferimento al capitolo §3.1.3.1 delle N.T.C - 2008: “Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito g_{2k} , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico”. Il carico uniformemente distribuito g_{2k} ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza G_{2k} delle partizioni nel modo seguente:

Elementi divisori interni

- | | |
|---|----------------------------------|
| - per elementi divisori con $G_2 < 1,00$ kN/m: | $g_2 = 0,40$ kN/m ² ; |
| - per elementi divisori con $1,00 < G_2 < 2,00$ kN/m: | $g_2 = 0,80$ kN/m ² ; |
| - per elementi divisori con $2,00 < G_2 < 3,00$ kN/m: | $g_2 = 1,20$ kN/m ² ; |
| - per elementi divisori con $3,00 < G_2 < 4,00$ kN/m: | $g_2 = 1,60$ kN/m ² ; |
| - per elementi divisori con $4,00 < G_2 < 5,00$ kN/m: | $g_2 = 2,00$ kN/m ² . |

Elementi divisori interni con peso proprio maggiore devono essere considerati in fase di progettazione, tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio.”

Come si può visualizzare nell' **allegato B.5** il valore di carico relativo alla partizione interna verticale è stato corretto come indicato dalla normativa (N.T.C - 2008) al fine di portarlo da una situazione di tipo “concentrato” a una di tipo “distribuito”. Questo per considerare le eventuali modifiche di distribuzione interna degli spazi ad opera di successivi e diversi fruitori o degli stessi.

Tabella 11, Pesì dell'unità di volume dei principali materiali strutturali, Fonte NTC-08

MATERIALI	PESO UNITÀ DI VOLUME [kN/m ³]
Calcestruzzi cementizi e malte	
Calcestruzzo ordinario	24,0
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25,0
Calcestruzzi "leggeri": da determinarsi caso per caso	14,0 ÷ 20,0
Calcestruzzi "pesanti": da determinarsi caso per caso	28,0 ÷ 50,0
Malta di calce	18,0
Malta di cemento	21,0
Calce in polvere	10,0
Cemento in polvere	14,0
Sabbia	17,0
Metalli e leghe	
Acciaio	78,5
Ghisa	72,5
Alluminio	27,0
Materiale lapideo	
Tufo vulcanico	17,0
Calcere compatto	26,0
Calcere tenero	22,0
Gesso	13,0
Granito	27,0
Laterizio (pieno)	18,0
Legnami	
Conifere e pioppo	4,0 ÷ 6,0
Latifoglie (escluso pioppo)	6,0 ÷ 8,0
Sostanze varie	
Acqua dolce (chiara)	9,81
Acqua di mare (chiara)	10,1
Carta	10,0
Vetro	25,0
Per materiali non compresi nella tabella si potrà far riferimento a specifiche indagini sperimentali o a normative di comprovata validità assumendo i valori nominali come valori caratteristici.	

7.2.2 Carichi variabili (Q)

Facendo sempre riferimento alla normativa D.M. 14.01.2008 (N.T.C) "i carichi variabili comprendono carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera"; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²]
- carichi verticali concentrati Q_k [kN]
- carichi orizzontali lineari H_k [kN/m]

I valori nominali e/o caratteristici q_k , Q_k ed H_k sono riportati nella *Tabella 12*. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture.

I carichi verticali concentrati Q_k formano oggetto di verifiche locali distinte e non vanno sovrapposti ai corrispondenti carichi verticali ripartiti; essi devono essere applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento; in assenza di precise indicazioni può essere considerata una forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50

mm, salvo che per le rimesse ed i parcheggi, per i quali i carichi si applicano su due impronte di 200 x 200 mm, distanti assialmente di 1,80 m.”

Tabella 12, Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici, Fonte NTC-08

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	$\geq 6,00$ —	6,00 —	1,00* —
F-G	Rimesse e parcheggi. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 secondo categoria di appartenenza —

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso

L'edificio trattato prevede ambienti ad uso residenziale, ballatoi di accesso agli alloggi e una copertura accessibile solamente per la manutenzione, per cui i dati considerati sono i seguenti:

- categoria A: ambienti ad uso residenziale, per i quali:
 - $q_k = 2,00$ [kN/m²]
 - $Q_k = 2,00$ [kN]
 - $H_k = 1,00$ [kN/m]

- categoria C2: ambienti suscettibili di affollamento, balconi e ballatoi
 - $q_k = 4,00$ [kN/m²]
 - $Q_k = 4,00$ [kN]
 - $H_k = 2,00$ [kN/m]
- categoria H1 :coperture e sottotetti accessibile per sola manutenzione, per i quali:
 - $q_k = 0,50$ [kN/m²]
 - $Q_k = 1,20$ [kN]
 - $H_k = 1,00$ [kN/m]

7.2.3 Azione del vento

Velocità di riferimento

La velocità di riferimento v_b è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (vedi *Tabella 15*), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche v_b è data dall'espressione:

- $v_b = v_{b,0}$ se $a_s \leq a_0$
- $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ se $a_0 < a_s \leq 1500$ m

dove:

- $v_{b,0}$, a_0 , k_a sono parametri forniti dalla
- *Tabella 13* e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone definite in *Figura 7.1*;
- a_s è l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione.

Tabella 13. Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_a , Fonte NTC- 08

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

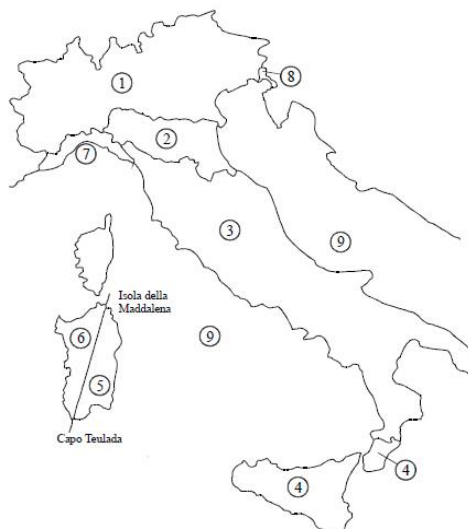


Figura 7.1, Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano. Fonte NTC-08

Il sito dell'edificio in analisi rientra nella "Zona 1", pertanto:

- $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$ $a_S = 154 \text{ m s.l.m}$ $a_0 = 1000 \text{ m}$
- $k_a = 0,010 \text{ l/s}$
- $a_s \leq a_0$ per cui $v_b = 25 \text{ m/s}$

La pressione del vento è calcolata come:

Pressione del vento

$$p = q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

dove:

- q_b è la pressione cinetica di riferimento;
- C_e è il coefficiente di esposizione;
- C_p è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento ;
- C_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali ed agli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali ;

$$p = 390,625 \cdot 2,265 \cdot 1,2 \cdot 1 = 1061,72 \text{ N/m}^2$$

Vediamo nel dettaglio come sono stati definiti i singoli termini.

L'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione:

Azione tangenziale
del vento

$$p_f = q_b \cdot C_e \cdot C_f$$

dove:

- q_b è la pressione cinetica di riferimento;
- C_e è il coefficiente di esposizione;

- C_f è il coefficiente di attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente. Il suo valore può essere ricavato dai dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Tabella 14, Coefficienti di attrito in funzione della scabrezza delle superfici. Fonte D.M. 09-01-1996

Superficie	Coefficiente d'attrito c_f
Liscia (acciaio, cemento a faccia liscia..)	0,01
Scabra (cemento a faccia scabra, catrame..)	0,02
Molto scabra (ondulata, costolata, piegata..)	0,04

L'azione tangenziale del vento risulta perciò essere:

$$p_f = 390,625 \cdot 2,265 \cdot 0,01 = 8,85 \text{ N/m}^2$$

Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento q_b (in N/m^2) è data dall'espressione :

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2$$

dove:

- v_b è la velocità di riferimento del vento (m/s) = 25 m/s
- ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Dunque:

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \text{ N/m}^2$$

Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla tipografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200\text{m}$, esso è dato dalla formula:

- $c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \ln(z/z_0)]$ se $z > z_{\min}$
- $c_e(z) = c_e(z_{\min})$ se $z < z_{\min}$

dove:

k_r, z_0, z_{\min} sono assegnati in

- Tabella 15. in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione, nel nostro caso categoria IV come determinato in
- ;
- c_t è il coefficiente di topografia.

Tabella 15, Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione, Fonte NTC-08

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

In seguito all'individuazione della categoria di esposizione del sito tramite la Tabella 17, è possibile definire i seguenti parametri:

- $k_r = 0.22$
- $z_0 = 0.30\text{m}$
- $z_{min} = 8\text{ m}$

Tabella 16, Classi di rugosità del terreno, Fonte NTC-08

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

L'edificio è ubicato in via del Carroccio a Cinisello Balsamo, in un settore semi-periferico densamente costruito e abitato, pertanto risulta rientrare nella "Classe di rugosità del terreno B".

Tabella 17, Definizione delle categorie di esposizione, Fonte NTC-08

ZONE 1 2,3,4,5						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Il coefficiente di topografia c_t è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane. In questo caso la Figura 7.2 riporta le leggi di variazione di c_e per le diverse categorie di esposizione.

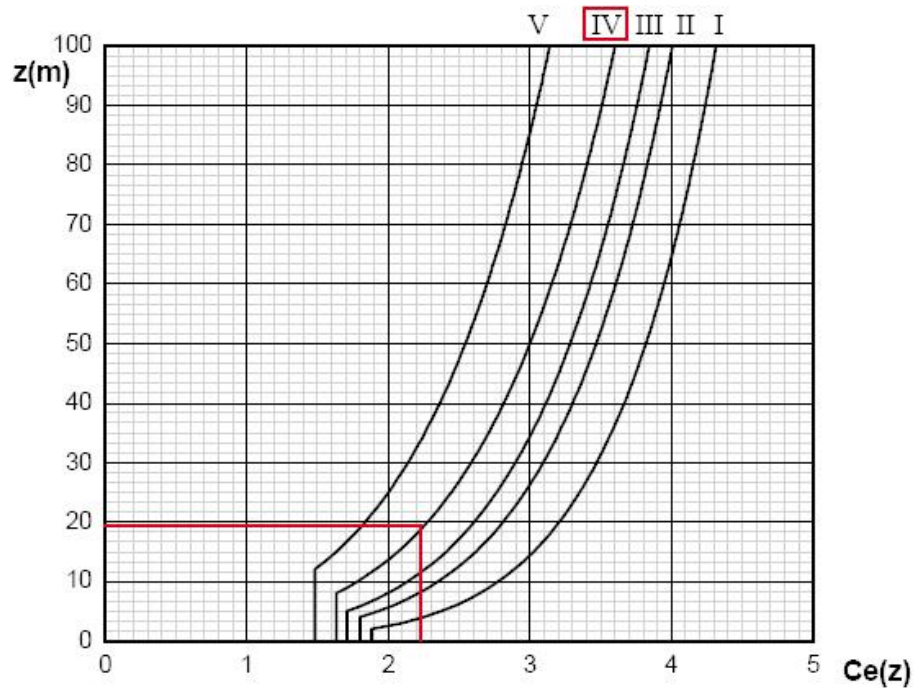


Figura 7.2, Andamento del coefficiente di esposizione c_e in funzione della quota (per $c_t = 1$).
Fonte NTC-08

Dunque:

- z (altezza dell'edificio sul suolo dal punto considerato) = 19.7 m
- Classe di rugosità del terreno : B
- Zona I
- Categoria di esposizione del sito I

Allora , poichè $19,7 > 8$:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \ln(z/z_0)]$$

$$= 0.22^2 \cdot 1 \cdot \ln(19.7/0.30) \cdot [7 + 1 \cdot \ln(19.7/0.30)] = 2,265$$

Il coefficiente di forma è funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

Coefficiente di forma

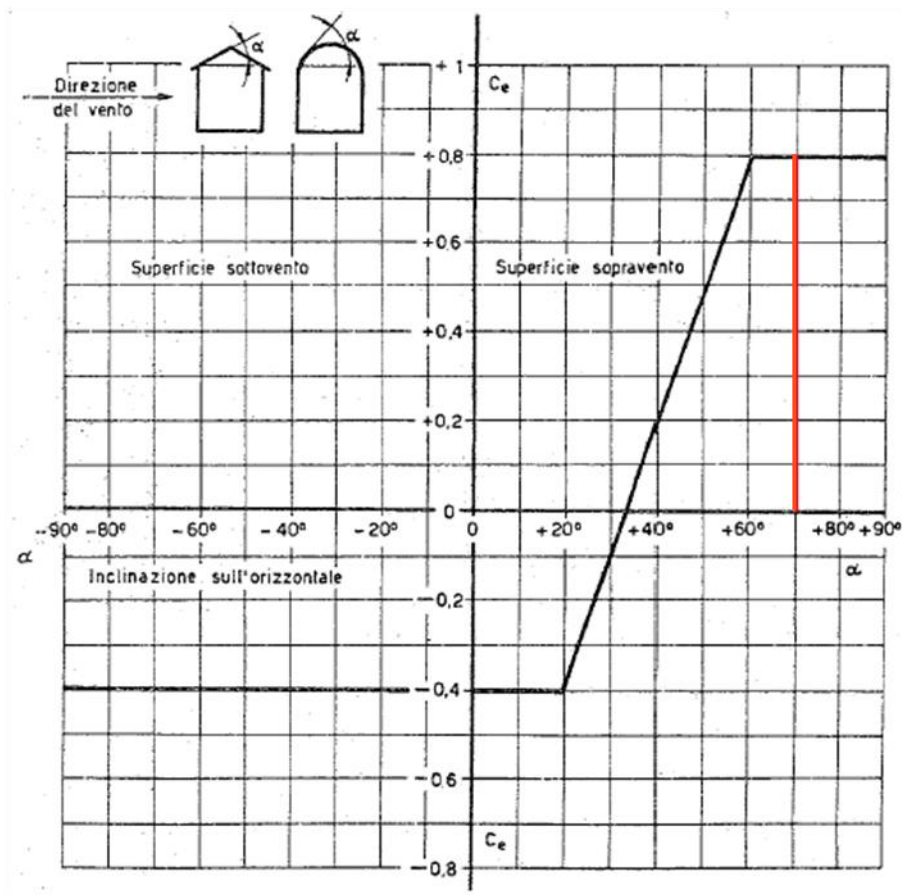


Figura 7.3, Grafico valori assunti dal coefficiente c_{pe} al variare di α (angolo di inclinazione della copertura). Fonte D.M. 09-01-96

- Per edifici a pianta rettangolare, per elementi sopravvento (cioè direttamente investiti dal vento) con inclinazione sull'orizzontale $\alpha \geq 60^\circ$, $c_{pe} = +0.8$ (da documento "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008).
- Per costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di $1/3$ di quella

totale : $c_{pe} + c_{pi} = \pm 1.2$ per gli elementi normali alla direzione del vento,
 $c_{pi} = \pm 0.2$ per i rimanenti elementi

Considerando la parete con più aperture (quella con la porta d'ingresso del vano scale) :

- superficie totale della parete: 399 m^2
- superficie delle aperture: $135,68 \text{ m}^2$

Quindi: $135,68 \text{ m}^2 \times (399) / 3 = 133 \text{ m}^2$

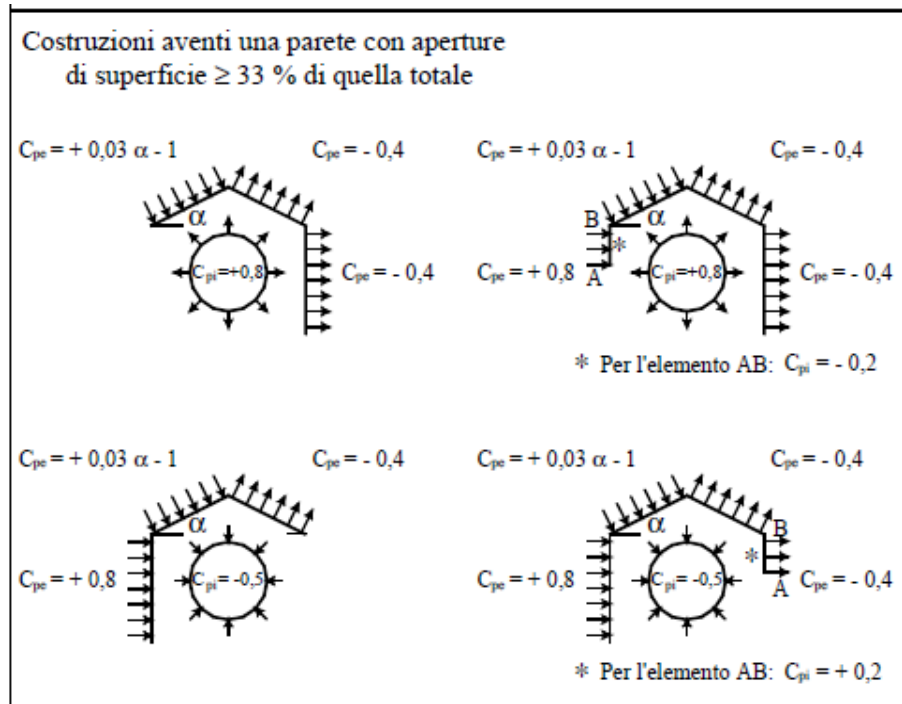


Figura 7.4, Coefficienti di forma per gli edifici. Fonte D.M. 09-01-1996

$$C_p = C_{pe} + C_{pi} = +1.2$$

Coefficiente dinamico

Il coefficiente dinamico tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

$C_d =$ valori prossimi ad 1; in una trattazione semplificata può essere trascurato.

7.2.4 Azione della neve

Carico neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture è valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- q_s è il carico neve sulla copertura [KN/m²];
- μ_i è il coefficiente di forma della copertura;
- q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [KN/m²], per un periodo di ritorno di 50 anni;
- C_E è il coefficiente di esposizione ;
- C_t è il coefficiente termico ;

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

Valore caratteristico del carico neve al suolo

L'altitudine di riferimento a_s è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio.

Nel caso in analisi:

Zona 1 - Mediterranea

$$q_{sk} = 1.50 \text{ kN/m}^2 \quad \text{per } a_s < 200\text{m}$$

$$q_{sk} = 1.39 [1+(a_s / 728)^2] \text{ kN/m}^2 \quad \text{per } a_s > 200\text{m}$$

$$a_s = 154 \text{ m s.l.m.}$$

$$a_s < 200 \text{ m}$$

Per cui, il valore caratteristico minimo risulta: $q_{sk} = 1.50 \text{ kN/m}^2$

Il coefficiente esposizione C_E può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti in *Tabella 18*.

Coefficiente di esposizione

Tabella 18, Valori di C_E per diverse classi di topografia, Fonte NTC-08

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle

Coefficiente termico

proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato $C_t = 1$.

Coefficiente di forma per le coperture

Per quanto riguarda il carico neve sulle coperture devono essere considerate le due seguenti principali disposizioni di carico :

- carico da neve depositata in assenza di vento;
- carico da neve depositata in presenza di vento.

Il valore del coefficiente di forma μ_i , riportati in *Tabella 19*, si riferiscono alle coperture ad una o due falde (α = è l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale).

Tabella 19, Valori del coefficiente di forma, Fonte NTC-08

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_i	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

L'edificio in oggetto è costituito da una copertura a due falde con inclinazione di 20° , per cui:

- $\mu_i = 0,8$.

Dopo aver analizzato tutti i dati necessari per il calcolo, è possibile definire il carico neve:

$$q_s = 0,8 \cdot 1,50 \cdot 1 \cdot 1 = 1,20 \text{ KN/m}^2$$

7.3 Analisi di calcolo

7.3.1 Sicurezza e prestazioni attese

Come afferma il D.M. 14.01.2008 (N.T.C) “La sicurezza e le prestazioni di un’opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l’opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU):* capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l’incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l’opera;
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):* capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali:* capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all’entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.

Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

Stato Limite Ultimo (SLU)

I principali Stati Limite Ultimi sono elencati nel seguito:

- a) perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- b) spostamenti o deformazioni eccessive;
- c) raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d) raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme;
- e) raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- f) rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- g) rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- h) instabilità di parti della struttura o del suo insieme.

Stati Limite di Esercizio (SLE)

I principali Stati Limite di Esercizio sono elencati nel seguito:

- a) danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;

- b) spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- f) corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione."

7.3.2 Combinazioni delle azioni

Ai fini del dimensionamento delle travi del balcone e di copertura e delle verifiche degli stati limite sono definite le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_D \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Qk1 + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Qk2 + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Qk3 + \dots$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G1 + G2 + Qk1 + \Psi_{02} \cdot Qk2 + \Psi_{03} \cdot Qk3 + \dots$$

Si specificano anche come da normativa D.M. 14.01.2008 (N.T.C):

a) **azioni permanenti (G):** azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali, peso proprio del terreno quando pertinente, forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno), forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
- spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
- pretensione e precompressione (P), assunti in questo caso pari a 0.00;
- ritiro e viscosità;
- spostamenti differenziali.

b) **azioni variabili (Q):** azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

- di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;

- di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura.

c) eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura:

- incendi;
- esplosioni;
- urti ed impatti.

d) sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

E si definiscono i seguenti:

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_P coefficiente parziale della precompressione, assunto pari a 1,0 ;
- γ_{Qi} coefficienti parziali delle azioni variabili;
- Ψ_{0i} coefficienti di combinazione.

Sempre con riferimento normativo D.M. 14.01.2008 (N.T.C) si assumono i valori dei coefficienti parziali citati tramite la seguente tabella:

Stato Limite Ultimo
(SLU)

Tabella 20, Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU, Fonte NTC -08

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Si ricavano invece i valori dei coefficienti di combinazione tramite la Tabella 21.

Tabella 21, Valori dei coefficienti di combinazione, Fonte NTC-08

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Si procede allora con il calcolo delle combinazioni fondamentali relative agli stati limite ultimi, (SLU).

Allegato C: Combinazioni delle azioni (SLU)

Stato Limite di Esercizio
(SLE)

Per il calcolo delle combinazioni di carico agli stati limite di esercizio si fa riferimento ai valori dei coefficienti di riferimento riportati in *Tabella 21*.

Si procede allora con il calcolo delle combinazioni fondamentali relative agli Stati Limite di Esercizio (SLE) rara.

Allegato D: Combinazioni delle azioni (SLE RARA)

7.4 Dimensionamento delle travi secondarie e dei travetti di copertura

7.4.1 Stato limite di esercizio (SLE)

Il dimensionamento della trave del balcone, della trave a sbalzo, della trave secondaria e dei travetti di copertura è stato effettuato verificando che la freccia generata dal carico, calcolato con la combinazione caratteristica per gli Stati Limite di Esercizio (SLE), fosse inferiore al valore limite.

In carenza di più precise indicazioni si possono adottare i limiti indicati nella *Tabella 22*, dove L è la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo.

Tabella 22, Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie, Fonte NTC-08

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

Come prima ipotesi si è fatto riferimento ai carichi derivanti dalle combinazioni caratteristiche (rare) per gli Stati Limite di Esercizio, moltiplicati per le aree di influenza (S), escludendo il peso proprio degli elementi strutturali (G) in quanto oggetto della presente analisi.

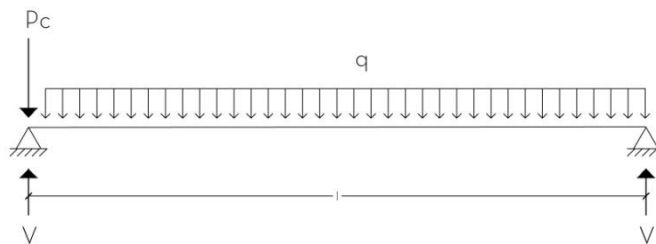


Figura 7.5, Schema statico trave balcone. Fonte autore tesi

Trave balcone

$$\frac{(qS + G)l^4}{EJ_x} \cdot \frac{5}{384} < \frac{1}{250} l = 0,0076 \text{ m}$$

dove:

- q carico uniformemente distribuito [kN/m²] = 4,1366 (pavimentazione con griglia metallica)
- Pc carico concentrato [kN] = 0.2578 (parapetto e schermature solari)

- S luce di solaio [m] = 5.24
- l luce della trave [m] = 1.90
- E modulo elastico dell'acciaio [210 000 MPa];
- J_x momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale [cm⁴]

Il limite è verificato con una trave profilo **IPE 120** avente momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale pari a 317.8 cm⁴.

La reazione vincolare che determina il carico agente sulle travi di copertura a sbalzo è stata determinata secondo la seguente formula:

$$V = \frac{P_c + (qS+G)l}{2} = 20,93 \text{ kN}$$

Trave a sbalzo

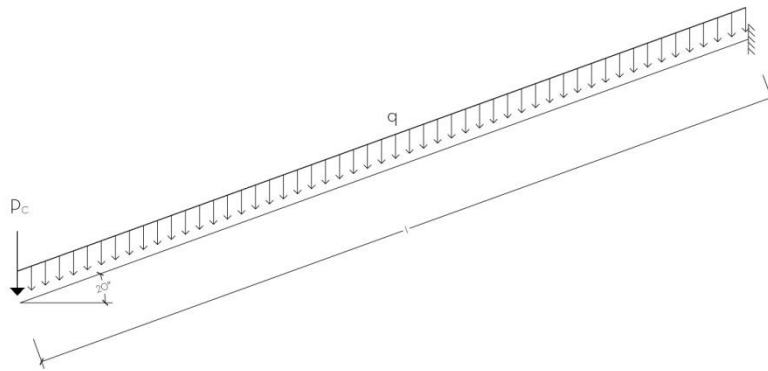


Figura 7.6, Schema statico trave secondaria di copertura a sbalzo. Fonte autore tesi

$$\frac{(qS+G)l^4}{EJ_x} \cdot \frac{1}{8} + \frac{P_c l^3}{EJ_x} \cdot \frac{1}{3} < \frac{1}{250} L = 0,01624 \text{ m} \quad (L=2l)$$

dove:

- q carico uniformemente distribuito [kN/m²] = 1.35
- P_c carico concentrato [kN] = 4V = 83,72
- S luce di solaio [m] = 5.24
- l luce della trave a sbalzo [m] = 2.03
- E modulo elastico dell'acciaio [210 000 MPa];
- J_x momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale [cm⁴]

Il limite è verificato con una trave profilo **HEA 260** avente momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale pari a 10450 cm⁴.

Le reazioni vincolari che determina le azioni agenti sulla trave secondaria di copertura sono state determinate secondo le seguenti formule:

$$R_A = (qS + G)l \cos 20 + P_c \cos 20 = 93 \text{ kN}$$

$$M_A = \frac{(qS + G)l^2 \cos 20}{2} + P_c l \cos 20 = 175 \text{ kNm}$$

Trave secondaria

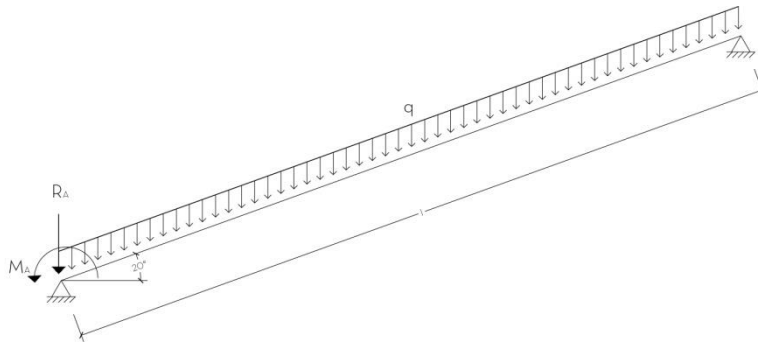


Figura 7.7, Schema statico trave secondaria di copertura. Fonte autore tesi

$$\frac{(qS + G)l^4}{EJ_x} \cdot \frac{5}{384} - \frac{M_A l^2}{EJ_x} \cdot 9\sqrt{3} < \frac{1}{200} l = 0,03015 \text{ m}$$

dove:

- q carico uniformemente distribuito [kN/m^2] = 2.54
- M_A coppia concentrata [kNm] = 175
- S luce di solaio [m] = 5,24
- l luce della trave [m] = 6.03;
- E modulo elastico dell'acciaio [210 000 MPa];
- J_x momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale [cm^4]

Il limite è verificato con una trave profilo **HEA 280** avente momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale pari a 13670 cm^4 .

Le reazioni vincolari che determina le azioni agenti sulle travi principali sono state calcolate secondo le seguenti formule:

$$R_C = \frac{(qS + G)l^2}{2} - \frac{M_A \cos 20}{l} = 11,41 \text{ kN}$$

$$R_G = R_A(qS + G)l - \frac{(qS + G)l^2 \cos 20}{2} - \frac{M_A \cos 20}{l} = 159,51 \text{ kN}$$

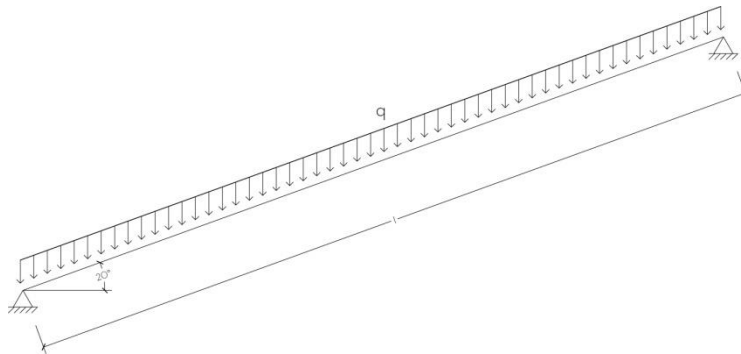


Figura 7.8, Schema statico travetto di copertura. Fonte autore tesi

$$\frac{(qS+G)l^4}{EJ_x} \cdot \frac{5}{384} < \frac{1}{200} l = 0,03015 \text{ m}$$

Travetto di copertura

dove:

- q carico uniformemente distribuito [KN/m^2] = 2.54
- S luce di solaio [m] = 0.75
- l luce dei travetti di copertura [m] = 6.03;
- E modulo elastico dell'acciaio [210 000 MPa];
- J_x momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale [cm^4]

Il limite è verificato con due profili accoppiati a "C" (180x60x25 mm sp.6 mm) aventi momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale pari a 597,671 cm^4 .

La reazione che determina l'azione agente sulle travi di copertura è stata calcolata come:

$$R_T = \frac{(qS + G)l \cos 20}{2} = 6,1730 \text{ kN}$$

7.4.2 Diagrammi di inviluppo

Al fine di definire le sollecitazioni più significative agenti nella trave secondaria di copertura e nella trave a sbalzo, è necessario studiare tutte le combinazioni di carico possibili che agiscono sulle strutture. Si definisce uno schema statico di trave continua su due appoggi che rappresentano le travature principali di colmo e di gronda.

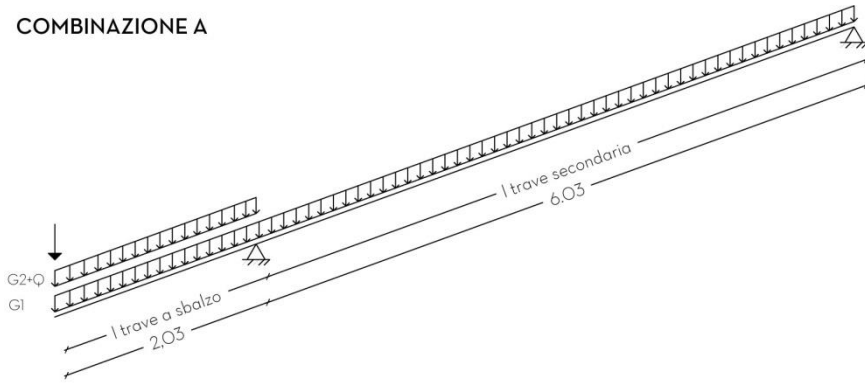
Su tale struttura si combineranno dunque i sovraccarichi permanenti distribuiti che chiameremo **G1** (somma del peso proprio strutturale e del peso non strutturale e dei sovraccarichi permanenti) e i sovraccarichi variabili che chiameremo **G2+Q** (corrispondente a carichi variabili di servizio e anche l'apporto dovuto al carico neve). A tali carichi distribuiti si aggiunge il carico concentrato **P_C** che deriva dai balconi sospesi.

In questo modo sovrapponendo i risultati di tutti i casi analizzati sarà possibile ottenere opportuni diagrammi di inviluppo e definire così il caso di carico che causa la sollecitazione peggiore sulla struttura in esame.

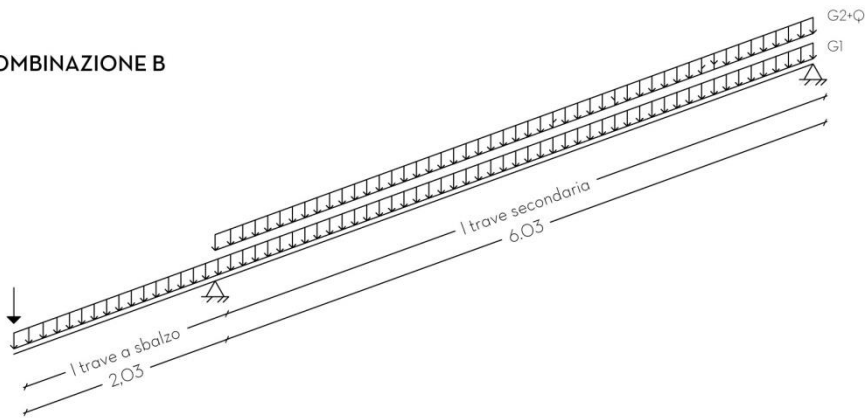
La trave si compone di una campata di 6.03 m e una campata di 2.03 m per una lunghezza totale di 8.06 m.

Le tre diverse combinazioni di carico considerate sono così definite:

COMBINAZIONE A



COMBINAZIONE B



COMBINAZIONE C

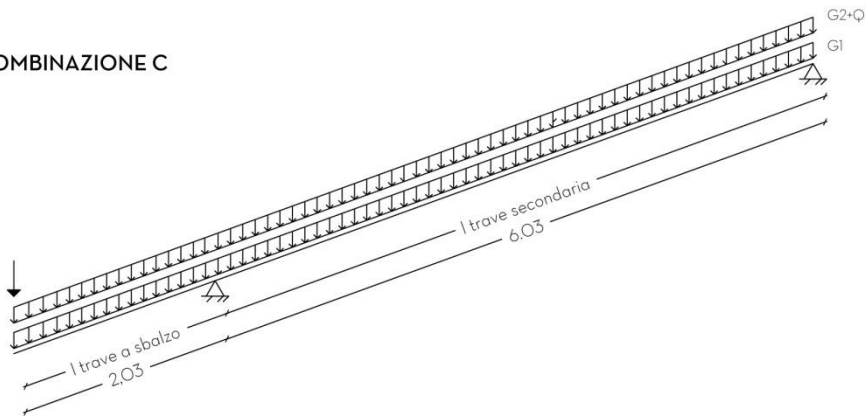


Figura 7.9, Combinazioni di carico sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi

Di seguito si riportano i valori dei sovraccarichi allo Stato Limite Ultimo (SLU) e allo Stato Limite di Esercizio (SLE) :

Tabella 23, Valori dei sovraccarichi allo SLU e allo SLE, Fonte autore tesi

SLU				
	P_C (kN)	$G1$ (kN/m)	$G2+Q$ (kN/m)	$G1+G2+Q$ (kN/m)
Trave secondaria		11.27	9,43	20.70
Trave a sbalzo	94	1.83	9.43	11.26
SLE				
	P_C (kN)	$G1$ (kN/m)	$G2$ (kN/m)	$G1+G2+Q$ (kN/m)
Trave secondaria		7.76	6,29	14.05
Trave a sbalzo	83,72	1.44	6.29	7.73

I casi analizzati vanno a costituire mediante sovrapposizione i diagrammi di involuppo di momenti e tagli necessari al dimensionamento vero e proprio dell'elemento trave.

Sovrapposizione momenti e tagli SLU

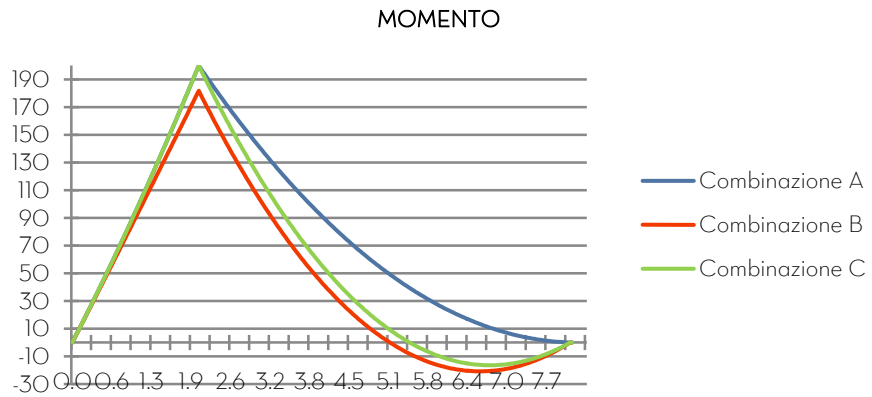


Figura 7.10, Sovrapposizione dei momenti sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi

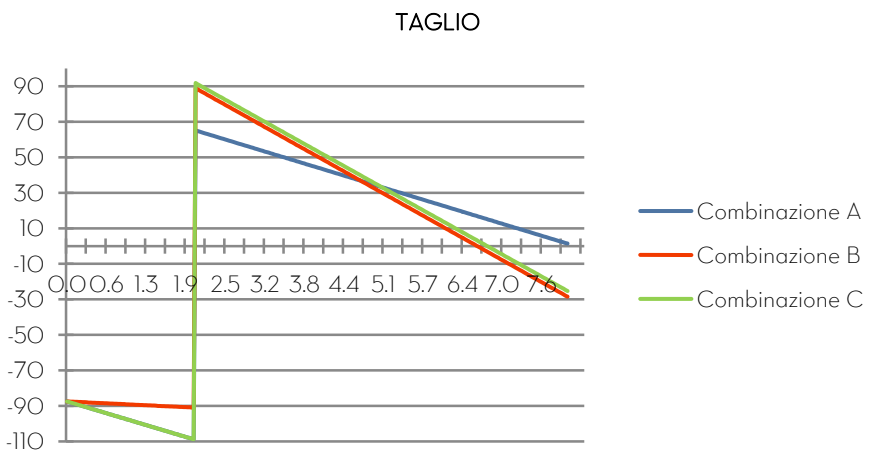


Figura 7.11, Sovrapposizione dei tagli allo SLU sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi

Sovrapposizione momenti
e tagli SLE

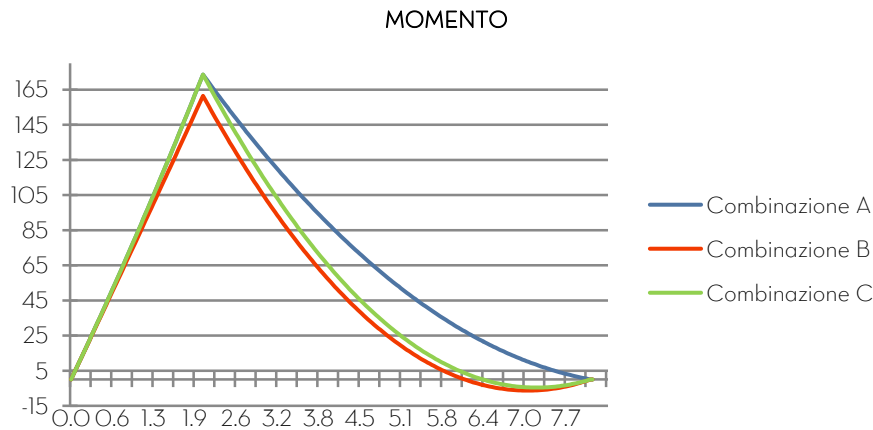


Figura 7.12, Sovrapposizione dei momenti allo SLE sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi

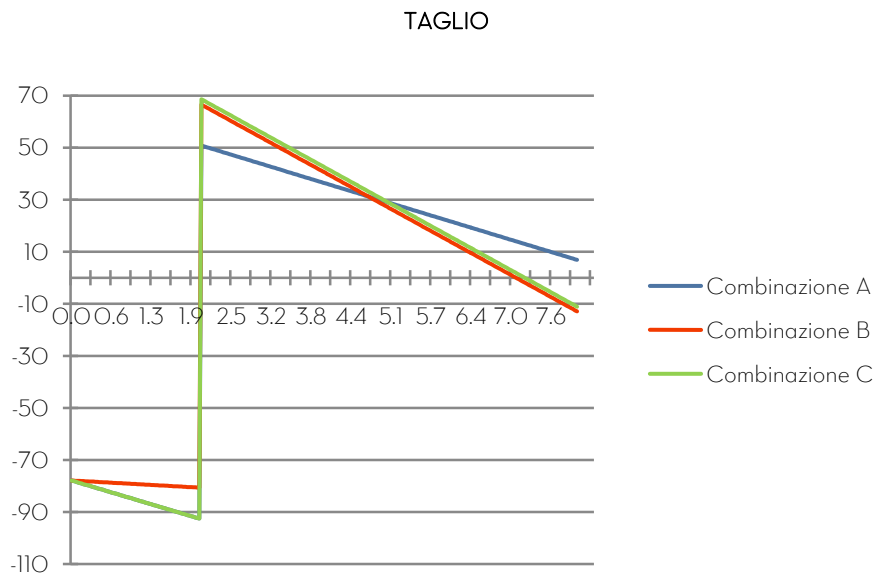


Figura 7.13, Sovrapposizione dei tagli allo SLE sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi

Dall'analisi si nota che la combinazione più sfavorevole in relazione al momento flettente è quella corrispondente alla **Combinazione A**. Il momento all'appoggio corrispondente alla trave di gronda allo Stato Limite Ultimo è pari a 200 kNm, allo Stato Limite di Esercizio è pari a 173,6 kNm. Nei successivi calcoli tali i valori saranno quelli utilizzati e indicati con le lettere M_A .

7.4.3 Dimensionamento

Le verifiche precedentemente effettuate, tenendo conto dei soli carichi derivanti dalle combinazioni caratteristiche (rare) per gli stati Limite di Esercizio, sono state nuovamente effettuate, aggiungendo al carico uniformemente distribuito i pesi degli elementi strutturali (G).

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori dei carichi degli elementi strutturali ai quali si è fatto riferimento.

Tabella 24, IPE 120, Profilario IPE ad ali larghe parallele (UNI 5397-78)

h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	Peso kg/m	Sezione cm ²	Momenti di inerzia		Moduli di resistenza		Raggi di inerzia	
							Jx cm ⁴	Jy cm ⁴	Wx cm ³	Wy cm ³	ix cm	iy cm
80	46	3,8	5,2	5	6,0	7,64	80,14	8,49	20,03	3,69	3,24	1,05
100	55	4,1	5,7	7	8,1	10,32	171,0	15,92	34,20	5,79	4,07	1,24
120	64	4,4	6,3	7	10,4	13,21	317,8	27,67	52,96	8,65	4,90	1,45
140	73	4,7	6,9	7	12,9	16,43	541,2	44,92	77,32	12,31	5,74	1,65
160	82	5,0	7,4	9	15,8	20,09	869,3	68,31	108,7	16,66	6,58	1,84
180	91	5,3	8,0	9	18,8	23,95	1.317	100,9	146,3	22,16	7,42	2,05
200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,48	1.943	142,4	194,3	28,47	8,26	2,24
220	110	5,9	9,2	12	26,2	33,37	2.772	204,9	252,0	37,25	9,11	2,48
240	120	6,2	9,8	15	30,7	39,12	3.892	283,6	324,3	47,27	9,97	2,69
270	135	6,6	10,2	15	36,1	45,95	5.790	419,9	428,9	62,20	11,23	3,02
300	150	7,1	10,7	15	42,2	53,81	8.356	603,8	557,1	80,50	12,46	3,35
330	160	7,5	11,5	18	49,1	62,61	11.770	788,1	713,1	98,52	13,71	3,55
360	170	8,0	12,7	18	57,1	72,73	16.270	1.043	903,6	122,8	14,95	3,79
400	180	8,6	13,5	21	66,3	84,46	23.130	1.318	1.156	146,4	16,55	3,95
450	190	9,4	14,6	21	77,6	98,82	33.740	1.676	1.500	176,4	18,48	4,12
500	200	10,2	16,0	21	90,7	115,5	48.200	2.142	1.928	214,2	20,43	4,31
550	210	11,1	17,2	24	106	134,4	67.120	2.668	2.441	254,1	22,35	4,45
600	220	12,0	19,0	24	122	156,0	92.080	3.387	3.069	307,9	24,30	4,66

Tabella 25, HEA 260 e HEA 280, Profilario HEA ad ali larghe parallele (UNI 5397-78)

sigla HEA	b mm	h mm	a mm	e mm	r mm	Peso kg/m	Sezione cm ²	Momenti di inerzia		Moduli di resistenza		Raggi di inerzia	
								Jx cm ⁴	Jy cm ⁴	Wx cm ³	Wy cm ³	ix cm	iy cm
100	100	96	5,0	8,0	12	16,7	21,24	349,2	133,8	72,76	26,76	4,06	2,51
120	120	114	5,0	8,0	12	19,9	25,34	606,2	230,9	106,3	38,48	4,89	3,02
140	140	133	5,5	8,5	12	24,7	31,42	1.033	389,3	155,4	55,62	5,73	3,52
160	160	152	6,0	9,0	15	30,4	38,77	1.673	615,6	220,1	76,95	6,57	3,98
180	180	171	6,0	9,5	15	35,5	45,25	2.510	924,6	293,6	102,7	7,45	4,52
200	200	190	6,5	10,0	18	42,3	53,83	3.692	1.326	388,6	133,6	8,28	4,98
220	220	210	7,0	11,0	18	50,5	64,34	5.410	1.955	515,2	177,7	9,17	5,51
240	240	230	7,5	12,0	21	60,3	76,84	7.763	2.769	675,1	230,7	10,05	6,00
260	260	250	7,5	12,5	24	68,2	86,82	10.450	3.668	836,4	282,1	10,97	6,50
280	280	270	8,0	13,0	24	76,4	97,26	13.670	4.763	1.013	340,2	11,86	7,00
300	300	290	8,5	14,0	27	88,3	112,5	18.260	6.310	1.260	420,6	12,74	7,49
320	300	310	9,0	15,5	27	97,6	124,4	22.930	6.985	1.479	465,7	13,58	7,49
340	300	330	9,5	16,5	27	105,0	133,5	27.690	7.436	1.678	495,7	14,40	7,46
360	300	350	10,0	17,5	27	112,0	142,8	33.090	7.887	1.891	525,8	15,22	7,43
400	300	390	11,0	19,0	27	125,0	159,0	45.070	8.564	2.311	570,9	16,84	7,34
450	300	440	11,5	21,0	27	140,0	178,0	63.720	9.465	2.896	631,0	18,92	7,29
500	300	490	12,0	23,0	27	155,0	197,5	86.970	10.370	3.550	691,1	21,98	7,24
550	300	540	12,5	24,0	27	166,0	211,8	111.900	10.820	4.146	721,3	22,99	7,15
600	300	590	13,0	25,0	27	178,0	226,5	141.200	11.270	4.787	751,4	24,97	7,05
650	300	640	13,5	26,0	27	190,0	241,6	175.200	11.720	5.474	781,6	26,93	6,97
700	300	690	14,5	27,0	27	204,0	260,5	215.300	12.180	6.241	811,9	28,87	6,84
800	300	790	15,0	28,0	30	224,0	285,8	303.400	12.640	7.682	842,6	32,58	6,65
900	300	890	16,0	30,0	30	252,0	320,5	422.100	13.550	9.485	903,2	36,29	6,50
1000	300	990	16,5	31,0	30	272,0	346,8	553.800	14.000	11.190	933,6	39,96	6,35

Tabella 26, Profili a "C"

B (mm)	H (mm)	C (mm)	Spessore (mm)	Peso (Kg/m)
180	60	25	6	14,01

- G Peso trave IPE 120 = 0.102 kN/m
- G Peso trave HEA 260 = 0.669 kN/m
- G Peso trave HEA 280 = 0.749 kN/m
- G Peso pressopiegati a "C" = 0.137 kN/m

E' stato quindi verificato che i profili scelti garantiscono il rispetto del limite anche considerando il carico compressivo del peso dell'elemento strutturale stesso.

Il calcolo finale mostra come le frecce siano rispettate:

- Trave balcone IPE 120: $f(m) = 0,0058 < \text{limite } f(m) = 0,0076$
- Trave a sbalzo HEA 260: $f(m) = 0,0119 < \text{limite } f(m) = 0,01624$
- Trave secondaria di copertura HEA 280:
 $f(m) = -0,0064 < \text{limite } f(m) = 0,03015$
- Travetto di copertura pressopiegati a "C" accoppiati:
 $f(m) = 0,0299 < \text{limite } f(m) = 0,03015$

ALLEGATO E: Dimensionamento delle travi di copertura (SLE rara)

7.5 Dimensionamento delle travi principali di colmo e di gronda

7.5.1 Stato limite di esercizio (SLE)

A questo punto il dimensionamento della trave principale è stato effettuato verificando che la freccia generata in mezzeria dai carichi derivanti dalle reazioni vincolari delle travi secondarie e dai travetti di copertura fosse inferiore al valore limite, pari a 1/200 della luce della trave stessa (*Tabella 22*).

Come al paragrafo precedente è stato effettuato un predimensionamento escludendo il peso proprio dell'elemento strutturale (G) in quanto oggetto della presente analisi.

Trave di colmo

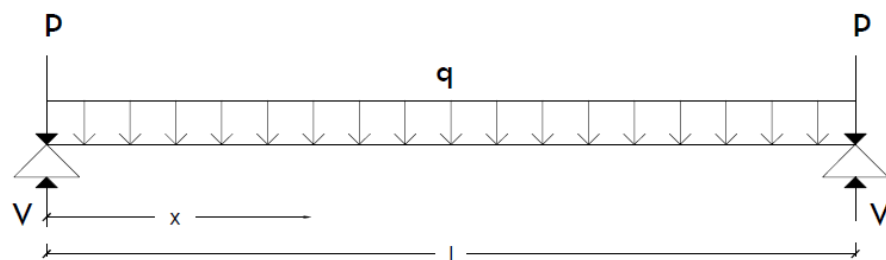


Figura 7.14, Schema statico trave principale di colmo. Fonte autore tesi

$$\frac{(qS + G)l^4}{EJ_x} \cdot \frac{5}{384} < \frac{1}{200} l = 0,0283 \text{ m}$$

dove:

- P carico concentrato [kN] = 2·(R_C/2) = 11,41
- q carico uniformemente distribuito [kN/m] = R_T/0,75 = 8,23 (carico dei travetti ripartito sulla lunghezza della trave)
- l luce della trave [m] = 5,66;
- E modulo elastico dell'acciaio [210 000 MPa];
- J_x momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale [cm⁴].

Il limite è verificato con una trave profilo **IPE 300** avente momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale pari a 8356 cm⁴; il profilo **IPE 300** permette di verificare le valutazioni di sicurezza delle travi riportate al paragrafo 7.6.

Successivamente è stata effettuata nuovamente la verifica aggiungendo al carico distribuito q il peso della trave stessa (G) e si è verificato come i profili scelti garantiscano il rispetto del limite anche considerando il carico comprensivo del peso dell'elemento strutturale stesso.

Tabella 27, IPE 300, Profilario IPE ad ali strette parallele (UNI 5398)

h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	Peso kg/m	Sezione cm ²	Momenti di inerzia		Moduli di resistenza		Raggi di inerzia	
							Jx cm ⁴	Jy cm ⁴	Wx cm ³	Wy cm ³	ix cm	iy cm
80	46	3,8	5,2	5	6,0	7,64	80,14	8,49	20,03	3,69	3,24	1,05
100	55	4,1	5,7	7	8,1	10,32	171,0	15,92	34,20	5,79	4,07	1,24
120	64	4,4	6,3	7	10,4	13,21	317,8	27,67	52,96	8,65	4,90	1,45
140	73	4,7	6,9	7	12,9	16,43	541,2	44,92	77,32	12,31	5,74	1,65
160	82	5,0	7,4	9	15,8	20,09	869,3	68,31	108,7	16,66	6,58	1,84
180	91	5,3	8,0	9	18,8	23,95	1.317	100,9	146,3	22,16	7,42	2,05
200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,48	1.943	142,4	194,3	28,47	8,26	2,24
220	110	5,9	9,2	12	26,2	33,37	2.772	204,9	252,0	37,25	9,11	2,48
240	120	6,2	9,8	15	30,7	39,12	3.892	283,6	324,3	47,27	9,97	2,69
270	135	6,6	10,2	15	36,1	45,95	5.790	419,9	428,9	62,20	11,23	3,02
300	150	7,1	10,7	15	42,2	53,81	8.356	603,8	557,1	80,50	12,46	3,35
330	160	7,5	11,5	18	49,1	62,61	11.770	788,1	713,1	98,52	13,71	3,55
360	170	8,0	12,7	18	57,1	72,73	16.270	1.043	903,6	122,8	14,95	3,79
400	180	8,6	13,5	21	66,3	84,46	23.130	1.318	1.156	146,4	16,55	3,95
450	190	9,4	14,6	21	77,6	98,82	33.740	1.676	1.500	176,4	18,48	4,12
500	200	10,2	16,0	21	90,7	115,5	48.200	2.142	1.928	214,2	20,43	4,31
550	210	11,1	17,2	24	106	134,4	67.120	2.668	2.441	254,1	22,35	4,45
600	220	12,0	19,0	24	122	156,0	92.080	3.387	3.069	307,9	24,30	4,66

- G Peso trave IPE 300 = 0.4140 kN/m

Il calcolo finale mostra come le frecce siano rispettate:

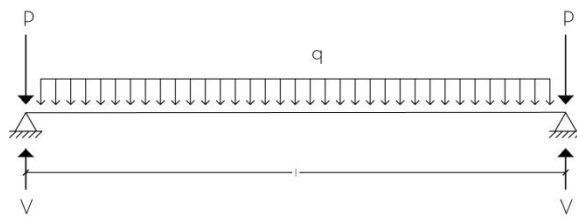
- Trave IPE300: $f(m) = 0,0066 < \text{limite } f(m) = 0,0283$

ALLEGATO F.1: Dimensionamento della trave principale di colmo (SLE rara)

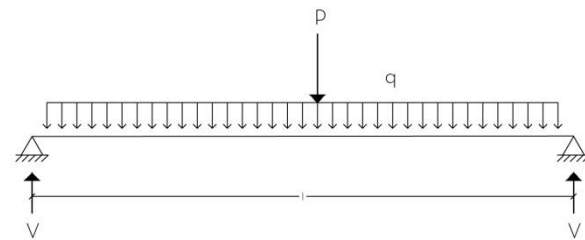
Per il dimensionamento della trave principale di gronda si sono analizzati i due diversi schemi statici che si presentano nella struttura di copertura, potendo così individuare la condizione più critica per il suo dimensionamento.

Trave di gronda

Caso 1



Caso 2



P è il carico concentrato che proviene dalla trave secondaria di copertura, che nel Caso 1 risulta essere agli appoggi, invece nel caso 2 risulta essere

centrale. Il Caso 2 si presenta in corrispondenza di una finestra, nella quale è stato necessario introdurre una strutturale a portale.

Caso 1

$$\frac{(q + G)l^4}{EJ_x} \cdot \frac{5}{384} < \frac{1}{200} l = 0,0283 \text{ m}$$

dove:

- P carico concentrato [kN] = $R_G/2 = 79,76$
- q carico uniformemente distribuito [kN/m] = $R_T/0,75 = 8,23$
(carico dei travetti ripartito sulla lunghezza della trave)
- l luce della trave principale [m] = 5,66;
- E modulo elastico dell'acciaio [210 000 MPa];
- J_x momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale [cm⁴].

Caso 2

$$\frac{Pl^3}{EJ_x} \cdot \frac{1}{48} + \frac{(q + G)l^4}{EJ_x} \cdot \frac{5}{384} < \frac{1}{200} l = 0,009 \text{ m}$$

dove:

- P carico concentrato [kN] = $R = 159,51$
- q q carico uniformemente distribuito [kN/m] = $R_T/0,75 = 8,23$
(carico dei travetti ripartito sulla lunghezza della trave)
- l luce della trave principale [m] = 1,80;
- E modulo elastico dell'acciaio [210 000 MPa];
- J_x momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale [cm⁴].

La condizione **più sfavorevole** è risultata essere quella del **Caso 1**, per cui i relativi valori sono stati presi in considerazione per il dimensionamento.

Il limite è verificato con una trave profilo **IPE 300** avente momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale pari a 8356 cm⁴; il profilo **IPE 300** permette di verificare le valutazioni di sicurezza delle travi riportate al paragrafo **7.6**.

Successivamente è stata effettuata nuovamente la verifica aggiungendo al carico distribuito q il peso della trave stessa (G) (*Tabella 27*) e si è verificato come il profilo scelto garantisca il rispetto del limite anche considerando il carico comprensivo del peso dell'elemento strutturale stesso.

- G Peso trave IPE 300 = 0,4140 kN/m

Il calcolo finale mostra come le frecce siano rispettate:

- Trave IPE300: $f(m) = 0,0066 < \text{limite } f(m) = 0,0283$

Allegato F2: Dimensionamento della trave principale di gronda (SLE RARA)

7.6 Valutazione della sicurezza delle travi

I requisiti richiesti di resistenza, funzionalità, durabilità e robustezza si garantiscono verificando il rispetto degli Stati Limite Ultimi e degli Stati Limite di Esercizio della struttura e delle componenti strutturali.

Facendo sempre riferimento alla normativa D.M. 14.01.2008 (N.T.C) § 4.2.3, l'analisi strutturale deve essere coerente con l'ipotesi di progetto. L'analisi deve essere basata su modelli strutturali di calcolo appropriati, a seconda dello stato limite considerato. Le ipotesi scelte e il modello di calcolo adottato devono essere in grado di riprodurre il comportamento globale della struttura e quello locale delle sezioni adottate, degli elementi strutturali, dei collegamenti e degli appoggi.

Analisi strutturale

La risposta di sistemi intelaiati in acciaio dipende non solo dalla tipologia strutturale globale, ma anche dal tipo di sezione trasversale di ogni elemento monodimensionale impiegato e dalle dimensioni delle sue componenti (ali, anime, irrigidimenti, ecc.). Si possono infatti manifestare fenomeni di instabilità locale che impediscono il pieno sviluppo delle capacità prestazionali della sezione in campo plastico, o addirittura precedere il raggiungimento della tensione di snervamento con crisi in campo elastico. La classe di appartenenza della sezione trasversale viene definita in funzione del rapporto dimensionale larghezza/spessore delle parti componenti della sezione, dello stato di sollecitazione e della classe di resistenza del materiale.

Classificazione delle sezioni

Le sezioni trasversali degli elementi strutturali si classificano in funzione delle loro capacità rotazionale C_{θ} definita come:

$$C_{\theta} = \vartheta_r / \vartheta_y - 1$$

essendo ϑ_r e ϑ_y le curvature corrispondenti rispettivamente al raggiungimento della deformazione ultima ed allo snervamento. Si distinguono le seguenti classi di sezione:

- CLASSE 1: sezioni trasversali in grado di sviluppare completamente una cerniera plastica ed aventi la capacità rotazionale richiesta per l'analisi plastica senza riduzione di resistenza. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale $C_{\theta} \geq 3$;
- CLASSE 2: sezioni trasversali in grado di sviluppare completamente il proprio momento resistente plastico M_{pl} , ma con capacità rotazionale limitata da effetti di instabilità. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale $C_{\theta} \geq 1.5$;
- CLASSE 3: sezioni trasversali nelle quali le tensioni corrispondenti ad una distribuzione lineare raggiungono la tensione di snervamento nelle fibre esterne compresse, ma l'instabilità locale ne riduce la capacità al valore del momento limite convenzionale elastico M_e ;
- CLASSE 4: sezioni trasversali per le quali è necessario mettere esplicitamente in conto gli effetti dell'instabilità locale nel determinare

il loro momento resistente, che sarà inferiore al momento al limite elastico, o la loro resistenza a compressione, che sarà inferiore alla forza che provoca la completa plasticizzazione della sezione .

Le sezioni di classe 1 e 2 si definiscono compatte, quelle di classe 3 moderatamente snelle e quelle di classe 4 snelle. Per i casi più comuni delle forme delle sezioni e delle modalità di sollecitazione, la *Tabella 28 e la Tabella 29* forniscono indicazioni per la classificazione delle sezioni.

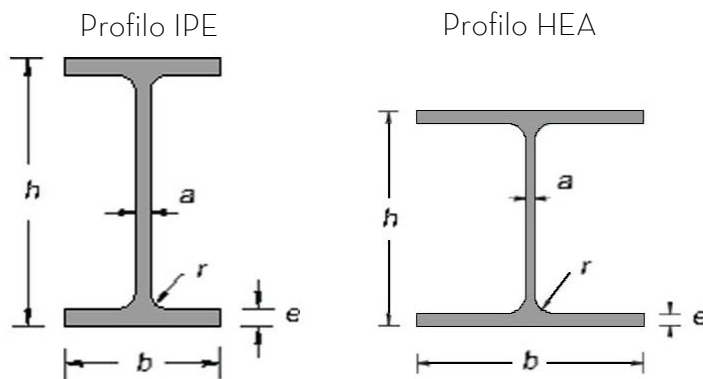
Tabella 28, Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse, Fonte NTC-08

		Parti interne compresse				
		Inflessione intorno all'asse		Inflessione intorno all'asse		
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione		Parte soggetta a flessione e a compressione		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$		quando $\alpha > 0,5; c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$	quando $\alpha \leq 0,5; c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$	
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$		quando $\alpha > 0,5; c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$	quando $\alpha \leq 0,5; c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$	
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$		quando $\psi > -1; c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$	quando $\psi \leq -1; c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$	
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \leq -1$ si applica se la tensione di compressione $\sigma \leq f_{yk}$ o la deformazione a trazione $\epsilon_y > f_{yk}/E$

Tabella 29, Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse, Fonte NTC-08

Piattabande esterne						
Profilati laminati a caldo			Sezioni saldate			
Classe	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione				
		Con estremità in compressione		Con estremità in trazione		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_c}$ Per k_c vedere EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71



Dati (Tabella 24):

- Altezza (h) = 120 mm
- Larghezza (b) = 64 mm
- Spessore dell'anima (a) = 4.4 mm
- Spessore delle ali (e) = 6,3 mm
- Raggio di raccordo (r) = 7 mm
- Sforzo di snervamento = 275 MPa

Classe della trave del balcone IPE 120

Quindi:

Anima (

Tabella 28)

$$\epsilon = \sqrt{(235/f_y)} = \sqrt{(235/275)} = 0.92$$

$$C = h - (2 \cdot r) - (2 \cdot e) = 120 - (2 \cdot 7) - (2 \cdot 6.3) = 93.4 \text{ mm}$$

$$(C / a) = (93.4 / 4.4) = 21,23$$

L'anima è di classe 1, poichè $(C / a) = 21,23 < 72\epsilon = 72 \cdot 0.92 = 66.24$

Ala (*Tabella 29*)

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)} = \sqrt{(235/275)} = 0.92$$

$$C = [b - (2 \cdot r) - a] / 2 = [64 - (2 \cdot 7) - 3.8] / 2 = 46.2 \text{ mm}$$

$$(C / e) = (46.2 / 6.3) = 7.3$$

L'ala è di classe 1, poichè $(C / e) = 7.3 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0.92 = 8.28$

Il profilo IPE 120 in acciaio S 275 sollecitato da azione di flessione, avendo l'anima in classe 1 e le ali in classe 1, ha sezione trasversale di classe 1.

Classe della trave di
copertura a sbalzo
HEA 260

Dati (*Tabella 25*):

- Altezza (h) = 250 mm
- Larghezza (b) = 260 mm
- Spessore dell'anima (a) = 7.5 mm
- Spessore delle ali (e) = 12.5 mm
- Raggio di raccordo (r) = 24 mm
- Sforzo di snervamento = 275 MPa

Quindi:

Anima (

Tabella 28)

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)} = \sqrt{(235/275)} = 0.92$$

$$C = h - (2 \cdot r) - (2 \cdot e) = 250 - (2 \cdot 24) - (2 \cdot 12.5) = 177 \text{ mm}$$

$$(C / a) = (177 / 7.5) = 23.6$$

L'anima è di classe 1, poichè $(C / a) = 23,6 < 72\varepsilon = 72 \cdot 0.92 = 66.24$

Ala (*Tabella 29*)

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)} = \sqrt{(235/275)} = 0.92$$

$$C = [b - (2 \cdot r) - a] / 2 = [260 - (2 \cdot 24) - 7.5] / 2 = 102.25 \text{ mm}$$

$$(C / e) = (102.25 / 12.5) = 8.18$$

L'ala è di classe 1, poichè $(C / e) = 7.57 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0.92 = 8.28$

Il profilo HEA 260 in acciaio S 275 sollecitato da azione di flessione, avendo l'anima in classe 1 e le ali in classe 1, ha sezione trasversale di classe 1.

Classe della trave
secondaria di copertura
HEA 280

Dati (*Tabella 25*):

- Altezza (h) = 270 mm
- Larghezza (b) = 280 mm
- Spessore dell'anima (a) = 8 mm
- Spessore delle ali (e) = 13 mm
- Raggio di raccordo (r) = 24 mm
- Sforzo di snervamento = 275 MPa

Quindi:

Anima (

Tabella 28)

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)} = \sqrt{(235/275)} = 0.92$$

$$C = h - (2 \cdot r) - (2 \cdot e) = 270 - (2 \cdot 24) - (2 \cdot 13) = 248 \text{ mm}$$

$$(C / a) = (248 / 8) = 31$$

L'anima è di classe 1, poichè $(C / a) = 31 < 72\varepsilon = 72 \cdot 0.92 = 66.24$

Ala (Tabella 29)

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)} = \sqrt{(235/275)} = 0.92$$

$$C = [b - (2 \cdot r) - a] / 2 = [280 - (2 \cdot 24) - 8] / 2 = 112 \text{ mm}$$

$$(C / e) = (112/13) = 8.61$$

L'ala è di classe 2, poichè $(C / e) = 8.61 < 10\varepsilon = 10 \cdot 0.92 = 9.2$

Il profilo HEA 180 in acciaio S 275 sollecitato da azione di flessione, avendo l'anima in classe 1 e le ali in classe 2, ha sezione trasversale di classe 2.

Dati (Tabella 27):

- Altezza (h) = 300 mm
- Larghezza (b) = 150 mm
- Spessore dell'anima (a) = 7.1 mm
- Spessore delle ali (e) = 10.7 mm
- Raggio di raccordo (r) = 15 mm
- Sforzo di snervamento = 275 MPa

Classe delle travi
principali di copertura
IPE 300

Quindi:

Anima (

Tabella 28)

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)} = \sqrt{(235/275)} = 0.92$$

$$C = h - (2 \cdot r) - (2 \cdot e) = 300 - (2 \cdot 15) - (2 \cdot 10.7) = 248.6 \text{ mm}$$

$$(C / a) = (248.6 / 7.1) = 35.01$$

L'anima è di classe 1, poichè $(C / a) = 35.01 < 72\varepsilon = 72 \cdot 0.92 = 66.24$

Ala (Tabella 29)

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)} = \sqrt{(235/275)} = 0.92$$

$$C = [b - (2 \cdot r) - a] / 2 = [150 - (2 \cdot 15) - 7.1] / 2 = 56.45 \text{ mm}$$

$$(C / e) = (56.45 / 10.7) = 5.27$$

L'ala è di classe 1, poichè $(C / e) = 5.27 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0.92 = 8.28$

Il profilo IPE 300 in acciaio S 275 sollecitato da azione di flessione, avendo l'anima in classe 1 e le ali in classe 1, ha sezione trasversale di classe 1.

La capacità resistente delle sezioni deve essere valutata nei confronti delle sollecitazioni di trazione o compressione, flessione, taglio e torsione, determinando anche gli effetti indotti sulla resistenza dalla presenza combinata di più sollecitazioni.

La capacità resistente della sezione si determina con uno dei seguenti metodi:

Capacità resistente delle
sezioni

- Metodo elastico (E): si assume un comportamento elastico lineare del materiale, sino al raggiungimento della condizione di snervamento. Il metodo può applicarsi a tutte le classi di sezioni, con l'avvertenza di rifarsi al metodo delle sezioni efficaci o a metodi equivalenti, nel caso di sezioni di classe 4;
- Metodo plastico (P): si assume la completa plasticizzazione del materiale. Il metodo può applicarsi solo a sezioni di tipo compatto, cioè di classe 1 e 2;
- Metodo elasto - plastico: si assumono legami costitutivi tensione-deformazione del materiale di tipo bilineare o più complessi. Il metodo può applicarsi a qualsiasi tipo di sezione.

Metodi di analisi globale

L'analisi globale della struttura può essere condotta con uno dei seguenti metodi:

- Metodo elastico (E): si valutano gli effetti delle azioni nell'ipotesi che il legame tensione - deformazione del materiale sia indefinitamente lineare. Il metodo è applicabile a strutture composte da sezioni di qualsiasi classe.
- La resistenza delle sezioni può essere valutata con il metodo elastico, plastico o elasto - plastico per le sezioni compatte (classe 1 e 2), con il metodo elastico o elasto - plastico per le sezioni snelle (classe 3 e 4).
- Metodo plastico (P): gli effetti delle azioni si valutano trascurando la deformazione elastica degli elementi strutturali e concentrando le deformazioni plastiche nelle sezioni di formazione delle cerniere plastiche. Il metodo è applicabile a strutture interamente composte da sezioni di classe 1;
- Metodo elasto-plastico (EP): gli effetti delle azioni si valutano introducendo nel modello il legame momento curvatura delle sezioni ottenuto considerando un legame costitutivo tensione deformazione di tipo bilineare o più complesso. Il metodo è applicabile a strutture composte da sezioni di classe qualsiasi.

Le possibili alternative per i metodi di analisi strutturale e di valutazione della capacità resistente flessionale delle sezioni sono riassunte nella *Tabella 30*.

Tabella 30, Metodi di analisi globali e relativi metodi di calcolo delle capacità e classi di sezioni ammissibili; Fonte NTC-08

Metodo di analisi globale	Metodo di calcolo della capacità resistente della sezione	Tipo di sezione
(E)	(E)	tutte (*)
(E)	(P)	compatte (classi 1 e 2)
(E)	(EP)	tutte (*)
(P)	(P)	compatte di classe 1
(EP)	(EP)	tutte (*)
(*) per le sezioni di classe 4 la capacità resistente può essere calcolata con riferimento alla sezione efficace.		

Verifica agli stati limite ultimi (SLU)

La resistenza di calcolo delle membrature R_d si pone nella forma:

$$R_d = R_k / \gamma_M$$

dove :

- R_k è il valore caratteristico della resistenza - trazione, compressione, flessione, taglio e torsione - della membratura, determinata dai valori caratteristici della resistenza dei materiali f_{yk} e dalle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, dipendenti dalla classe della sezione.
- γ_M è il fattore parziale globale relativo al modello di resistenza adottato.

Per le verifiche di resistenza delle sezioni delle membrature, con riferimento ai modelli di resistenza esposti nel d.m. 14/01/2008 (norme tecniche) ed utilizzando acciai del grado S 235 al grado S 460, si adottano i fattori parziali γ_{M0} e γ_{M2} indicati in *Tabella 31* Il coefficiente di sicurezza γ_{M2} , in particolare, deve essere impiegato qualora si eseguano verifiche di elementi tesi nelle zone di unione delle membrature indebolite dai fori.

Per valutare la stabilità degli elementi strutturali compressi, inflessi e presso-inflessi, si utilizza il coefficiente parziale di sicurezza γ_{M1} .

Tabella 31, Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità, Fonte NTC-08

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

Il momento flettente del calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$M_{Ed}/M_{c, Rd} \leq 1$$

dove la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c, Rd}$ si valuta tenendo conto della presenza di eventuali fori in zona tesa per collegamenti bullonati o inchiodati.

La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c, Rd}$ vale:

$$M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{M0} \quad \text{per le sezioni di classe 1 e 2}$$

dove:

- W_{pl} è il modulo plastico;
- f_{yk} è la tensione di snervamento in MPa;
- γ_{M0} coefficiente di sicurezza relativo al modello di resistenza adottato.

Resistenza delle
membrature - Flessione
monoassiale (retta)

Per i successivi calcoli si farà riferimento ai seguenti allegati:

Allegato G : Dimensionamento delle travi del balcone e delle travi secondarie di copertura (SLU)

Allegato H: Dimensionamento delle travi principali di colmo e di gronda (SLU)

Trave balcone

Dati della trave del balcone IPE 120

- P_c carico concentrato [kN] = 0,2578 (parapetto e schermature solari)
- l luce della trave [m] = 1,9
- S luce del solaio [m] = 5,24
- G peso della trave [kN/m] = 0.102
- q carico uniformemente distribuito [kN/m²] = 4.6732
- (pavimentazione con griglia metallica)
- $f_{yk} = 275 \text{ MPa} = 275 \text{ 000 KN/m}^2$
- γ_{MO} (Tabella 3) = 1,05
- W_{pl} (da profilario IPE) = 0,00005296 m³

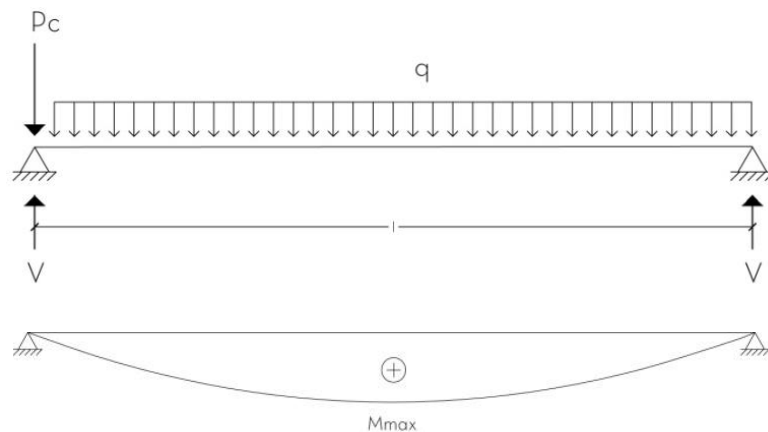


Figura 7.15, Diagramma dei momenti della trave principale di colmo. Fonte autore tesi

$$M_{max} = M_{Ed} = ((G+qS)l^2)/8 = 11.10 \text{ kNm}$$

$$M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{MO} = 13.87 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 11.10 \text{ kNm} < M_{c, Rd} = 13.87 \text{ kNm} \quad \text{Verificata}$$

Allegato G.1: dimensionamento della trave del balcone (SLU)

La reazione vincolare che determina il carico agente sulle travi di copertura a sbalzo è stata determinata secondo la seguente formula:

$$V = \frac{P_c + (qS + G)l}{2} = 23,61 \text{ kN}$$

Trave a sbalzo

Dati della trave di copertura a sbalzo HEA 260

- S luce di solaio [m] = 5.24
- l luce della trave secondaria [m] = 2.03

- G peso della trave [kN/m] = 0.669
- q carico uniformemente distribuito [kN/m²] = 2.0207
- P_c carico concentrato [kN] = 4V = 94,47
- f_{yk} = 275 MPa = 275 000 kN/m²
- γ_{MO} (Tabella 3) = 1,05
- W_{pl} (da profilario IPE) = 0,0008364 m³

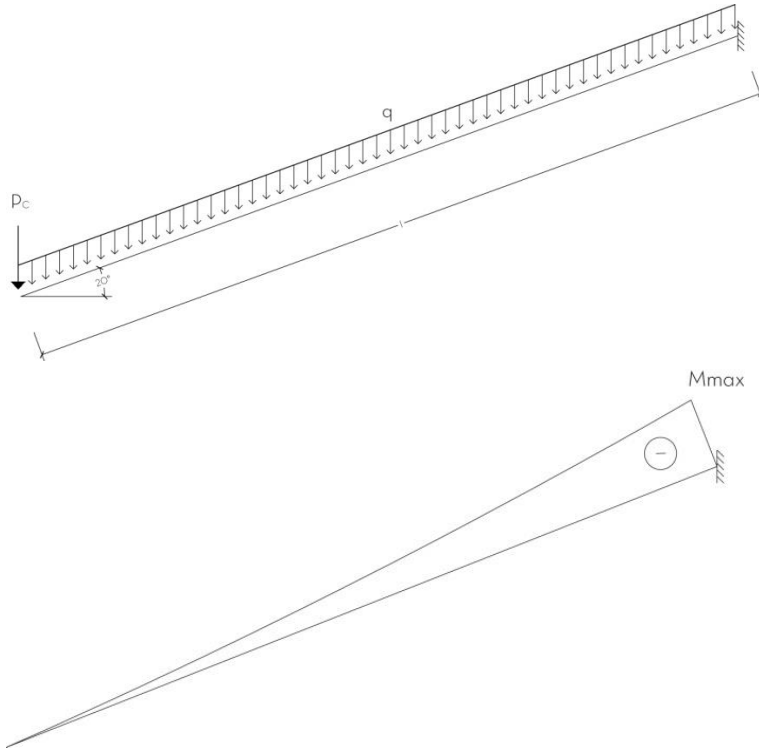


Figura 7.16, Diagramma del momento flettente della trave secondaria di copertura a sbalzo. Fonte autore tesi

$$M_{\max} = M_{Ed\ q} + M_{Ed\ pc} = (qS + G) l^2 \cos 20^\circ / 2 + P_c l \cos 20^\circ = 202,01 \text{ kNm}$$

$$M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{MO} = 219 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 202,01 \text{ kNm} < M_{c, Rd} = 219 \text{ kNm} \text{ Verificata}$$

Allegato G.2: dimensionamento della trave a sbalzo di copertura (SLU)

Le reazioni vincolari che determina le azioni agenti sulla trave secondaria di copertura sono state determinate secondo le seguenti formule:

$$R_A = (qS + G)l \cos 20 + P \cos 20 = 110,25 \text{ kN}$$

$$M_A = \frac{(qS + G)l^2 \cos 20}{2} + Pl \cos 20 = 202,01 \text{ kNm}$$

Dati della trave secondaria di copertura HEA 280

- S luce di solaio [m] = 5,24
- l luce della trave secondaria [m] = 6.03
- R_A reazione di taglio della trave a sbalzo [kN] = 110,25

Trave secondaria

- G peso della trave [kN/m] = 0.7495
- q carico uniformemente distribuito [kN/m²] = 3.8079
- M_A [kNm] = 202,01
- f_{yk} = 275 MPa = 275 000 kN/m²
- y_{MO} (Tabella 31) = 1,05
- W_{pl} (da profilario IPE) = 0,001013 m³

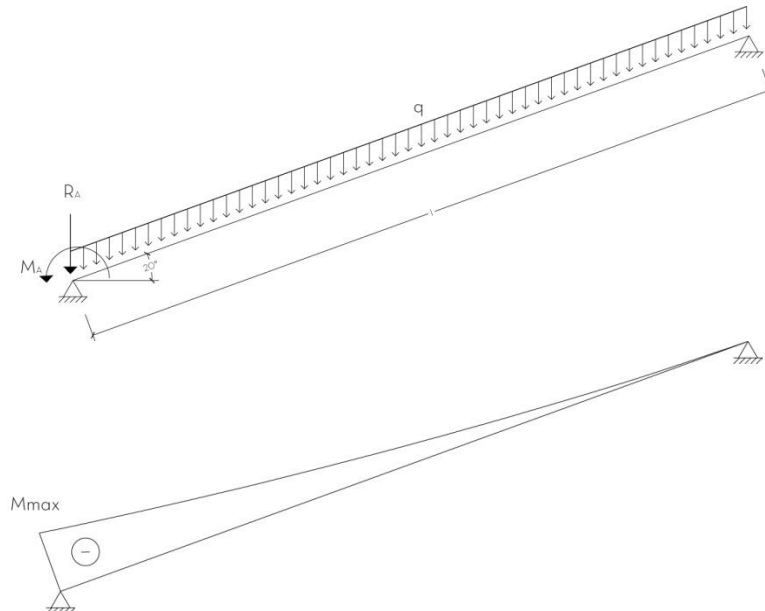


Figura 7.17, Diagramma del momento flettente della trave secondaria di copertura. Fonte autore tesi

$$M_{\max} = M_{Ed} = M_A = 202,01 \text{ kNm}$$

$$M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / y_{MO} = 265,31 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 202,01 \text{ kNm} < M_{c, Rd} = 265,31 \text{ kNm} \quad \text{Verificata}$$

Allegato G.3: dimensionamento della trave secondaria di copertura (SLU)

Le reazioni vincolari che determina le azioni agenti sulle travi principali sono state calcolate secondo le seguenti formule:

$$R_C = \frac{(qS + G)l^2}{2} - \frac{M_A \cos 20}{l} = 27,18 \text{ kN}$$

$$R_G = R_A(qS + G)l - \frac{(qS + G)l^2 \cos 20}{2} - \frac{M_A \cos 20}{l} = 193,44 \text{ kN}$$

Travetti di copertura

Dati del travetto di copertura con due profili a "C" accoppiati

- S luce di solaio [m] = 0.75
- l luce del travetto [m] = 6.03
- G peso del travetto [kN/m] = 0.2749
- q carico uniformemente distribuito [kN/m²] = 3.81
- f_{yk} = 275 MPa = 275 000 kN/m²
- y_{MO} (Tabella 31) = 1.05
- W_{pl} = 0,0000664 cm⁴

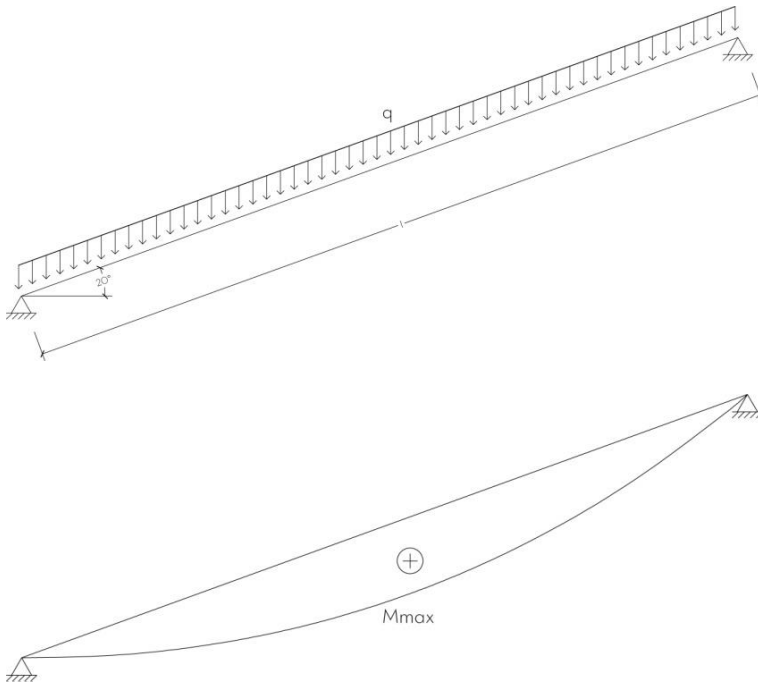


Figura 7.18, Diagramma del momento flettente del travetto di copertura. Fonte autore tesi

$$M_{\max} = M_{Ed} = (qS+G)l^2/8 = 14.23 \text{ kNm}$$

$$M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{MO} = 17.39 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 14.23 \text{ kNm} < M_{c, Rd} = 17.39 \text{ kNm} \text{ Verificata}$$

Allegato G.4: dimensionamento del travetto di copertura (SLU)

$$R_T = \frac{(qS + G)l \cos 20}{2} = 8,87 \text{ kN}$$

Dati della trave principale di colmo IPE 300

- P carico concentrato [kN] = $2 \cdot (R_C/2) = 27,18$
- l luce della trave principale [m] = 5.66 m
- q carico uniformemente distribuito [kN/m] = $R_T/0,75 = 11,83$
(carico dei travetti ripartito sulla lunghezza della trave)
- G peso della trave [kN/m] = 0.4140 kN/m
- $f_{yk} = 275 \text{ MPa} = 275 \text{ 000 kN/m}^2$
- γ_{MO} (Tabella 31) = 1,05
- W_{pl} (da profilario IPE) = $194.3 \text{ cm}^3 = 0,0005571 \text{ m}^3$

Trave di colmo

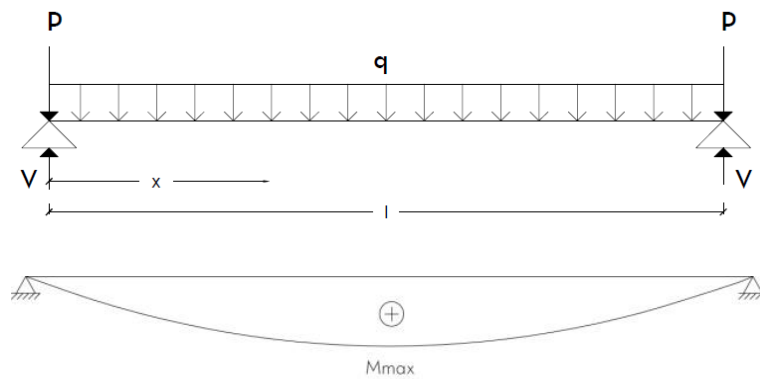


Figura 7.19, Diagramma dei momenti della trave principale di colmo. Fonte autore tesi

$$M_{max} = M_{Ed} = ((G+q)l^2)/8 = 49.02 \text{ kNm}$$

$$M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{MO} = 145.91 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 49.02 \text{ kNm} < M_{c, Rd} = 145.91 \text{ kNm} \quad \text{Verificata}$$

Allegato H.1: dimensionamento della trave principali di colmo (SLU)

Trave di gronda

Dati della trave principale di gronda IPE 300

- P carico concentrato [kN] = $R_G/2 = 96,87$
- l luce della trave principale[m] = 5.66
- G peso della trave [kN/m] = 0.4140 kN/m
- q carico uniformemente distribuito [kN/m] = $R_T/0,75 = 11,83$
(carico dei travetti ripartito sulla lunghezza della trave)
- $f_{yk} = 275 \text{ MPa} = 275 \text{ 000 kN/m}^2$
- γ_{MO} (Tabella 4.2.V) = 1,05
- W_{pl} (da profilario IPE) = $194.3 \text{ cm}^3 = 0,0005571 \text{ m}^3$

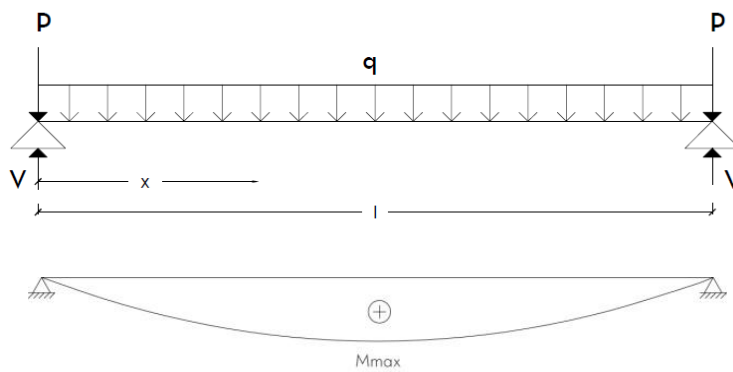


Figura 7.20, Diagramma del momento flettente della trave principale di gronda. Fonte autore tesi

$$M_{max} = M_{Ed} = ((G+q)l^2)/8 = 49.02 \text{ kNm}$$

$$M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{MO} = 145,90 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 49,02 \text{ kNm} < M_{c, Rd} = 145,90 \text{ kNm} \quad \text{Verificata}$$

Allegato H.2: dimensionamento della trave principali di gronda (SLU)

7.7 Dimensionamento del pilastro centrato

7.7.1 Resistenza di calcolo

La resistenza di calcolo delle membrature R_d si pone nella forma:

$$R_d = R_k / \gamma_M$$

dove:

- R_k è il valore caratteristico della resistenza - trazione, compressione, flessione, taglio e torsione - della membratura, determinata dai valori caratteristici delle resistenza dei materiali f_{yk} e dalle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, dipendenti dalla classe della sezione.
- γ_M è il fattore parziale globale relativo al modello di resistenza adottato.

Per le verifiche di resistenza delle sezioni delle membrature, con riferimento ai modelli di resistenza esposti nel D.M. 1401 del 2008 si adotta il fattore parziale γ_{MO} indicato nella *Tabella 31*.

Per valutare la stabilità degli elementi strutturali compressi, inflessi e presso-inflessi, si utilizza il coefficiente parziale di sicurezza γ_{M1} .

7.7.2 Verifica a compressione

La forza di compressione di calcolo N_{ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$N_{ed} / N_{c,Rd} \leq 1$$

dove:

- N_{ed} è l'azione di compressione di calcolo;
- $N_{c,Rd}$ è la resistenza di calcolo a compressione.

L'azione di compressione di calcolo è stata calcolata per il pilastro al piano quarto. Il carico gravante sul pilastro è stato calcolato tenendo conto delle combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo per copertura e dei carichi derivanti da travi primarie e secondarie afferenti all'area di influenza.

Allegato I.1: Calcolo N_{ed}

La resistenza di calcolo a compressione della sezione per la sezione di classe 2 è stata calcolata con la formula:

$$N_{c,Rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO}$$

dove:

- A area della sezione;
- f_{yk} è il valore di sforzo di snervamento dell'acciaio pari a 275 MPa;

- γ_{MO} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle sezioni di classe 2 paria a 1,05 (riferimento *Tabella 31*).

Allegato I.2: Calcolo $N_{C,Rd}$

Tabella 32, HEA 160, Profilario HEA ad ali strette parallele, Fonte UNI 5397

sigla HEA	b mm	h mm	a mm	e mm	r mm	Peso kg/m	Sezione cm ²	Momenti di inerzia		Moduli di resistenza		Raggi di inerzia	
								Jx cm ⁴	Jy cm ⁴	Wx cm ³	Wy cm ³	ix cm	iy cm
100	100	96	5.0	8.0	12	16.7	21.24	349.2	133.8	72.76	26.76	4.06	2.51
120	120	114	5.0	8.0	12	19.9	25.34	606.2	230.9	106.3	38.48	4.89	3.02
140	140	133	5.5	8.5	12	24.7	31.42	1.033	389.3	155.4	55.62	5.73	3.52
160	160	152	6.0	9.0	15	30.4	38.77	1.673	615.6	220.1	76.95	6.57	3.98
180	180	171	6.0	9.5	15	35.5	45.25	2.510	924.6	293.6	102.7	7.45	4.52
200	200	190	6.5	10.0	18	42.3	53.83	3.692	1.326	388.6	133.6	8.28	4.98
220	220	210	7.0	11.0	18	50.5	64.34	5.410	1.955	515.2	177.7	9.17	5.51
240	240	230	7.5	12.0	21	60.3	76.84	7.763	2.769	675.1	230.7	10.05	6.00
260	260	250	7.5	12.5	24	68.2	86.82	10.450	3.668	836.4	282.1	10.97	6.50
280	280	270	8.0	13.0	24	76.4	97.26	13.670	4.763	1.013	340.2	11.86	7.00
300	300	290	8.5	14.0	27	88.3	112.5	18.260	6.310	1.260	420.6	12.74	7.49
320	300	310	9.0	15.5	27	97.6	124.4	22.930	6.985	1.479	465.7	13.58	7.49
340	300	330	9.5	16.5	27	105.0	133.5	27.690	7.436	1.678	495.7	14.40	7.46
360	300	350	10.0	17.5	27	112.0	142.8	33.090	7.887	1.891	525.8	15.22	7.43
400	300	390	11.0	19.0	27	125.0	159.0	45.070	8.564	2.311	570.9	16.84	7.34
450	300	440	11.5	21.0	27	140.0	178.0	63.720	9.465	2.896	631.0	18.92	7.29
500	300	490	12.0	23.0	27	155.0	197.5	86.970	10.370	3.550	691.1	21.98	7.24
550	300	540	12.5	24.0	27	166.0	211.8	111.900	10.820	4.146	721.3	22.99	7.15
600	300	590	13.0	25.0	27	178.0	226.5	141.200	11.270	4.787	751.4	24.97	7.05
650	300	640	13.5	26.0	27	190.0	241.6	175.200	11.720	5.474	781.6	26.93	6.97
700	300	690	14.5	27.0	27	204.0	260.5	215.300	12.180	6.241	811.9	28.87	6.84
800	300	790	15.0	28.0	30	224.0	285.8	303.400	12.640	7.682	842.6	32.58	6.65
900	300	890	16.0	30.0	30	252.0	320.5	422.100	13.550	9.485	903.2	36.29	6.50
1000	300	990	16.5	31.0	30	272.0	346.8	553.800	14.000	11.190	933.6	39.96	6.35

Allegato I.3 : verifica a compressione del pilastro

7.7.3 Verifica di stabilità

La verifica di stabilità viene svolta rispetto all'asse più debole della sezione del pilastro ossia quello con inerzia minore che nel caso in esame è l'asse y ($J_y = 615.6 \text{ cm}^4$).

La verifica di stabilità del pilastro è stata effettuata nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa ed imponendo:

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} \leq 1$$

dove:

- N_{Ed} è l'azione di compressione di calcolo;
- $N_{b,Rd}$ è la resistenza all'instabilità dell'asta compressa.

La resistenza all'instabilità dell'asta compressa per le sezioni di classe 2 deve essere calcolata mediante la formula:

$$N_{b,Rd} = \chi A f_{yk} / \gamma_{M1}$$

dove:

- A area della sezione;
- f_{yk} è il valore di sforzo di snervamento dell'acciaio pari a 275 MPa;

- γ_{M1} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza all'instabilità delle membrane paria a 1,05 (rif. *Tabella 31*);
- χ è un coefficiente che dipende dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato ed è ricavato dalla seguente formula:

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{(\varphi^2 - \lambda^2)}} \leq 1$$

$$\varphi = \sqrt{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2)) + \lambda^2}$$

dove:

- λ è la snellezza adimensionale che per le sezioni di classe 2 è calcolata come:

$$\lambda = \sqrt{(A f_{yk} / N_{cr})}$$

- α è il fattore di imperfezione che dipende dalla curva di instabilità ed è pari a 0,49 (rif *Tabella 33*)
- N_{cr} è il carico critico elastico basato sulle proprietà della sezione lorda e sulla lunghezza di libera inflessione dell'asta, calcolato mediante la formula:

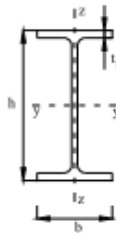
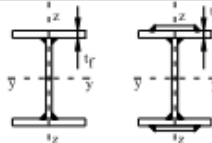

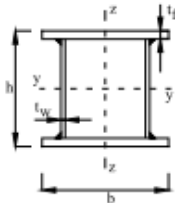
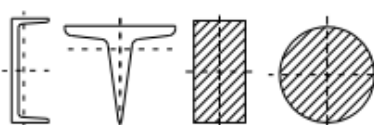

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot J_y / l_0$$

dove:

- E è il modulo di elasticità lineare;
- J_y è il momenti di inerzia rispetto all'asse y ;
- l_0 è la lunghezza di libera inflessione .

Allegato J: verifica di stabilità del pilastro

Tabella 33, Curve di instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi, Fonte NTC-08

Sezione trasversale		Limiti	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità	
				S235, S275, S355, S420	S460
Sezioni laminare 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a b	a ₀ a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d d	c c
Sezioni ad I saldate 	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	b c	
	$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	c d	
Sezioni curve 	Sezione formata "a caldo"	qualunque	a	a ₀	
	Sezione formata "a freddo"	qualunque	c	c	
Sezioni scatolari saldate 	In generale	qualunque	b	b	
	saldature "spesse": $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$; $h/t_w < 30$	qualunque	c	c	
Sezioni piene, ad U e T 		qualunque	c	c	
Sezioni ad L 		qualunque	b	b	
Curva di instabilità	a ₀	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

7.8 Azione del sisma

Secondo quanto detto del capitolo § 3.2 delle N.T.C - 2008 "Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

L'interazione di materiali differenti (cemento armato e acciaio) e l'irregolarità della struttura esistente comportano l'entrata in gioco di differenti fattori per la valutazione della pericolosità sismica dell'oggetto di studio. Si renderebbe quindi necessaria un'analisi sismica complessa ed approfondita, nel presente progetto pertanto sono state effettuate considerazioni a livello qualitativo.

Per la valutazione si è fatto un confronto tra il peso della parte di struttura demolita, ovvero la copertura e le murature del locale sottotetto, e la nuova struttura del piano sopraelevato.

Come si può osservare dall' **Allegato M**, l'utilizzo di strutture leggere in acciaio comporta carico minore rispetto al carico derivante dalla parte esistente demolita, per cui si è dedotto che la struttura esistente potesse essere verificata al sisma.

Allegato K: carichi totali

ALLEGATO B_ Carichi permanenti non strutturali (G2)

B.1 Copertura inclinata con pannelli HABITAT				
	spessore (m)	densità (kN/m ³)	peso (kg/m ²)	peso (kN/m ²)
pannelli HABITAT				0,75
coppi			60	0,59
TOTALE				1,34

B.2 Copertura trave a sbalzo				
	spessore (m)	densità (kN/m ³)	peso (kg/m ²)	peso (kN/m ²)
frangisole in alluminio			15	0,15
TOTALE				0,15

B.3 Balcone sospeso				
	spessore (m)	densità (kN/m ³)	peso (kg/m ²)	peso (kN/m ²)
griglia			20,1	0,20
TOTALE				0,20

B.4 Partizione orizzontale interna				
	spessore (m)	densità (kN/m ³)	peso (kg/m ²)	peso (kN/m ²)
controsoffitto			27,50	0,27
pignatte		4,50		0,65
soletta	0,04	25,00		1,00
travetti		25,00		1,35
tralicci				0,24
massetto impiantistico	0,06	19,00		1,14
finitura	0,02	20,00		0,40
TOTALE				5,05

B.5 Partizioni interne verticali				
	spessore (m)	densità (kN/m ³)	peso (kg/m ²)	peso (kN/m ²)
cartongesso	0,05	8,892		0,4415
lana di vetro	0,08	0,15		0,0118
profili a "C" acciaio	0,0006	76,518		0,0459
TOTALE				0,50
	h partizione (m)	Tot(kN/m)		g ₂ (kN/m ²)
ripartizione carico		2.09	1.447	0,8

B.6 Parete perimetrale portante in acciaio				
	spessore (m)	densità (kN/m ³)	peso (kg/m ²)	peso (kN/m ²)
pannello e EASEE			1,30	0,3051
lastre in cemento rinforzato	0,26	1120		0,4120
lana di vetro	0,01	15		0,0294
Profili a "C" acciaio	0,0012	7800		0,0918
TOTALE				0,84

B.7 Parete perimetrale portante in cemento armato, esistente				
	spessore (m)	densità (kN/m ³)	peso (kg/m ²)	peso (kN/m ²)
pannello e EASEE			31,10	0,31
intonaco	0,015	0,30		0,0045
tramezzi	0,08		36	0,35
cemento	0,20	25		5
TOTALE				5,66

ALLEGATO C_ SLU

C.1 SLU											
	G1(kN/m ²)	γ_{G1}	G2(kN/m ²)	g ₂ (kN/m ²)	γ_{G2}	Q _{k1} (kN/m ²)	γ_{Q1}	Q _{k2} (kN/m ²)	γ_{Q2}	Ψ_{O2}	SLU (kN/m ²)
copertura inclinata	-	1,30	1,34	-	1,50	1,20	1,50	0,50	1,50	0	3,8079
sbalzo gronda	-	1,30	0,15	-	1,50	1,20	1,50	0,50	1,50	0	2,0207
balcone	0,1365	1,30	0,20	-	1,50	1,20	0,00	4,00	1,50	0,70	4,6732

ALLEGATO D_ SLE Rara

D.1 SLE RARA							
	G1(kN/m ²)	G2(kN/m ²)	g ₂ (kN/m ²)	Q _{k1} (kN/m ²)	Q _{k2} (kN/m ²)	Ψ_{O2}	SLE (kN/m ²)
copertura inclinata		1.34		1.20	0.50	0	2,5386
sbalzo gronda		0.15		1.20	0.50	0	1,3472
balcone		0.20		1,20	4	0.07	4,3336

ALLEGATO E_ Dimensionamento delle travi del balcone e delle travi secondarie di copertura (SLE rara)

E.1 Trave balcone											
Profilo	q (kN/m ²)	P _c (kN)	G (kN/m)	S (m)	l (m)	E (N/mm ²)	J _x (cm ⁴)	f _{c,q} (m)	f _{c,Pc} (m)	f _{totale} (m)	limite f (m)
IPE 120	4,334	0,2578	0,102	5.45	1,9	210000	317,8	0,0058	0	0,0058	0,0076

E.2 Trave a sbalzo											
Profilo	q (kN/m ²)	P _c (kN)	G (kN/m)	S (m)	l (m)	E (N/mm ²)	J _x (cm ⁴)	f _{c,q} (m)	f _{c,Pc} (m)	f _{totale} (m)	limite f (m)
HEA 260	1,35	87,71	0,669	5.24	2.03	210000	10450	0,0007	0,011145	0,0119	0,0162

E.3 Trave secondaria											
Profilo	q (kN/m ²)	M _A (kNm)	G (kN/m)	S (m)	l (m)	E (N/mm ²)	J _x (cm ⁴)	f _{c,q} (m)	f _{c,Pc} (m)	f _{totale} (m)	limite f (m)
HEA 280	2,539	182,28	0,7495	0.85	6.03	210000	13670	0,0084	0,0148	-0,0064	0,0302

E.4 Travetto di copertura											
Profilo	q (kN/m ²)	G (kN/m)	S (m)	l (m)	E (N/mm ²)	J _x (cm ⁴)	f (m)		limite f (m)		
2 "C"	2,5386	0,2749	0,75	6.03	210000	597.671	0,0299		0,0302		

ALLEGATO F_ Dimensionamento travi principali di colmo e gronda (SLE rara)

F.1 Trave di colmo								
Profilo	P (kN)	G (kN/m)	q (kN/m)	l (m)	E (N/mm ²)	Jx (cm ⁴)	f (m)	limite f (m)
IPE 300	11,4056	0,4140	8.23	5,66	210000	8356	0,0066	0,0283

F.2 Trave di gronda								
Profilo	P (kN)	G (kN/m)	q (kN/m)	l (m)	E (N/mm ²)	Jx (cm ⁴)	f (m)	limite f (m)
IPE 300	79,7599	0,4140	8.23	5,66	210000	8356	0,0066	0,0283

ALLEGATO G_ Dimensionamento delle travi del balcone e delle travi secondarie di copertura (SLU)

G.1 Trave balcone												
Profilo	S (m)	q (kN/m ²)	P _C (kN)	G (kN/m)	l (m)	W _{pl} (m ³)	f _{yk} (kN/m ²)	γ _{MO}	M _{Ed} (kNm)	M _{c,Rd} (kNm)	Verifica (M _{Ed} /M _{c,Rd}) ≤ 1	
IPE 120	5.24	4,6732	0,258	0,102	1,9	0,00005296	275000	1,05	11,10	13,87	0,80	

G.2 Trave a sbalzo													
Profilo	S (m)	q (kN/m ²)	P _C (kN)	G (kN/m)	l (m)	W _{pl} (m ³)	f _{yk} (kN/m ²)	γ _{MO}	M _{Ed} DIST. (kNm)	M _{Ed} CONC. (kNm)	M _{Ed} TOT (kNm)	M _{c,Rd} (kNm)	Verifica (M _{Ed} /M _{c,Rd}) ≤ 1
HEA 260	5.24	2,0207	94,4713	0,669	2.03	0,0008364	275000	1,05	21,80	180,21	202,01	219	0,92

G.3 Trave secondaria												
Profilo	S (m)	q (kN/m ²)	M _A (kNm)	G (kN/m)	l (m)	W _{pl} (m ³)	f _{yk} (kN/m ²)	γ _{MO}	M _{Ed} (kNm)	M _{c,Rd} (kNm)	Verifica (M _{Ed} /M _{c,Rd}) ≤ 1	
HEA 280	0.85	3,8079	202,01	0,7495	6.03	0,001013	275000	1,05	202,01	265,31	0,76	

G.4 Travetto												
Profilo	S (m)	q (kN/m ²)	G (kN/m)	L (m)	W _{pl} (m ³)	f _{yk} (kN/m ²)	γ _{MO}	M _{Ed} (kNm)	M _{c,Rd} (kNm)	Verifica (M _{Ed} /M _{c,Rd}) ≤ 1		
2 "C"	0,75	3,8079	0,2749	6.03	0,0000664	275000	1,05	14,23	17,39	0,82		

ALLEGATO H_ Dimensionamento delle travi principali (SLU)

H.1 Trave di colmo										
Profilo	P (kN)	P _{travetti} (kN/m)	G (kN/m)	l (m)	W _{pl} (m ³)	f _{yk} (kN/m ²)	γ _{MO}	MEd (kNm)	Mc,Rd (kNm)	Verifica (MEd/Mc,Rd) ≤ 1
IPE 300	27,1747	11,83	0,4140	5,66	0,0005571	275000	1,05	49,02	145,91	0,34

H.2 Trave di gronda										
Profilo	P (kN)	P _{travetti} (kN/m)	G (kN/m)	l (m)	W _{pl} (m ³)	f _{yk} (kN/m ²)	γ _{MO}	MEd (kNm)	Mc,Rd (kNm)	Verifica (MEd/Mc,Rd) ≤ 1
IPE 300	96,87	11,83	0,41398	5,66	0,0005571	275000	1,05	49,02	145,91	0,34

ALLEGATO I_ Verifica a compressione del pilastro

I.1 Calcolo N_{ed}								
	SLU (kN/m ²)	A di influenza (m ²)	SLU*A (kN)	Peso trave sec. (kN)	peso trave princ. (kN)	Peso travetti (kN)	n°	peso tot. (kN)
Copertura inclinata	38.079	300.252	1143323	4,519	2,169	14,92	1	135,94
TOTALE								135,94

I. 2 Calcolo $N_{C,Rd}$				
Profilo	A sezione (m ²)	f_{yk} (kN/m ²)	γ_{MO}	$N_{C,Rd}$ (kN)
HEA 160	0,003877	275000	1,05	1015

I.3 Verifica a compressione		
N_{Ed} (kN)	$N_{C,Rd}$ (kN)	verifica ($N_{ed}/N_{C,Rd}$) ≤ 1
135,939	1015	0,13388

ALLEGATO J_ Verifica di stabilita' del pilastro

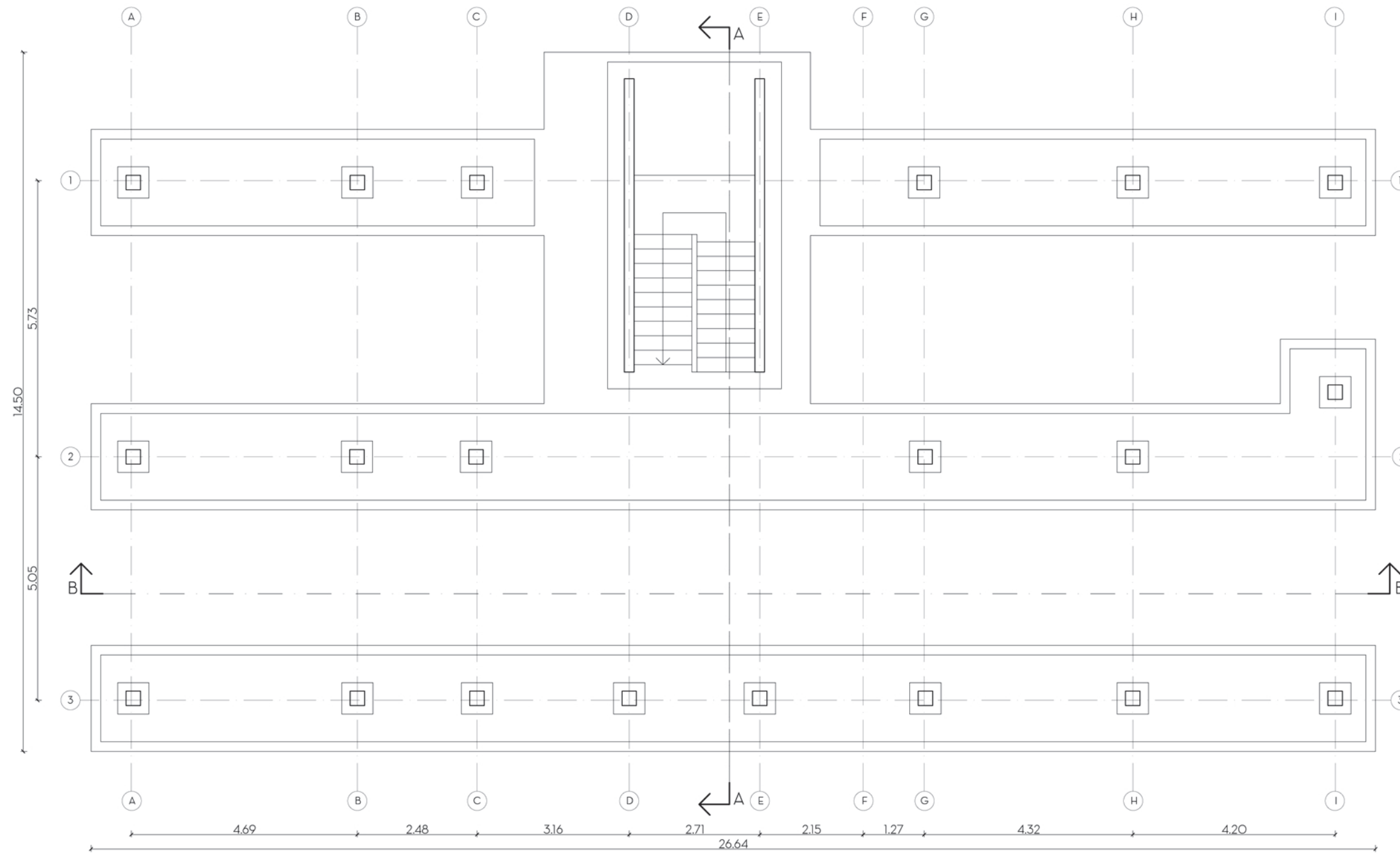
J.1 Calcolo $N_{b,Rd}$											
Profilo	E (N/mm ²)	J_y (cm ⁴)	l_0 (m)	N_{cr} (kN)	A sezione (m ²)	γ_{M1}	λ	α	φ	$\chi \cdot 1$	$N_{b,Rd}$ (KN)
HEA 160	210000	615,60	4,80	553,22	0,0039	1,05	1,39	0,49	1,7547	0.35361	359,01

J.2 Verifica di stabilita'		
N_{Ed} (KN)	$N_{b,Rd}$ (KN)	verifica ($N_{ed}/N_{b,Rd}$) ≤ 1
135,94	359,01	0.38786

ALLEGATO K_ Carichi totali

K.1 Peso sopraelevazione					
	Peso (kN/m)	Peso (kN/m ²)	Quantità	Unità misura	Peso (kN)
COPERTURA					
Travi a sbalzo	0,669042		24,36	m	16,2979
Travi secondarie	0,749484		68,64	m	51,4446
Travi principali	0,413982		75,6	m	31,2970
Pannelli HABITAT		3,8079	391,356	m ²	1490,2445
Balconi					371,6248
				TOT.	1960,9088
FACCIATA					
Pilastri	0,298224		99	m	29,5242
Rivestimento		0,8383626	238,1	m ²	199,6141
				TOT.	229,1383
TOTALE					2190,0471

K.2 Peso struttura esistente demolita					
	Peso (KN/m)	Peso (KN/m ²)	Quantità	Unità misura	Peso (KN)
COPERTURA					
Laterocemento		4,378	391,356	m ²	1713,3566
Travetti poggiategola		0,06327	391,356	m ³	24,76286
Coppi		60	391,356	m ²	451,356
				TOT.	2164,7126
FACCIATA					
Rivestimento		5,35766	39	m ²	208,9487
TOTALE					2373,6613



LEGENDA

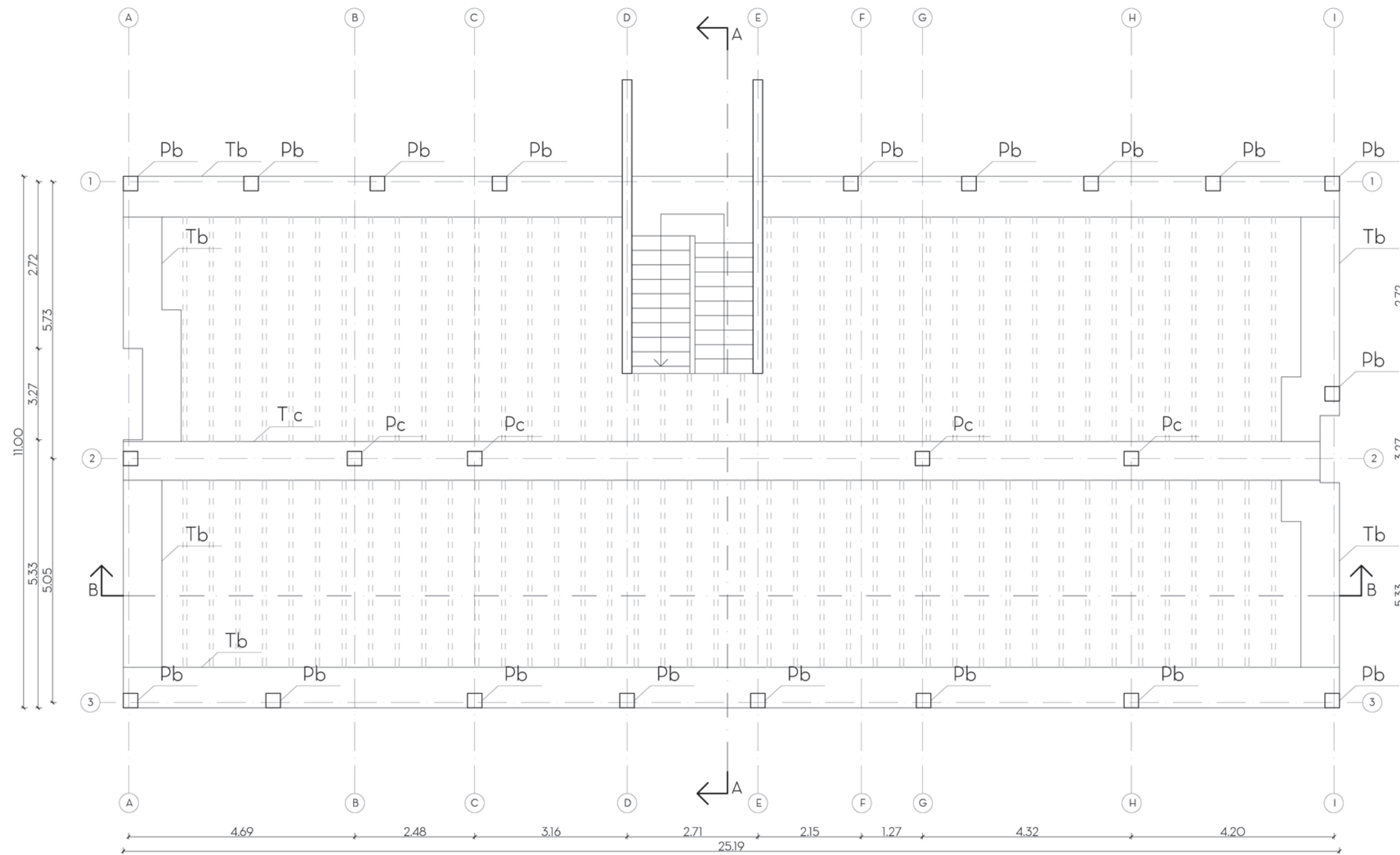
ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO

tb1	TRAVE IPE 120	
ts1	TRAVE HEA 260	
t1	TRAVE HEA 280	
T1	TRAVE IPE 300	
Tr1	TRAVE IPE 220	
P1	PILASTRO HEA 160	

ELEMENTI STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Tc	TRAVE CENTRALE C.A. (70x25cm)	
Tb	TRAVE DI BORDO C.A. (80x25 cm)	
Pc	PILASTRO CENTRATO C.A. (30x30 cm)	
Pb	PILASTRO DI BORDO C.A. (30x30 cm)	





LEGENDA

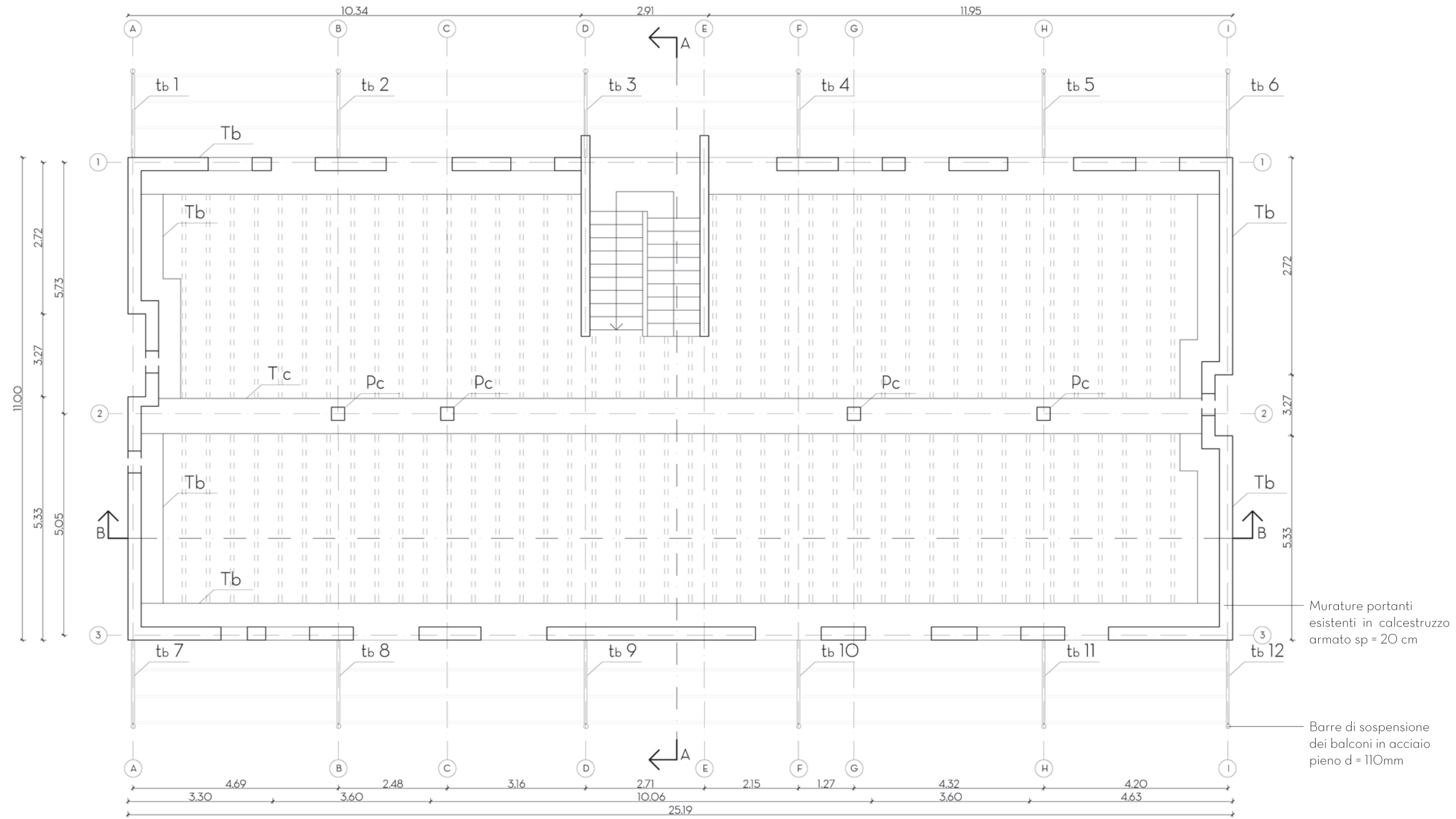
ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO

tb1	TRAVE IPE 120	
ts1	TRAVE HEA 260	
t1	TRAVE HEA 280	
T1	TRAVE IPE 300	
Tr1	TRAVE IPE 220	
P1	PILASTRO HEA 160	

ELEMENTI STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Tc	TRAVE CENTRALE C.A. (70x25cm)	
Tb	TRAVE DI BORDO C.A. (80x25 cm)	
Pc	PILASTRO CENTRATO C.A. (30x30 cm)	
Pb	PILASTRO DI BORDO C.A. (30x30 cm)	





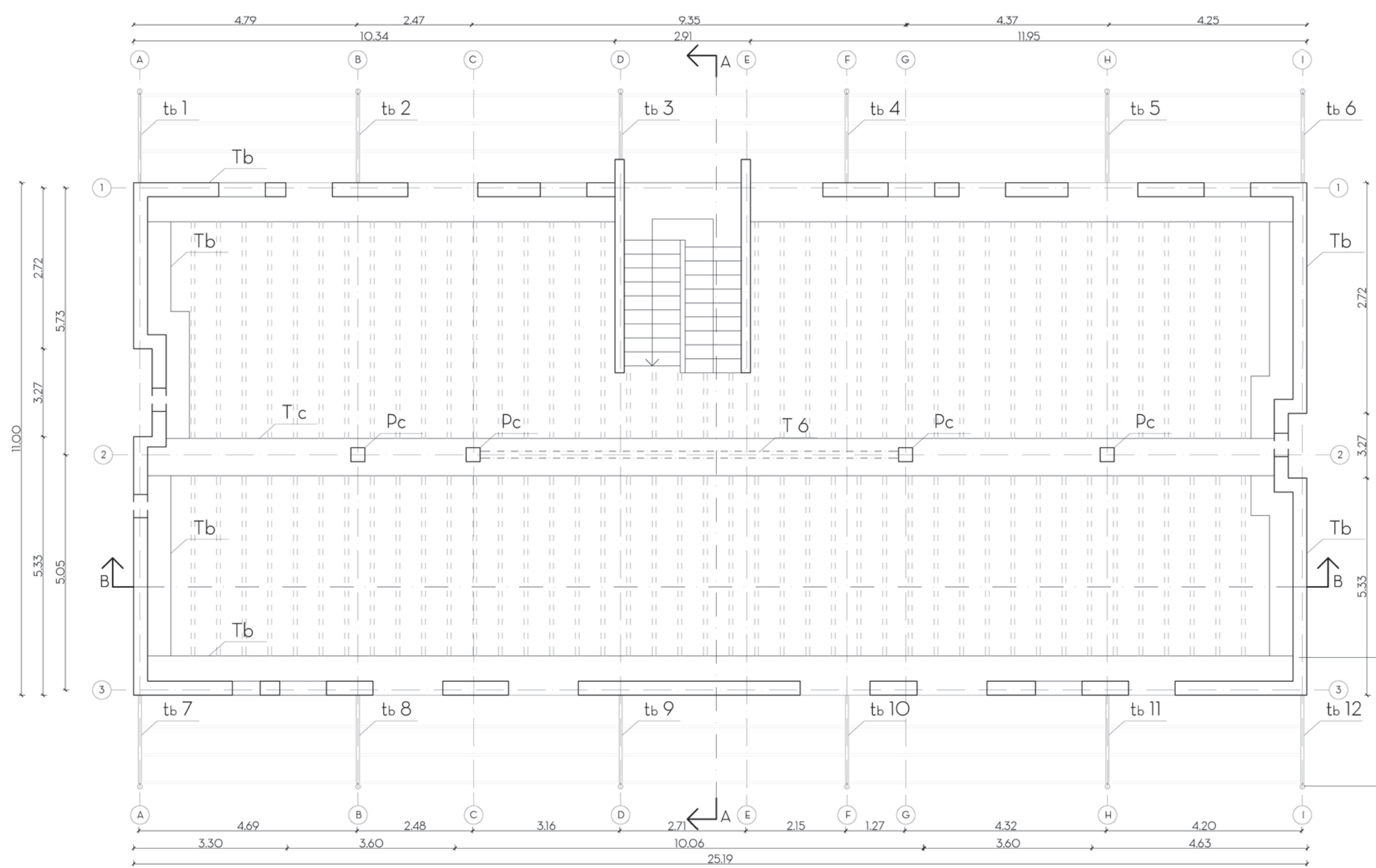
LEGENDA

ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO

tb 1	TRAVE IPE 120	
ts 1	TRAVE HEA 260	
t 1	TRAVE HEA 280	
T 1	TRAVE IPE 300	
Tr 1	TRAVE IPE 220	
P 1	PILASTRO HEA 160	

ELEMENTI STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Tc	TRAVE CENTRALE C.A. (70x25cm)	
Tb	TRAVE DI BORDO C.A. (80x25 cm)	
Pc	PILASTRO CENTRATO C.A. (30x30 cm)	
Pb	PILASTRO DI BORDO C.A. (30x30 cm)	



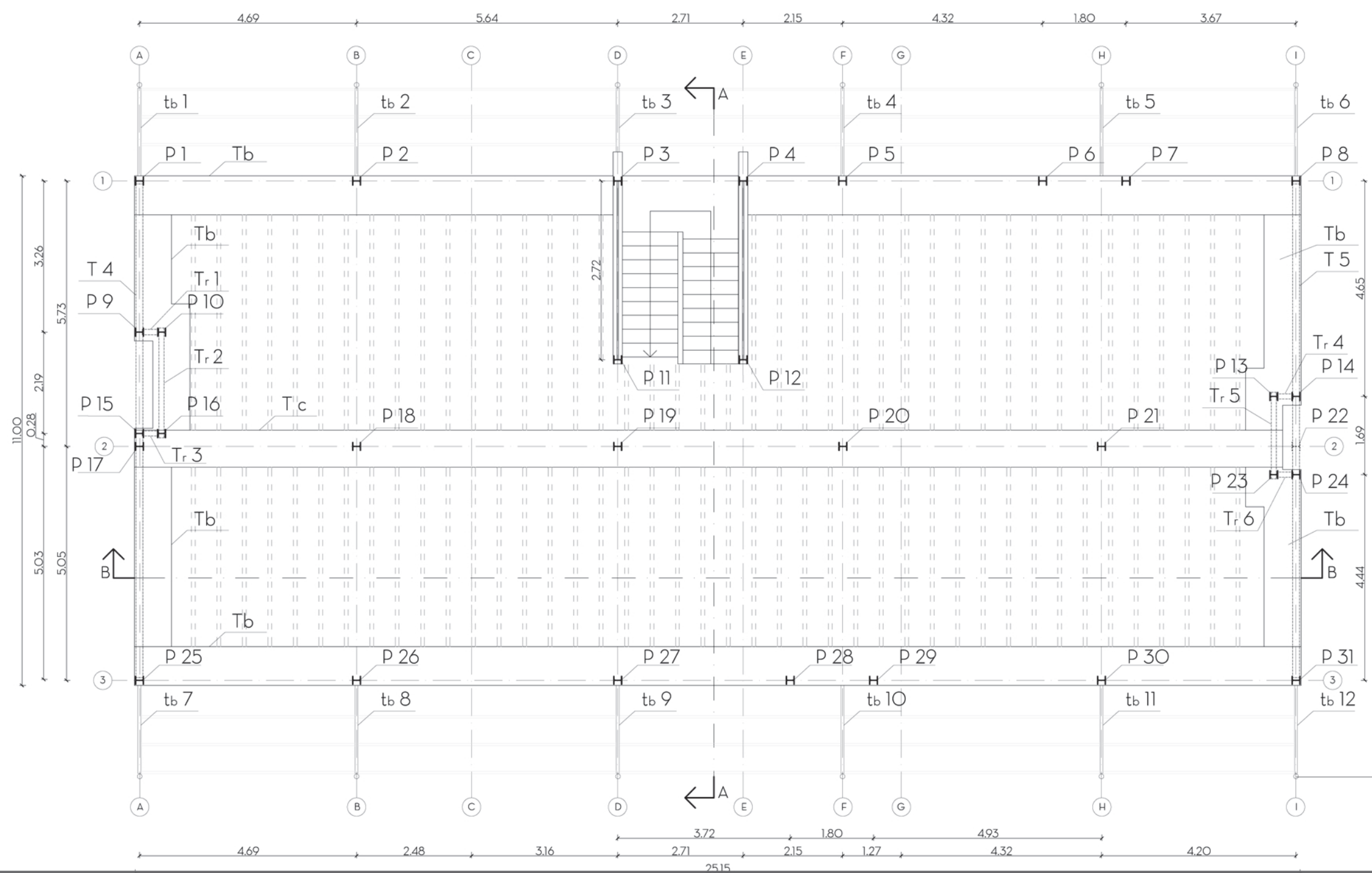
LEGENDA

ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO

tb 1	TRAVE IPE 120	
ts 1	TRAVE HEA 260	
t 1	TRAVE HEA 280	
T 1	TRAVE IPE 300	
Tr 1	TRAVE IPE 220	
P 1	PILASTRO HEA 160	

ELEMENTI STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Tc	TRAVE CENTRALE C.A. (70x25cm)	
Tb	TRAVE DI BORDO C.A. (80x25 cm)	
Pc	PILASTRO CENTRATO C.A. (30X30 cm)	
Pb	PILASTRO DI BORDO C.A. (30X30 cm)	



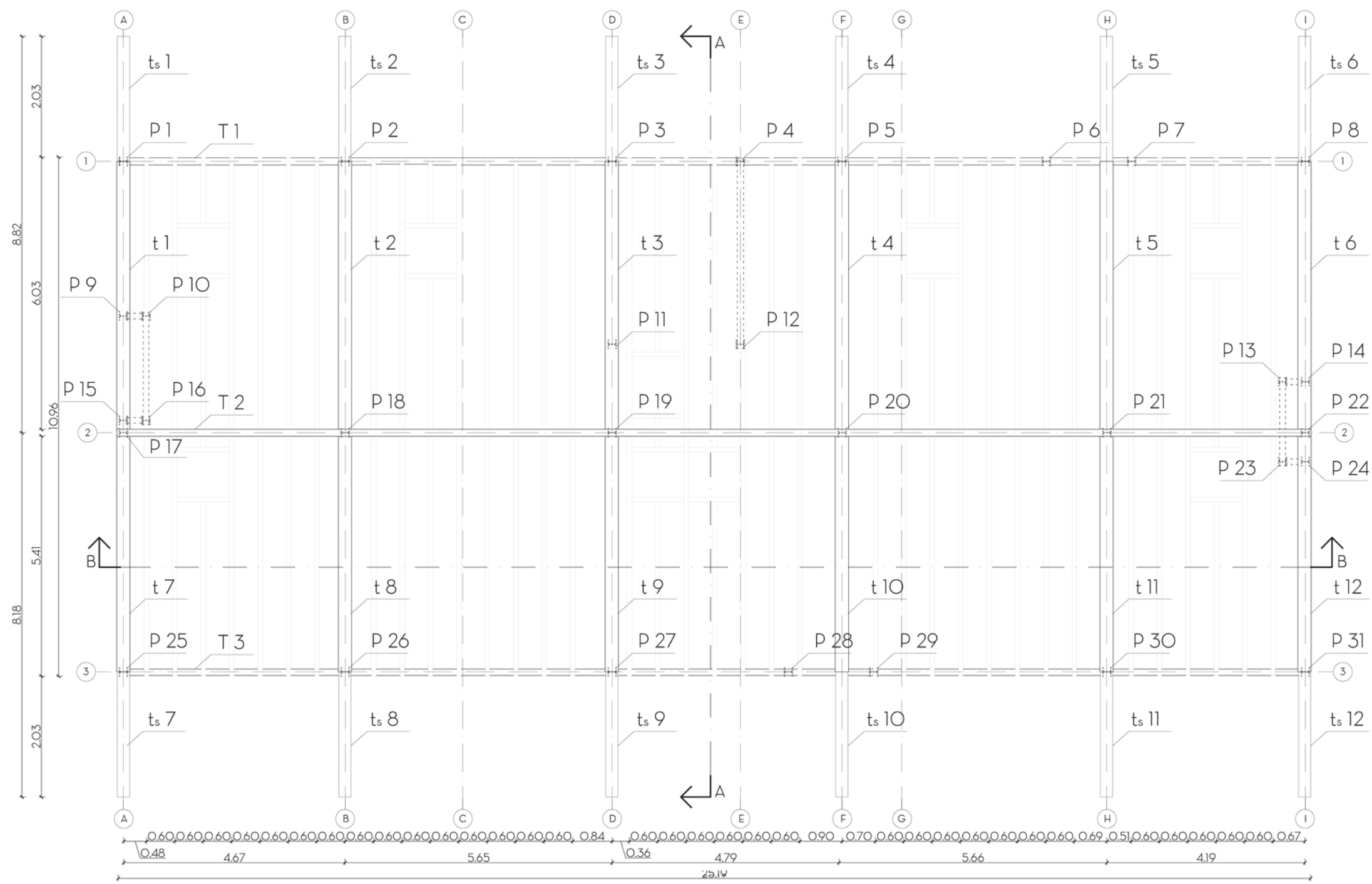
LEGENDA

ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO

tb 1	TRAVE IPE 120	
ts 1	TRAVE HEA 260	
t 1	TRAVE HEA 280	
T 1	TRAVE IPE 300	
Tr 1	TRAVE IPE 220	
P 1	PILASTRO HEA 160	

ELEMENTI STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Tc	TRAVE CENTRALE C.A. (70x25cm)	
Tb	TRAVE DI BORDO C.A. (80x25 cm)	
Pc	PILASTRO CENTRATO C.A. (30x30 cm)	
Pb	PILASTRO DI BORDO C.A. (30x30 cm)	



LEGENDA

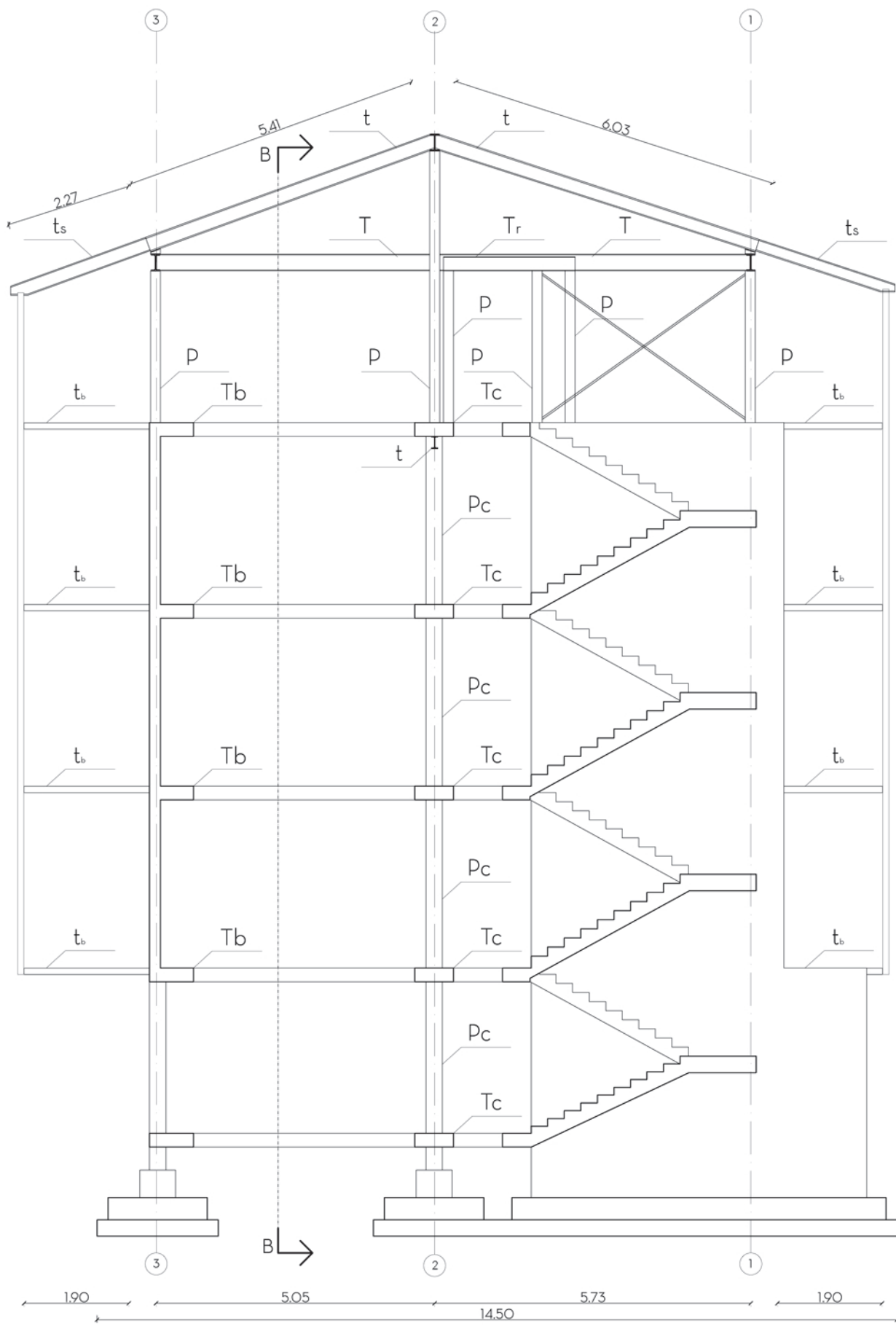
ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO

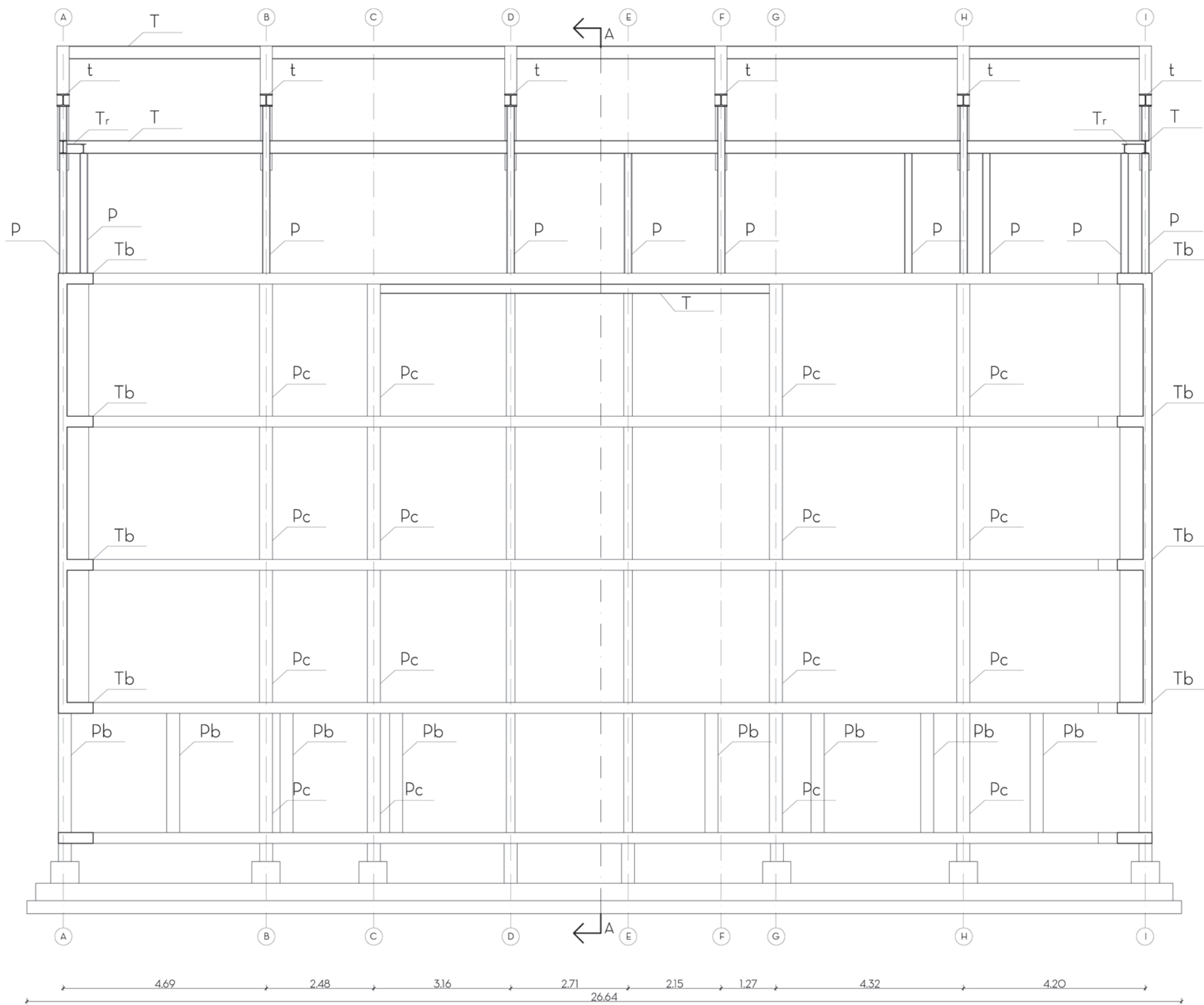
	TRAVE IPE 120	
	TRAVE HEA 260	
	TRAVE HEA 280	
	TRAVE IPE 300	
	TRAVE IPE 220	
	PILASTRO HEA 160	

ELEMENTI STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO

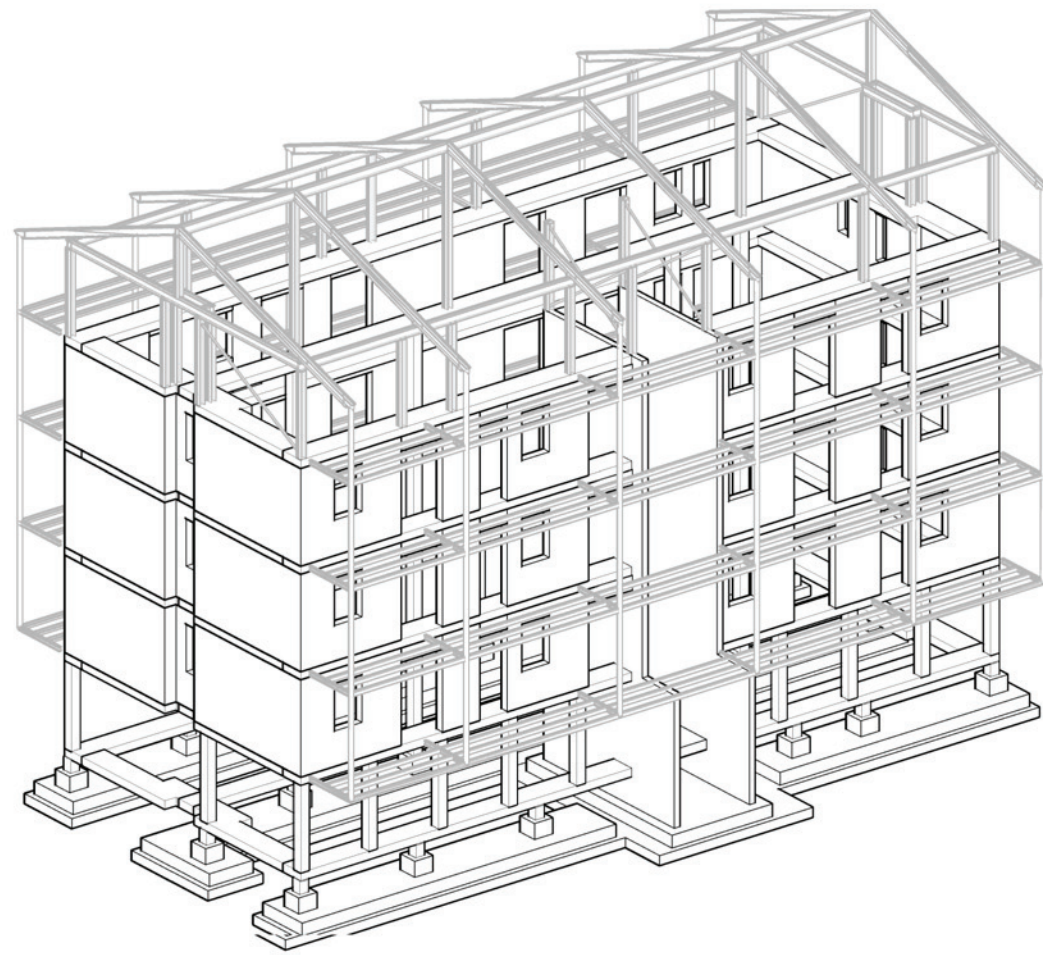
	TRAVE CENTRALE C.A. (70x25cm)	
	TRAVE DI BORDO C.A. (80x25 cm)	
	PILASTRO CENTRATO C.A. (30X30 cm)	
	PILASTRO DI BORDO C.A. (30X30 cm)	



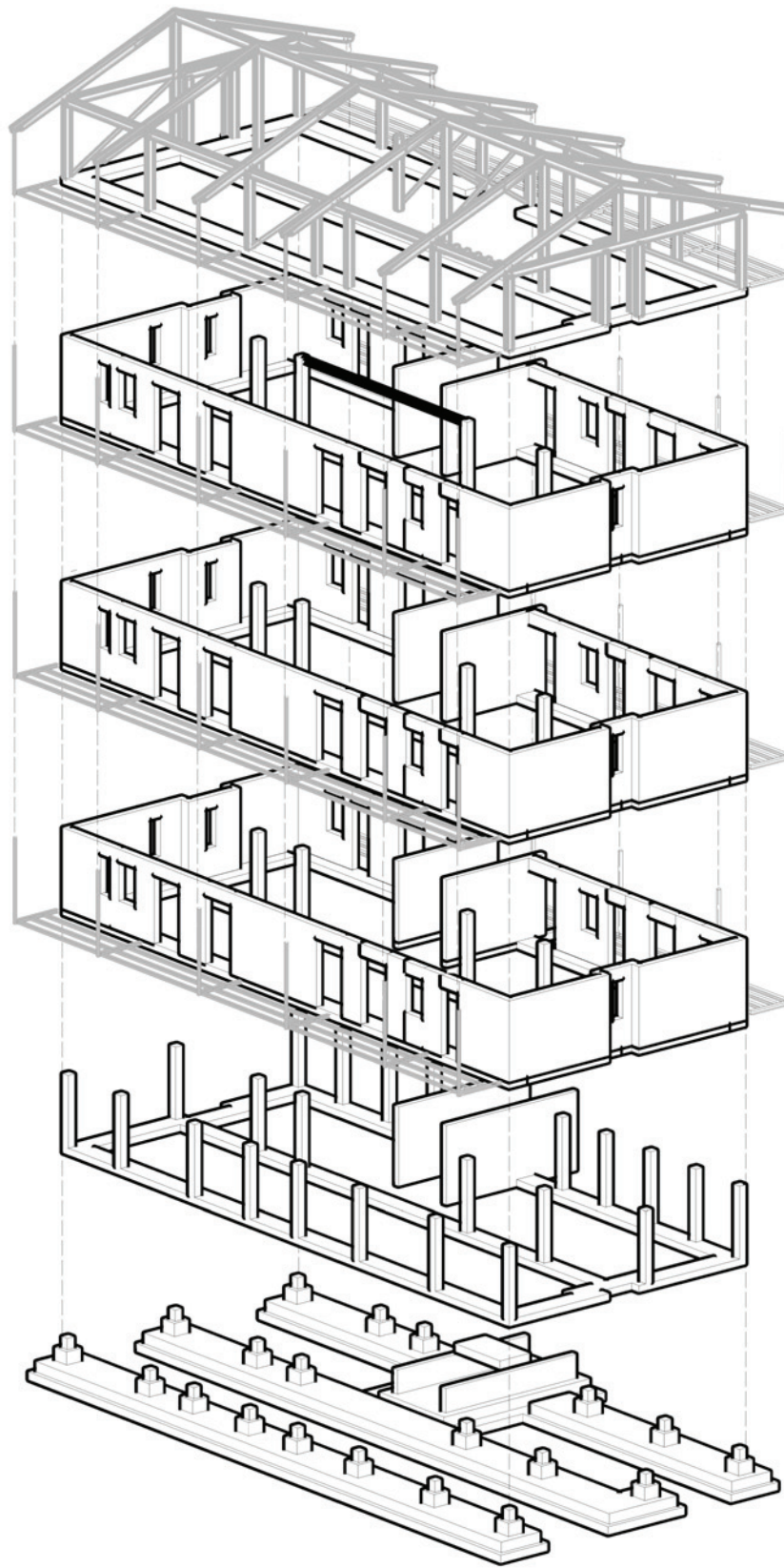
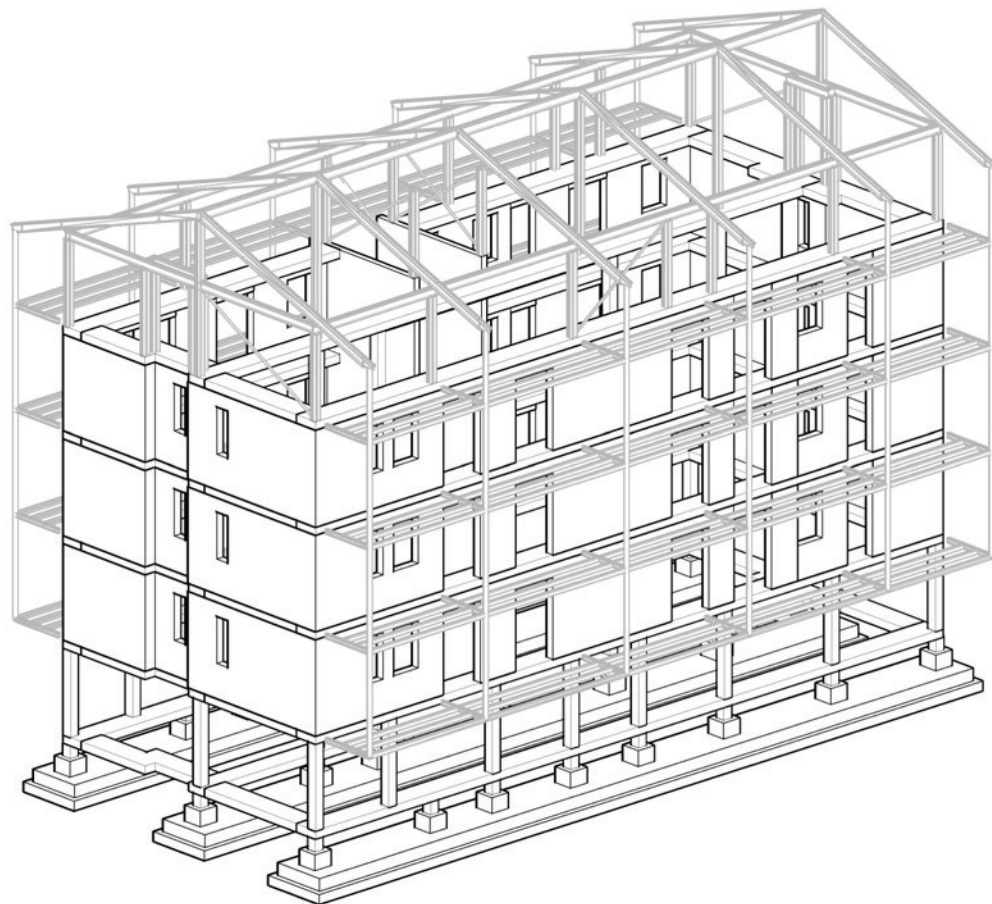




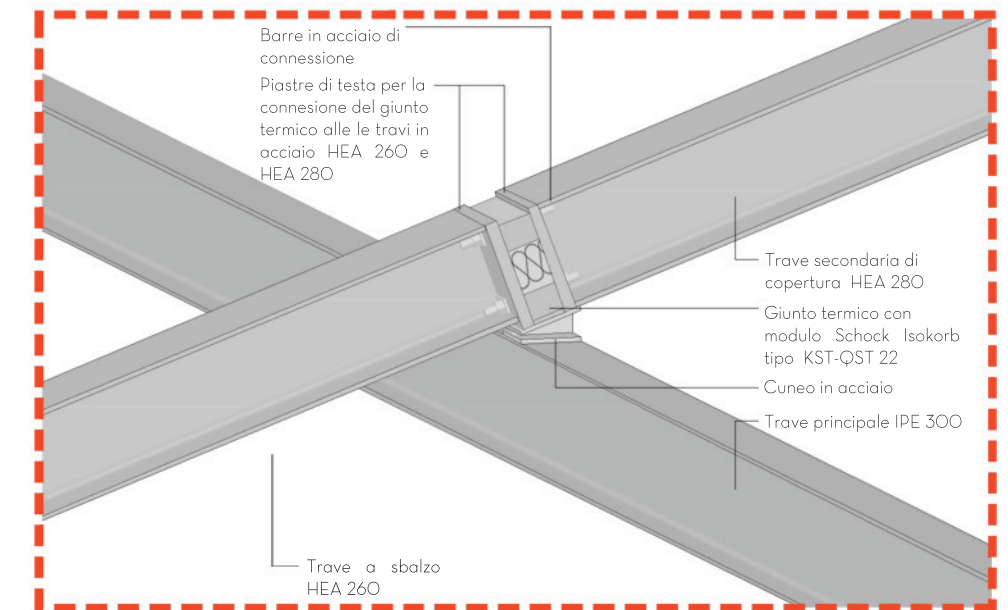
VISTA FRONTE NORD



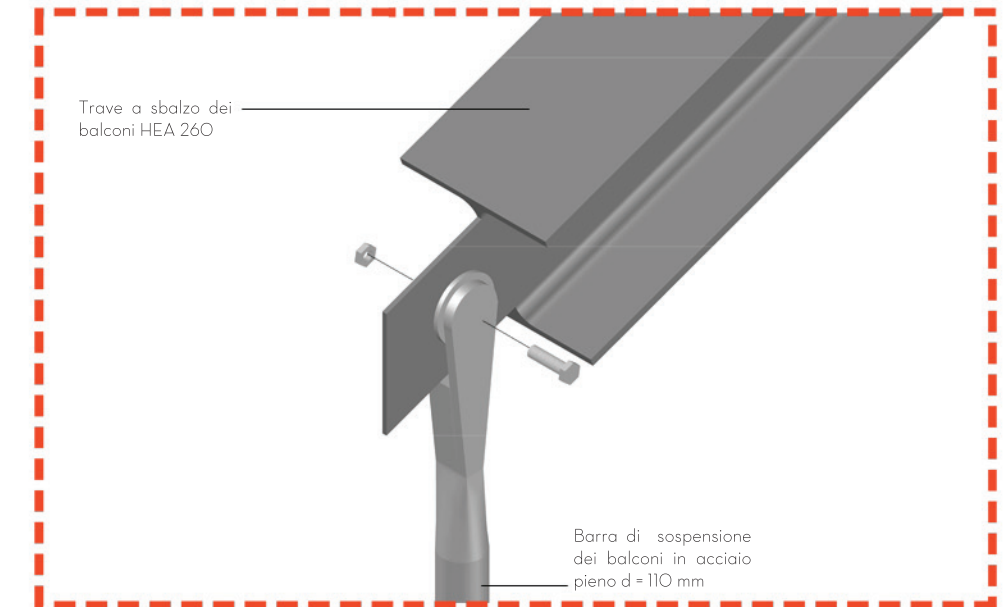
VISTA FRONTE SUD



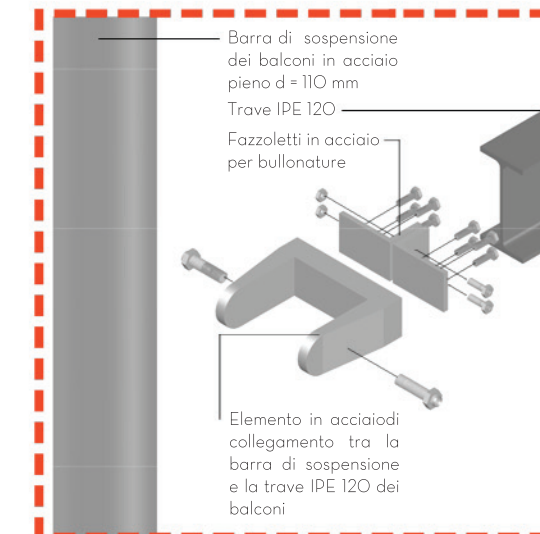
GIUNTO TERMICO STRUTTURALE TRA TRAVE DI COPERTURA E TRAVE A SBALZO DEI BALCONI



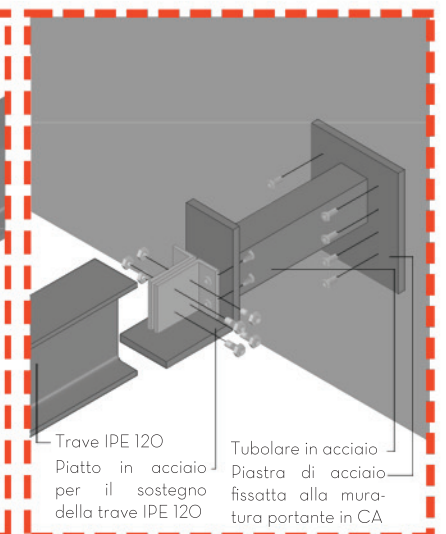
BARRA DI SOSPENSIONE DEI BALCONI IN ACCIAIO



ELEMENTO DI COLLEGAMENTO TRA LA TRAVE DEI BALCONI E LA BARRA DI SOSPENSIONE



ANCORAGGIO TRAVE DEI BALCONI ALLA MURATURA PORTANTE IN CA





PARTE 3 APPROFONDIMENTI





PROGETTO IMPIANTISTICO

Calcolo del fabbisogno energetico 8.1

Dati climatici 8.1.1

Fabbisogno energetico invernale 8.1.2

Fabbisogno energetico estivo 8.1.3

Ventilazione meccanica controllata 8.2

Impianto di climatizzazione 8.3

Impianto fotovoltaico 8.4

Fabbisogno di energia elettrica 8.4.1

Dimensionamento dell'impianto fotovoltaico 8.4.2

Collettore solare 8.5

Classificazione energetica 8.6

8 PROGETTO IMPIANTISTICO

Nel presente capitolo sono riportate le scelte energetiche ed impiantistiche effettuate tenendo conto delle condizioni ambientali nel periodo invernale ed estivo e delle esigenze di comfort degli utenti.

Le strategie e le tecniche di climatizzazione e di produzione dell'energia sono volte allo sfruttamento delle risorse rinnovabili e a ridurre i consumi energetici e la produzione di anidride carbonica.

Gli obiettivi fondamentali perseguiti nel processo di progettazione degli impianti sono i seguenti:

- **INTEGRAZIONE AMBIENTALE:** sfruttare al meglio le caratteristiche dell'edificio esistente e le energie rinnovabili per ridurre l'impatto ambientale del progetto
- **INTEGRAZIONE TECNOLOGICA:** scelta di sistemi compatibili con l'edificio esistente sia in relazione alle strutture che alla destinazione d'uso degli ambienti, con particolare attenzione all'integrazione dei sistemi tecnologici con gli elementi di nuova progettazione
- **EFFICIENZA:** scelta di sistemi che minimizzino le perdite in fase di esercizio

Per la definizione delle scelte progettuali impiantistiche si è in primo luogo analizzato lo stato di fatto dell'edificio esistente, valutandone i consumi energetici ed individuando gli impianti presenti.

Dall'analisi dei dati forniti da ALER relativi ai consumi energetici dell'edificio nel periodo invernale negli ultimi cinque anni, si riscontra che il consumo massimo è stato di 234,09 kWh/m² anno verificatosi nell'anno 2013/2014 ed il valore medio è di 197,88 kWh/m².

Tabella 34, Consumo energetico per riscaldamento dell'edificio allo stato di fatto, Fonte Politecnico di Milano

	Stagione 09/10	Stagione 10/11	Stagione 11/12	Stagione 12/13	Stagione 13/14
Consumo energetico (kWh/m ²)	147,03	186,2	183,73	238,35	234,09

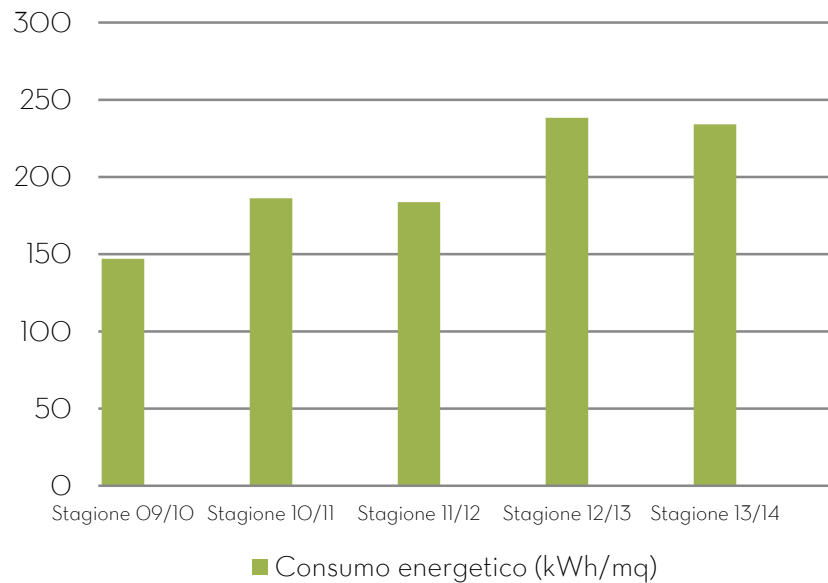


Figura 8.1, Grafico consumo energetico per riscaldamento dell'edificio allo stato di fatto.
Fonte autore tesi

L'edificio risulta quindi attualmente in classe energetica G.

L'edificio esistente è dotato di un impianto di riscaldamento centralizzato collegato alla centrale termica, collocata nelle pertinenze del fabbricato adiacente (Via del Carroccio 20), che alimenta entrambi gli edifici. Un serbatoio di gasolio alimenta la centrale termica utilizzata per la produzione di acqua calda ad alta temperatura, necessaria per il funzionamento dei termosifoni, usati per il riscaldamento degli alloggi. Ogni appartamento è dotato di boiler a gas per la produzione di acqua calda sanitaria.

Attualmente non sono presenti impianti per la climatizzazione degli ambienti nel periodo estivo né impianti per il controllo della ventilazione.

Mediante le scelte architettoniche e tecnologiche adottate, quali la coibentazione dell'involucro, la sostituzione dei serramenti esistenti con infissi più performanti e l'aggiunta di schermature solari, è possibile ridurre i fabbisogni energetici dell'edificio. Tali strategie passive sono affiancate dall'integrazione impiantistica di sistemi attivi, per migliorare l'efficienza energetica dell'edificio, riducendo i consumi e le emissioni in atmosfera.

Le strategie attive adottate sono:

- Installazione di pannelli di copertura HABITAT con moduli fotovoltaici integrati, che consentano lo sfruttamento dell'energia solare per la produzione di energia elettrica.
- Installazione di pannelli di copertura HABITAT con collettori solari integrati per la produzione di acqua calda sanitaria, che comporta una riduzione considerevole delle emissioni di CO₂ in atmosfera.
- Integrazione dell'impianto di ventilazione meccanica controllata per lo smaltimento dell'umidità e per garantire condizioni di comfort e igiene mediante un corretto ricambio d'aria.

- Integrazione dell'impianto di condizionamento per il raffrescamento degli ambienti nel periodo estivo.

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento, è attualmente in corso sull'edificio un progetto di ALER per la bonifica dei rivestimenti in gesso-amianto delle tubazioni principali della rete. L'intervento prevede il confinamento statico-dinamico degli ambienti e la rimozione dei materiali asbestosi; minerali fibrosi molto utilizzati nel passato in edilizia per le loro caratteristiche di indistruttibilità, non infiammabilità, flessibilità, resistenza alla trazione e buone capacità assorbenti. Tali materiali pur essendo apparentemente innocui, in quanto non solubili né volatili, possono scomporsi in fibre invisibili, lunghe e sottili, che restano sospese in aria e, qualora inalate, provocano una malattia progressivamente invalidante (asbestosi) e due diverse forme tumorali.

Tali materiali verranno rimossi e sostituiti con coppelle coibentanti in lana minerale per l'isolamento termo-acustico di tubazioni ad elevate temperature, al fine di ridurre le dispersioni termiche ed aumentare quindi l'efficienza dell'impianto esistente.

Sui radiatori verranno inoltre installate valvole termostatiche e contabilizzatori di calore che consentano il risparmio di energia. La valvola è l'elemento che esegue la termoregolazione mantenendo costante la temperatura del locale. Ciò avviene mediante la regolazione della quantità di acqua calda che passa nel radiatore, in funzione della temperatura ambiente. Il contabilizzatore di calore è l'apparecchio che viene installato direttamente a contatto col corpo scaldante e ne quantifica il calore emesso. L'installazione abbinata di questi apparecchi darà la possibilità all'utente di regolare l'utilizzo di ogni singolo radiatore e tenerne costantemente controllato il consumo individuale.

Si è scelto quindi di non intervenire sull'impianto di riscaldamento facendo affidamento sul fatto che, i suddetti interventi, seppur non introducendo sistemi ad elevate prestazioni, possano migliorare l'efficienza del sistema esistente in un'ottica di risparmio energetico ed economico per gli utenti.

Per quanto riguarda, invece la produzione di acqua calda sanitaria è prevista l'integrazione di un impianto solare termico associato a serbatoi di accumulo che consentano di sfruttare l'energia solare per il riscaldamento dell'acqua.

8.1 Calcolo del fabbisogno energetico

Per la scelta delle integrazioni impiantistiche ed il relativo dimensionamento, sono stati determinati i carichi termici estivi ed invernali, il conseguente fabbisogno di energia e la classe energetica dell'edificio.

Per la valutazione del fabbisogno dell'edificio è stato utilizzato il software CasaClima2015, un tool di calcolo su base Excel per valutare i progetti dal punto di vista energetico, che soddisfa i requisiti delle Direttive europee 2010/31/EU e 2012/27/EU.

8.1.1 Dati Climatici

Per la valutazione dell'efficienza energetica di un edificio è importante valutare il contesto climatico ed ambientale nel quale esso è inserito.

Di seguito sono riportati i principali dati climatici per il comune di Cinisello Balsamo raccolti dall'archivio climatico DBT ENEA.

Tabella 35, Dati climatici Cinisello Balsamo, Fonte archivio climatico DBT ENEA

Provincia	Altitudine (m. s.l.m.)	T _{max} Estate (C°)	T _{media minima} Inverno (C°)	T interna di progetto inverno (C°)	T interna di progetto inverno (C°)	Latitudine	Gradi Giorno	Fascia climatica
Milano	154	29	1,3	26	20	45°33'00"N	2 404	E

Per quanto riguarda le valutazioni relative al periodo invernale, il territorio nazionale è stato suddiviso in sei zone climatiche in conformità ad un indice climatico definito dai gradi-giorno, ed indipendentemente dall'ubicazione geografica. Sono stati individuati i valori limite del fabbisogno energetico su tale base.

Secondo quanto previsto dal DPR 412/93 e dalla integrazioni del Dlgs 192/96 il calcolo della temperatura deve essere effettuato non più facendo riferimento ad una temperatura esterna convenzionale, ma ai valori medi delle grandezze climatiche di ciascun mese del periodo di riscaldamento.

I gradi-giorno (GG) costituiscono un concetto climatico che può essere definito come la somma dei differenziali negativi di temperatura rispetto alla temperatura di progetto. In altre parole la misura di quanto la temperatura dell'ambiente esterno è inferiore alla temperatura di progetto per il periodo invernale. Tale indice si basa sull'osservazione che in un edificio non riscaldato si registra una temperatura media giornaliera di $2 \div 3$ °C superiore a quella esterna; ciò è dovuto sia alla radiazione solare entrante sia alle fonti interne di calore (elettrodomestici, persone illuminazione, ecc..). Ponendo 20°C la temperatura interna di un ambiente perché si abbia benessere termico e si ammetta che quando esso non è riscaldato si abbiano 2°C in più rispetto alla temperatura esterna, si definisce "base" per il calcolo dei gradi-giorno il valore $20 - 2 = 18$ °C. Questa base, considerata valida in Italia, varia per ogni Paese in relazione alla fascia climatica. La differenza tra la temperatura di base (t_{base}) e quella esterna media giornaliera (t_{mq}) vengono cumulate su tutto il periodo di interesse (normalmente si valuta l'intero periodo di

riscaldamento) e si ottiene il valore dei gradi-giorno GG della località in esame.

$$GG = \sum_1^n (t_{base} - t_{mg}) \quad \text{per } t_{base} > t_{mg}$$

Dove:

n = numero di giorni compreso nel periodo considerato.

Nella zona di Cinisello Balsamo si registrano 2404 GG e risulta pertanto in fascia climatica E

Tabella 36, Fasce climatiche, Fonte DPR 412/93

FASCIA CLIMATICA	GRADI GIORNO	PERIODO DI RISCALDAMENTO	NUMERO DI ORE MASSIMO GIORNALIERO
A	Inferiore a 600	11/12 - 15/3	6
B	601-900	1/12 - 31/3	8
C	901-1400	15/11 - 31/3	10
D	1401-2100	1/11 - 15/4	12
E	2101-3000	15/10 - 15/4	14
F	Superiore a 3000	Nessuna limitazione	Nessuna limitazione

8.1.2 Fabbisogno energetico invernale

Il calcolo delle dispersioni termiche viene di norma eseguito considerando le condizioni di regime , cioè con temperature costanti, sia degli ambienti da riscaldare sia dell'aria esterna. Tale ipotesi è giustificata dal fatto che l'escursione termica giornaliera, nel periodo considerato, è molto contenuta.

Per il calcolo del carico termico invernale vanno presi in considerazione tutti gli elementi che concorrono alla dispersione del calore, per convezione, conduzione e ventilazione, i guadagni derivanti da apporti solari e carichi interni nel periodo considerato. Si considerano quindi i seguenti parametri:

- Ubicazione dell'edificio
- Orientamento
- Dimensione ed uso dei locali
- Materiali impiegati per la realizzazione di tutte le superfici opache disperdenti
- Numero e tipo di serramenti
- Tipo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento
- Quantità d'aria di rinnovo necessaria

Per quanto concerne le temperature interne da assumere alla base del calcolo, esse dipendono essenzialmente dal tipo di locale considerato e da tutte le altre eventuali esigenze particolari di climatizzazione. Come precedentemente detto, considereremo una temperatura interna di 20°C, che corrisponde alla temperatura massima fissata per edifici adibiti a residenza, ed una temperatura esterna costante pari alla minima di progetto, calcolata come media statistica delle temperature minime verificatesi nella zona in esame.

Il fabbisogno termico Q_h viene calcolato secondo la seguente equazione:

$$Q_h = Q_T + Q_V - \eta_h \cdot (Q_S + Q_I) - Q_{REC}$$

Dove:

Q_T = Perdita di calore per trasmissione (W)

Q_V = Perdita di calore per ventilazione (W)

η_h = Fattore di utilizzazione degli apporti termici (%)

Q_S = Guadagni solari durante il periodo di riscaldamento (W)

Q_I = Guadagni per carichi interni durante il periodo di riscaldamento (W)

Q_{REC} = Energia generata dal recuperatore attivo (se presente) (W)

Dispersioni per
trasmissione

Il calcolo delle dispersioni per trasmissione è stato effettuato tenendo conto delle trasmissioni verso l'esterno di elementi opachi e trasparenti e dei ponti termici. Si considerano inoltre le trasmissioni verso gli ambienti non riscaldati (garage, cantine e vano scala) e delle trasmissioni verso il terreno calcolate secondo la normativa EN13370.

La formula che regola lo scambio termico per trasmissione in regime stazionario attraverso una superficie è:

$$Q_T = U \cdot S \cdot (t_i - t_e) \cdot C$$

Dove:

U = Trasmittanza unitaria della parete (W/m²K)

S = Superficie dell'elemento disperdente (m²)

t_i = Temperatura interna (C°)

t_e = Temperatura esterna (C°)

C = Coefficiente correttivo che tiene conto dell'orientamento

Alle dispersioni superficiali, così calcolate, devono essere sommate le dispersioni dovute ai ponti termici, ossia in corrispondenza delle giunzioni tra gli elementi strutturali, che costituiscono zone di concentrazione del flusso termico con conseguente raffreddamento delle zone più prossime al giunto. I ponti termici considerati riguardano:

- zone d'angolo tra pareti esterne
- nodi tra muro e solaio controterra
- nodi tra muro e pavimento su locale non riscaldato
- nodi tra muri esterni e solai interpiano
- nodi tra muri esterni e copertura
- perimetri di tutti i serramenti

Più in generale si è tenuto conto di tutti i giunti fra elementi aventi coefficienti di trasmissione differenti.

Per il calcolo del flusso di calore si ricorre ad un coefficiente lineare k che dipende dalla tipologia di ponte termico e degli elementi costruttivi che lo compongono secondo quanto descritto dalla norma UNI EN ISO 14683. Il coefficiente k viene moltiplicato per la lunghezza L del giunto interessato.

Considerando un ambiente con pareti impermeabili, un aumento di temperatura comporta un aumento di pressione dell'aria che tenderà quindi ad uscire. Per questo motivo si instaurano moti di circolazione d'aria attraverso gli elementi strutturali, le fessure e i punti di connessione dei serramenti, generati dall'aria fredda che entra dalla parte più bassa ed aria calda che fuoriesce dalla parte superiore dell'ambiente.

Il calore scambiato dal singolo ambiente con l'esterno durante il periodo di riscaldamento è dato da:

$$Q_v = H_{ve} \cdot (t_i - t_e) \cdot gg$$

Dove gg è il numero di giorni del periodo di riscaldamento definito dalla normativa (dal 15/10 al 15/4) e H_{ve} (J/K) rappresenta le dispersioni per ventilazione dell'ambiente interno verso l'esterno e può essere calcolato con la seguente formula:

$$H_{ve} = \rho_a \cdot C_a \cdot n \cdot V/3600$$

Dove:

Dispersioni per
ventilazione

ρ_a = Densità dell'aria (kg/m³)
 C_a = Calore specifico dell'aria a pressione costante (J/kgK)
 n = Numero di ricambi di aria (UNI 11300) (vol/h)
 V = Volume dell'ambiente (m³)

Tabella 37, Dati per il calcolo delle dispersioni per ventilazione, Fonte autore tesi

ρ_a (kg/m ³)	C_a (J/kgK)	n ambiente residenziale (vol/h)
1200	1000	0,3

Apporti termici gratuiti

Gli apporti termici gratuiti sono stati valutati considerando i guadagni solari ed i carichi interni per il periodo di riscaldamento.

Gli apporti solari dipendono dall'insolazione normalmente disponibile nella località interessata, dall'orientamento delle superfici esposte alla radiazione, dalla presenza di elementi che provochino ombreggiatura permanente e dalle caratteristiche di assorbimento delle superfici soleggiate.

I guadagni solari sono valutati mediante la seguente formula:

$$Q_s = N \cdot H_s \cdot \Sigma(A_L \cdot F_T \cdot F_S \cdot g) \cdot f_s$$

Dove:

N = Numero di giorni del mese
 H_s = Irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie trasparente (kWh/m²)
 A_L = Area effettiva delle finestra
 F_T = Coefficiente di riduzione dovuto al telaio
 F_S = Fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura
 g = Trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento
 f_s = fattore di correzione che tiene conto dell'incidenza dei raggi solari rispetto alla superficie interessata

I carichi termici interni sono dovuti agli apporti di calore che si generano internamente al locale (apparecchiature utilizzate, distribuzione e scarico delle acque, metabolismo umano).

Non tutti gli apporti gratuiti riescono ad essere sfruttati ai fini del bilancio energetico, per questo motivo si utilizza il coefficiente di utilizzazione η_h , che tiene conto del comportamento dinamico dell'edificio, riducendo gli apporti termici nel calcolo del fabbisogno totale di energia per il riscaldamento.

Utilizzando il software ProCasaClima e computando tutti i dati precedentemente esplicitati è stato valutato un fabbisogno di energia termica nel periodo invernale pari a 19 kWh/m²anno.

Tabella 38, Fabbisogno energetico invernale, Fonte autore tesi

FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA INVERNALE			
Q_T	Perdita di calore per trasmissione	(kWh/m ² anno)	29,97
Q_V	Perdita di calore per ventilazione	(kWh/m ² anno)	11,77
Q_I	Guadagni per carichi interni	(kWh/m ² anno)	-17,81
Q_S	Guadagni solari	(kWh/m ² anno)	-16,53
η_h	Fattore di utilizzazione degli apporti termici	%	66
Fabbisogno di energia termica invernale		(kWh/m ² anno)	19

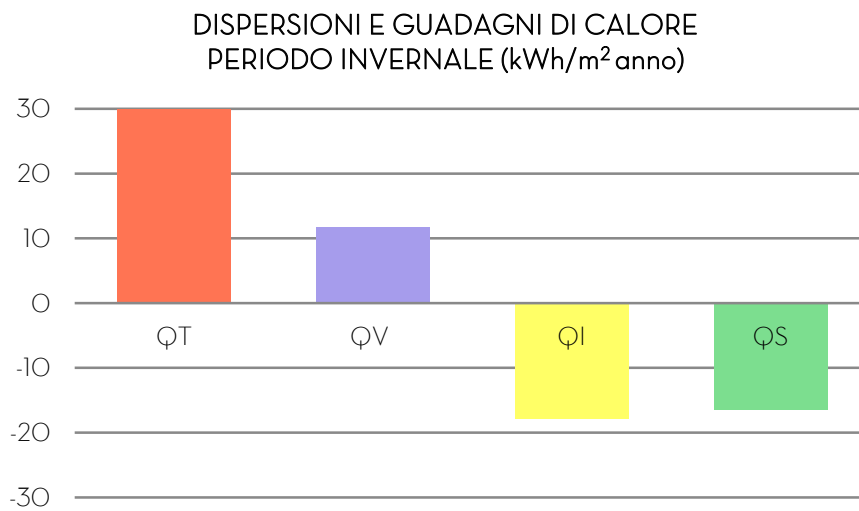


Figura 8.2, Grafico guadagni e perdite di calore nel periodo invernale. Fonte autore tesi

8.1.3 Fabbisogno energetico estivo

Durante il periodo estivo, al fine di mantenere all'interno degli ambienti le condizioni di temperatura ed umidità relativa che generino una situazione di comfort, si dovrà sottrarre il calore che, per trasmissione, infiltrazione ed irraggiamento, si trasmette all'interno dei locali ed il calore che si produce all'interno dei locali stessi.

Mentre nel caso del fabbisogno termico invernale sono state considerate condizioni di temperature stazionarie, nel periodo estivo è opportuno tenere conto anche delle variazioni di temperatura esterna, nelle varie ore del giorno.

La stima dei carichi termici nell'ambiente deve prevedere una valutazione di tutte le componenti che contribuiscono alla definizione dei carichi sensibili e latenti.

I contributi di calore sensibile sono quelli generati da:

- Radiazione solare attraverso elementi di chiusura
- Trasmissione attraverso elementi di chiusura
- Apporto interno all'ambiente dovuto alle persone, luci, apparecchiature elettriche.

I contributi di calore latente sono quelli generati da:

- Apporto di vapore dovuto a persone in ambiente
- Vapore prodotto in ambiente da eventuali apparecchiature presenti.

Il fabbisogno di raffrescamento totale è dato quindi dalla somma dei fabbisogni di raffrescamento sensibile e di raffrescamento per deumidificazione.

$$Q_C = Q_{C,sens} + Q_{deum}$$

Il fabbisogno di raffrescamento sensibile è stato valutato come:

$$Q_{C,sens} = Q_S + Q_I - \eta_C \cdot (Q_T + Q_V)$$

Dove:

Q_S = Carichi termici dovuti agli apporti solari

Q_I = Carichi termici interni

η_C = Fattore di utilizzo delle dispersioni termiche

Q_T = Perdite di calore per trasmissione durante il periodo di raffrescamento

Q_V = Perdite termiche per ventilazione durante il periodo di raffrescamento

Il fabbisogno di raffrescamento per deumidificazione invece dipende dalla quantità di vapore dovuta all'umidità prodotta dalle persone od eventuali altre sorgenti di vapore interne, oltre che all'immissione di aria esterna non trattata con contenuto di umidità generalmente maggiore di quello ambiente. Tale valore può essere stimato dalla conoscenza dei carichi sensibili con la seguente formula:

$$Q_{\text{deum}} = Q_{\text{Csens}} \cdot \left(\frac{\Delta h}{\Delta X} \cdot \frac{1}{c} - 1 \right)$$

Δh = Salto entalpico tra ambiente interno ed esterno (kJ/kg a.s.)

ΔX = Variazione di umidità assoluta tra esterno ed interno (g/kg)

c = Calore specifico del vapore d'acqua (1,86 kJ/kgK)

Tabella 39, Fabbisogno energetico estivo, Fonte autore tesi

FABBISOGNO ENERGETICO ESTIVO		
Q_T	Perdita di calore per trasmissione	(kWh/m ² anno) -7,803
Q_V	Perdita di calore per ventilazione	(kWh/m ² anno) -7,685
Q_I	Carichi interni	(kWh/m ² anno) 12,85
Q_S	Carichi termici solari	(kWh/m ² anno) 20,14
η_c	Fattore di utilizzo delle dispersioni termiche	% 98
Fabbisogno di raffrescameto sensibile		(kWh/m ² anno) 17,8
Fabbisogno di deumidificazione		(kWh/m ² anno) 5,3
Fabbisogno di raffrescameto totale		(kWh/m ² anno) 23,1

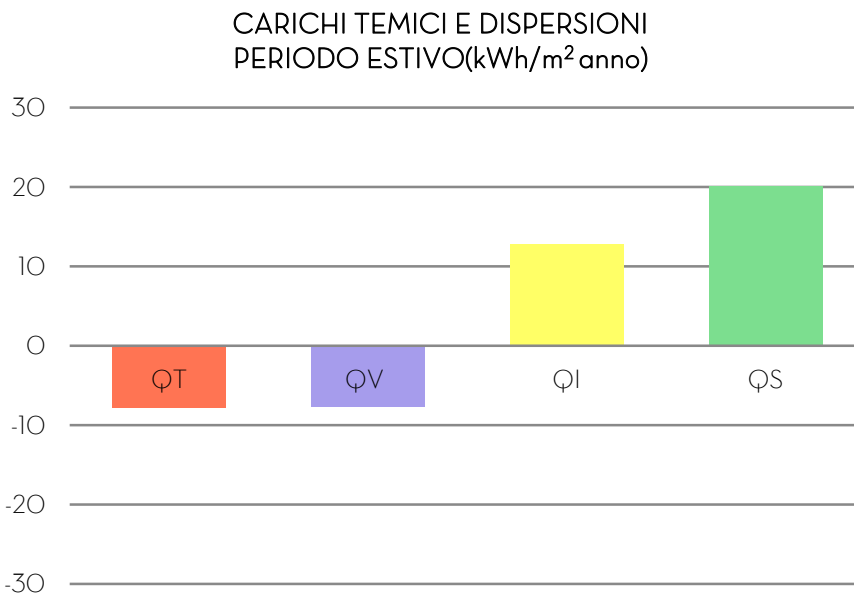


Figura 8.3, Grafico carichi termici e dispersioni nel periodo estivo. Fonte autore tesi

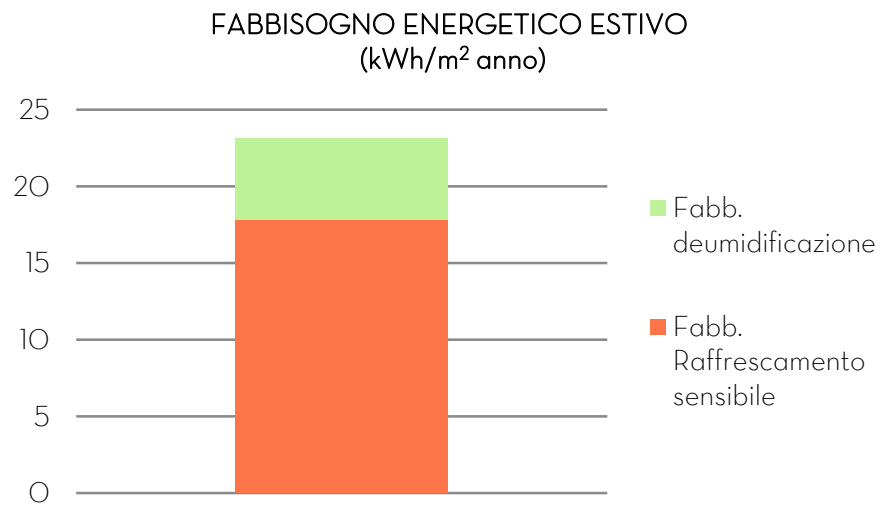


Figura 8.4, Fabbisogno energetico estivo. Fonte autore tesi

Classe prestazionale III secondo quanto previsto dal Decreto Ministeriale 26/6/2009.

8.2 Ventilazione meccanica controllata

La riqualificazione dell'involucro edilizio ha come principale obiettivo la limitazione delle dispersioni termiche mediante l'isolamento delle superfici di chiusura e la sostituzione dei serramenti esistenti con serramenti più performanti, con particolare attenzione all'isolamento dei giunti per limitarne i ponti termici. Questo tipo di soluzioni, che contribuiscono a ridurre i consumi energetici mediante l'incremento dell'inerzia termica, possono però creare problematiche legate alla difficoltà di smaltimento dell'umidità e alla possibile formazione di condensa, dovuta alla mancanza di ventilazione e al conseguente ristagno di aria inquinata nei locali.

Se nel periodo estivo è possibile sfruttare la ventilazione naturale degli ambienti, la cui efficacia è garantita dal doppio affaccio degli alloggi e alla disposizione delle finestre sui lati opposti degli ambienti, nel periodo invernale ciò comporterebbe perdite di energia e condizioni di discomfort dovute all'ingresso di aria troppo fredda.

E' possibile provvedere al rinnovo dell'aria e al mantenimento di ambienti igienicamente sani mediante l'utilizzo di unità di ventilazione, che consentano lo smaltimento dell'aria interna fornendo aria pulita dall'esterno. I sistemi di ventilazione meccanica controllata contribuiscono quindi, oltre che al mantenimento di condizioni di salubrità e comfort per gli utenti, alla limitazione del degrado dell'involucro edilizio.

Esistono due tipi di unità di ventilazione: a semplice flusso e a doppio flusso.

I sistemi a FLUSSO SEMPLICE realizzano l'aspirazione di aria dall'ambiente e la convogliano tramite canalizzazioni verso l'esterno, mentre la ripresa avviene tramite apposite feritoie posizionate sui muri perimetrali o sugli infissi. Di seguito si riportano i principali vantaggi e svantaggi che l'utilizzo di tali sistemi comporta:

SEMPLICE FLUSSO	
VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> • Controllo della portata d'aria • Possibilità di integrazione con la ventilazione naturale • Indipendenza dai fenomeni meteorologici incostanti o comportamenti casuali degli utenti • Adattabilità alle condizioni climatiche stagionali • Limitazione della rumorosità in ambiente • Controllo della velocità dell'aria in ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Impossibilità di controllo sulla quantità dell'aria di rinnovo • Perdita di energia nella stagione fredda • Ingresso di aria troppo calda in estate • Costo dell'impianto e della conduzione dello stesso

I sistemi a DOPPIO FLUSSO provvedono meccanicamente sia alla mandata che alla ripresa dell'aria in ambiente. L'immissione e l'estrazione dell'aria dall'ambiente avvengono mediante due circuiti separati di canalizzazioni e bocchette. L'aria di rinnovo viene spinta da un ventilatore lungo la canalizzazione e distribuita in ambiente da diffusori. I due flussi di aria sono coordinati con un sistema di regolazione. Attraverso l'uso del recuperatore di calore e dei filtri è possibile recuperare energia termica dall'aria di espulsione e trattare l'aria di rinnovo prima di immetterla nell'ambiente. Di seguito si illustrano i principali vantaggi e svantaggi che l'utilizzo di tali sistemi comporta:

DOPPIO FLUSSO	
VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> • Possibilità di controllo dell'aria di rinnovo • Possibilità di abbinare un recuperatore di calore con conseguente risparmio energetico • Controllo della portata d'aria • Possibilità di integrazione con la ventilazione naturale • Indipendenza dai fenomeni meteorologici incostanti o comportamenti casuali degli utenti • Adattabilità alle condizioni climatiche stagionali • Limitazione della rumorosità in ambiente • Controllo della velocità dell'aria in ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo dell'impianto e della conduzione dello stesso

Sulla base delle osservazioni riportate si è scelto di integrare un sistema di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso con recuperatore di calore, che consenta, oltre all'immissione in ambiente di aria "pulita" e all'estrazione dell'aria "viziata", uno scambio di calore tra i due flussi all'interno della macchina stessa. L'energia termica del flusso più caldo viene ceduta al flusso più freddo con conseguente risparmio energetico.

Dimensionamento dell'impianto di ventilazione

Per la scelta del sistema di ventilazione meccanica sono stati prima valutati la portata d'aria necessaria per la ventilazione di ogni alloggio e il flusso termico che deve essere fornito agli ambienti per sopperire alle infiltrazioni di aria esterna.

Il valore del ricambio d'aria necessario in ogni unità abitativa è stato calcolato in relazione al numero di utenti o al volume del locale (UNI 10339).

Il flusso termico che si deve fornire ad un ambiente per sopperire alle infiltrazioni di aria esterna è determinato con la seguente formula:

$$Q_v = P \cdot C_s \cdot \Delta t$$

Dove:

P= Portata del ricambio d'aria (m³/h)

C_s= 0,33 Wh/m³°C, calore specifico dell'aria supponendone la densità 1,2 Kg/m³

Δt= 25°C

Tabella 40 Portata e flusso termico di ventilazione per alloggio, Fonte Autore tesi

FLUSSO TERMICO Q _v									
ALLOGGIO		Sup. (m ²)	Vol. (m ³)	N° Utenti	Ricambi d'aria per persona (m ³ /h)	Ricambi d'aria (vol. amb./h)	P (m ³ /h)	P Tot. (m ³ /h)	Q _v (w)
M2	Alloggio			2	35		70	173	1431
	Cucina	27	73			1	73		
	Bagno	11	31			1	31		
T1	Alloggio	56		2	35		70	142	1171
	Cucina	22	58			1	58		
	Bagno	5,1	14			1	14		
B1	Alloggio	51		2	35		70	96	789
	Cucina	5	14			1	14		
	Bagno	4,5	12			1	12		
B1	Alloggio	44		2	35		70	97	798
	Cucina	5	14			1	14		
	Bagno	4,9	13			1	13		
T1	Alloggio	70		3	35		105	137	1134
	Cucina	5	14			1	14		
	Bagno	7	19			1	19		
T2	Alloggio	75		4	35		140	167	1379
	Cucina	5	14			1	14		
	Bagno	5,1	14			1	14		
M1	Alloggio	33		2	35		70	94	775
	Cucina	5	14			1	14		
	Bagno	3,9	10			1	10		
M1	Alloggio	34		2	35		70	93	771
	Cucina	5	14			1	14		
	Bagno	3,7	9,9			1	9,9		
Q1	Alloggio	80		3	35		105	145	1196
	Cucina	9,8	26			1	26		
	Bagno	5	14			1	14		

ALLOGGIO		Sup. (m ²)	Vol. (m ³)	N° Utenti	Ricambi d'aria per persona (m ³ /h)	Ricambi d'aria (vol. amb./h)	P (m ³ /h)	P Tot. (m ³ /h)	Q _{v,w}
D1	Alloggio	88		4	35		140	195	1611
	Cucina	13	35			1	35		
	Bagno	5,1	20			1	20		
D2	Alloggio	92		3	35		105	142	1171
	Cucina	6,7	18			1	18		
	Bagno	4,7	19			1	19		
D3	Alloggio	100		3	35		105	139	1143
	Cucina	5	14			1	14		
	Bagno	5	20			1	20		
D4	Alloggio	114		4	35		140	205	1687
	Cucina	15	41			1	41		
	Bagno	6	24			1	24		

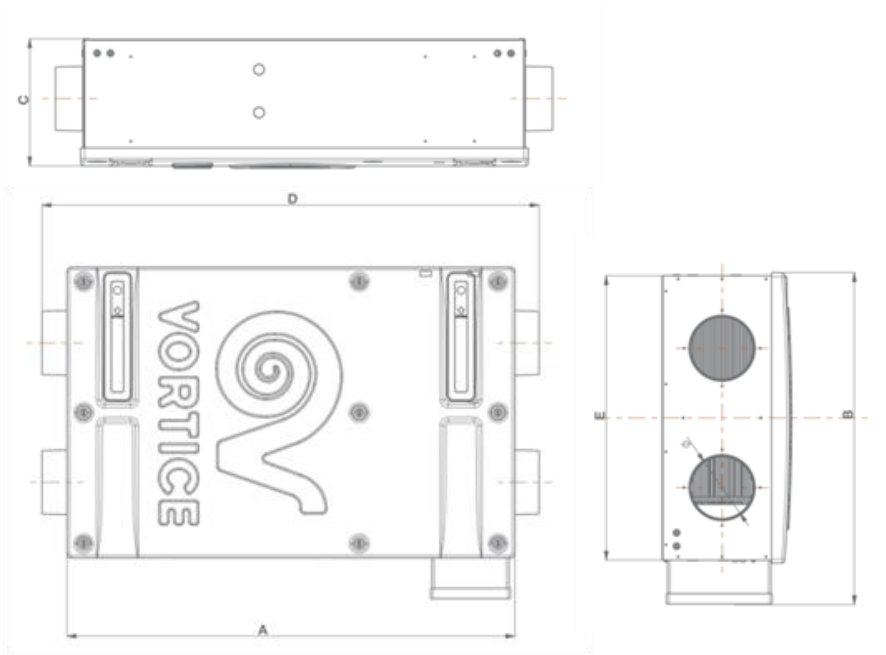
Sulla base delle analisi riportate si è scelto di utilizzare sistemi di ventilazione del tipo VORT HRI 200 PB PHANTOM e VORT HRI 350 PB PHANTOM, in funzione delle portate necessarie per la ventilazione dell'alloggio. Le portate massime sono rispettivamente 200 m³/h e 350 m³/h. Tali sistemi sono dotati di scambiatore di calore a flussi incrociati in controcorrente che garantiscono elevati valori di efficienza di scambio termico. Negli impianti è inserita una valvola di By-pass che consente la ventilazione diretta in caso di isotermità con conseguente risparmio energetico. I flussi di aria in entrata e in uscita sono separati e adeguatamente filtrati mediante due filtri F5.



Figura 8.5, Sistema di ventilazione VORT HRI PHANTOM. Fonte Vortice

Le parti esterne sono in lamiera d'acciaio zincata rivestita internamente di materiale fonoassorbente resistente al fuoco (DIN EN 13501). Le

dimensioni ridotte (HRI 200:868 x 643x248, HRI 350:144x740x288) ne consentono l'inserimento nel controsoffitto ispezionabile.



Modelli	Codice	A	B	C	D	E	Ø
VORT HRI 200 PHANTOM	11290	868	643	248	963.5	551	125
VORT HRI 200 PHANTOM BP	11291						
VORT HRI 350 PHANTOM	11292	1183	740	288	1287	650	150
VORT HRI 350 PHANTOM BP	11293						

Quote (mm)

Figura 8.6, Dimensioni sistema di ventilazione. Fonte Vortice

L'elevata efficienza del recupero di calore (fino al 93%) consente di ridurre i consumi energetici. Anche nel caso più critico, in cui la portata richiesta è di 204,5 m³/h, il rendimento risulta essere superiore al 90%.

Rendimento dell'impianto di ventilazione

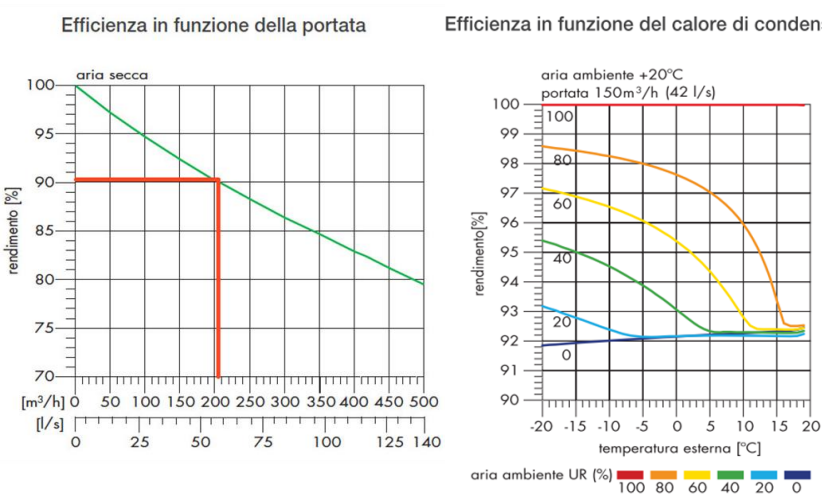


Figura 8.7, Grafici rendimento impianto di ventilazione. Fonte Vortice

Valvola di By-pass

Il By-pass è un dispositivo che consente, nel caso in cui la temperatura esterne coincida con quella interna desiderata, di escludere lo scambiatore mediante l'apertura di una valvola permettendo in questo modo la ventilazione diretta.

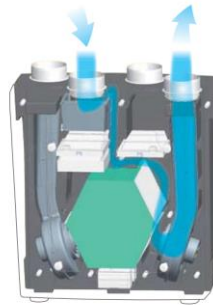


Figura 8.8, Impianto di ventilazione con sistema By-pass. Fonte vortice

Filtri

L'aria che respiriamo contiene un numero elevato di particelle dannose , più del 90% di queste particelle hanno dimensioni inferiori ad 1 μm . Esse sono ad esempio:

- particelle fini emesse da autoveicoli e dagli impianti di riscaldamento
- virus
- batteri

Per questo motivo è importante utilizzare sistemi di ricambio d'aria che siano dotati di filtri ad alta efficienza, che consentano il trattamento della maggior parte di queste particelle nocive. Il filtraggio dell'aria immessa negli ambienti contribuisce a preservare la salute e il benessere degli utenti.

I filtri sono classificati dalla normativa europea EN779 in due classi principali in base alla loro efficienza di filtrazione:

- Tipo G: filtro a maglie larghe
- Tipo F: filtro a maglie fini

I sistemi di ventilazione scelti sono dotati di due filtri F5 dedicati uno all'aria in immissione e uno alla protezione dello scambiatore. E' possibile aggiungere un filtro F7 per il condotto di aspirazione.

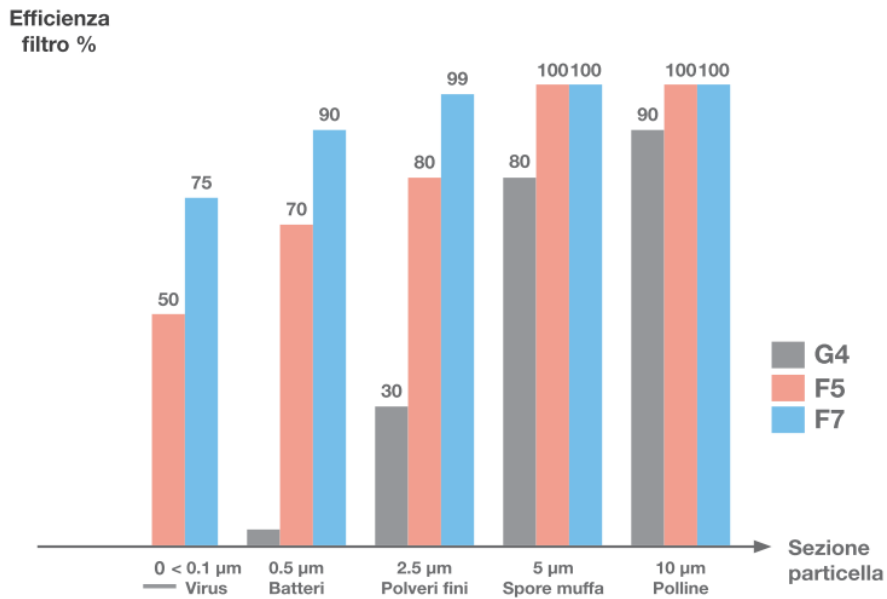


Figura 8.9, Efficienza dei filtri di ventilazione. Fonte Vortice

I sistemi di canalizzazione scelti sono a sezione circolare in PVC con attacchi di diametro nominale 125 e 150 mm, in funzione della portata d'aria.

La scelta di tubazioni lisce garantisce un maggior livello d'igiene e basse perdite di carico. Oltre ai canali, sono stati scelti gli accessori necessari per la corretta canalizzazione dell'aria che comprendono: giunti a T e raccordi angolari per i cambi di direzione, riduttori per il cambio di sezione dei tubi, bocchette di estrazione e diffusori rispettivamente per l'aspirazione e l'immissione dell'aria in ambiente.

Accessori dell'impianto



Figura 8.10, Accessori e componenti dell'impianto di ventilazione. Fonte Vortice

8.3 Impianto di climatizzazione

Come è stato detto precedentemente l'edificio è già dotato di un impianto di riscaldamento centralizzato a radiatori. Per il periodo estivo è possibile prevedere che, il sistema di ventilazione meccanica unitamente alle strategie progettuali di tipo passivo, quali il doppio affaccio degli alloggi e gli elementi di oscuramento mobili, possano contribuire a ridurre i carichi termici. Per garantire le condizioni di comfort microclimatico negli ambienti anche nelle condizioni più critiche si è comunque scelto di integrare un sistema di climatizzazione per il raffrescamento dei locali.

Poiché ogni alloggio è dotato sistema di ventilazione con recuperatore di calore e di canali di ventilazione a controsoffitto, è possibile provvedere alla climatizzazione mediante la sola aggiunta di una macchina refrigerante che garantisca il raggiungimento delle condizioni desiderate nell'ambiente (26 °C; 60% U.R.)

Lo scarico della condensa avviene nei pluviali collocati in prossimità del posizionamento delle macchine.

Considerando come alloggio tipo l'alloggio duplex di 114 mq esposto ad est, si valuta che la potenza di raffrescamento necessaria è di 2450 W, tenendo conto anche del contributo dell'impianto di ventilazione che, nel periodo estivo, incrementa le perdite di calore per ventilazione, ma contribuisce all'aumento dei carichi interni.

Una macchina del tipo VORT-ICE I 12 UE garantisce il raggiungimento delle condizioni desiderate nell'ambiente, funzionando a temperature che si elevano fino a + 43°C.

Tabella 41, Dati VORT-ICE DUAL UE, Fonte Vortice

DATI TECNICI VORT-ICE DUAL UE	
Carica standard refrigeratore (g)	1050
Corrente nominale raffreddamento (A)	4,5
Numero Fasi (Ph)	1
Potenza assorbita raffreddamento (W)	980
Tipo di refrigeratore	R410A
Potenza sonora Lw (dB(A)) max velocità	62
Potenza raffreddamento (BTU/h)	11 864
Potenza raffreddamento (W)	3 500

La macchina ha potenza di riscaldamento pari a 3500 W, è pertanto in grado di soddisfare il fabbisogno di raffreddamento anche nell'alloggio considerato che è quello soggetto alle condizioni più critiche.

8.4 Impianto fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico converte l'energia solare in energia elettrica, grazie alle proprietà fisiche di alcuni particolari elementi definiti semiconduttori. L'elemento base della tecnologia fotovoltaica è rappresentato dalla cella, che consiste in una porzione piana di materiale semiconduttore, di spessore estremamente ridotto, alla quale vengono applicati dei contatti elettrici.

Il materiale più comunemente usato per le celle fotovoltaiche è il silicio cristallino. Attualmente infatti esso offre le migliori prestazioni in termini di rapporto qualità/costo. La sua facile reperibilità, inoltre ne costituisce un ulteriore incentivo all'utilizzo, anche se si riscontrano ancora costi di produzione piuttosto elevati associati soprattutto al trattamento del materiale. Per essere opportunamente sfruttato infatti esso deve essere caratterizzato da un'adeguata struttura molecolare, che può essere monocristallina, policristallina o amorfa nonché da un elevato grado di purezza intesa come assenza di sostanze estranee, entrambe proprietà non presenti nell'elemento allo stato grezzo.

All'interno del modulo fotovoltaico le celle vengono connesse in serie o in parallelo, in base alla tipologia di tensione che si vuole ottenere. A loro volta più moduli sono connessi tra loro in serie o in parallelo realizzando una stringa che viene collegata in parallelo con altre stringhe andando a costituire un generatore fotovoltaico.

Il solo insieme dei moduli, tuttavia, non è sufficiente per approvvigionare l'utenza servita di energia elettrica, nei tempi e nei modi da essi richiesti. I pannelli infatti devono essere inseriti all'interno di un sistema articolato composto dall'integrazione di vari dispositivi, capaci di agevolare e regolarizzare, per quanto possibile, lo sfruttamento della fonte solare. Comunemente si parla di impianto o sistema fotovoltaico, inteso come il complesso di tutti gli elementi, anche non strettamente fotovoltaici, che consentono la conversione in elettricità della radiazione solare. Tra questi gli elementi principali sono il generatore, l'inverter e il misuratore di energia.

Il generatore capta la radiazione solare e la trasforma in corrente continua durante il giorno.

L'inverter trasforma l'energia elettrica da corrente continua ad alternata, rendendola idonea alle esigenze delle comuni apparecchiature elettriche.

I misuratori di energia servono a controllare e contabilizzare la quantità di energia elettrica prodotta e scambiata con la rete.

Per i sistemi fotovoltaici è possibile individuare tre differenti soluzioni impiantistiche alle quali fanno capo, con aggiustamenti più o meno marcati, tutte le realizzazioni.

I sistemi isolati, o *stando alone*, sono sistemi utilizzati perlopiù per utenze isolate, di dimensioni medio- piccole, non servite dalla rete elettrica, per le quali l'attivazione di una rete elettrica tradizionale, realizzata portando fisicamente sul posto i cavi di collegamento ad una centrale remota, potrebbe avere costi difficilmente ammortizzabili.

Per i sistemi isolati è necessario assicurare la continuità dell'alimentazione anche nei momenti in cui l'insolazione risulta insufficiente. A questo scopo l'impianto viene integrato con un sistema di stoccaggio dell'energia

Sistemi *stand alone*

elettrica costituito generalmente da un banco di batterie ricaricabili. Il generatore viene dimensionato in modo da svolgere nei periodi di buona disponibilità della radiazione solare una doppia funzione, e cioè l'alimentazione dell'utenza collegata e, contemporaneamente, la ricarica degli accumulatori. Le batterie a loro volta devono essere dimensionate in modo da poter garantire un'autonomia di funzionamento di alcuni giorni, prevedendo anche la possibilità che, in presenza di situazioni climatiche particolarmente avverse, possa venir meno per un periodo prolungato un sufficiente irraggiamento solare. Sulla base di queste considerazioni, per maggiore sicurezza, molto spesso si integra il sistema isolato con un gruppo elettrogeno di tipo tradizionale da usare in caso di emergenza.

Sistemi *grid connected*

Dove la rete è presente, si preferisce evitare l'accumulo e usare la rete stessa, sia come elemento tampone, in grado di fornire l'energia elettrica necessaria nei periodi di scarsa disponibilità di irraggiamento solare, che di raccogliere l'energia in eccesso nei periodi di sovrapproduzione. Tali sistemi sono definiti pertanto sistemi connessi alla rete o *grid connected*. I sistemi connessi alla rete non necessitano di batterie di accumulo, l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici, dopo essere stata convertita da continua in alternata tramite un inverter, viene consumata dall'utenza collegata oppure viene immessa direttamente nella rete, mentre un doppio contatore registra il rapporto tra energia ceduta alla rete ed energia prelevata da essa.

Sistemi di utilizzo diretto

In alcuni casi, piuttosto rari, il carico elettrico dipende totalmente dalla produzione fotovoltaica. Si parla allora di sistemi ad utilizzo diretto caratterizzati dall'assenza di sistemi di stoccaggio o smaltimento della produzione in eccesso, quanto sistemi ausiliari di integrazione del fabbisogno. Tale soluzione risulta adeguata quando i tempi delle necessità di utilizzo di corrente elettrica presentano un marcato parallelismo con la disponibilità di radiazione solare nel sito in oggetto (es: apparecchi per la ventilazione forzata di collettori solari)

Scelta effettuata

Analizzando le principali caratteristiche di ognuno dei sistemi, appare evidente che il sistema più idoneo alla fornitura di energia elettrica per una palazzina plurifamiliare in una zona urbana, che dispone della rete elettrica, sia quindi il sistema *grid connected*.

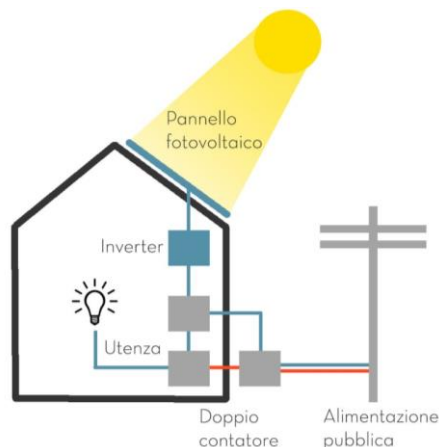


Figura 8.11, Schema sistema *grid connected*. Fonte autore tesi

8.4.1 Fabbisogno di energia elettrica

Un sistema fotovoltaico viene concepito e realizzato allo scopo di alimentare del tutto o in parte i consumi elettrici dell'utenza collegata. La tipologia e il dimensionamento dell'installazione, ovviamente, sono condizionate dalla relativa domanda di energia, che è il fattore di maggiore influenza per le scelte che guidano la prassi di progettazione.

Il primo passo per la definizione dell'impianto fotovoltaico è stato quindi la valutazione dell'entità dei fabbisogni di energia elettrica dell'edificio. Essa è stata determinata calcolando i fabbisogni dei singoli alloggi e degli spazi comuni. Si è tenuto conto di tutte le apparecchiature elettriche che, si può ipotizzare, verranno impiegate dall'utenza servita e delle relative ore di esercizio, al fine di comporre un quadro completo dei consumi previsti.

Il consumo di energia di ogni dispositivo è definito dalla relazione:

$$E = P \times \tau$$

Dove:

E = Energia elettrica consumata dall'apparecchio in oggetto (kWh)

P = Potenza elettrica dell'apparecchio (W)

τ = Tempo di funzionamento dell'apparecchio (h)

Tra i consumi relativi agli spazi comuni condominiali è stato valutato il consumo standard di energia dell'ascensore mediante la seguente formula:

$$E = \frac{Z \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot h_{max} \cdot P_m}{3600v}$$

Dove:

E = Consumo energetico annuo (kWh/anno)

Z = Numero di cicli di corse annue

K_1 = Fattore di carico medio (trazione = 0,35; trazione + rigenerativo = 0,21; idraulico = 0,3)

K_2 = Fattore di altezza del vano (due piani = 1; altro = 0,5)

P_m = Potenza del motore (kW)

V = Velocità dell'ascensore (m/s)

È stato considerato un numero di partenze giornaliere pari a 258, tenendo conto di due picchi da due ore, nei quali si ipotizzano 35 partenze ora, otto ore di uso standard, nel quale si effettuano 14 partenze ora e sono state stimate 6 corse aggiuntive nelle ore serali. Secondo queste valutazioni è stato quindi definito il numero di cicli di corse annue $Z=94\ 170$.

Tabella 42, Consumo energetico ascensore, Fonte autore tesi

CONSUMO ENERGETICO ANNUO ASCENSORE						
Z	K1	K2	h_{max} (m)	P_m (kW)	v (m/s)	E (kWh/anno)
94170	0,21	0,5	16	4	1	175,784

Luci, segnalazione e ventilazione possono consumare una notevole quantità di energia anche quando l'ascensore non è in movimento. In un ascensore questo può rappresentare una quota considerevole dei costi annui per l'energia. Per ridurre al minimo il consumo energetico si è scelto un ascensore con le seguenti caratteristiche:

- Sistema di trazione rigenerativo, che è in grado di recuperare l'energia generata quando la cabina scende a pieno carico o sale parzialmente vuota
- Funzionamento automatico delle luci in cabina, che comanda il loro spegnimento quando la cabina non è in uso e la loro riaccensione quando la cabina riceve una chiamata.
- Stadio di potenza del sistema di trazione, che passa alla modalità di riposo quando non è in uso.
- Ventilatore in cabina, che si spegne quando l'ascensore non è in uso.
- Illuminazione in cabina eco-efficiente. Le luci LED sono ottimizzate per la massima efficienza, hanno una durata maggiore rispetto alle lampadine alogene tradizionali e consumano l'80% in meno di energia.

I calcoli relativi alla stima del fabbisogno di energia elettrica di ogni tipologia di alloggio e degli spazi comuni sono riportati nell' **Allegato L**. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva relativa all'entità di carico complessivo su base annua.

Tabella 43, Fabbisogno di energia elettrica, Fonte autore tesi

FABBISOGNO ENERGIA ELETTRICA (kWh/anno)				
ALLOGGIO	N°	Consumo inverno (kWh/g)	Consumo estate (kWh/g)	Consumo annuo (kWh/anno)
MONOLOCALE	5	6,37	5,12	2096,85
BILOCALE	2	6,40	5,10	2097,76
TRILOCALE	3	6,55	5,20	2144,30
QUADRILOCALE	1	6,56	5,20	2146,12
DUPLEX	4	6,69	5,29	2187,19
CONSUMI CONDOMINIALI		13,25	11,15	4628,78
TOTALE				36636,32

Tenendo conto dei fabbisogni di energia elettrica dei singoli alloggi e degli spazi ad uso comune condominiali, si è quindi stimato un fabbisogno di energia elettrica di 36.636,32 kWh/anno.

Il passo successivo consiste nella valutazione delle capacità produttive dell'impianto fotovoltaico per verificare l'attitudine del sistema a soddisfare in tutto o in parte l'esigenza dell'utenza che andrà a servire.

8.4.2 Dimensionamento dell'impianto fotovoltaico

Le celle fotovoltaiche scelte per l'integrazione nei pannelli di copertura HABITAT sono del tipo SUN POWER E20-327. Le celle sono in silicio, costruite su una base in rame.

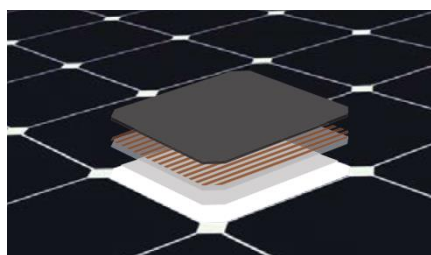


Figura 8.12, Celle fotovoltaiche. Fonte Sun Power

All'energia elettrica prodotta dalle celle SUN POWER si somma il contributo delle celle fotovoltaiche integrate nei frangisole a sud est. Le pale WICSOLAIRE sono composte da un elemento in alluminio sagomato che integra i moduli fotovoltaici. Questi ultimi sono costituiti da sette celle in silicio monocristallino quadrate assemblate con vetro temprato prismatico dello spessore di 4 mm. La dimensione dei singoli pannelli è di 1200x185mm. La struttura in alluminio è composta da un tubo centrale e supporti pressofusi.

Le prestazioni dell'impianto fotovoltaico sono state stimate secondo la seguente formula

$$E_{PV} = \eta_{BOS} * K_{PV} * P_{PV} * S$$

Dove:

E_{PV} = Energia elettrica producibile dall'impianto fotovoltaico

η_{BOS} = Efficienza della componentistica non fotovoltaica del sistema, dipendente dalle perdite dovute ai cablaggi e all'inverter (varia mediamente tra 0,8 e 0,9)

K_{PV} = Fattore di riduzione che tiene in considerazione fenomeni come il surriscaldamento dei pannelli, depositi di polvere sui vetri di protezione, perdite nei circuiti (convenzionalmente si assume 0,9)

P_{PV} = Potenza nominale del generatore fotovoltaico (kW_p)

S = Radiazione solare incidente sulla superficie dei moduli (kWh/m²anno)

Il valore della radiazione solare globale per il comune di Cinisello Balsamo è stato ricavato sulla base dei dati dell'archivio climatico BDT ENEA. Il valore annuale si calcola moltiplicando i valori medi mensili per il numero dei giorni del mese e sommando i valori così ottenuti.

Tabella 44, Radiazione solare annua Comune di Cinisello Balsamo, Fonte archivio climatico DTB ENEA

RADIAZIONE SOLARE GLOBALE SU PIANO ORIZZONTALE (kWh/m ²)												
Valore medio mensile												
gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	
1,71	2,72	3,64	4,82	5,74	6,36	6,41	5,15	4,14	2,52	1,74	1,37	
Valore annuo												1410,5

Tabella 45, Produzione di energia elettrica fotovoltaica

PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA FOTOVOLTAICA							
TIPOLOGIA		P			P _{PV}	S	E _{PV}
PANNELLO	N°	(Wp)	η_{BOS}	K _{PV}	(kWp)	(kWh/m ²)	(kWh/anno)
SUNPOWER	33	343	0,9	0,9	11,319	1410,5	12932
WICSOLAIRE	120	28	0,9	0,9	3,36	1410,5	3839
TOTALE							16771

Si è scelto di utilizzare solo una porzione della superficie di copertura esposta a sud per l' integrazione dei pannelli fotovoltaici, al fine di destinarne una parte all'installazione dei collettori solari per la produzione d' acqua calda sanitaria.

L'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico è di 16771kWh/anno ed è in grado di coprire totalmente il fabbisogno di energia elettrica degli spazi comuni ad uso condominiale e di fornire un contributo pari al 38% alla produzione di energia elettrica per gli alloggi.

L'impianto è dotato di un inverter con ingressi DC al quale sono connesse le nove stringhe collegate ai pannelli.

8.5 Collettore solare

Il pannello solare termico o collettore solare è un dispositivo in grado di convertire la radiazione solare in energia termica e di trasferire l'energia generata all'acqua circolante nel circuito.

Un sistema solare termico normalmente è composto da un pannello e da uno scambiatore. Il primo riceve l'energia, nel secondo circola il fluido necessario per il suo trasferimento al serbatoio, nel quale viene immagazzinata l'energia di accumulo.

Il sistema può avere due tipi di circolazione: circolazione naturale e circolazione forzata.

I sistemi solari a circolazione naturale garantiscono la produzione d'acqua calda senza alcun tipo di pompa o regolatore, poiché la circolazione del fluido termovettore avviene per convezione: il liquido riscaldandosi si dilata e galleggia. Il collettore (1) assorbe l'energia del sole e la trasferisce al fluido termovettore (2) che passa al suo interno, per trasportare il calore al bollitore (3) grazie alla naturale spinta ascensionale. Nel bollitore il calore viene ceduto all'acqua, di conseguenza il liquido solare si raffredda e scende ancora al collettore (4). Qui viene nuovamente riscaldato e torna a risalire verso il bollitore in un ciclo continuo. Questa tipologia è più semplice di quella forzata, infatti non comporta consumi elettrici dovuti alla pompa di calore di circolazione o alla centralina solare differenziale presenti invece nel sistema a circolazione forzata. Il principale limite individuabile in tale sistema è che, in mancanza della radiazione solare, il liquido solare non si riscalda e il circuito si ferma. Per questo motivo è buona norma integrare sempre una resistenza elettrica per il riscaldamento dell'acqua in caso di insufficienza dell'irradiazione.

Sistemi a circolazione
naturale

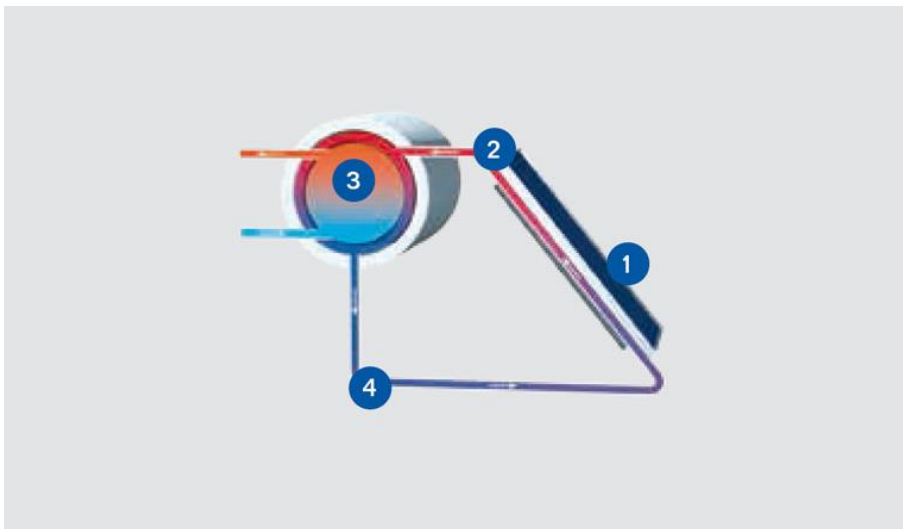


Figura 8.13, Sistema solare termico a circolazione naturale. Fonte Buderus

Nei sistemi solari a circolazione forzata, i raggi del sole riscaldano i collettori (1) che cedono il calore al fluido solare. Quando la temperatura all'interno del collettore supera la temperatura dell'accumulatore, la pompa di circolazione della stazione completa (2) trasporta il liquido riscaldato fino all'accumulatore-produttore di acqua calda (3). Uno

Sistemi a circolazione
forzata

scambiatore di calore trasferisce il calore all'acqua calda sanitaria. Questa soluzione è in grado quindi di garantire la produzione di acqua calda sanitaria indipendentemente dalle condizioni meteoriche esterne. Disponendo di una superficie di collettori solari maggiore e di un accumulatore combinato, è possibile integrare anche il riscaldamento delle abitazioni garantendo, con l'attivazione della caldaia (4), il comfort di riscaldamento anche con poca radiazione solare.

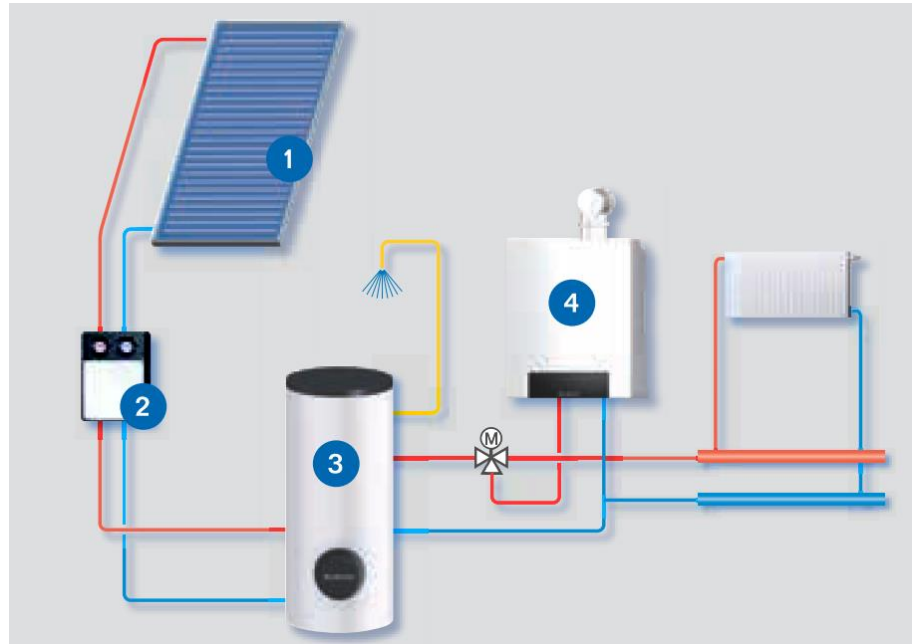


Figura 8.14, Sistema solare termico a circolazione forzata. Fonte Buderus

Scelta effettuata

Si è scelto di integrare un sistema a circolazione forzata per la sola produzione di acqua calda sanitaria, in quanto la superficie a disposizione per l'integrazione dei pannelli non è sufficiente a soddisfare anche il fabbisogno termico di riscaldamento. Il sistema progettato è dotato inoltre di uno scaldacqua, alimentato direttamente dall'impianto solare termico, che entra in funzione solo nel caso in cui la temperatura dell'acqua raggiunta mediante l'energia solare non sia sufficiente a soddisfare il fabbisogno.

I pannelli utilizzati sono del tipo Buderus Lagasol, di due differenti misure per ottimizzarne l'integrazione nei pannelli di copertura HABITAT. I collettori sono realizzati in fibra di vetro e dotati di una struttura a tenuta ermetica con riempimento di gas inerte. L'assorbitore ad intercapedine a superficie piana in rame assicura un buon flusso turbolento anche in caso di ridotte portate. Il trattamento della superficie in PVD aumenta la resistenza all'usura dell'assorbitore e ne limita l'impatto ambientale.

Fabbisogno

Per il dimensionamento della superficie di pannelli radianti per prima cosa è stato valutato il fabbisogno di energia termica dell'utenza.

L'energia termica necessaria per scaldare una quantità d'acqua alla temperatura desiderata è calcolata secondo la seguente formula:

$$Q_w = C_s \cdot V_w \cdot (T_w - T_o) \cdot gg / 3600$$

Dove:

C = Calore specifico dell'acqua (kJ/l °C)

V_w = Volume di acqua richiesta (l/g)

T_w = Temperatura di erogazione (°C)

T_o = Temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria (°C)

gg = Giorni nel periodo di interesse

Per il calcolo dei volumi di acqua calda per usi igienico sanitari si fa riferimento convenzionalmente ad una temperatura di erogazione di 45 °C. La temperatura di ingresso fa riferimento alla temperatura dell'acquedotto del Comune di Cinisello Balsamo. Il salto termico di riferimento ai fini del calcolo del fabbisogno di energia utile è quindi 35 K.

I volumi di acqua sono stati valutati secondo quanto indicato dalla norma UNI TS 11300-2:

- 260 litri/giorno per alloggi con un solo bagno
- 340 litri/giorno per alloggi con due bagni

Il fabbisogno teorico viene calcolato mediante il fattore di contemporaneità (F_c) per tenere conto del fatto che non tutti i punti di erogazione vengono utilizzati contemporaneamente. Si è ipotizzato quindi un uso contemporaneo del 70%.

Tabella 46, Fabbisogno volumi di acqua per ACS, Fonte autore tesi

VOLUMI RICHIESTI PER A.C.S				
	N°	Volumi (l/g)	F _c	V _w (l/g)
Alloggi con 1 bagno	10	260	0,7	1820
Alloggi con 2 bagni	5	340	0,7	1190
			TOT.	3010

Tabella 47, Fabbisogno energia termica per ACS, Fonte autore tesi

FABBISOGNO ENERGIA TERMICA PER A.C.S.					
V _w (l/g)	Δt °K	C _s (kJ/l °C)	gg	Q _w	Q _w (kWh/anno)
3010	35	4,186	365	160963211,5	44712

L'energia fornita da un pannello è calcolata come:

Dimensionamento

$$E_{\text{pannello}} = I_a \cdot \eta$$

L'irraggiamento annuo (I_a) è pari a 1410,5 (kWh/m² anno) così come calcolato al capitolo 8.4.2

Il rendimento (η) è valutato come:

$$\eta = F_i \cdot F_o \cdot \eta_o$$

Dove:

F_i = Fattore che tiene conto dell'inclinazione della superficie

F_o = Fattore che tiene conto della possibile presenza di ostruzioni

η_o = Rendimento teorico del pannello

Tabella 48, Rendimento del collettore solare, Fonte autore tesi

RENDIMENTO DEI PANNELLI				
	F_i	F_o	η_o	η
Lagasol SKS 4.0	0,93	0,98	0,851	0,776
Lagasol CKN 2.0	0,93	0,98	0,761	0,694

Tabella 49, Energia prodotta dai collettori solari, Fonte autore tesi

ENERGIA PRODOTTA DAI COLLETTORI						
	I_{a2} (kWh/m ² anno)	η	E_{PANNELLO} (kWh/m ² anno)	N°	S pannello (m ²)	Q_w (kWh/anno)
Lagasol SKS 4.0	1410,5	0,776	1093,96	18	2,1	41352
Lagasol CKN 2.0	1410,5	0,694	978,27	2	1,6	3130
					TOT.	44482

Mediante l'integrazione di 20 pannelli di due differenti misure è possibile soddisfare il 99,5% del fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria. Il sistema a circolazione forzata prevede l'integrazione di una pompa di circolazione, del sistema d'accumulo e di uno scaldacqua, alimentato direttamente con l'acqua prodotta dall'impianto solare, che si è scelto di integrare nel caso in cui la temperatura raggiunta dall'acqua, mediante l'energia solare, non fosse sufficiente a soddisfare il fabbisogno.

8.6 Classificazione energetica

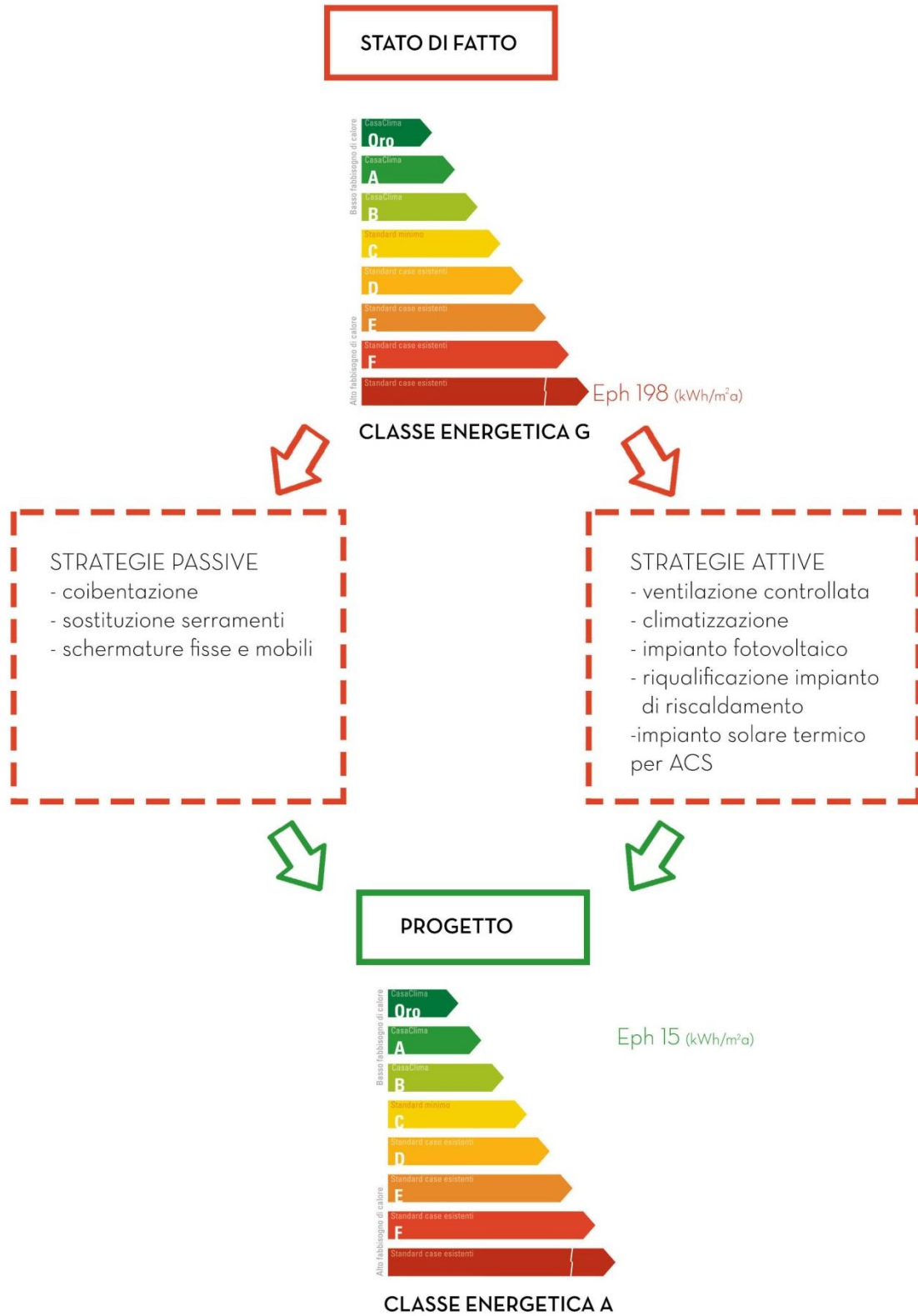


Figura 8.15, Schema intervento energetico. Fonte autore tesi

ALLEGATO L _ Calcolo del fabbisogno di energia elettrica

FABBISOGNO ENERGIA ELETTRICA MONOLOCALE						
APPARECCHIATURA	Potenza (W)	Utilizzo inverno (h/g)	Utilizzo estate (h/g)	Consumo inverno (kWh/g)	Consumo estate (kWh/g)	Consumo annuo (kWh/anno)
Frigorifero	100	8	8	0,8000	0,8000	292,00
Forno elettrico	1500	0,25	0,25	0,3750	0,3750	136,88
Forno microonde	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Piano cottura induzione	1200	1	1	1,2000	1,2000	438,00
Lavastoviglie	700	1,5	1,5	1,0500	1,0500	383,25
Lavatrice	600	0,45	1,05	0,2700	0,0271	54,22
Asciugacapelli	1800	0,1	0,1	0,1800	0,1800	65,70
Aspirapolvere	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Ferro da stiro	750	0,15	0,15	0,1125	0,1125	41,06
Televisore	100	3	2	0,3000	0,2000	91,25
Lettore DVD	20	0,5	0,25	0,0100	0,0050	2,74
Stereo	50	0,5	0,25	0,0250	0,0125	6,84
Computer	150	3	2	0,4500	0,3000	136,88
Ventilazione	115	8	2	0,9200	0,2300	209,88
Lampade Sc	50	4,5	3,5	0,2250	0,1750	73,00
Lampade B	20	1,5	1,5	0,0300	0,0300	10,95
Lampade disimpegno	15	1,5	1,5	0,0225	0,0225	8,21
TOTALE				6,37	5,12	2096,85

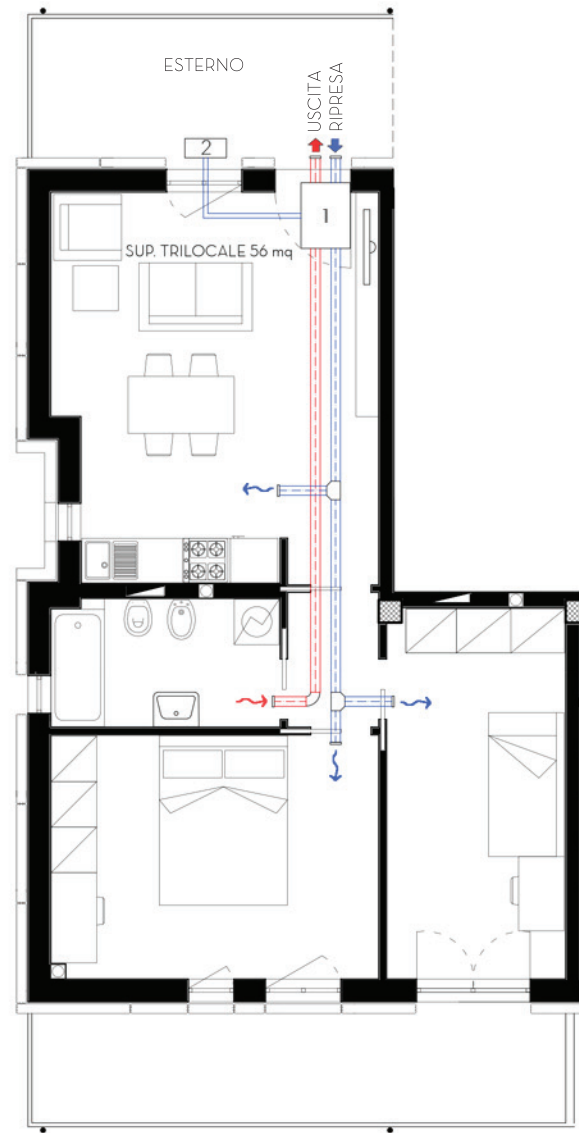
FABBISOGNO ENERGIA ELETTRICA BILOCALE						
APPARECCHIATURA	Potenza (W)	Utilizzo inverno (h/g)	Utilizzo estate (h/g)	Consumo inverno (kWh/g)	Consumo estate (kWh/g)	Consumo annuo (kWh/anno)
Frigorifero	100	8	8	0,8000	0,8000	292,00
Forno elettrico	1500	0,25	0,25	0,3750	0,3750	136,88
Forno microonde	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Piano cottura induzione	1200	1	1	1,2000	1,2000	438,00
Lavastoviglie	700	1,5	1,5	1,0500	1,0500	383,25
Lavatrice	600	0,45	1,05	0,2700	0,0271	54,22
Asciugacapelli	1800	0,1	0,1	0,1800	0,1800	65,70
Aspirapolvere	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Ferro da stiro	750	0,15	0,15	0,1125	0,1125	41,06
Televisore	100	3	2	0,3000	0,2000	91,25
Lettore DVD	20	0,5	0,25	0,0100	0,0050	2,74
Stereo	50	0,5	0,25	0,0250	0,0125	6,84
Computer	150	3	2	0,4500	0,3000	136,88
Ventilazione	115	8	2	0,9200	0,2300	209,88
Lampade Sc	50	3,5	2,5	0,1750	0,1250	54,75
Lampade L2	45	2	1	0,0900	0,0450	24,64
Lampade B	20	1,5	1,5	0,0300	0,0300	10,95
Lampade disimpegno	15	0,5	0,5	0,0075	0,0075	2,74
TOTALE				6,40	5,10	2097,76

FABBISOGNO ENERGIA ELETTRICA TRILOCALE						
APPARECCHIATURA	Potenza (W)	Utilizzo inverno (h/g)	Utilizzo estate (h/g)	Consumo inverno (kWh/g)	Consumo estate (kWh/g)	Consumo annuo (kWh/anno)
Frigorifero	100	8	8	0,8000	0,8000	292,00
Forno elettrico	1500	0,25	0,25	0,3750	0,3750	136,88
Forno microonde	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Piano cottura induzione	1200	1	1	1,2000	1,2000	438,00
Lavastoviglie	700	1,5	1,5	1,0500	1,0500	383,25
Lavatrice	600	0,45	1,05	0,2700	0,0271	54,22
Asciugacapelli	1800	0,1	0,1	0,1800	0,1800	65,70
Aspirapolvere	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Ferro da stiro	750	0,15	0,15	0,1125	0,1125	41,06
Televisore	100	3	2	0,3000	0,2000	91,25
Lettore DVD	20	0,5	0,25	0,0100	0,0050	2,74
Stereo	50	0,5	0,25	0,0250	0,0125	6,84
Computer	150	3	2	0,4500	0,3000	136,88
Ventilazione	115	8	2	0,9200	0,2300	209,88
Lampade L2	45	2	1	0,0900	0,0450	24,64
Lampade L1	45	3	2	0,1350	0,0900	41,06
Lampade Sc	50	3,5	2,5	0,1750	0,1250	54,75
Lampade B	20	1,5	1,5	0,0300	0,0300	10,95
Lampade disimpegno	15	1,5	1,5	0,0225	0,0225	8,21
TOTALE				6,55	5,20	2144,30

FABBISOGNO ENERGIA ELETTRICA QUADRILOCALE						
APPARECCHIATURA	Potenza (W)	Utilizzo inverno (h/g)	Utilizzo estate (h/g)	Consumo inverno (kWh/g)	Consumo estate (kWh/g)	Consumo annuo (kWh/anno)
Frigorifero	100	8	8	0,8000	0,8000	292,00
Forno elettrico	1500	0,25	0,25	0,3750	0,3750	136,88
Forno microonde	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Piano cottura induzione	1200	1	1	1,2000	1,2000	438,00
Lavastoviglie	700	1,5	1,5	1,0500	1,0500	383,25
Lavatrice	600	0,45	1,05	0,2700	0,0271	54,22
Asciugacapelli	1800	0,1	0,1	0,1800	0,1800	65,70
Aspirapolvere	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Ferro da stiro	750	0,15	0,15	0,1125	0,1125	41,06
Televisore	100	3	2	0,3000	0,2000	91,25
Lettore DVD	20	0,5	0,25	0,0100	0,0050	2,74
Stereo	50	0,5	0,25	0,0250	0,0125	6,84
Computer	150	3	2	0,4500	0,3000	136,88
Ventilazione	115	8	2	0,9200	0,2300	209,88
Lampade L2	45	2	1	0,0900	0,0450	24,64
Lampade L1x2	45	3	2	0,1350	0,0900	41,06
Lampade S	50	2,5	1,5	0,1250	0,0750	36,50
Lampada C	20	1,5	1	0,0300	0,0200	9,13
Lampade Bx2	20	3	3	0,0600	0,0600	21,90
Lampade disimpegno	15	1,5	1,5	0,0225	0,0225	8,21
TOTALE				6,56	5,20	2146,12

FABBISOGNO ENERGIA ELETTRICA DUPLEX						
APPARECCHIATURA	Potenza (W)	Utilizzo inverno (h/g)	Utilizzo estate (h/g)	Consumo inverno (kWh/g)	Consumo estate (kWh/g)	Consumo annuo (kWh/anno)
Frigorifero	100	8	8	0,8000	0,8000	292,00
Forno elettrico	1500	0,25	0,25	0,3750	0,3750	136,88
Forno microonde	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Piano cottura induzione	1200	1	1	1,2000	1,2000	438,00
Lavastoviglie	700	1,5	1,5	1,0500	1,0500	383,25
Lavatrice	600	0,45	1,05	0,2700	0,0271	54,22
Asciugacapelli	1800	0,1	0,1	0,1800	0,1800	65,70
Aspirapolvere	1000	0,2	0,2	0,2000	0,2000	73,00
Ferro da stiro	750	0,15	0,15	0,1125	0,1125	41,06
Televisore	100	3	2	0,3000	0,2000	91,25
Lettore DVD	20	0,5	0,25	0,0100	0,0050	2,74
Stereo	50	0,5	0,25	0,0250	0,0125	6,84
Computer	150	3	2	0,4500	0,3000	136,88
Ventilazione	115	8	2	0,9200	0,2300	209,88
Lampade L2	45	2	1	0,0900	0,0450	24,64
Lampade L1x2	45	6	4	0,2700	0,1800	82,13
Lampade S	50	2,5	1,5	0,1250	0,0750	36,50
Lampada C	20	1,5	1	0,0300	0,0200	9,13
Lampade Bx2	20	3	3	0,0600	0,0600	21,90
Lampade disimpegno	15	1,5	1,5	0,0225	0,0225	8,21
TOTALE				6,69	5,29	2187,19

CONSUMI CONDOMINIALI						
APPARECCHIATURA	Potenza (W)	Utilizzo inverno (h/g)	Utilizzo estate (h/g)	Consumo inverno (kWh/g)	Consumo estate (kWh/g)	Consumo annuo (kWh/anno)
Lampade ingresso	150	19	19	2,85	2,85	1040,25
Lampade scale	300	5	5	1,50	1,50	547,50
Lampade ballatoi	600	5	2,5	3,00	1,50	821,25
Lampade cantine	400	5	5	2,00	2,00	730,00
Lampade box	500	5	5	2,50	2,50	912,50
Lampade giardino	200	7	4	1,40	0,80	401,50
Ascensore						175,78
TOTALE				13,25	11,15	4628,78



LEGENDA:

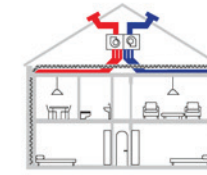
- Canali di mandata e presa aria esterna
- Canali di ritorno ed espulsione dell'aria
- Passaggio acqua fredda dal refrigeratore al ventilatore
- 1 Ventilazione
- 2 Climatizzazione

VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA



1 SERIE VORT HRI PHANTOM

Nel periodo estivo è possibile sfruttare la ventilazione naturale degli ambienti, la cui efficacia è garantita dal doppio affaccio degli alloggi e alla disposizione delle finestre sui lati opposti.
 Nel periodo invernale, quando la ventilazione naturale degli ambienti comporterebbe perdite di energia e condizioni di discomfort dovute all'ingresso di aria troppo fredda, è possibile provvedere al rinnovo dell'aria e al mantenimento di ambienti igienicamente sani, mediante l'utilizzo di unità di ventilazione che consentono lo smaltimento dell'aria interna fornendo aria pulita dall'esterno.



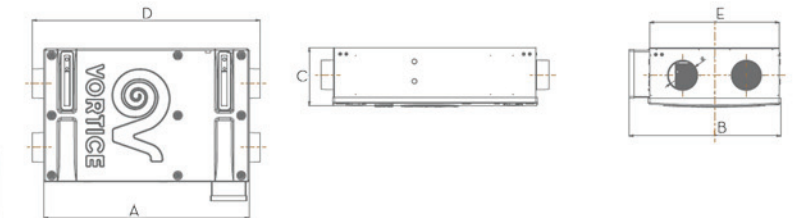
Il sistema a DOPPIO FLUSSO provvede meccanicamente sia alla mandata che alla ripresa dell'aria in ambiente. L'immissione e l'estrazione dell'aria avvengono mediante due circuiti separati di canalizzazioni e bocchette.
 Attraverso l'uso del RECUPERATORE di calore è possibile recuperare energia termica dall'aria di espulsione per trattare l'aria di rinnovo prima di immetterla nell'ambiente.



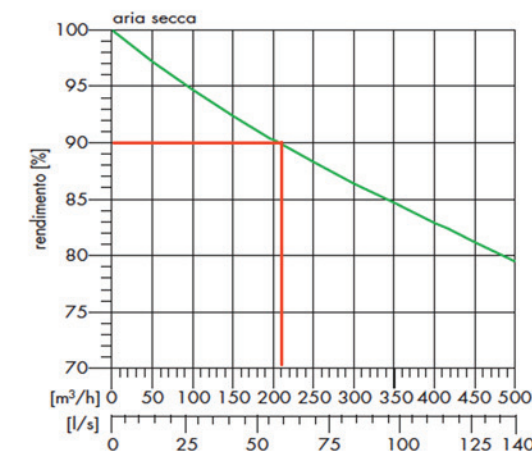
La VALVOLA DI BY-PASS è un dispositivo che consente, in situazioni di isoterma, di escludere lo scambiatore mediante l'apertura di una valvola e permettere la ventilazione diretta.

DIMENSIONI (mm)

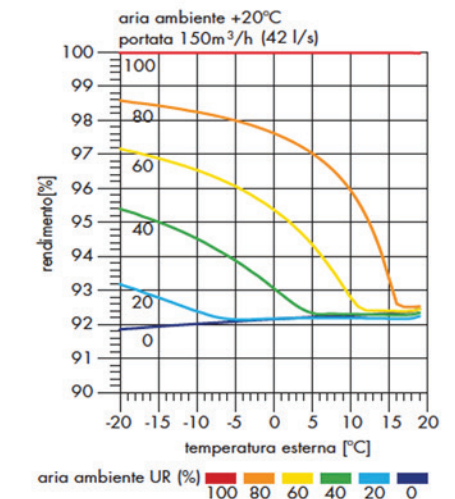
	A	B	C	D	E	Ø
VORT HRI 200 PHANTOM BP	868	643	248	983.5	551	125



Efficienza in funzione della portata



Efficienza in funzione del calore di condensazione

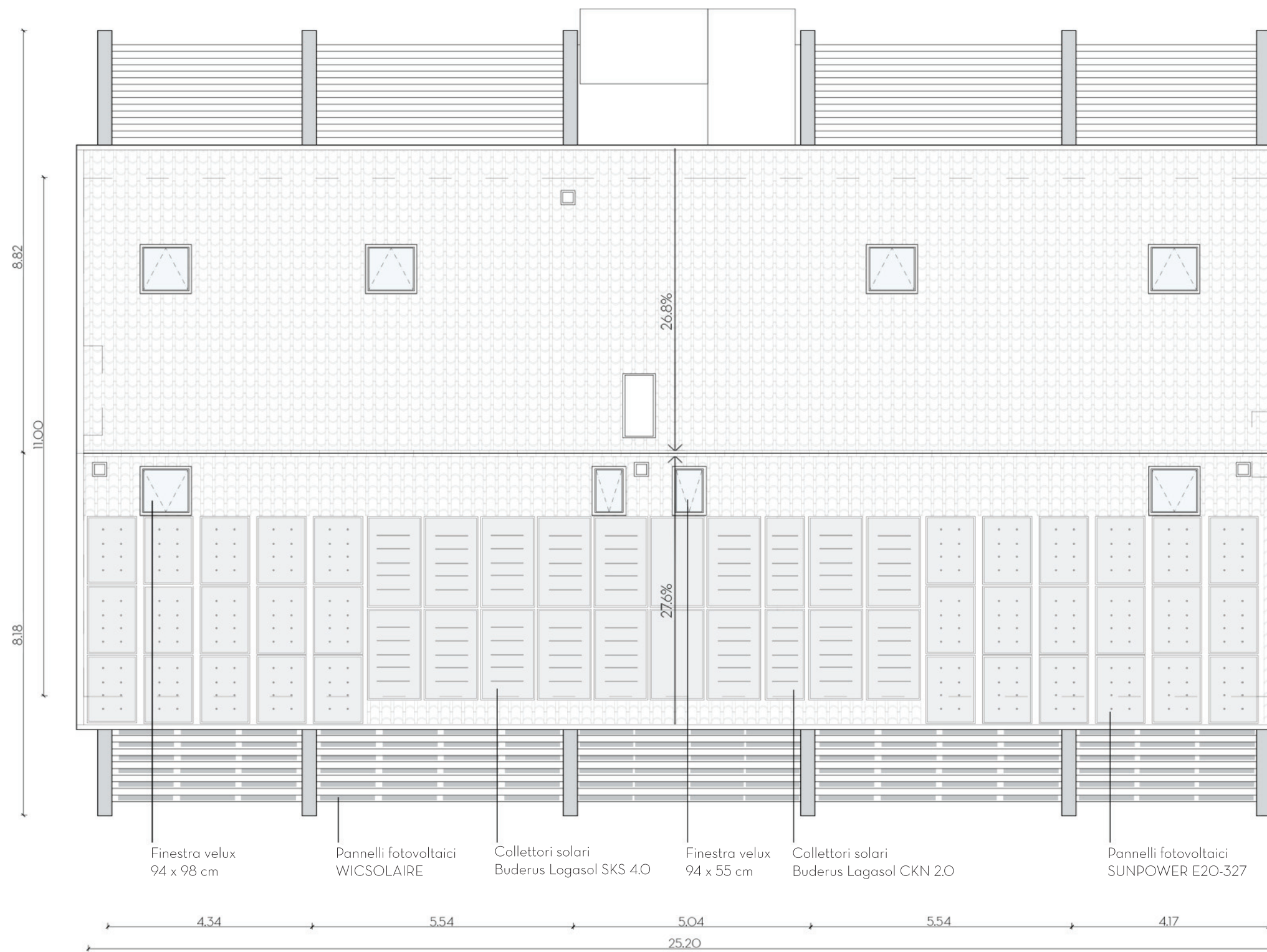


CLIMATIZZAZIONE



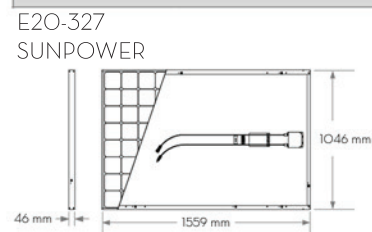
2 VORT-ICE 12 MULTI UE

Sistema di climatizzazione per il raffrescamento degli ambienti con macchina refrigerante



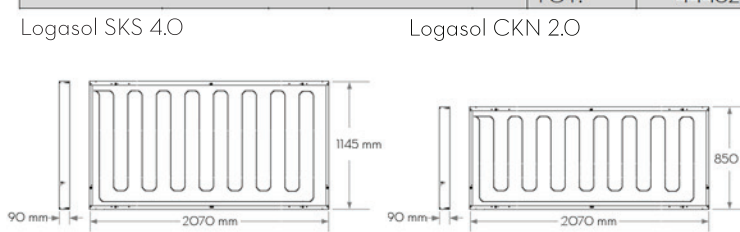
IMPIANTO FOTOVOLTAICO

PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA FOTOVOLTAICA							
	N°	P (Wp)	η	K	P (kWp)	S (kWh/m ² anno)	E _{PV} (kWh/anno)
SUNPOWER	30	343	0,9	0,9	11,319	1410,5	12932
WICSOLAIRE	120	28	0,9	0,9	3,36	1410,5	3839
TOTALE							16771



IMPIANTO SOLARE TERMICO

ENERGIA PRODOTTA DAI COLLETTORI						
	I ₀ (kWh/m ² anno)	η	E _{pannello} (kWh/m ² anno)	N°	S pannello (m ²)	Q _w (kWh/anno)
Logasol SKS 4.0	1410,5	0,776	1093,96	18	2,1	41352
Logasol CKN 2.0	1410,5	0,694	978,27	2	1,6	3130
TOT.						44482



CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato sviluppato con l'intento di mostrare e tradurre, attraverso vari step progettuali, le operazioni atte a riqualificare l'oggetto di studio.

Seppure il caso in esame si presenti come un edificio di dimensioni ridotte l'impegno richiesto non deve essere considerato ad esse proporzionali.

Estremamente complessa e articolata è risultata la fase di rifunzionalizzazione degli ambienti. Le principali difficoltà sono state riscontrate nel coniugare l'adeguamento funzionale e spaziale degli alloggi con il vincolo imposto dalla maglia strutturale esistente.

Varie proposte distributive sono state attentamente valutate fino a giungere a quella che è sembrata la più efficace e rispondente agli obiettivi prefissati. La qualità d'uso degli ambienti è stata infine migliorata mediante la definizione di unità spaziali ripetibili, in maniera varia e articolata, per il soddisfacimento della domanda, nel rispetto delle qualità dell'esistente.

Altro obiettivo fondamentale della tesi è stata la valutazione della fattibilità delle soluzioni proposte per la riqualificazione dell'involucro edilizio.

Il vantaggio riscontrato nell'applicazione di tecnologie prefabbricate di grandi dimensioni, risiede sicuramente nella velocità di applicazione e nella riduzione dei punti di ancoraggio necessari. Si riscontrano comunque criticità legate alla difficoltosa movimentazione ed alla scarsa compatibilità con morfologie irregolari.

La standardizzazione non prescinde dallo studio delle esigenze del singolo caso applicativo. Lavorare su una preesistenza implica necessariamente l'analisi delle sue specificità.

Il principale limite riscontrato nell'applicazione dei pannelli di facciata EASEE consiste nella variabilità dell'intercapedine d'aria che si genera tra pannello e parete. Se da una parte la flessibilità del giunto consente l'adattabilità del pannello all'irregolarità delle superfici esistenti, dall'altro costituisce una minaccia all'efficienza energetica dell'intervento.

La soluzione di copertura Habitat è stata studiata per poter essere prodotta e commercializzata da cooperative sociali di classe B. Ciò ha rappresentato un'occasione di confronto con un'importante realtà locale ed ha implicato l'esigenza di progettare le soluzioni conformemente alle risorse tecniche e tecnologiche in loro possesso. Per questo motivo si è scelta ad esempio di incorporare dal pannello la funzione strutturale, che avrebbe richiesto lavorazioni complesse e l'uso di macchinari non disponibili nell'ambito delle cooperative. Dall'applicazione della soluzione è emerso però che l'integrazione strutturale avrebbe comportato evidenti vantaggi: in primo luogo la possibile ottimizzazione del numero delle tipologie di pannelli utilizzati, indipendentemente dal passo strutturale, e conseguentemente del numero di tipologie di moduli solari integrati. A ciò si aggiunge la riduzione dei costi della struttura alla quale

CONCLUSIONI

necessariamente corrisponde un aumento del costo del pannello, che potrebbe comunque risultare vantaggioso grazie alla sua standardizzazione.

A fronte della valutazione critica delle soluzioni proposte possiamo tuttavia definire il risultato soddisfacente per averne verificato l'applicabilità al caso studio ed aver riscontrato evidenti vantaggi in termini di praticità di messa in opera e di ottimizzazione dei tempi e dei costi di cantierizzazione.

RIFERIMENTI NORMATIVI

R.D. 1256/1934 e s. m.i. L. 166/2002 - *Approvazione del testo unico delle leggi sanitarie, Disposizioni in materia di infrastrutture e trasporti.*

D.M. 1 febbraio 1986 - *Norme di sicurezza antincendi per la costruzione e l'esercizio di autorimesse e simili.*

D.M. 246/1987 - *Norme di sicurezza antincendio per gli edifici di civile abitazione.*

D. M. 236/1989 - *Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica e sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche.*

L.R. 6/1989 - *Norme sull'eliminazione delle barriere architettoniche e prescrizioni tecniche di attuazione.*

D.P.R. 412/93 e s.m.i. - *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 L. 9 gennaio 1991, n. 10.*

C.C. n° 134 del 20/12/2000 - *Regolamento Edilizio del comune Cinisello Balsamo.*

Deliberazione di Consiglio Comunale 55/2001 e s.m.i. - *Regolamento Edilizio comune Cinisello Balsamo*

Norma UNI EN ISO 13788/2003 - *Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo.*

D.Lgs 42/2004 - *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002.*

Rrg. R.L. 6/2004 e s.m.i. - *Decreti di riduzione della fascia di rispetto - Prefetto Prov. Milano.*

D. Lgs. 152/2006, Art. 94 - *Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee e destinate al consumo umano.*

Norma UNI EN ISO 6949/2007 - *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.*

D.M. 14.01.2008 - *Norme Tecniche per le Costruzioni.*

Norma 16-03i/2008 - *Norma di protezione antincendio.*

Norma UNI EN ISO 6946/2008 - *Componenti ed elementi per edilizia Resistenza termica - Metodo di calcolo.*

Norma UNI/TS 11300/2008 - *Prestazione energetica degli edifici*

Norma UNI EN ISO 13786/2008 - *Prestazione termica dei componenti per l'edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo.*

Norma UNI/TS 13789/2008 - *Prestazione termica degli edifici - Coefficiente di perdita di calore per trasmissione e ventilazione - Metodo di calcolo.*

Norma UNI EN ISO 14683/2008 - *Ponti termici in edilizia - Coefficienti di trasmissione termica lineica - Metodi e valori di riferimento.*

DPR 59/09 - Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.

Direttiva europea 2010/31/EU - *Prestazione energetica nell'edilizia.*

Direttiva europea 2012/27/EU - *Efficienza energetica.*

BIBLIOGRAFIA

ALER Milano, (2008) *100 anni di edilizia residenziale pubblica a Milano*, Catalogo della mostra tenutasi alla Triennale di Milano nel 2008, Milano, ALER.

Allegretti, M. Ghezzi, R. e Valicenti, L. (a.a. 2012-2013) *Shell. Strategie additive di involucro e prefabbricazione per la riqualificazione del patrimonio di edilizia residenziale pubblica*, Tesi di laurea in Ingegneria Edile - Architettura, Politecnico di Milano - Facoltà di Ingegneria Edile - Architettura, relatore Malighetti, L. E..

Aste, N. (2005) *Il fotovoltaico in architettura, l'integrazione dei sistemi a energia solare negli edifici*, Milano, Sistemi Editoriali.

BigMat-VASS Technologies, *Efficienza e tecnologia sotto lo stesso tetto - Progettazione e produzione di sistemi costruttivi in legno con tecnologia integrata VASS*, www.bigmat.it, agg. maggio 2013.

BigMat-VASS Technologies, "*Quaderno tecnico per il professionista - Tetti in legno, n° 7*", *I quaderni tecnici BigMat*, www.bigmat.it, agg. maggio 2013.

Bolognesi, C. e Mazzoleni, P. (2012) (a cura di) *Housing contest : repertorio di progetti per edifici residenziali ad elevate prestazioni e basso costo = design directory for high performance, low cost residential building*, Milano, EdilStampa.

Brivio, S. F. (2010) *Schermature solari e tende tecniche, metodi e soluzioni di progetto, tipologie, risparmio energetico*, I libri di Arketipo, Milano, Il Sole 24 ore.

Buteras, F. (1995) "Architettura e ambiente, manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici", Milano, ETAS LIBRI.

Campanella, P. (a.a. 2011/2012) *Involucro tessile e comfort ambientale. Potenzialità e limiti delle chiusure a membrana pretesa*, Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, Università degli studi di Napoli "Federico II", tutor Capasso, A.

Comune di Cinisello Balsamo, *Il Contratto di Quartiere II*, www.comune.cinisello-balsamo.mi.it, agg. ultimo quadrimestre 2014

De Caro, M. (2000) (a cura di), *I quartieri dell' (altra) città, un secolo di architettura milanese nei progetti IACP/ ALER*, Milano, Mondadori Electa.

Di Giuda, G. M. e Gottfried, A. (2010), *Ergotecnica edile*, Bologna, Esculapio.

Fernandez, P. A. & Mozas, J. (2006) *Densidad: Nueva vivienda colectiva = Density : new collective housing*, Vitoria-Gasteiz, a+t ediciones.

Fernandez, P. A., Mozas, J. & Arpa J. (2009) *HoCo, Density Housing Construction & Costs*, Vitoria-Gasteiz, a+t ediciones.

Fontana, M. (a.a. 2013-2014) *Il valore degli spazi comuni nell'edilizia sociale, Confronto tra Edilizia Residenziale Pubblica e Housing Sociale, Tesi di laurea in Architettura, Politecnico di Milano - Scuola di Architettura e Società, relatore Bolici, R.*

Gay, G. (2006) (a cura di), *Le politiche per la casa in Lombardia: analisi e proposte*, IReR, Milano, Guerini.

Malighetti, L.E. (2000) *Progettare la flessibilità: Tipologie e tecnologie per la residenza*, Politecnica, Milano, CLUP.

Malighetti, L. E. (2011) *Recupero edilizio: Strategie per il riuso e tecnologie costruttive*, I libri di Arketipo, Milano, Il Sole 24ore.

Malighetti, L.E. (2013) "Park Hill refurbishment in Sheffield, UK", *Recupero*, Arketipo, Milano, Il Sole 24 ore, n°77/Ottobre 2013, pp. 90-99.

Masera, G. (2010) "Adelaide Wharf a Londra-Allford Hall Monaghan Morris", *Costruire a secco*, Arketipo, Milano, Il Sole 24ore, n° 41, pp. 76-85.

Micheli, A. (a.a. 2013-2014) *Il recupero energetico e prestazionale dell'involucro edilizio mediante pannelli prefabbricati, un esempio applicativo su un edificio Aler a Cinisello Balsamo (MI)*, Tesi di laurea in Ingegneria dei Sistemi Edilizi, Politecnico di Milano - Facoltà di Ingegneria Edile - Architettura, relatore Iannaccone, G.

Sonzogni, F. e Luciano, G. (a.a. 2012-2013) *4 Four, Flexibility - Opportunity - Usability - Renewability. 4 strategie per il recupero delle 4 torri ALER di via Russoli*, Milano, Tesi di laurea in Ingegneria Edile-Architettura, Politecnico di Milano - Facoltà di Ingegneria Edile - Architettura", relatore Malighetti, L. E.

Spinelli, A. (dicembre 2011) *Build-On - aspetti di sostenibilità nell'intervento sul patrimonio edilizio. L'industrializzazione dei componenti edilizi in legno negli interventi di trasformazione del costruito*, Dottorato di ricerca in architettura e progettazione edilizia, Politecnico di Torino, tutor Callegari, G.

Spinelli, A. (2012) "Nuove strategie d'intervento sul patrimonio costruito. La prefabbricazione leggera nella valorizzazione del tessuto edilizio esistente" in Bellomo et al., *Abitare il nuovo/ Abitare di nuovo ai tempi della crisi, Atti delle Giornate Internazionali di Studio "Abitare il Futuro"*, 2° Edizione (Napoli, 12 -13 Dicembre 2012) , Napoli, CLEAN edizioni, pp 1861-1872.

Ruta, M. (2013) "*Barajas social housing block in Madrid, Spain*", *Housing*, Arketipo, Milano, Il Sole 24 ore, n° 76/Settembre 2013, pp 70-83.

Salvalai, G. (2010) "*Type A a Milano*", *Energia*, Arketipo, Milano, Il Sole 24 ore, n°43/Maggio 2010, pp 96-104.

Vivian, A. (2013) "*Young Workers Residence in Paris, France*", *Recupero*, Arketipo, Milano, Il Sole 24 ore, n°77/Ottobre 2013, pp. 100-111.

INDICE DELLE FIGURE

CAPITOLO 01 _ L' EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA

<i>Figura 1.1, Quartiere Mac Mahon, Milano (1908-1909)</i>	18
<i>Figura 1.2, Quartiere Fabio Filzi, Milano (1935-1938)</i>	20
<i>Figura 1.3, Quartiere Comasina, Milano, (1954-1958)</i>	21

CAPITOLO 02 _ INQUADRAMENTO: IL QUARTIERE SANT' EUSEBIO

<i>Figura 2.1, Cinisello Balsamo e l'area Nord Milano. Fonte autore tesi</i>	29
<i>Figura 2.2, Quartiere di Sant' Eusebio, Cinisello Balsamo. Fonte autore tesi</i>	31
<i>Figura 2.3, Antichi nuclei di Cinisello e Balsamo, Catasto Teresiano (1760)</i>	33
<i>Figura 2.4, Le piazze e il sistema del verde di Cinisello Balsamo. Fonte PGT</i>	35
<i>Figura 2.5, Grafico andamento della popolazione residente. Fonte dati ISTAT</i>	38
<i>Figura 2.6, Grafico variazione abitanti per anno in funzione dei saldi naturali e migratori. Fonte dati ISTAT</i>	38
<i>Figura 2.7, Grafico saldo naturale. Fonte dati ISTAT</i>	39
<i>Figura 2.8, Grafico saldo migratorio. Fonte dati ISTAT</i>	39
<i>Figura 2.9, Grafico abitazioni occupate da persone residenti. Fonte dati ISTAT</i>	40
<i>Figura 2.10, Grafico popolazione residente per classi di età. Fonte dati ISTAT</i>	40
<i>Figura 2.11, Grafico analisi delle famiglie per numero di componenti. Fonte dati ISTAT</i>	41

CAPITOLO 03 _ STATO DI FATTO: IL CASO STUDIO DI VIA DEL CARROCCIO

<i>Figura 3.1, Vista satellitare della collocazione dell'edificio nel quartiere di Sant'Eusebio</i>	50
<i>Figura 3.2, Inquadramento del lotto, scansione progetto originale</i>	50
<i>Figura 3.3, Pianta Piano Terra, scansione progetto originale</i>	53
<i>Figura 3.4, Pianta Piano Tipo, scansione progetto originale</i>	53
<i>Figura 3.5, Prospetto Sud-Ovest, scansione progetto originale</i>	54
<i>Figura 3.6, Prospetto Sud-Est, scansione progetto originale</i>	54
<i>Figura 3.7, Prospetto Nord-Est, scansione progetto originale</i>	55
<i>Figura 3.8, Prospetto Nord-Ovest, scansione progetto originale</i>	55
<i>Figura 3.9, Sezione Y-Y', scansione progetto originale</i>	56
<i>Figura 3.10, Pianta locale caldaia, scansione progetto originale</i>	56
<i>Figura 3.11, Stazione totale Leica TS 30, Fonte Leica (a sinistra). La rete geodetica, Fonte Politecnico di Milano, Polo Territoriale di Lecco (a destra)</i>	57
<i>Figura 3.12, Modellazione 3D con rilievo laser scanning, vista sud ovest. Fonte Politecnico di Milano, Polo Territoriale di Lecco</i>	58

<i>Figura 3.13, Modellazione 3D con rilievo laser scanning, vista nord ovest. Fonte Politecnico di Milano, Polo Territoriale di Lecco.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 3.14, Codificazione dei materiali. Tavole Rilievo Materico RMO1, RMO2.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.15, Codificazione dei materiali. Tavole Rilievo del Degrado RDO1, RDO2.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.16, Presenza di patina biologica e macchie scure in prossimità dell'attacco a terra.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 3.17, Distacco di cemento armato e ferri rimasti a vista.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 3.18, Dissesto scale fronte sud-est e vista del distacco di cemento armato.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 3.19, Porzione Pianta Piano terra con vista degli ingressi. Tavola SF 13.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 3.20, Porzione Pianta Piano terra con vista dell'ex sala riunioni. Tavola SF 13.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 3.21, Porzione Pianta Piano Tipo con vista corridoio di servizio. Tavola SF 13.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 3.22, Vista delle logge del prospetto sud-ovest con le schermature solari installate dagli utenti.....</i>	<i>92</i>

CAPITOLO 04_ PROGETTO ARCHITETTONICO

<i>Figura 4.1, Confronto accessi allo stato di fatto (sinistra) e del progetto (destra).....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 4.2, Assi di riferimento. Fonte autore tesi.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 4.3, Integrazione posti auto. Fonte autore tesi.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 4.4, Schemi distributivi analizzati. Fonte autore tesi.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 4.5, Ipotesi di collocazione del connettivo verticale. Fonte autore tesi.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 4.6, Maglia distributiva e volumi elementari. Fonte autore tesi.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 4.7, Composizione unità abitative. Fonte autore tesi.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 4.8, Distribuzione alloggi. Fonte autore tesi.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 4.9, Distribuzione zone funzionali. Fonte autore tesi.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 4.10, Sezioni piano terra, confronto stato di fatto e progetto. Fonte autore tesi.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 4.11, Confronto tra casi riscontrati negli edifici che caratterizzano il contesto (sopra) e campioni ottenuti in laboratorio (sotto). Fonte Tesi A. Micheli, Politecnico di Milano.....</i>	<i>135</i>

CAPITOLO 05_ PROGETTO TECNOLOGICO

<i>Figura 5.1, Esempio di termo camera. Fonte FLUKE.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 5.2, Termogramma finestre e chiusura opaca del prospetto sud-ovest e corrispondenza fotografica. Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 5.3, Termogramma finestre e chiusura opaca, senza controparete in laterizio, del prospetto sud-est e corrispondenza fotografica. Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 5.4, Termogramma finestre e chiusura opaca del sottotetto del prospetto sud-est e corrispondenza fotografica. Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 5.5, Termogramma finestre e chiusura opaca del prospetto nord-est e corrispondenza fotografica, Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 5.6, Termogramma finestre e chiusura opaca del prospetto nord-est e corrispondenza fotografica. Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>161</i>

<i>Figura 5.7, Grafico trasmittanza media dell'involucro per territori provinciali della Regione Lombardia. Fonte CENED.....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 5.8, Modello, composizione strati e risultati della C.V. del piano terra allo stato di fatto.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 5.9, Modello, composizione strati e risultati della C.V. dei piani primo, secondo e terzo allo stato di fatto</i>	<i>168</i>
<i>Figura 5.10, Andamento temperatura nel periodo estivo C.V dei piani primo, secondo e terzo allo stato di fatto, software KliMat.....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 5.11, Modello, composizione strati e risultati della C.V. 1.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 5.12, Grafico andamento temperatura nel periodo estivo C.V.1, software KliMat.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 5.13, Modello, composizione strati e risultati della C.V. 2.....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 5.14, Grafico andamento temperatura nel periodo estivo C.V.2, software KliMat.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 5.15, Modello, composizione strati e risultati della C.V. 3 con il pannello EASEE.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 5.16, Grafico andamento temperatura nel periodo estivo C.V.3, software KliMat.....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 5.17, Modello, composizione strati e risultati della C.O. 1.....</i>	<i>175</i>
<i>Figura 5.18, Grafico andamento temperatura nel periodo estivo C.O.1, software KliMat.....</i>	<i>176</i>
<i>Figura 5.19, Modello, composizione strati e risultati della copertura esistente in latero-cemento.....</i>	<i>176</i>
<i>Figura 5.20, Elemento modulare plastico, solaio controterra.....</i>	<i>177</i>
<i>Figura 5.21, Modello, composizione strati e risultati della C.O. 2.....</i>	<i>178</i>
<i>Figura 5.22, Grafico andamento temperatura nel periodo estivo C.O.2.....</i>	<i>178</i>
<i>Figura 5.23, Modello, composizione strati e risultati del solaio contro terra esistente.....</i>	<i>179</i>
<i>Figura 5.24, Modello, composizione strati e risultati della P.V.I.1.....</i>	<i>180</i>
<i>Figura 5.25, Modello, composizione strati e risultati della P.V.I.2.....</i>	<i>181</i>
<i>Figura 5.26, Modello, composizione strati e risultati della P.O.I 1.....</i>	<i>182</i>
<i>Figura 5.27, Modello, composizione strati e risultati solaio interpiano esistente.....</i>	<i>183</i>
<i>Figura 5.28, Modello, composizione strati e risultati della P.O.I 2.....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 5.29, Dettaglio sezione piano quarto. Fonte autore tesi.....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 5.30, Sistema di fissaggio trave IPE 120- muro perimetrale e griglia piano di calpestio. Fonte autore tesi</i>	<i>186</i>
<i>Figura 5.31, Sistema di ancoraggio stratigrafia a secco-ganci Halfen. Fonte autore tesi.....</i>	<i>187</i>
<i>Figura 5.32, Dettaglio sezione partizioni interne orizzontali. Fonte autore tesi.....</i>	<i>188</i>
<i>Figura 5.33, Sezione soluzione d'intervento chiusura orizzontale inferiore. Fonte autore tesi.....</i>	<i>189</i>

CAPITOLO 06_ SOLUZIONI PREFABBRICATE

<i>Figura 6.1, Interventi sull'esistente. Fonte autore tesi.....</i>	<i>195</i>
<i>Figura 6.3, Stratigrafia del pannello EASEE. Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>198</i>
<i>Figura 6.2, Pannello EASEE, vista frontale e sezioni, Dimensioni max 300 x 150 cm.....</i>	<i>198</i>
<i>Figura 6.4, Modello, composizione strati e risultati del pannello EASEE.....</i>	<i>199</i>
<i>Figura 6.5, Giunto di tenuta all'acqua pannello EASEE. Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>199</i>
<i>Figura 6.6, Finitura superficiale: colore e texture del progetto EASEE.....</i>	<i>200</i>

<i>Figura 6.7, Ipotesi applicazione pannelli progetto EASEE. Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>200</i>
<i>Figura 6.8, Dettagli logge: confronto stato di fatto e proposta d'intervento EASEE. Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>201</i>
<i>Figura 6.9, Catalogazione delle tipologie dei moduli EASEE utilizzati. Fonte autore tesi.....</i>	<i>203</i>
<i>Figura 6.10, Scatola di ancoraggio HPFRCC.....</i>	<i>203</i>
<i>Figura 6.11, Sistema di ancoraggio alla stratigrafia esistente in cemento armato-ganci Halfen. Fonte autore tesi.....</i>	<i>204</i>
<i>Figura 6.12, Sistema di ancoraggio alla stratigrafia a secco-ganci Halfen. Fonte autore tesi.....</i>	<i>204</i>
<i>Figura 6.13, Ganci Halfen per ancoraggio pannelli EASEE. Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>206</i>
<i>Figura 6.14, Format per la schedatura dei materiali. Fonte Report progetto HABITAT 1° Fase.....</i>	<i>211</i>
<i>Figura 6.15, Format per la schedatura dei sistemi e componenti per copertura. Fonte Report progetto HABITAT 2° Fase.....</i>	<i>214</i>
<i>Figura 6.16, Concept pannello "Laterocemento". Fonte Report progetto HABITAT 2° Fase.....</i>	<i>215</i>
<i>Figura 6.17, Concept pannello "Design". Fonte Report progetto HABITAT 2° Fase.....</i>	<i>216</i>
<i>Figura 6.18, Concept pannello "Chalet". Fonte Report progetto HABITAT 2° Fase.....</i>	<i>217</i>
<i>Figura 6.19, Sezione corrente del pannello di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>219</i>
<i>Figura 6.20, Pannello prototipo. Fonte autore tesi.....</i>	<i>220</i>
<i>Figura 6.21, Fase di montaggio della cassa rigida strutturale. Fonte autore tesi.....</i>	<i>220</i>
<i>Figura 6.22, Sezione di unione di due pannelli. Fonte Report HABITAT 3° Fase.....</i>	<i>220</i>
<i>Figura 6.23, Esempio di movimentazione di un pannello prefabbricato.....</i>	<i>221</i>
<i>Figura 6.24, Finestra Velux, Fonte BigMat-VASS.....</i>	<i>221</i>
<i>Figura 6.25, Funzioni caratteristiche del pannello fotovoltaico in sostituzione del manto di copertura (tenuta meccanica e impermeabilizzazione). Fonte GSE - Gestore Servizi Energetici.....</i>	<i>223</i>
<i>Figura 6.26, Sezione del tetto su cui non predisporre l'uso di pannelli con collettori solari.....</i>	<i>224</i>
<i>Figura 6.27, Ottimizzazione del numero e tipologia di pannelli HABITAT. Fonte autore tesi.....</i>	<i>225</i>
<i>Figura 6.28, Disposizione dei pannelli HABITAT in copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>226</i>
<i>Figura 6.29, Soluzioni a confronto. Fonte autore tesi.....</i>	<i>229</i>
<i>Figura 6.30, Grafico costo della copertura, struttura e pacchetto di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>229</i>
<i>Figura 6.31, Grafico costo della copertura, materiali, mano d'opera e noli. Fonte autore tesi.....</i>	<i>230</i>
<i>Figura 6.32, Grafico confronto dei costi. Fonte autore tesi.....</i>	<i>230</i>
<i>Figura 6.33, Grafico costi e durate. Fonte autore tesi.....</i>	<i>231</i>

CAPITOLO 07_ PROGETTO STRUTTURALE

<i>Figura 7.1, Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano. Fonte NTC-08.....</i>	<i>255</i>
<i>Figura 7.2, Andamento del coefficiente di esposizione c_e in funzione della quota (per $c_t = 1$). Fonte NTC-08.....</i>	<i>258</i>
<i>Figura 7.3, Grafico valori assunti dal coefficiente c_{pe} al variare di α (angolo d'inclinazione della copertura). Fonte D.M. 09-01-96.....</i>	<i>259</i>
<i>Figura 7.4, Coefficienti di forma per gli edifici. Fonte D.M. 09-01-1996.....</i>	<i>260</i>
<i>Figura 7.5, Schema statico trave balcone. Fonte autore tesi.....</i>	<i>267</i>

<i>Figura 7.6, Schema statico trave secondaria di copertura a sbalzo. Fonte autore tesi.....</i>	<i>268</i>
<i>Figura 7.7, Schema statico trave secondaria di coprtura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>269</i>
<i>Figura 7.8, Schema statico travetto di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>269</i>
<i>Figura 7.9, Combinazioni di carico sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>271</i>
<i>Figura 7.10, Sovrapposizione dei momenti sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>272</i>
<i>Figura 7.11, Sovrapposizione dei tagli allo SLU sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>272</i>
<i>Figura 7.12, Sovrapposizione dei momenti allo SLE sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>273</i>
<i>Figura 7.13, Sovrapposizione dei tagli allo SLE sulle travi secondarie di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>273</i>
<i>Figura 7.14, Schema statico trave principale di colmo. Fonte autore tesi.....</i>	<i>276</i>
<i>Figura 7.15, Diagramma dei momenti della trave principale di colmo. Fonte autore tesi.....</i>	<i>286</i>
<i>Figura 7.16, Diagramma del momento flettente della trave secondaria di copertura a sbalzo. Fonte autore tesi.....</i>	<i>287</i>
<i>Figura 7.17, Diagramma del momento flettente della trave secondaria di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>288</i>
<i>Figura 7.18, Diagramma del momento flettente del travetto di copertura. Fonte autore tesi.....</i>	<i>289</i>
<i>Figura 7.19, Diagramma dei momenti della trave principale di colmo. Fonte autore tesi.....</i>	<i>290</i>
<i>Figura 7.20, Diagramma del momento flettente della trave principale di gronda. Fonte autore tesi.....</i>	<i>290</i>

CAPITOLO 08 _ PROGETTO IMPIANTISTICO

<i>Figura 8.1, Grafico consumo energetico per riscaldamento dell'edificio allo stato di fatto. Fonte autore tesi.....</i>	<i>312</i>
<i>Figura 8.2, Grafico guadagni e perdite di calore nel periodo invernale. Fonte autore tesi.....</i>	<i>319</i>
<i>Figura 8.3, Grafico carichi termici e dispersioni nel periodo estivo. Fonte autore tesi.....</i>	<i>321</i>
<i>Figura 8.4, Fabbisogno energetico estivo. Fonte autore tesi.....</i>	<i>322</i>
<i>Figura 8.5, Sistema di ventilazione VORT HRL PHANTOM. Fonte Vortice.....</i>	<i>326</i>
<i>Figura 8.6, Dimensioni sistema di ventilazione. Fonte Vortice.....</i>	<i>327</i>
<i>Figura 8.7, Grafici rendimento impianto di ventilazione. Fonte Vortice.....</i>	<i>327</i>
<i>Figura 8.8, Impianto di ventilazione con sistema By-pass. Fonte vortice.....</i>	<i>328</i>
<i>Figura 8.9, Efficienza dei filtri di ventilazione. Fonte Vortice.....</i>	<i>329</i>
<i>Figura 8.10, Accessori e componenti dell'impianto di ventilazione. Fonte Vortice.....</i>	<i>329</i>
<i>Figura 8.11, Schema sistema grid connected. Fonte autore tesi.....</i>	<i>332</i>
<i>Figura 8.12, Celle fotovoltaiche. Fonte Sun Power.....</i>	<i>335</i>
<i>Figura 8.13, Sistema solare termico a circolazione naturale. Fonte Buderus.....</i>	<i>337</i>
<i>Figura 8.14, Sistema solare termico a circolazione forzata. Fonte Buderus.....</i>	<i>338</i>
<i>Figura 8.15, Schema intervento energetico. Fonte autore tesi.....</i>	<i>341</i>

INDICE DELLE TABELLE

CAPITOLO 03 _ STATO DI FATTO: IL CASO STUDIO DI VIA DEL CARROCCIO

<i>Tabella 1, Verifiche normative stato di fatto, Fonte autore tesi.....</i>	<i>93</i>
--	-----------

CAPITOLO 04 _ PROGETTO ARCHITETTONICO

<i>Tabella 2, Requisiti minimi Regolamento locale di Igiene, Titolo III, Regione Lombardia, Fonte autore tesi.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabella 3, Verifiche di accessibilità progetto, Fonte autore tesi.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabella 4, Classificazione edifici per sicurezza antincendio, Fonte D.M. 246 del 16 maggio 1987.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabella 5, Verifiche di sicurezza antincendio, Fonte autore tesi.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabella 6, Verifiche della sicurezza antincendio nelle autorimesse, Fonte autore tesi.....</i>	<i>154</i>

CAPITOLO 05 _ PROGETTO TECNOLOGICO

<i>Tabella 7, Resistenza termiche superficiali in mqK/W, Fonte UNI EN ISO 6946.....</i>	<i>165</i>
<i>Tabella 8, Trasmittanza media dell'involucro per territori provinciali della Regione Lombardia, Fonte Cened.....</i>	<i>166</i>

CAPITOLO 06 _ SOLUZIONI PREFABBRICATE

<i>Tabella 9, Posizione ancoraggi Halfen, Fonte autore tesi.....</i>	<i>205</i>
<i>Tabella 10, Costi e durate per la produzione e messa in opera delle soluzioni studiate, Fonte autore tesi.....</i>	<i>232</i>

CAPITOLO 07 _ PROGETTO STRUTTURALE

<i>Tabella 11, Pesì dell'unità di volume dei principali materiali strutturali, Fonte NTC-08.....</i>	<i>252</i>
<i>Tabella 12, Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici, Fonte NTC-08.....</i>	<i>253</i>
<i>Tabella 13, Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0, k_a, Fonte NTC-08.....</i>	<i>254</i>
<i>Tabella 14, Coefficienti di attrito in funzione della scabrezza delle superfici. Fonte D.M. 09-01-1996.....</i>	<i>256</i>
<i>Tabella 15, Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione, Fonte NTC-08.....</i>	<i>257</i>
<i>Tabella 16, Classi di rugosità del terreno, Fonte NTC-08.....</i>	<i>257</i>
<i>Tabella 17, Definizione delle categorie di esposizione, Fonte NTC-08.....</i>	<i>258</i>
<i>Tabella 18, Valori di C_E per diverse classi di topografia, Fonte NTC-08.....</i>	<i>261</i>
<i>Tabella 19, Valori del coefficiente di forma, Fonte NTC-08.....</i>	<i>262</i>
<i>Tabella 20, Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU, Fonte NTC-08.....</i>	<i>265</i>
<i>Tabella 21, Valori dei coefficienti di combinazione, Fonte NTC-08.....</i>	<i>266</i>
<i>Tabella 22, Limi di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie, Fonte NTC-08.....</i>	<i>267</i>
<i>Tabella 23, Valori dei sovraccarichi allo SLU e allo SLE, Fonte autore tesi.....</i>	<i>272</i>

<i>Tabella 24, IPE 120, Profilario IPE ad ali larghe parallele (UNI 5397-78).....</i>	<i>274</i>
<i>Tabella 25, HEA 260 e HEA 280, Profilario HEA ad ali larghe parallele (UNI 5397-78).....</i>	<i>274</i>
<i>Tabella 26, Profili a "C".....</i>	<i>274</i>
<i>Tabella 27, IPE 300, Profilario IPE ad ali strette parallele (UNI 5398).....</i>	<i>277</i>
<i>Tabella 28, Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse, Fonte NTC-08.....</i>	<i>280</i>
<i>Tabella 29, Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse, Fonte NTC-08.....</i>	<i>281</i>
<i>Tabella 30, Metodi di analisi globali e relativi metodi di calcolo delle capacità e classi di sezioni ammissibili, Fonte NTC-08.....</i>	<i>284</i>
<i>Tabella 31, Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità, Fonte NTC-08.....</i>	<i>285</i>
<i>Tabella 32, HEA 160, Profilario HEA ad ali strette parallele, Fonte UNI 5397.....</i>	<i>292</i>
<i>Tabella 33, Curve di instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi, Fonte NTC-08.....</i>	<i>294</i>

CAPITOLO 08_ PROGETTO IMPIANTISTICO

<i>Tabella 34, Consumo energetico per riscaldamento dell'edificio allo stato di fatto, Fonte Politecnico di Milano.....</i>	<i>311</i>
<i>Tabella 35, Dati climatici Cinisello Balsamo, Fonte archivio climatico DBT ENEA.....</i>	<i>314</i>
<i>Tabella 36, Fasce climatiche, Fonte DPR 412/93.....</i>	<i>315</i>
<i>Tabella 37, Dati per il calcolo delle dispersioni per ventilazione, Fonte autore tesi.....</i>	<i>318</i>
<i>Tabella 38, Fabbisogno energetico invernale, Fonte autore tesi.....</i>	<i>319</i>
<i>Tabella 39, Fabbisogno energetico estivo, Fonte autore tesi.....</i>	<i>321</i>
<i>Tabella 40 Portata e flusso termico di ventilazione per alloggio, Fonte Autore tesi.....</i>	<i>325</i>
<i>Tabella 41, Dati VORT-ICE DUAL UE, Fonte Vortice.....</i>	<i>330</i>
<i>Tabella 42, Consumo energetico ascensore, Fonte autore tesi.....</i>	<i>334</i>
<i>Tabella 43, Fabbisogno di energia elettrica, Fonte autore tesi.....</i>	<i>334</i>
<i>Tabella 44, Radiazione solare annua Comune di Cinisello Balsamo, Fonte archivio climatico DTB ENEA.....</i>	<i>336</i>
<i>Tabella 45, Produzione di energia elettrica fotovoltaica.....</i>	<i>336</i>
<i>Tabella 46, Fabbisogno volumi di acqua per ACS, Fonte autore tesi.....</i>	<i>339</i>
<i>Tabella 47, Fabbisogno energia termica per ACS, Fonte autore tesi.....</i>	<i>339</i>
<i>Tabella 48, Rendimento del collettore solare, Fonte autore tesi.....</i>	<i>340</i>
<i>Tabella 49, Energia prodotta dai collettori solari, Fonte autore tesi.....</i>	<i>340</i>

INDICE DELLE SCHEDE

CAPITOLO 03 _ STATO DI FATTO: IL CASO STUDIO DI VIA DEL CARROCCIO

Schede 1, Schede rilevamento tecnologico..... 60

Schede 2, Anomalie visibili..... 70

CAPITOLO 04 _ PROGETTO ARCHITETTONICO

Schede 3, Tipologie alloggi..... 124

Schede 4, Riferimenti architettonici..... 136

INDICE DEGLI ALLEGATI

CAPITOLO 06 _ SOLUZIONI PREFABBRICATE

<i>ALLEGATO A_ Calcolo dei costi e delle durate per la realizzazione della copertura</i>	<i>233</i>
--	------------

CAPITOLO 07 _ PROGETTO STRUTTURALE

<i>ALLEGATO B_ Carichi permanenti non strutturali (G2).....</i>	<i>296</i>
<i>ALLEGATO C_ SLU.....</i>	<i>299</i>
<i>ALLEGATO D_ SLE RARA.....</i>	<i>299</i>
<i>ALLEGATO E_ Dimensionamento delle travi del balcone e delle travi secondarie di copertura (SLE rara).....</i>	<i>300</i>
<i>ALLEGATO F_ Dimensionamento travi principali di colmo e gronda (SLE rara).....</i>	<i>301</i>
<i>ALLEGATO G_ Dimensionamento delle travi del balcone e delle travi secondarie di copertura (SLU).....</i>	<i>302</i>
<i>ALLEGATO H_ Dimensionamento delle travi principali (SLU).....</i>	<i>303</i>
<i>ALLEGATO I_ Verifica a compressione del pilastro.....</i>	<i>304</i>
<i>ALLEGATO J_ Verifica di stabilita' del pilastro.....</i>	<i>304</i>
<i>ALLEGATO K_ Carichi totali.....</i>	<i>305</i>

CAPITOLO 08 _ PROGETTO IMPIANTISTICO

<i>ALLEGATO L _ Calcolo del fabbisogno di energia elettrica.....</i>	<i>342</i>
--	------------

INDICE DELLE TAVOLE

CAPITOLO 02 _ INQUADRAMENTO: IL QUARTIERE SANT' EUSEBIO

- AN 01 _ MOBILITÀ E TRASPORTI (Scala 1: 10.000)
- AN 02 _ EVOLUZIONE STORICA (Scala 1: 10.000)
- AN 03 _ ANALISI DEL VERDE (Scala 1: 10.000)
- AN 04 _ ANALISI DEI VINCOLI (Scala 1: 5.000)
- AN 05 _ ANALISI DEMOGRAFICHE
- AN 06 _ ANALISI DELLE ALTEZZE (Scala 1: 5.000)
- AN 07 _ ANALISI DELLE FUNZIONI (Scala 1: 5.000)
- AN 08 _ CONTRATTO DI QUARTIERE II (Scala 1: 5.000)

CAPITOLO 03 _ STATO DI FATTO: IL CASO STUDIO DI VIA DEL CARROCCIO

- SF 01 _ RILIEVO FOTOGRAFICO, prospetti sud e ovest
- SF 02 _ RILIEVO FOTOGRAFICO, prospetti nord ed est
- SF 03 _ RILIEVO GEOMETRICO, planivolumetrico (Scala 1:200)
- SF 04 _ RILIEVO GEOMETRICO, pianta piano terra (Scala 1:200)
- SF 05 _ RILIEVO GEOMETRICO, piante piano terra e piano tipo (Scala 1: 100)
- SF 06 _ RILIEVO GEOMETRICO, pianta copertura e sezione 'Y'-'Y' (Scala 1:100)
- SF 07 _ RILIEVO GEOMETRICO, prospetti sud e ovest (Scala 1: 100)
- SF 08 _ RILIEVO GEOMETRICO, prospetti nord ed est (Scala 1: 100)
- SF 09 _ RILIEVO MATERICO, prospetti sud e ovest (Scala 1: 100)
- SF 10 _ RILIEVO MATERICO, prospetti nord ed est (Scala 1: 100)
- SF 11 _ RILIEVO DEL DEGRADO, prospetti sud e ovest (Scala 1: 100)
- RF 12 _ RILIEVO DEL DEGRADO, prospetti nord ed est (Scala 1: 100)
- SF 13 _ VERIFICHE NORMATIVE (Scala 1:100)
- SF 14 _ VERIFICHE NORMATIVE ALLOGGI (Scala 1:100)

CAPITOLO 04 _ PROGETTO ARCHITETTONICO

- PA 01 _ PLANIVOLUMETRICO (Scala 1:200)
- PA 02 _ PIANTE PIANO TERRA (Scala 1:200)
- PA 03 _ COMPOSIZIONE ALLOGGI (Scala 1: 200)
- PA 04 _ PIANTE (Scala 1:200)
- PA 05 _ PIANTE PIANO TERRA (Scala 1:100)
- PA 06 _ PIANTE PIANO PRIMO E SECONDO (Scala 1:100)
- PA 07 _ PIANTE PIANI TERZO E QUARTO (Scala 1:100)
- PA 08 _ PROSPETTI (Scala 1:200)

INDICE DELLE TAVOLE

PA 09 _ SEZIONI (Scala 1:200)

PA 10 _ VERIFICHE DI ACCESSIBILITÀ (Scala 1:200)

PA 11 _ VERIFICHE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO (Scala 1:200)

CAPITOLO 05 _ PROGETTO TECNOLOGICO

PT 01 _ ABACO SOLUZIONI STRATIGRAFICHE (Scala 1:10)

PT 02 _ ABACO SOLUZIONI STRATIGRAFICHE (Scala 1:10)

PT 03 _ NODI VERTICALI, Nodo di gronda e nodo balcone (Scala 1:20)

PT 04 _ NODI VERTICALI, Pannello HABITAT con Velux integrata, nodi colmo e solaio interpiano (Scala 1:20)

PT 05 _ NODI VERTICALI, Dettaglio piano terra e solaio controterra (Scala 1:20)

PT 06 _ NODI ORIZZONTALI, Ancoraggio balconi (Scala 1:20)

PT 07 _ NODI ORIZZONTALI, Dettagli alloggio piano terra con cappotto isolante interno (Scala 1:20)

PT 08 _ NODI ORIZZONTALI, Dettaglio serramento e ancoraggio pannelli EASEE (Scala 1:20)

PT 09 _ NODI ORIZZONTALI, Dettagli ancoraggio pannelli EASEE (Scala 1:20)

CAPITOLO 06 _ SOLUZIONI PREFABBRICATE

PR 01 _ PROGETTO EASEE

PR 02 _ OTTIMIZZAZIONE PANNELLI EASEE

PR 03 _ PROGETTO HABITAT, Ricerca

PR 04 _ PROGETTO HABITAT, Soluzione definitiva

PR 05 _ PROGETTO HABITAT, Ipotesi applicativa

PR 06 _ PANNELLO HABITAT: SOLUZIONI INTEGRATE

PR 07 _ OTTIMIZZAZIONE PANNELLO HABITAT

PR 08 _ ANALISI COSTI E TEMPI

CAPITOLO 07 _ PROGETTO STRUTTURALE

PS 01 _ PIANTA FONDAZIONI (Scala 1:100)

PS 02 _ PIANTA PIANO TERRA (Scala 1:100)

PS 03 _ PIANTA PIANI PRIMO E SECONDO (Scala 1:100)

PS 04 _ PIANTA PIANO TERZO (Scala 1:100)

PS 05 _ PIANTA PIANO QUARTO (Scala 1:100)

PS 06 _ PIANTA COPERTURA (Scala 1:100)

PS 07 _ SEZIONE AA (Scala 1:100)

PS 08 _ SEZIONE BB (Scala 1:100)

PS 09 _ 3D STRUTTURALE

CAPITOLO 08 _ PROGETTO IMPIANTISTICO

PI 01 _ IMPIANTO DI VENTILAZIONE E CLIMATIZZAZIONE

PI 02 _ PIANTA COPERTURA (Scala 1: 100)

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo la nostra relatrice Prof. ssa Laura Elisabetta Malighetti per averci guidate in questo percorso con assiduità e costanza, orientandoci e mettendo sempre in primo piano la nostra crescita.

Assieme a lei vogliamo esprimere la nostra gratitudine al correlatore di questo lavoro, Ing. Francesco Pittau, per il prezioso aiuto fornitoci nelle fasi di ricerca e per averci supportato con disponibilità e pazienza nello sviluppo del progetto tecnologico e strutturale.

Grazie all' Ing, Marco Beghelli per averci fornito dati importanti ai fini dello sviluppo del presente elaborato.

Un ringraziamento speciale è rivolto al Prof. Graziano Salvalai, per averci coinvolto nel progetto di ricerca EASEE, e a tutte le persone con le quali abbiamo avuto modo di collaborare nella fasi introduttive di questo percorso per averci trasmesso parte delle loro conoscenze e fornito le basi per lo sviluppo della nostra tesi.

RINGRAZIAMENTI LISA

Desidero dedicare un ringraziamento speciale ai genitori Graziana (e ai suoi immancabili proverbi, citati saggiamente ad ogni ricorrenza) e Roberto (e a tutti i suggerimenti per diventare un futuro meccanico), alla sorella Anna (e alle spensierate giornate di shopping fatte insieme, irrinunciabilmente in periodo saldi) e ai nonni. Li ringrazio con affetto per i loro tanti sacrifici e per le rinunce fatte, senza chiedere mai nulla in cambio, per avermi sempre incoraggiata e supportata sin dal primo giorno di questo percorso formativo (ma di vita soprattutto), sopportandomi e spronandomi nonostante il mio carattere introverso e difficile.

Voglio poi ringraziare, tra le persone a me più care, gli indissolubili amici Betta, Silvia, Tommaso, capaci di ascoltarmi e capirmi in ogni momento, sia pazzo ed allegro che infelice e di perdizione, nonostante la lontananza fisica, ma mai morale; l'amica e compagna di tesi Clara, per le avventure passate nella casa di Viale Turati, tra rischiare la vita e lottare con i vicini di casa più intolleranti; gli amici trovati in università: le mie speciali "donzelle" Alice e Bea e le indimenticabili notti passate insieme sull'orlo della disperazione, ma finite sempre in bellezza e con i ricordi più belli; Elia e Giacomo, sempre ottimisti e pronti, in ogni sconforto, a farmi sorridere e a farmi vedere il lato positivo in ogni situazione; a tutti i compagni di corso conosciuti in questi anni, chi con un supporto morale o materiale, chi con consigli e suggerimenti o solo con parole di incoraggiamento, hanno dato il proprio apporto per arrivare alla fine di questo percorso.

Infine ringrazio tutti gli zii e cugini, che si sono resi veramente disponibili per ogni aiuto, e gli amici che non sono riuscita a citare, ma hanno contribuito a rendermi la persona che sono in questo momento ed arrivare fino a qui, al raggiungimento di questo traguardo.

RINGRAZIAMENTI CLARA

Ringrazio la mia famiglia, prime fra tutti la Nonna e la Zia per l'allegria che mi trasmettono e per aver sempre creduto in me.

Ringrazio le mie sorelle, Giulia, per essermi sempre vicina e per avermi sopportato anche nei momenti peggiori, e Arianna, per avermi spronato in maniera del tutto inconsueta. Grazie ad Andrea e agli zii.

Grazie a Claudia, ad Anna, ad Angela e a tutti i miei amici che con consigli e distrazioni hanno reso speciali questi anni di università. *Gracias también a la familia Roncesvalles y a Ire y Lau, para haber llenado de alegría cada día de mi erasmus.*

Grazie a Claudio per avermi sopportato e supportato in quest'ultimo anno e per avermi trasmesso almeno un po' della sua serenità.

Ed infine il ringraziamento più grande va ai miei genitori che mi hanno sostenuta, consigliata e spronata dandomi sempre l'energia per affrontare ogni nuova esperienza.

Grazie mamma, grazie papà.