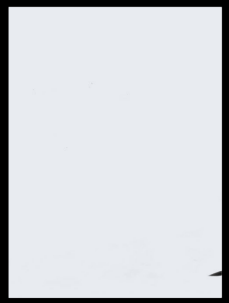
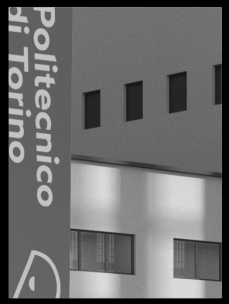
VALUTAZIONE DI ALTERNATIVE PROGETTUALI *VERSO* EDIFICI A ZERO EMISSIONI:

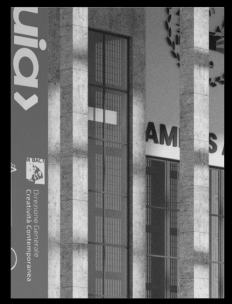
IL CASO STUDIO DI

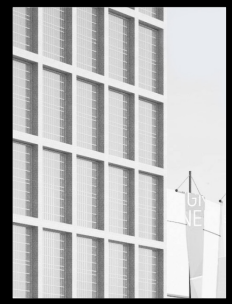
TORINO ESPOSIZIONI

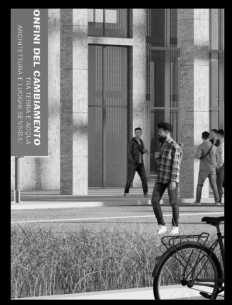













Silvia Sartore



Immagine di copertina
Padiglione Sottsass / Porticato
Fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino

Valutazione di alternative progettuali verso Edifici a Zero Emissioni: il caso studio di Torino Esposizioni

Silvia Sartore

Politecnico di Torino
Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità
Dipartimento di Architettura e Design

Anno Accademico 2025/2026

Candidata
Silvia Sartore

Relatrice
Cristina Becchio

Correlatori
Carlo Deregibus
Daniele Salvatore Schiera

Politecnico di Torino

*A nonna **Elena**,*
per la sua presenza costante
ed il suo essere un eterno esempio di forza.

*A nonno **Franco**, nonno **Giuseppe**, nonna **Rita**,*
che anche da lassù guidate sempre
i miei passi.

ABSTRACT

La transizione verso un patrimonio edilizio ad emissioni zero rappresenta una delle principali sfide del settore delle costruzioni nel percorso di decarbonizzazione delineato dall'Unione Europea entro il 2050. La recente evoluzione normativa, con la Direttiva EPBD IV, sposta l'obiettivo della progettazione verso edifici a zero emissioni, in cui acquisisce un ruolo sempre più rilevante la valutazione delle emissioni generate lungo l'intero ciclo di vita.

La presente ricerca sviluppa una metodologia di supporto alle decisioni per la valutazione di alternative progettuali nell'ambito della riqualificazione energetica di edifici esistenti, assumendo come caso studio il Padiglione 1 - Padiglione Sottsass del complesso di Torino Esposizioni. Il metodo si articola in tre livelli di approfondimento.

Il primo prevede la selezione dei materiali, utilizzando come criterio preliminare il dato di Embodied Carbon (fasi A1-A3), indicatore sistematicamente disponibile nelle Diachiarazioni Ambientali di Prodotto.

Il secondo costruisce le alternative progettuali a parità di trasmittanza termica rispetto ai componenti di riferimento, utilizzando i materiali precedentemente selezionati, e le confronta attraverso variabili ambientali, economiche e costruttivo-geometriche.

Il terzo comprende l'ottimizzazione prestazionale delle soluzioni selezionate e la simulazione energetica dinamica del comportamento dell'edificio.

INDICE

00. Introduzione 12

01. Il complesso di Torino Esposizioni 15
- *01.1. Evoluzione storica*
- *01.2. Il Palazzo della Moda*
- *01.3. Torino Esposizioni*
- *01.4. Trasformazioni dagli anni '60 ai primi anni 2000*
- *01.5. Progetti recenti*

02. Analisi del Padiglione 1 - Padiglione Sottsass 36
- *02.1. Caratteristiche funzionali e distributive*
- *02.2. Interventi di riqualificazione in ottica nZEB*
  - *02.2.1. Involucro edilizio*
  - *02.2.2. Sistema impianti*
  - *02.2.3. Fonti rinnovabili*

03. Transizione verso edifici a zero emissioni 47
- *03.1. Quadro normativo europeo e nazionale*
- *03.2. Il ruolo delle emissioni nel ciclo di vita dell'edificio*
- *03.3. Strumenti per la valutazione ambientale*
- *03.4. Limiti degli approcci attuali*
- *03.5. Posizionamento della tesi*

INDICE

04. Metodologia - caso studio 63
04.1. Inquadramento della problematica decisionale
04.2. Embodied Carbon come criterio guida
04.3. Limiti e ruolo delle EPD
04.4. Definizione dei criteri di valutazione
04.5. Caso studio

05. Sviluppo alternative progettuali 74
05.1. Livello 1: selezione dei materiali
05.2. Livello 2: costruzione delle alternative a parità di trasmittanza termica
05.2.1. Calcolo delle variabili
05.2.2. Valutazione comparativa
05.3. Livello 3: ottimizzazione prestazionale delle alternative selezionate

06. Simulazione energetica e discussione risultati 107
06.1. Modello energetico di riferimento
06.2. Simulazione per singolo componente
06.3. Discussione critica dei risultati

07. Conclusioni 125

08. Bibliografia - Sitografia 132

INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico rappresenta una criticità centrale a livello globale, con implicazioni dirette per il settore edilizio, responsabile di una quota significativa di consumi energetici e di emissioni di gas ad effetto serra. Il raggiungimento degli obiettivi europei di decarbonizzazione entro il 2050 richiede una profonda revisione delle modalità con cui gli edifici vengono progettati, realizzati e riqualificati.

L'evoluzione del quadro normativo europeo ha gradualmente orientato il settore verso standard prestazionali sempre più ambiziosi. Se la Direttiva EPBD III avreva introdotto il concetto di Nearly Zero Energy Building (nZEB), concentrando l'attenzione principalmente sulla riduzione dei consumi energetici in fase d'uso, la recente Direttiva EPBD ziv amplia significativamente il campo di osservazione, introducendo il concetto di Zero Emission Building (ZEB) e riconoscendo il ruolo crescente delle emissioni associate ai materiali e ai processi costruttivi. Il processo di progressiva riduzione e azzeramento delle emissioni del patrimonio edilizio non può più essere affrontato esclusivamente attraverso il miglioramento dell'efficienza energetica e l'integrazione delle fonti rinnovabili, ma richiede una valutazione più ampia che includa anche le emissioni incorporate nei componenti edilizi.

Questo cambiamento sposta il baricentro verso il concetto di Whole Life Carbon che modifica il processo progettuale, introducendo nuove variabili e nuove complessità decisionali. Ne deriva la necessità di sviluppare strumenti e metodologie in grado di supportare il progettista nella valutazione delle alternative disponibili, rendendo espliciti i compromessi che emergono.

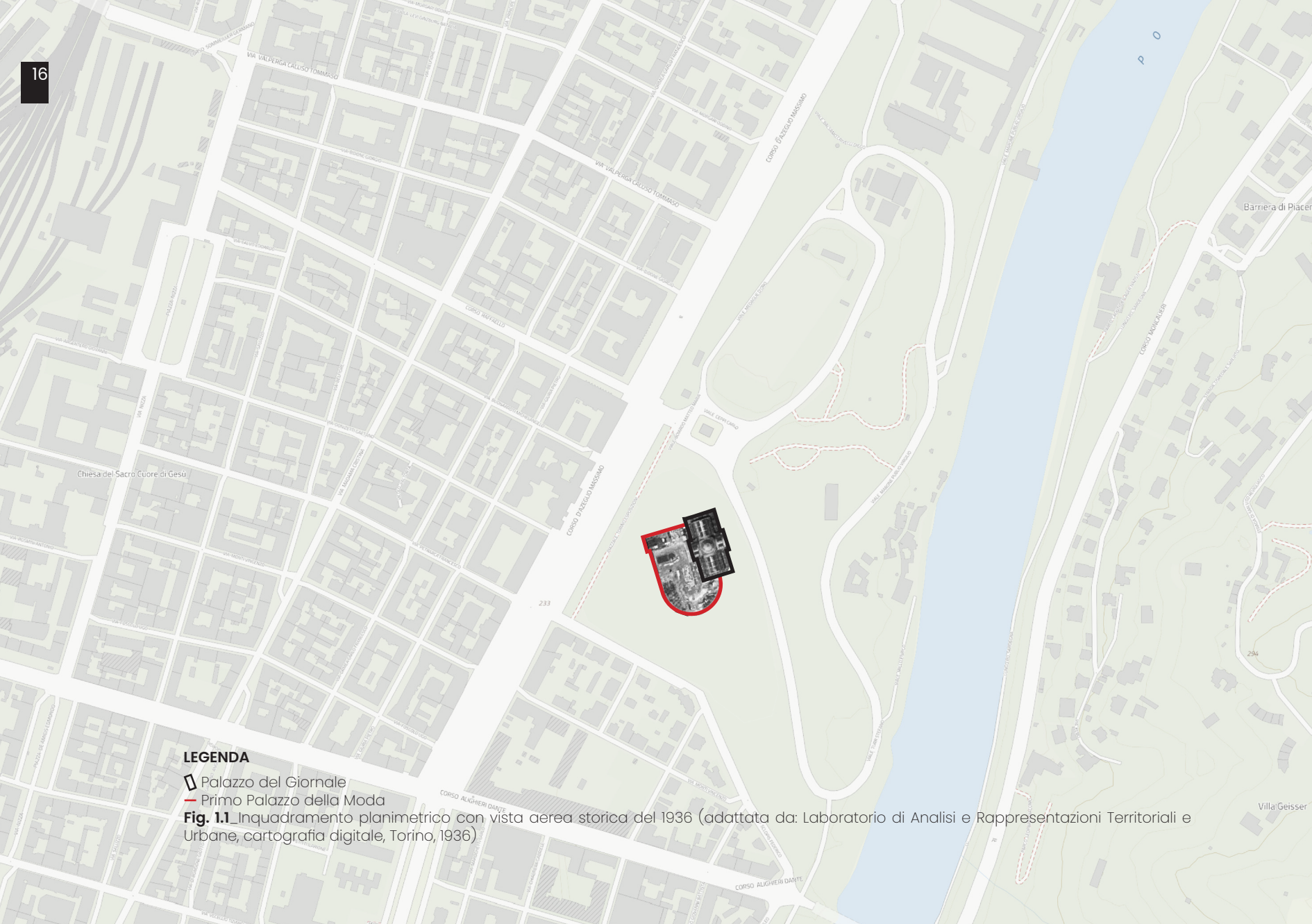
In tale contesto si inserisce la presente ricerca, che assume come caso studio il Padiglione 1 di Torino Esposizioni, oggetto di un progetto di riqualificazione sviluppato dal Politecnico di Torino secondo gli standard nZEB. A partire da tale intervento, la tesi propone una metodologia finalizzata alla valutazione comparativa di alternative progettuali orientate alla riduzione delle emissioni incorporate, integrando considerazioni ambientali, economiche e prestazionali.

L'obiettivo della ricerca non è individuare una soluzione ottimale in senso assoluto, nè definire una procedura automatica di selezione dei materiali. Lo studio intende costruire un metodo di supporto alla decisione progettuale, evidenziando come la scelta di una soluzione tecnologica sia il risultato di un equilibrio tra fattori spesso non direttamente confrontabili tra loro.

Il flusso metodologico si articola in tre livelli sequenziali di approfondimento. In una prima fase il dato di Embodied Carbon (A1-A3) viene utilizzato come criterio preliminare per la selezione dei materiali da impiegare nelle alternative progettuali. Successivamente, i materiali prescelti vengono impiegati per costruire diverse stratigrafie a parità di prestazione termica rispetto alle soluzioni di riferimento, consentendo un confronto basato su emissioni incorporate lungo il ciclo di vita, costi e parametri costruttivi. Infine le opzioni ritenute maggiormente significative vengono sottoposte ad un processo di ottimizzazione prestazionale e in seguito analizzate mediante simulazione energetica dinamica, al fine di valutare l'influenza delle diverse soluzioni sui fabbisogni termici dell'edificio.

Il lavoro si struttura in sette capitoli. Il Capitolo 01 ricostruisce l'evoluzione storica e le trasformazioni del complesso di Torino Esposizioni che hanno portato alle più recenti ipotesi di rifunzionalizzazione. Il Capitolo 02 approfondisce il Padiglione 1, analizzando nel dettaglio le caratteristiche del progetto di riqualificazione del Politecnico di Torino realizzato in ottica nZEB. Il Capitolo 03 inquadra la transizione verso il nuovo obiettivo di edifici a zero emissioni, analizzando il quadro normativo vigente e il ruolo dei materiali. Nel Capitolo 04 viene definita la metodologia e presentati gli strumenti utilizzati. Il Capitolo 05, cuore operativo dle lavoro insieme al capitolo successivo, sviluppa l'analisi comparativa delle alternative progettuali e la loro ottimizzazione. Il Capitolo 06 trasferisce le configurazioni nell'ambiente di simulazione energetica dinamica, valutando la reattività dell'edificio. Infine, il Capitolo 07 raccoglie le conclusioni, discutendone limiti, potenzialità e possibili sviluppi.

IL COMPLESSO DI TORINO ESPOSIZIONI .01



LEGENDA

Palazzo del Giornale
Primo Palazzo della Moda

Fig. 1.1_Inquadramento planimetrico con vista aerea storica del 1936 (adattata da: Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali e Urbane, cartografia digitale, Torino, 1936)

01.1. Evoluzione storica

Il complesso di Torino Esposizioni, situato all'interno del Parco del Valentino, è uno degli edifici simbolo della città di Torino, ricco di storia, che ha subito numerose trasformazioni imposte da eventi di natura diversa. L'area su cui sorge ha una lunga tradizione di eventi espositivi, a partire dalle Esposizioni Nazionali del 1884 e del 1898, culminate nell'Esposizione Universale del 1911 quando viene costruito il "Palazzo del Giornale".

Progettato da architetti illustri dell'Art-Nouveau quali Pietro Fenoglio, Giacomo Salvadori e Stefano Molli per ospitare funzioni museali, questo edificio risulta essere uno dei primi ad essere realizzato in calcestruzzo armato, a pianta basilicale con due piani fuori terra e caratterizzato da molteplici decorazioni tardo liberty. Il Palazzo del Giornale ha ospitato mostre inerenti l'arte della stampa, ma anche iconografia di giornalisti celebri, mostre del Calendario, della Cartolina e palazzo della Seta per l'esposizione del 1928.

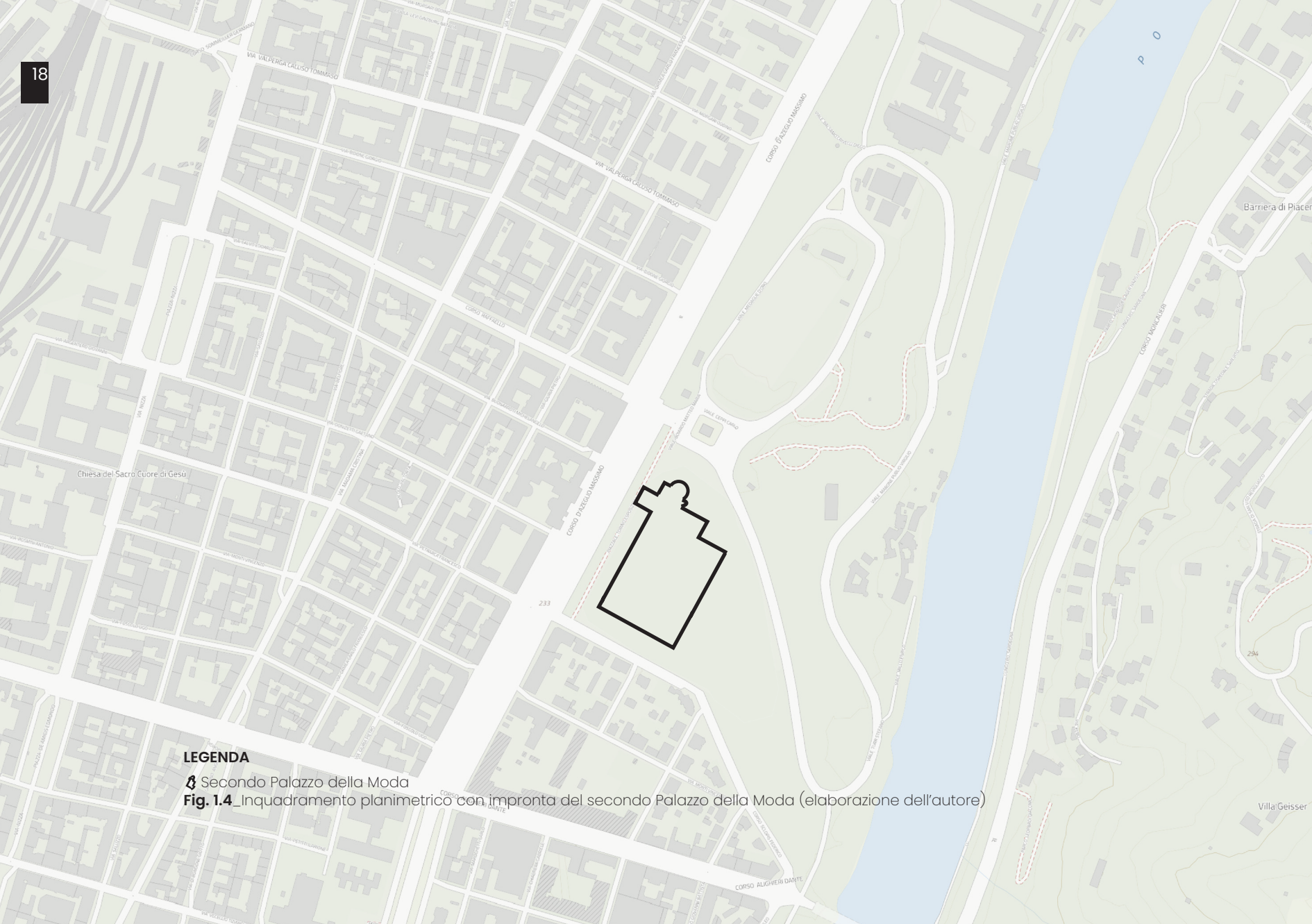
Nel 1932, Torino viene destinata a sede dell'Ente Nazionale della Moda, di conseguenza, il Palazzo del Giornale diventa oggetto di trasformazione su progetto di Umberto Cuzzi in stile razionalista, che accosta al vecchio edificio, con nuova funzione di teatro, due fabbricati: uno a pianta rettangolare, dell'Alta Moda, e l'altro semicircolare, per Esposizione e Fiere.



Fig. 1.2_Veduta del Palazzo del Giornale (fonte: Levra U. (2003). *Le esposizioni torinesi 1805 - 1911: specchio del progresso e macchina del consenso.* Archivio storico della Città di Torino. Torino. P. 133)



Fig. 1.3_Nuova facciata del palazzo del Giornale (fonte: Pagano G. (1933). La mostra italiana della moda, *Casabella.* 5. P. 8)



LEGENDA

Secondo Palazzo della Moda

Fig. 1.4_Inquadramento planimetrico con impronta del secondo Palazzo della Moda (elaborazione dell'autore)

01.2. Il Palazzo della Moda

Il successo ottenuto dal pubblico evidenzia l'inadeguatezza dell'edificio progettato da U. Cuzzi poiché di piccole dimensioni, e, per la prima Mostra della Moda, curata da Giuseppe Pagano nel 1933, viene indetto un concorso dal Comune di Torino e i due enti interessati (Ente Nazionale della Moda e il Comitato delle Manifestazioni torinesi) per la progettazione del secondo Palazzo della Moda. Nel 1936 viene premiato dalla commissione il progetto dell'architetto Ettore Sottsass Sr. (1882-1953) che sostituisce il preesistente Palazzo del Giornale.

Il linguaggio architettonico scelto abbandona l'enfasi decorativa del fabbricato precedente in favore di un'essenzialità volumetrica capace di trasmettere modernità, funzionalità e monumentalità al contempo. Tale progetto si è contraddistinto per l'estrema pulizia razionalista delle linee, la modularità delle facciate in vetrocemento e la presenza di una grande corte centrale su cui si affacciano tre nuclei: la Rotonda, il Teatro della Moda e il Salone principale. La disposizione degli spazi consente di avere contemporaneamente autonomia e collegamento grazie ai porticati e passaggi coperti. Sul lato nord, fronte Corso Massimo d'Azeglio, grande importanza assume un ingresso unico, costituito da un ampio porticato a tutt'altezza in vetrocemento non interrotto da scritte e insegne.

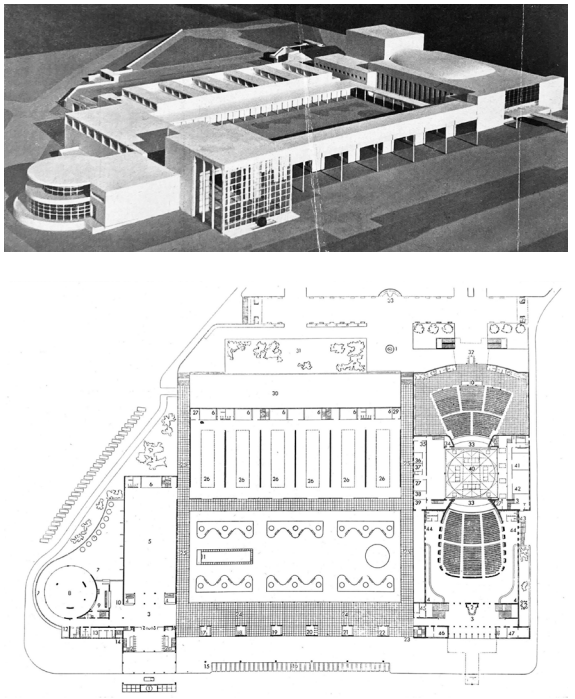


Fig. 1.5_Progetto di E. Sottsass per il nuovo Palazzo della Moda (fonte: Pagano G. (1936). Il palazzo della moda a Torino. *Casabella*. 108. P. 20-25)



LEGENDA

Torino Esposizioni

Fig. 1.6_Inquadramento planimetrico con impronta di Torino Esposizioni (elaborazione dell'autore)

01.3. Torino Esposizioni

I bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale segnano pesantemente il Palazzo della Moda.

Nel 1947 nasce la Società del Palazzo delle Esposizioni, partecipata da grandi industrie locali, in particolare la Fiat, e molto impegnata nell'impresa, necessita di spazi espositivi per promuovere l'industria piemontese. La ricostruzione dei resti del Palazzo della Moda, concessa dalla città di Torino, viene affidata a Roberto Biscaretti di Ruffia, ingegnere della Fiat, che prevedeva la suddivisione dell'area in tre diversi settori, senza alterare il progetto di Sottsass: il ristorante a pianta circolare a nord, il teatro a sud e, al centro, il nuovo salone espositivo.

Il progetto esecutivo viene affidato all'ing. Pier Luigi Nervi che recupera e ricostruisce la preesistenza per il salone A (attuale Padiglione 1). Per il Teatro, realizza la volta di copertura autoportante in voltini prefabbricati per il salone B (attuale Padiglione 2) che lo rese celebre nel mondo. Verso il parco, una grande abside (attuali Padiglioni 4 e 4B interrato) la cui volta nervata a losanghe viene sostenuta da un emiciclo di pilastri intervallati da grandi vetrate. In seguito, interviene anche sulle strutture del corpo retrostante del Padiglione 1, rinforzando i grandi portali in calcestruzzo e aumentandone la dimensione secondo il ritmo originale delle campate.

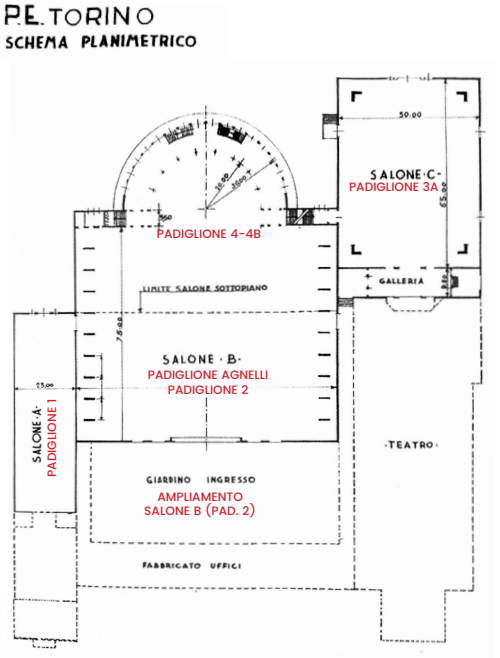
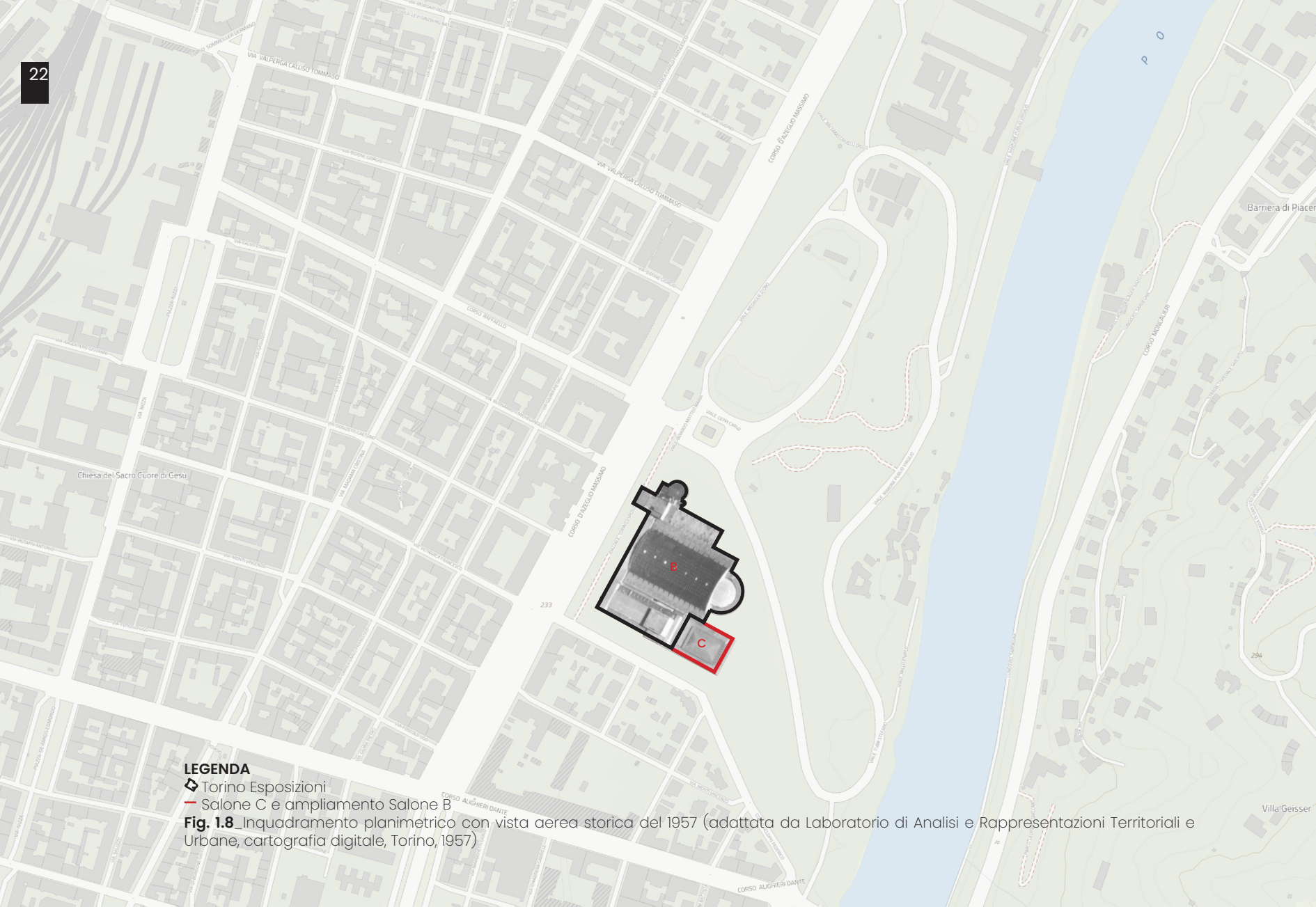


Fig. 1.7_Schema planimetrico di Roberto Biscaretti di Ruffia (adattata da Greco C. (2008). *Pier Luigi Nervi: dai primi brevetti al Palazzo delle Esposizioni di Torino, 1917-1948.* Quart Edizioni Lucerna. P. 229)

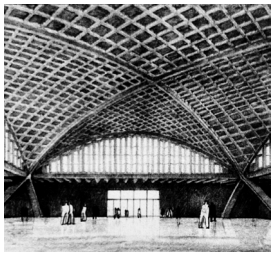


LEGENDA
Torino Esposizioni
Salone C e ampliamento Salone B

Fig. 1.8_Inquadramento planimetrico con vista aerea storica del 1957 (adattata da Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali e Urbane, cartografia digitale, Torino, 1957)

Negli anni Cinquanta, in seguito alle celebrazioni del centenario dello Statuto Albertino e la Rassegna dell'automobile, gli industriali torinesi decidono di ampliare il complesso: viene costruito da Nervi il Salone C (attuale Padiglione 3A) nell'area retrostante il Teatro, dove si ergeva il teatro all'aperto ideato da Sottsass. Il padiglione viene progettato per ospitare il palazzo del ghiaccio, diventando nuovo impianto sportivo all'interno del parco. La sua realizzazione fu molto rapida, effettuata in soli cinque mesi mediante l'uso di elementi prefabbricati, e inaugurata nella primavera del 1950. Tra il Salone C e il Teatro, Nervi realizza anche una galleria di collegamento, coperta da nervature incrociate e da un lucernario continuo, in modo da garantire un accesso da via Petrarca al Salone B e il raccordo dei dislivelli fra saloni.

Nel 1954 il salone B, detto Padiglione Agnelli, viene ampliato con ulteriori cinque campate occupando lo spazio della corte interna, ultima memoria dello spazio di collegamento dell'originale Palazzo della Moda, che viene così eliminato. Nervi mantiene la manica ad uso uffici e conserva la struttura esistente del porticato, ma ha dovuto svincolare il suo fronte da questi. L'espansione porta, inoltre, alla modifica del fronte su corso Massimo d'Azeglio.



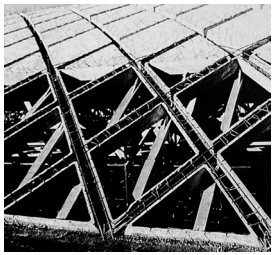


Fig. 1.9_Soluzione a vela e dettaglio della copertura ad elementi prefabbricati per il Salone C (fonte: Greco C. (2008). *Pier Luigi Nervi: dai primi brevetti al Palazzo delle Esposizioni di Torino, 1917-1948*. Q.E. Lucerna. P. 262)

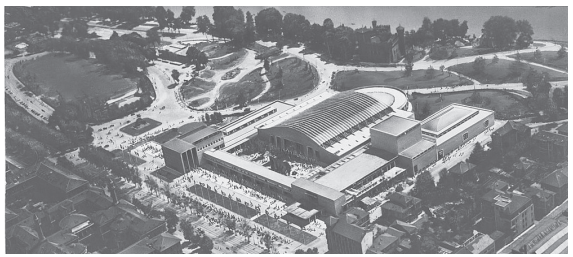
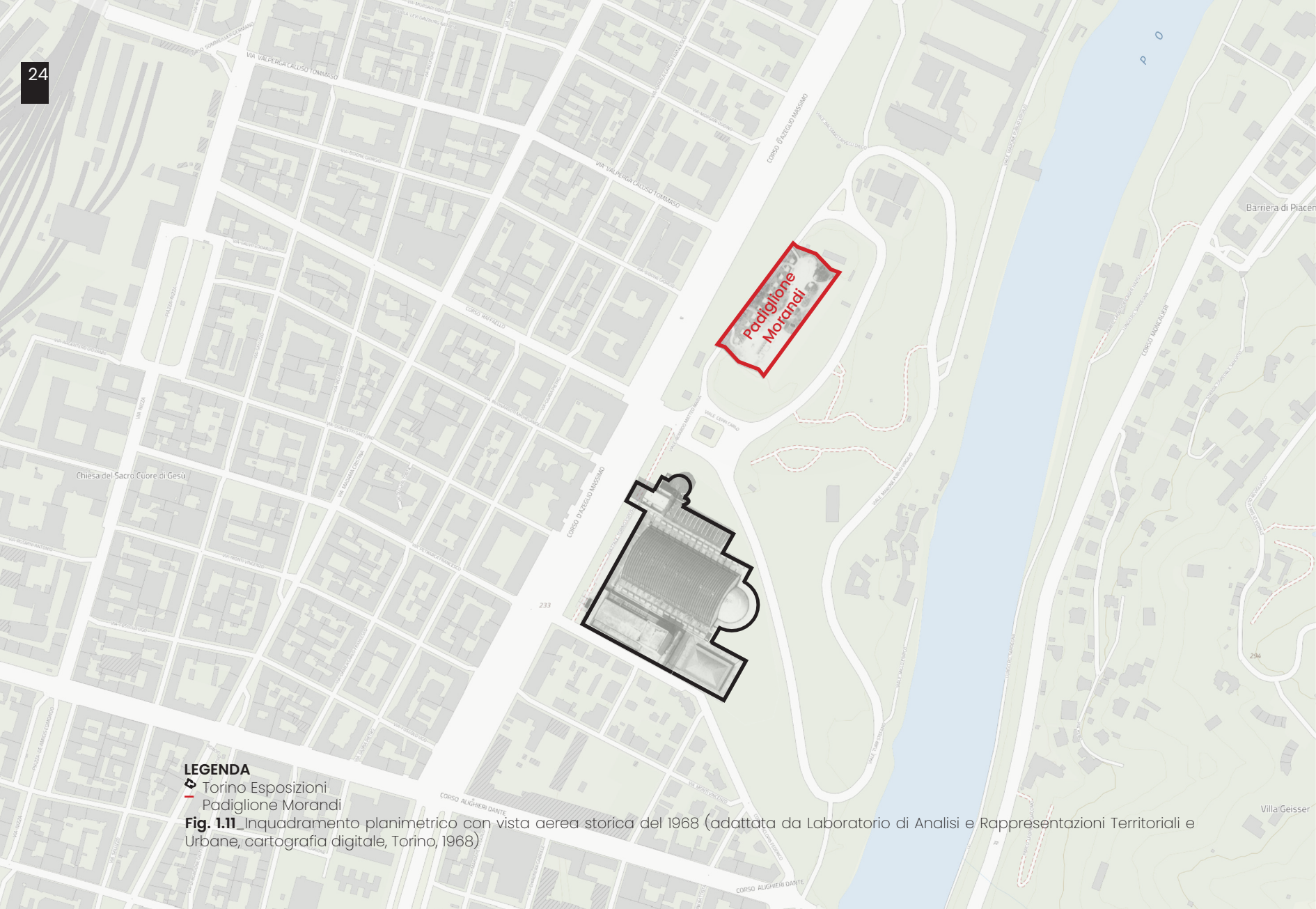


Fig. 1.10_Veduta aerea del complesso nella prima fase della ricostruzione, 1950. Torino Esposizioni, Torino. (Biblioteca Civica Centrale di Torino)



LEGENDA
Torino Esposizioni
Padiglione Morandi

Fig. 1.11_Inquadramento planimetrico con vista aerea storica del 1968 (adattata da Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali e Urbane, cartografia digitale, Torino, 1968)

Nel 1959, si decide di ampliare ulteriormente il complesso di Torino Esposizioni, per ospitare le celebrazioni del centenario dell'Unità d'Italia a Torino, nell'area del parco che aveva ospitato il Laghetto dei Pattinatori e sede del galoppatoio della Società Ippica Torinese. Data l'impossibilità di incrementare la superficie del complesso e il divieto da parte della soprintendenza di effettuare altre esposizioni all'interno del parco del Valentino, si opta per la realizzazione di un padiglione ipogeo. Il progetto del nuovo Salone V viene affidato alla Società Costruzione e Impianti Fiat dell'ingegner Riccardo Morandi che lo edifica applicando la tecnica morandiana del cemento armato precompresso. La struttura, suddivisa in tre ambienti come il Salone B, viene collegata al complesso di Torino Esposizioni mediante una galleria sotterranea per assicurare un seguito al percorso espositivo.



Fig. 1.12_Fotografia sull'ingresso del Padiglione Morandi (fonte: Atlante di Torino)



LEGENDA
Torino Esposizioni
Padiglione 3A

Fig. 1.13_Inquadramento planimetrico con vista aerea storica del 1979 (adattata da Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali e Urbane, cartografia digitale, Torino, 1979)

01.4. Trasformazioni dagli anni '60 ai primi anni 2000

Negli anni Sessanta e Settanta il complesso di Torino Esposizioni è stato scenario di diverse edizioni del Salone dell'Automobile di Torino. Nel 1973 viene aggiunto un nuovo fabbricato in continuità con il Padiglione 3A, su via Francesco Petrarca. Privo di alcuna relazione formale con il resto del complesso, quest'ultimo presenta, attorno a una struttura metallica con pilastri e travi reticolari, una vetrata continua su un basamento di cemento che la separa dal terreno del parco. Del Padiglione 3B non vi è traccia in alcuna pratica in Archivio Edilizio e non compare nelle Carte Tecniche del 1969, ma compare in quelle del 1974 e in una pratica autorizzativa del 1973 relativa alle recinzioni de La Rotonda.

Il complesso di Torino Esposizioni è stato intensamente utilizzato nel corso degli anni Sessanta e Settanta per le fiere e sede di diverse edizioni del Salone dell'Automobile di Torino.
Dal 1989 l'organizzazione di eventi espositivi viene trasferita al Lingotto, dando inizio ad un periodo di inutilizzo, interrotto solo in occasione dei XX Giochi olimpici invernali, quando Torino Esposizioni viene indicato come sede per gli eventi di hockey su ghiaccio per i XX Giochi olimpici invernali del 2006 e adeguato dal punto di vista impiantistico e funzionale. Nei Padiglioni 2-4, 3A e 3B trovano po-

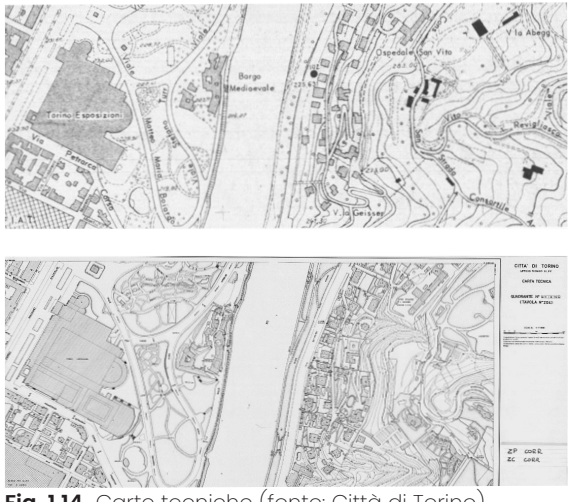
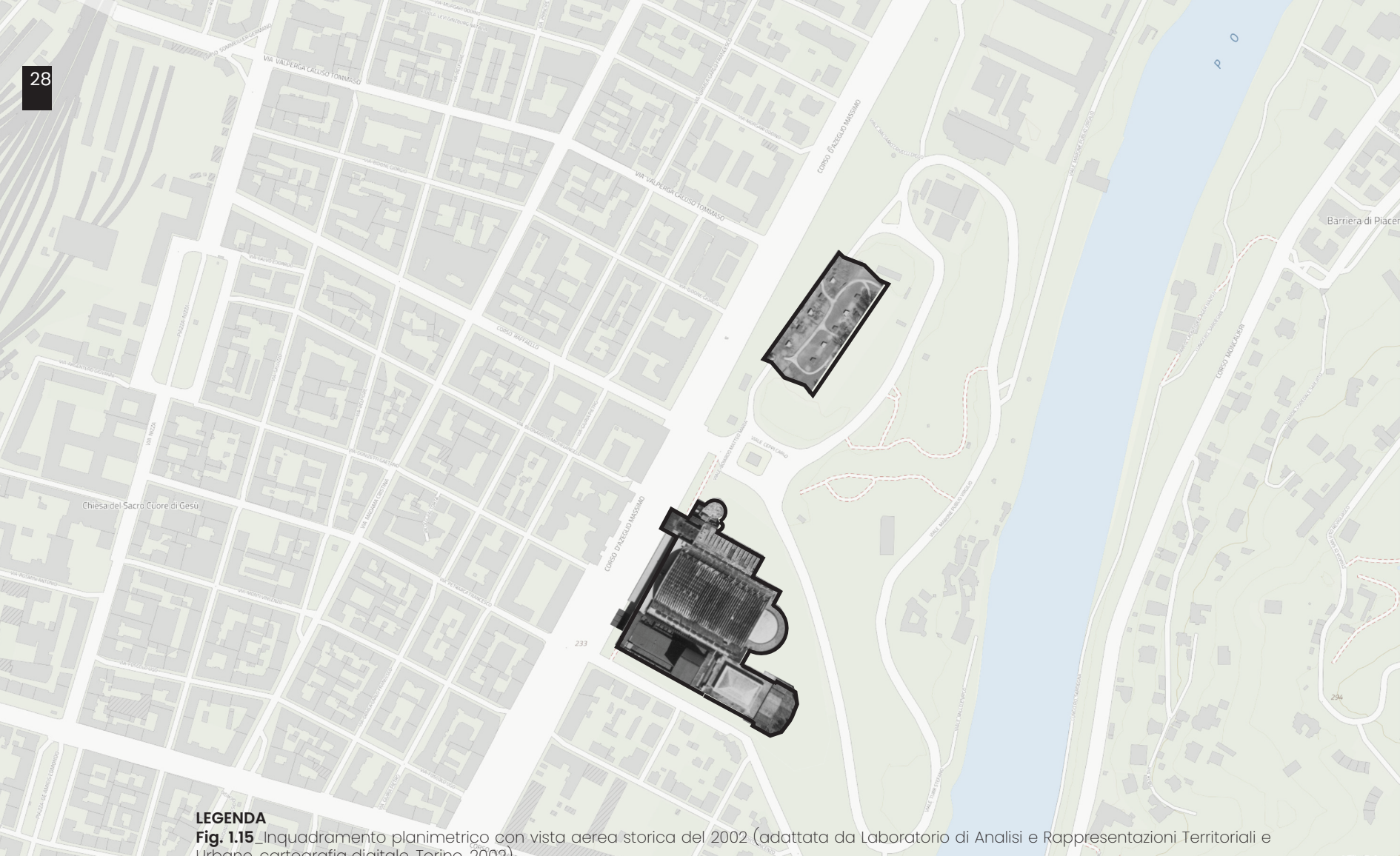


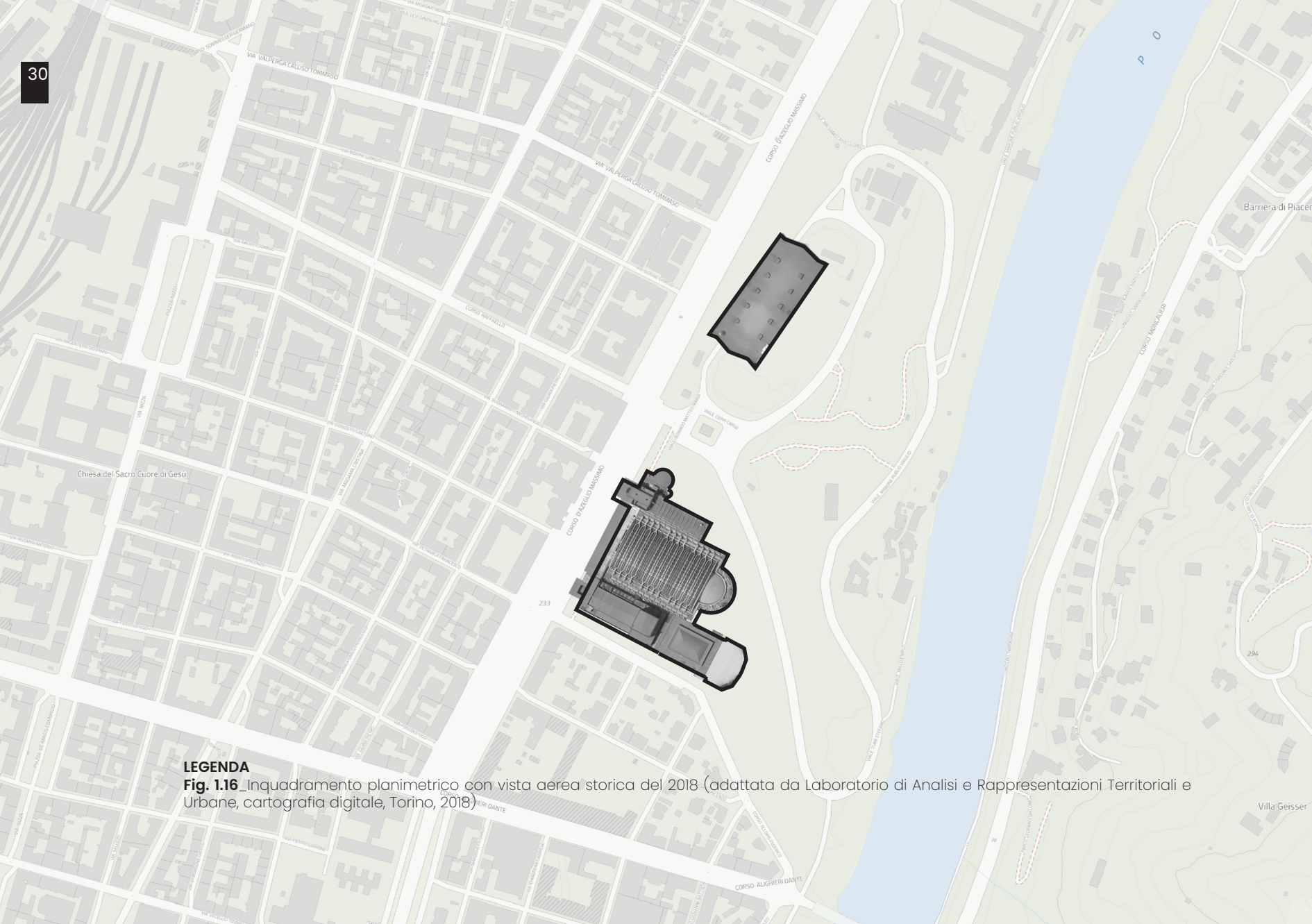
Fig. 1.14_Carte tecniche (fonte: Città di Torino)



LEGENDA
Fig. 1.15_Inquadramento planimetrico con vista aerea storica del 2002 (adattata da Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali e Urbane, cartografia digitale, Torino, 2002)

sto un campo di gara, una pista per allenamenti, una tribuna e gli spogliatoi (in seguito ad una ristrutturazione interna del padiglione). Oltre a queste trasformazioni interne, vengono effettuate modifiche esterne decisamente più impattanti. Viene aggiunto un avancorpo vetrato verso Corso Massimo d'Azeglio con funzione di ridotto che modifica la facciata originale ed elimina lo spazio pedonale antistante il complesso. Inoltre, vengono aggiunte scale metalliche sul lato del parco per motivi di sicurezza e realizzate dotazioni impiantistiche importanti che necessitano di nuovi corpi di fabbrica.

Dopo quarant'anni di uso espositivo, nel 1996 la gestione del Padiglione 5 viene affidata al gruppo torinese trasporti GTT che lo trasforma in parcheggio pubblico e, dal 1999, viene utilizzato nelle festività per l'allestimento di "Natale in Giostra", per attività legate alle elezioni e, più recentemente, come ospedale temporaneo.



LEGENDA

Fig. 1.16_Inquadramento planimetrico con vista aerea storica del 2018 (adattata da Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali e Urbane, cartografia digitale, Torino, 2018)

01.5. Progetti recenti

Dal 2014 il complesso di Torino Esposizioni passa in gestione dall'Ente Fierimpresa al Comune di Torino e nascono così nuove prospettive grazie alla cooperazione di Politecnico e Città di Torino in un meta-progetto che ne valuta la sua trasformazione in parte nella nuova Biblioteca Civica e in parte in spazi universitari per il Campus delle Architetture.

Nel 2017 viene bandito un concorso da parte della Città per un progetto di fattibilità che vede premiati ICIS, Rafael Moneo e Isolarchitetti. Inizialmente, al Politecnico viene assegnato il Padiglione 5, ma l'introduzione nel 2018 delle nuove Norme Tecniche di Costruzione, che impongono livelli di adeguamento sismico molto stringenti per edifici ad uso scolastico-universitario, porta ad escludere l'opzione di riutilizzo del Padiglione 5.

L'analisi di diverse soluzioni progettuali, data la rilevanza del Campus delle Architetture per l'Ateneo e l'area del Parco del Valentino, porta alla formalizzazione di un Protocollo di Intesa nel 2021 che espone le procedure di assegnazione da parte della Città di Torino al Politecnico dei Padiglioni 3A e 3B.

Successivamente, nel 2022, con la delibera della Giunta Comunale n. 106, concede il Padiglione 1, previa liberazione da parte dell'Università di Torino da effettuare entro il 2025.

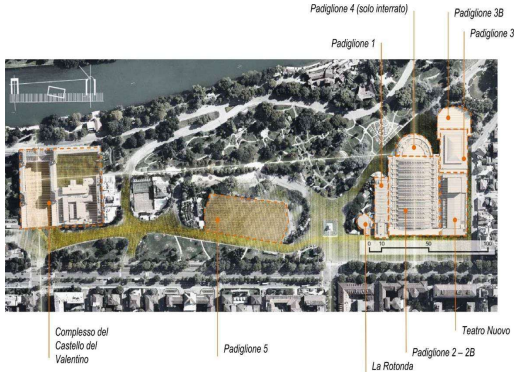


Fig. 1.17_Prime ipotesi di riuso del complesso di Torino Esposizioni, 2014 (fonte: Comune e Politecnico di Torino)

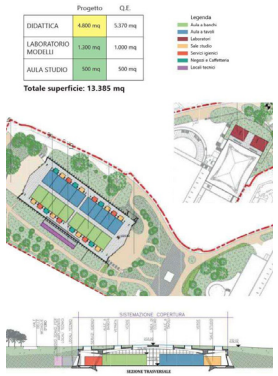


Fig. 1.18_Studio di fattibilità 2015/17, Icis - Moneo - Isolarchitetti



LEGENDA

Fig. 1.19_Inquadramento planimetrico con vista aerea storica del 2018 (adattata da Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali e Urbane, cartografia digitale, Torino, 2018)

La filosofia generale degli interventi sul complesso di Torino Esposizioni si basa sul recupero e la valorizzazione dei padiglioni, rispettando il valore architettonico, ambientale e paesaggistico, i vincoli esistenti e rimuovendo le aggiunte incongruenti effettuate nel corso del tempo.
I Padiglioni 2, 2B e 4, grazie al Fondo Complementare, ospiteranno la Biblioteca Civica Centrale che potrà garantire ai torinesi un innovativo centro culturale e informativo, luogo di conoscenza e socialità. Il progetto della Nuova Biblioteca Civica Centrale si svilupperà su più livelli e comprenderà diverse macroaree funzionali.
Il Teatro Nuovo, mantenendo la destinazione e la struttura originaria, verrà rinnovato in un hub culturale dedicato al mondo del teatro, delle arti performative e all'intera sfera dello spettacolo. L'intervento avverrà principalmente all'interno, con l'inserimento di allestimenti polifunzionali con l'obiettivo di diventare struttura di sostegno per attori territoriali, istituzioni, associazioni, permettendo la compresenza di realtà differenti tra loro e, di conseguenza, essere più attrattivo per il pubblico. La sala principale verrà sostituita con una nuova sala teatrale (1500 posti), completa di camerini e spazi di servizio necessari funzionali all'attività di teatro, ma anche cinema, eventi e sala conferenze. Il primo piano verrà destinato ad uno spazio co-working

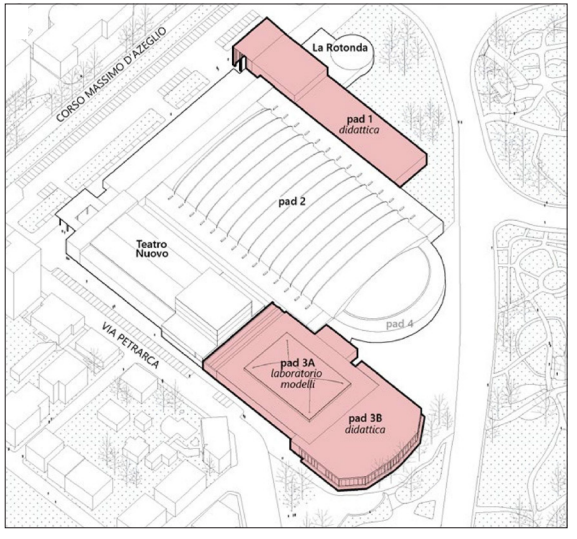


Fig. 1.20_Concessione Padiglioni 1, 3A e 3B al Politecnico di Torino, 2022. Padiglioni 2, 2B e 4 ospiteranno la nuova Biblioteca Civica Centrale (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

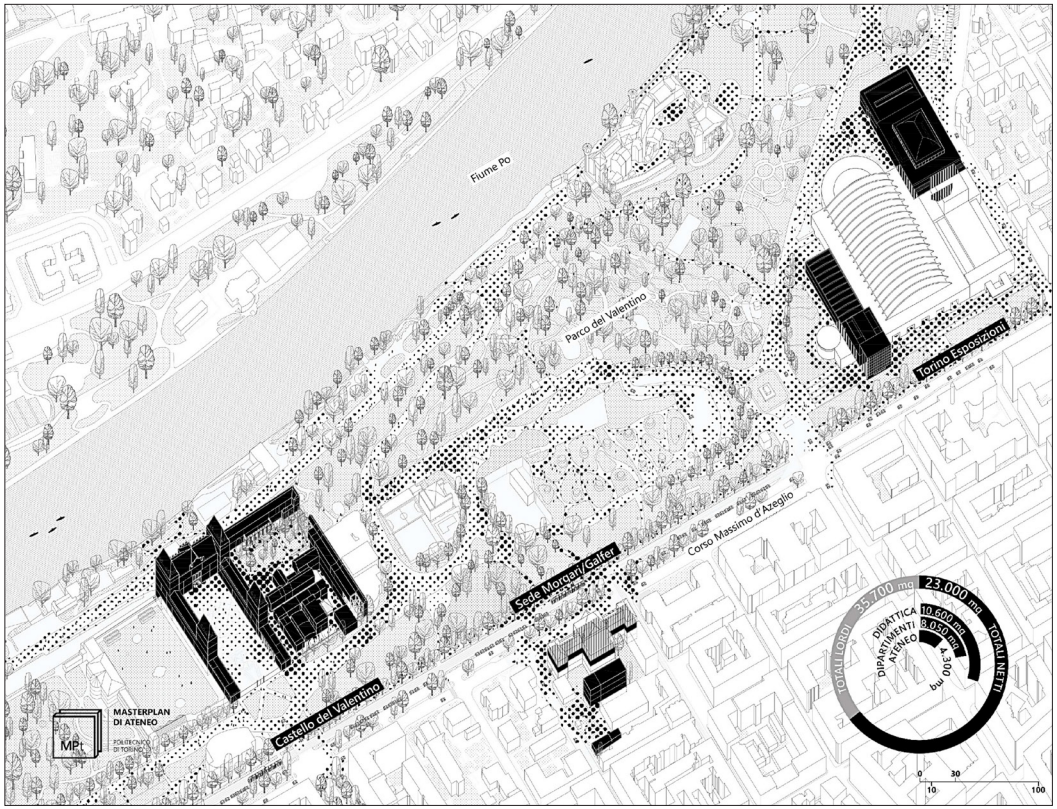


Fig. 1.21_Campus Architettura Design e Pianificazione (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

per le associazioni culturali della Città di Torino.
Il progetto di recupero dei padiglioni di Torino Esposizioni da parte del Politecnico rientra nel piano di sviluppo esteso a tutte le sedi dell'Ateneo. L'intento è la riorganizzazione dei campus in risposta alla grande crescita che sta riscontrando: Campus delle Ingegnerie, presso la sede centrale di Corso Duca degli Abruzzi, e il Campus delle Architetture, presso la storica sede del Castello del Valentino, gli spazi nel Galileo Ferraris, in via Morgari e Torino Esposizioni. Il progetto assume grande importanza per l'Università, consentendo di potenziare il cosiddetto "asse culturale del Po" e riunendo didattica e ricerca in un unico luogo, ma allo stesso tempo incentiva anche una serie di interventi di rigenerazione urbana. La progettazione si è basata su un'attenta analisi degli spazi e di relazione con il contesto, con il Complesso e con il Parco del Valentino, e, oltre a aule e spazi per la didattica, comprende spazi di condivisione e flessibili utilizzabili come sale studio, spazi per la socializzazione, eventi e laboratori.

02. ANALISI PADIGLIONE 1 – PADIGLIONE SOTTSASS

L'attuale programma di rigenerazione e rifunzionalizzazione del complesso di Torino Esposizioni, che come abbiamo visto vede il coinvolgimento attivo del Politecnico di Torino, riaccende il dibattito sulle modalità di intervento sul patrimonio architettonico del Novecento. La scelta metodologica di questa tesi si concentra specificatamente sul Padiglione 1, Padiglione Sottsass, preferendo un'opzione che si distacca dalle rotte di ricerca più convenzionali attraverso un posizionamento critico definito.

La letteratura, i progetti di restauro e le analisi prodotte negli anni tendono a convergere verso il limitrofo Padiglione 3a (il salone C di Pier Luigi Nervi). La spettacolarità di Nervi ha spesso catturato l'attenzione dei ricercatori, lasciando il Padiglione 1 in secondo piano per quanto riguarda lavori pregressi e approfondimenti dedicati all'opera di Ettore Sottsass senior. Questo aspetto conferisce alla tesi un carattere di utilità conoscitiva.

La decisione non deriva tuttavia da un vuoto bibliografico, ma si fonda sulla sua intrinseca ed elevata complesità morfologica e costruttiva. Il Padiglione Sottsass si presenta con una struttura apparentemente regolare, ma è in realtà un organismo edilizio decisamente articolato, frammentato e caratterizzato da diverse stratificazioni. Questa conformazione complica anche la gestione dell'edificio dal punto di vista della fisica tecnica (più livelli, diverse altezze, apporti solari differenti, ecc.). Si tratta di un caso studio "meno" semplice da trattare rispetto ad un grande open-space unico.

Un ulteriore elemento di interesse riguarda i vincoli storici. Seppur inserito nel quadro di tuteta del complesso, il Padiglione 1 presenta margini di flessibilità progettuali leggermente differenti rispetto ai saloni nerviani. Questa condizione, paraddossalmente, non semplifica il lavoro, ma aumenta la complessità decisionale poichè il vincolo assoluto impone un'unica soluzione possibile, mentre vincoli inferiori costringono il progettista a prendere scelte pesate. L'ottimizzazione di questo padiglione in ottica ZEB significa

applicare una metodologia applicativa i cui risultati possono trovare riscontro e riutilizzo in altri casi studio del patrimonio nazionale.

Su queste premesse, il presente capitolo analizza le caratteristiche distributive, tecnologiche e impiantistiche del Piano di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE) per il Padiglione 1, assumendo tale progetto, sviluppato in conformità con gli attuali standard nZEB (Nearly Zero Energy Building), come Scenario di Riferimento (Baseline) della tesi. L'analisi dell'assetto del fabbricato costituisce il prerequisito fondamentale che ha guidato ogni successiva scelta del PFTE.



Fig. 2.1_Prospetto ovest esterno e interno portico del Padiglione Sottsass, stato di fatto (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

02.1. Caratteristiche funzionali e distributive

Il Padiglione 1 si contraddistingue per la presenza del porticato monumentale di ordine gigante con la torretta che, insieme all'atrio, creano un collegamento tra spazio esterno e lo spazio interno di notevole impatto e rappresentano una delle strutture più emblematiche del complesso.

Questi spazi sono stati negli anni oggetto di interventi conservativi e di recupero, volti a mantenere i tratti originari e simbolici. Gli interventi di progetto prevedono, infatti, la rimozione di tutte le superfetazioni, comprese le scritte e insegne e il loro ripristino, il rinforzo strutturale dei pilastri, la sostituzione puntuale delle lastre di travertino, sostituzione totale delle mattonelle di klinker con piastrelle di uguali dimensioni e la ricostruzione della facciata in vetrocemento rifacendo i moduli prefabbricati con mattoni a camera.

L'atrio, caratterizzato da un'altezza più che doppia, per essere ripristinato alla sua spazialità originaria dovrà inizialmente prevedere la demolizione di tutti i tramezzi e i controsoffitti presenti. Il progetto comprende il rifacimento della bussola di ingresso, della scala interna di emergenza a nord, della pavimentazione e dei solai, il rinforzo delle travature trasversali e la collocazione di nuovi arredi e impianti.



Fig. 2.2_Vista del porticato del Padiglione Sottsass (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)



Fig. 2.3_Vista ingresso e atrio del Padiglione Sottsass (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

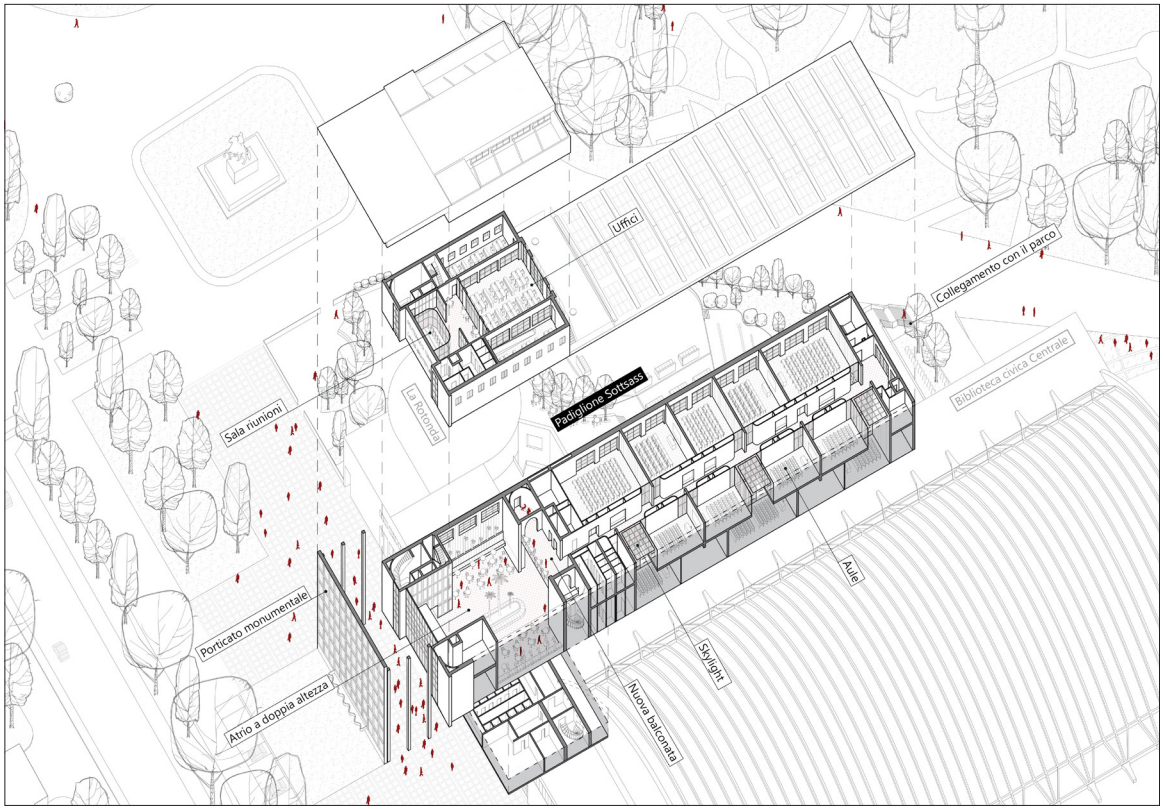


Fig. 2.4_Padiglione 1 - Padiglione Sottsass (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

La torretta, destinato ad uffici direzionali, è suddivisa in tre parti: una centrale e due laterali che corrispondono alla distribuzione del piano sottostante dell'atrio. I tre spazi sono stati pensati come funzionali per diverse necessità, avendo la possibilità di essere divise tramite vetrate. Le diverse zone, avendo quote diverse, vengono raccordate tramite delle rampe (8% di pendenza) per garantire l'accessibilità.

Sul corpo retrostante, costituito dalla cosiddetta manica lunga, concepito come grande volume unico di carattere funzionale e industriale, scandito da grandi portali di calcestruzzo armato, sono state effettuate invece trasformazioni più radicali nel corso del tempo. Su questo fabbricato era già intervenuto Pier Luigi Nervi demolendo i solai per rinforzare la struttura dei grandi portali, ampliando la loro sezione resistente, e ingrandirlo con una serie di campate che ne riprendevano l'originale scansione e impronta.
Il progetto prevede la realizzazione di due livelli, entrambi a manica doppia, di spazi utilizzati come aule e spazi per la didattica, collegati da un corridoio centrale lineare che richiama alla memoria la permeabilità degli spazi presente nella concezione di Sottsass. Le opere architettoniche realizzate su quest'area mirano tutte ad un linguaggio modernista in linea con il recupero dell'atrio per mettere in ri-



Fig. 2.5_Vista degli uffici nella torretta del Padiglione Sottsass (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

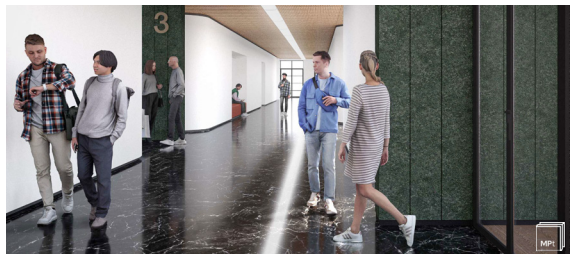


Fig. 2.6_Vista di corridoio e aule del Padiglione Sottsass (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

salto il valore storico del complesso. Le facciate verranno ricostruite data la presenza di due livelli. In particolare, nel prospetto nord, attualmente cieco nella parte sottostante, vengono effettuate nuove aperture, per garantire la presenza di illuminazione naturale anche al piano terra, seguendo la logica di quelle al livello superiore.
L'intervento complessivo sul Padiglione si propone come un insieme di restauro conservativo, rifunzionalizzazione e innovazione tecnologica.



Fig. 2.7_Vista esterna del Padiglione Sottsass da Viale Matteo Maria Boiardo (Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

02.2. Interventi di riqualificazione in ottica nZEB

L'intervento di riqualificazione energetica del complesso di Torino Esposizioni, oltre a rispettare i Criteri Minimi Ambientali, è stato uno dei primi interventi del Politecnico di Torino ad essere sviluppato in ottica di edificio ad energia quasi zero, secondo la Direttiva Europea 31/2010/CE e la successiva revisione 2018/844/UE EPBD, rientrando nel Piano di Decarbonizzazione che punta verso la neutralità climatica entro il 2050. Questo obiettivo di riduzione del fabbisogno annuo totale di energia primaria dell'edificio tramite la combinazione di misure di retrofit passive e attive, relative a impianti e fonti rinnovabili, si scontra, saltuariamente, con i vincoli paesaggistici e di Piano Regolatore che non ammettono l'inserimento di impianti a vista. Le scelte progettuali sono state effettuate, di conseguenza, ponderando azioni che garantissero la massima efficienza energetica e la minima influenza a livello architettonico.
I progetti vengono inoltre certificati tramite il Protocollo ITACA.

Segue l'analisi delle strategie del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica del Padiglione 1, che prevede elevate prestazioni energetiche e un basso impatto ambientale, attenendosi ai vincoli prescritti sull'edificio.

02.2.1. Involucro edilizio



Le strategie adottate a livello di involucro edilizio sono orientate alla riduzione delle dispersioni termiche e al controllo del guadagno solare passivo, principi base per l'ottenimento degli obiettivi di edificio ad energia quasi zero.

In particolare, sono previsti:

- Isolamento termico dell'involucro, con interventi, nei componenti verticati ove possibile internamente, esternamente e in intercapedine, nelle coperture sull'estradosso, mirati a migliorare la resistenza termica delle superfici opache disperdenti, pur intervenendo su un involucro esistente;
- Sostituzione dei serramenti, attraverso l'installazione di nuove chiusure verticali trasparenti ad alte prestazioni con vetri basso-emissivi e trattamenti selettivi per

aumentare l'isolamento termico e acustico;
- Inserimento di sistemi schermanti mobili sulle vetrate esposte a sud, est e ovest, con l'intento di ridurre l'apporto solare diretto e migliorare le condizioni di comfort interno durante la stagione estiva.

Le strategie si traducono in un pacchetto di stratigrafie di progetto che definiscono i requisiti termici di partenza dell'edificio. Le stratigrafie *tipo* individuate come riferimento per il calcolo e il confronto verranno analizzate nel dettaglio nel paragrafo 04.5, all'interno della definizione del caso studio metodologico.



02.2.2. Sistema impianti

Per quanto concerne gli impianti, è fondamentale far riferimento alla presenza di reti di teleriscaldamento e teleraffreddamento collocati a meno di 1 km di distanza come soluzione integrabile al sistema energetico ad alta efficienza. Torino, infatti, grazie al calore prodotto dagli impianti di cogenerazione di Moncalieri e Torino Nord e il termovalorizzatore dei rifiuti TRM, risulta essere la città più teleriscaldata d'Italia.

Gli impianti termici includono strategie quali:
- Installazione di impianto, destinato al riscaldamento, alla climatizzazione degli ambienti ed alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS), di tipo geotermico a pompa di calore acqua – acqua, che riduce significativamente i consumi di energia primaria non rinnovabile;
- Installazione di un sistema di automazione e controllo BACS (Building Automation and Control Systems), basato su protocollo Mobdus, che integra il controllo di tutte le funzioni di riscaldamento, illuminazione e dei parametri ambientali;
- Installazione di misuratori di energia su circuiti termici ed elettrici e di contabilizzatori diretti del calore per impianto di climatizzazione e per la produzione di ACS, utilizzati per la lettura e registrazione dell'energia elettrica consumata e la gestione efficiente dei carichi energetici;

- Inserimento supplementare di un recuperatore di calore ad alta efficienza sull'impianto aeraulico per la riduzione delle perdite di energia termica;
- Inserimento di un sistema efficiente di accumuli inerziali 3000 l che garantisce un rendimento ottimale da parte dell'impianto di riscaldamento.

Essendo vincolato l'edificio, nel progetto non vengono utilizzati materiali riflettenti e non vengono introdotte tecnologie di climatizzazione passiva per le coperture.

L'impianto di illuminazione è interessato da un intervento di efficientamento che prevede:

- Installazione di nuovi corpi illuminanti, con lampade a LED ad alta durabilità (>50.000 ore), finalizzati alla riduzione del fabbisogno elettrico e dei costi di manutenzione;
- Integrazione di un sistema di controllo dell'illuminazione artificiale che fa riferimento alla presenza di illuminamento con temporizzazione ad accensione, spegnimento, e dimmerazione automatica su base oraria e in caso di sufficiente illuminazione naturale o di assenza di persone nel locale, evitando cicli on/off troppo frequenti e assicurando un uso razionale di energia.

02.2.3. Fonti rinnovabili

Il progetto prevede un grande impiego di fonti rinnovabili, in linea con i principi NZEB.

Nello specifico comprende:

- Installazione di pannelli solari fotovoltaici sulla copertura dell'edificio, nel rispetto dei vincoli imposti di non avere apparecchiature a vista;
- Installazione di un impianto geotermico con pompa di calore acqua – acqua, che integrato con l'impianto fotovoltaico, contribuisce alla copertura da fonti rinnovabili, raggiungendo il 75.07%.

Questo dato dichiara la conformità del progetto con i requisiti dell'edificio ad energia quasi zero e mette in risalto l'efficienza energetica dell'intervento.

Le scelte impiantistiche e le strategie di integrazione delle fonti rinnovabili delineate nel PFTE rispondono a criteri di elevata efficienza energetica in fase d'uso e risultano strettamente vincolate alle geometrie e alle tutele storiche del complesso. Per tale ragione, all'interno del quadro valutativo di questa tesi, il sistema impiantistico e la produzione da rinnovabili vengono considerati come input fissi e invariabili. queste variabili permette di isolare l'involucro opaco come unico campo d'azione.

In sintesi, il progetto di PFTE risponde efficacemente ai requisiti cogenti di nZEB riducendo al minimo i consumi operativi attraverso l'efficienza di impianti e involucro. Tuttavia, questo approccio focalizzato sulla sola fase d'uso lascia inesplorato l'impatto ambientale legato alla produzione e all'installazione dei materiali scelti. Nel capitolo seguente verrà analizzato come l'evoluzione normativa verso lo standard ZEB imponga il superamento di questo limite.

TRANSIZIONE VERSO EDIFICI A ZERO EMISSIONI.03

Il progetto di riqualificazione del Padiglione 1 di Torino Esposizioni si sviluppa all'interno di un quadro normativo in costante aggiornamento, progressivamente strutturato.
Le prescrizioni vigenti in materia di cambiamento climatico, energia e decarbonizzazione del settore edilizio sono il risultato dell'intersezione fra quadro scientifico internazionale, politiche climatiche globali e normative europee e nazionali.

03.1. Quadro normativo europeo e nazionale

Il settore edilizio riveste un ruolo centrale nelle strategie adottate nei confronti del cambiamento climatico, in quanto responsabile di circa il 34% delle emissioni globali di carbonio e di circa il 32% del consumo di energia a livello globale, secondo il Global Status Report for Buildings and Constructions 2024-2025. Tali percentuali aumentano se si considerano le quote di carbonio ed energia incorporata. Secondo l'Intergovernmental Panel on Climate Change e l'International Energy Agency, il comparto delle costruzioni contribuisce in maniera rilevante alle emissioni complessive, rendendo necessario un profondo processo di trasformazione del modo di progettare, costruire e gestire gli edifici.

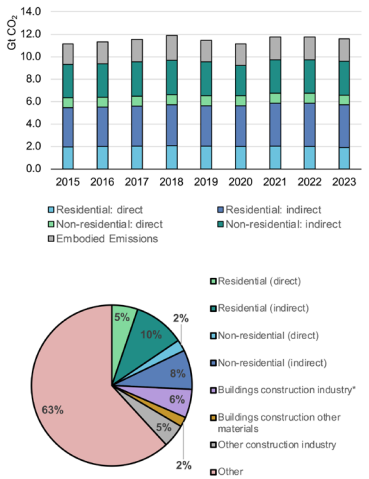
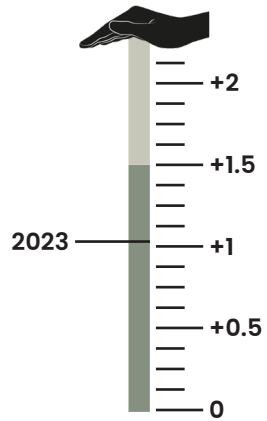


Fig. 3.1_Emissioni di CO_2 negli edifici 2010–2023 (sopra) e quota degli edifici nelle emissioni globali di energia e processi nel 2023 (sotto) (fonte: IEA 2024a)

Negli ultimi decenni, la crescente consapevolezza dell'impatto ambientale del costruito ha portato allo sviluppo di politiche e strumenti normativi finalizzati alla progressiva decarbonizzazione del settore. A livello internazionale, un punto di svolta è rappresentato dall'Accordo di Parigi nel 2015, adottato nell'ambito della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) durante il ventunesimo incontro della Conferenza delle parti (COP21), che ha fissato l'obiettivo di limitare l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali (Sesto Rapporto di Valutazione sui Cambiamenti Climatici (AR6), del 2023, riporta la temperatura media globale a +1.1°C), puntando a contenerlo entro 1,5°C entro il 2050. Questo impegno ha posto le basi per una trasformazione sistemica dei modelli energetici e produttivi, includendo in modo significativo il settore edilizio.

In parallelo, l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile dalle Nazioni Unite nel 2015, un programma d'azione approvato da 193 paesi per le persone, il pianeta e la prosperità, include 17 Obiettivi (Sustainable Development Goals, SDGs) e 169 target, ad essi correlati, da raggiungere entro il 2030. Gli Obiettivi (Goals) maggiormente attinenti all'analisi della presente tesi, che rafforzano ulteriormente la necessità





di intervenire sul patrimonio edilizio esistente e di orientare le nuove costruzioni verso modelli a basso impatto ambientale sono:

- Obiettivo 7: garantire a tutti l'accesso a un'energia conveniente, affidabile, sostenibile e moderna,
- Obiettivo 11: Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili,
- Obiettivo 13: Adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e i suoi impatti.



Fig. 3.2_Simboli obiettivi 7, 11, 13, (fonte: Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile)

In ambito europeo, tali indirizzi si traducono in strategie operative attraverso il European Green Deal, presentato dalla Commissione Europea nel 2019, che definisce l'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050. All'interno di questo quadro si inserisce anche la strategia Renovation Wave, iniziativa volta ad accelerare la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, migliorandone le prestazioni energetiche e riducendone le emissioni, in linea con il pacchetto legislativo "Fit for 55".

In questo contesto, l'Unione Europea ha sviluppato strumenti normativi specifici per il settore edilizio, tra cui la Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), introdotta con la Direttiva 2002/91/CE, successivamente aggiornata attraverso la Direttiva 2010/31/UE (Energy Performance of Building Directive, EPBD II) e la Direttiva (UE) 2018/844 (Energy Performance of Building Directive, EPBD III). L'EPBD stabilisce un quadro comune per la valutazione e il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, introducendo requisiti minimi, sistemi di certificazione energetica e strategie per la riqualificazione del patrimonio esistente.

All'interno di tale quadro normativo si inserisce il concetto di edificio a energia quasi zero (nZEB – nearly Zero Energy Building), formalizzato nella Direttiva 2010/31/UE. Gli edifici nZEB sono definiti come *edifici ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ o nelle vicinanze*. Questo approccio ha rappresentato un passaggio fondamentale nella transizione verso edifici a basso impatto energetico, spostando l'attenzione dalla sola riduzione dei consumi all'integrazione tra efficienza energetica e produzione di energia rinnovabile.

In Italia, il recepimento della Direttiva 2010/31/UE è avvenuto attraverso il Decreto Legislativo 192/2005 e i successivi aggiornamenti normativi, tra cui il Decreto Legislativo 48/2020, che hanno progressivamente innalzato i requisiti prestazionali e reso obbligatoria l'applicazione dello standard nZEB per i nuovi edifici e per gli interventi di ristrutturazione rilevante.

Nonostante i significativi progressi introdotti da questo quadro normativo, l'approccio nZEB presenta alcuni limiti strutturali. In particolare, esso si concentra prevalentemente sulla riduzione dei consumi

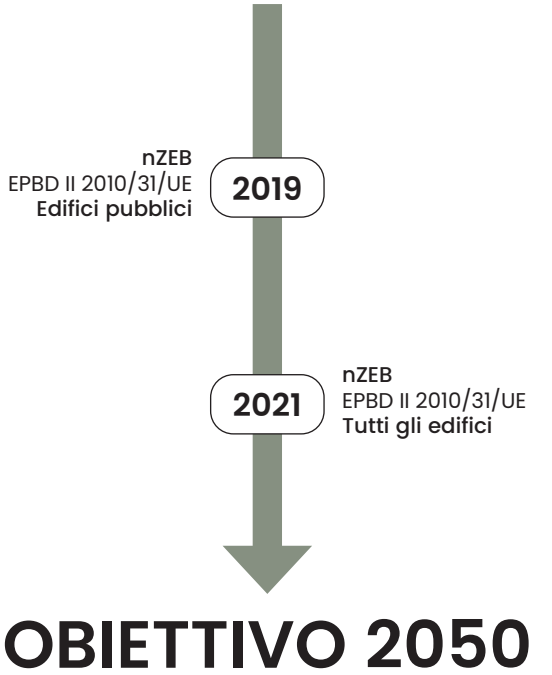


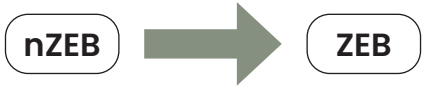
Fig. 3.3_Timeline EPBD per edifici di nuova costruzione (adattato da https://www.logical.it/efficienza-energetica-edifici/la-nuova-direttiva-epbd/, ultimo accesso: 12.01.2026)

energetici in fase operativa, trascurando in larga misura le emissioni associate alla produzione dei materiali, ai processi costruttivi e alle fasi di fine vita dell'edificio. Tale impostazione risulta oggi parziale rispetto agli obiettivi di neutralità climatica, che richiedono una valutazione complessiva delle emissioni lungo l'intero ciclo di vita.

In questo contesto si colloca il passaggio verso il concetto di edificio a zero emissioni (Zero Emission Building – ZEB)

> "Edificio ad altissima prestazione energetica con un fabbisogno di energia pari a zero o molto basso, che produce zero emissioni, in loco, di carbonio da combustibili fossili e un quantitativo pari a zero, o molto basso, di emissioni operative di gas a effetto serra"

introdotto nella più recente revisione della Energy Performance of Buildings Directive, la Direttiva 2024/1275/UE (EPBD IV). A differenza dell'approccio nZEB, il concetto di ZEB amplia il campo di analisi includendo non solo i consumi energetici operativi, ma anche le emissioni incorporate nei materiali e nei processi costruttivi, promuovendo una visione integrata del ciclo di vita dell'edificio.



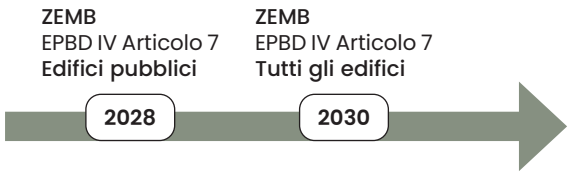


Fig. 23_Timeline EPBD per edifici di nuova costruzione.

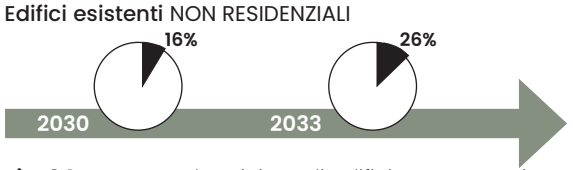


Fig. 24_Percentuale minima di edifici con prestazione energetica peggiore.

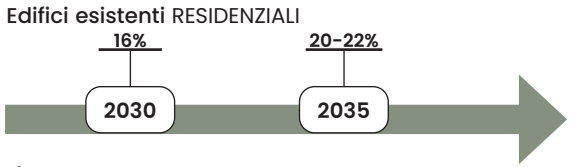


Fig. 3.4_Riduzione consumo medio di energia primaria (adattato da https://www.logical.it/efficienza-energetica-edifici/la-nuova-direttiva-epbd/, ultimo accesso: 12.01.2026)

OBIETTIVO 2050

Questo passaggio implica un cambiamento significativo nel paradigma progettuale: da un approccio centrato sull'energia a un approccio centrato sulle emissioni complessive. Questo comporta la necessità di integrare nuovi strumenti di valutazione e di supporto alle decisioni, in grado di guidare il progettista nella scelta tra alternative progettuali tenendo conto di una pluralità di criteri, tra cui l'impatto ambientale dei materiali, i costi e le prestazioni.

Alla luce di tali considerazioni, emerge la necessità di sviluppare metodologie operative che consentano di gestire la crescente complessità del processo decisionale, orientando le scelte progettuali verso soluzioni coerenti con gli obiettivi di riduzione delle emissioni. In questo quadro si inserisce il presente lavoro di tesi, che propone un approccio metodologico per la valutazione delle alternative progettuali in un'ottica di edifici a zero emissioni.

03.2. Il ruolo delle emissioni nel ciclo di vita dell'edificio

Nel contesto della transizione energetico-ambientale, il tema delle emissioni di gas climalteranti

> "sostanze gassose che provocano effetto serra, ossia il processo naturale consistente nel rallentamento del trasferimento delle radiazioni infrarosse dalla superficie terrestre verso lo spazio. L'energia solare riscaldando la superficie terrestre, a sua volta riemette energia verso lo spazio e l'atmosfera intrappola parte di questa energia riemessa grazie alla presenza di alcuni gas che per questo motivo vengono chiamati gas serra. I principali gas serra naturali presenti in atmosfera sono il vapore acqueo (H_2O), l'anidride carbonica (CO_2), il metano (CH_4) e il protossido di azoto (N_2O) e l'ozono (O_3), a cui si aggiungono gli idrofluorocarburi (HFC) e l'esafluoruro di zolfo (SF_6) rilasciati prevalentemente dalle attività dell'uomo che intrappolano il calore dell'atmosfera."

assume un ruolo sempre più centrale nella valutazione delle prestazioni del sistema edificio. Se, infatti, l'approccio normativo e progettuale si è storicamente concentrato sulla riduzione dei consumi energetici in fase d'uso, oggi emerge con chiarezza la necessità di adottare una prospettiva estesa all'intero ciclo di vita (Whole Life Carbon).

Risulta dunque fondamentale distinguere tra emissioni operative

"Operational Carbon (OC) o carbonio operativo è un indicatore che contabilizza le emissioni di anidride carbonica equivalente in fase d'uso, rilasciate per il funzionamento di un manufatto edilizio, e normalizzate rispetto a un'unità di misura (detta anche funzionale) appropriata. Per OC si intende altresì la contabilizzazione delle emissioni di CO_2eq associate al consumo di energia per azionare gli impianti o le attrezzature a servizio del manufatto edilizio."

ed emissioni incorporate

"Embodied Carbon (EC) o carbonio incorporato è un indicatore che contabilizza l'anidride carbonica equivalente (CO_2eq) 1) rilasciata, 2) stoccata, 3) rimossa, 4) compensata durante una o più fasi del ciclo di vita di un determinato bene, sia esso un prodotto o un manufatto edilizio."

Questa distinzione è formalizzata all'interno della norma Comitato Europeo di Normazione EN 15978, che definisce il metodo per la valutazione della prestazione ambientale degli edifici lungo il ciclo di vita, articolando le diverse fasi nei moduli:

- A produzione e costruzione
- B uso

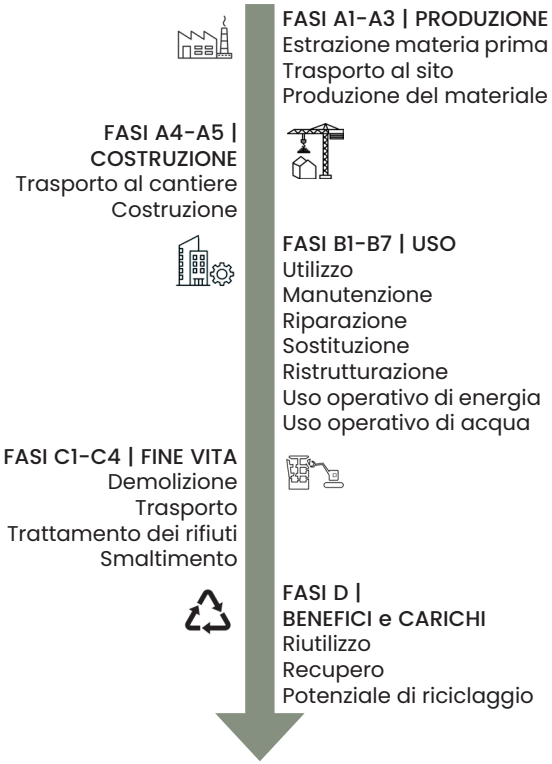


Fig. 3.5_Fasi del ciclo di vita di un edificio con corrispondenti emissioni di CO_2 (elaborazione dell'autore)

- C fine vita
- D benefici e carichi oltre il sistema.

In tale standard, le emissioni operative si collocano prevalentemente nei moduli B6 (uso dell'energia), mentre le emissioni incorporate interessano in modo significativo i moduli A1–A5, oltre alle fasi di manutenzione e sostituzione (B2–B5).

Parallelamente, il quadro europeo si è evoluto attraverso l'introduzione del framework Commissione Europea Level(s), sviluppato come strumento volontario per la valutazione della sostenibilità degli edifici. In particolare, il macro-obiettivo 1 di Level(s), di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra lungo il ciclo di vita, promuove esplicitamente l'integrazione tra emissioni operative e incorporate, introducendo indicatori specifici per il calcolo del Global Warming Potential (GWP) su base ciclo di vita.

"Il Global Warming Potential (GWP) è un indicatore che stima l'influenza dei gas a effetto serra sul cambiamento climatico. Tale indicatore utilizza fattori di caratterizzazione attraverso i quali valutare l'impatto di una data quantità di gas serra (ad esempio il metano) rispetto a un equivalente quantità di anidride carbonica (CO_2eq). I fattori di equivalenza sono direttamente correlati al forzante radiativo. Il GWP si determina comprendendo sia le emissioni dirette equivalenti sia le emissioni indirette equivalenti. Orizzonte temporale di 100 anni."

Tale approccio contribuisce a superare la tradizionale separazione tra prestazione energetica e impatto ambientale, orientando la progettazione verso una visione più sistemica.

Storicamente, le politiche energetiche, in particolare quelle legate all'attuazione delle direttive EPBD, hanno privilegiato la riduzione delle emissioni operative, attraverso il miglioramento dell'efficienza energetica dell'involucro e degli impianti. Tuttavia, con la progressiva decarbonizzazione del mix energetico, il peso relativo delle emissioni operative tende a ridursi, mentre aumenta l'incidenza delle emissioni incorporate, che

in alcuni casi possono rappresentare una quota significativa, se non prevalente, dell'impatto complessivo dell'edificio lungo il suo ciclo di vita.

Questa evoluzione rende evidente come una valutazione limitata alla sola fase d'uso risulti oggi parziale e potenzialmente fuorviante. Un edificio altamente efficiente dal punto di vista energetico potrebbe infatti presentare un elevato contenuto di carbonio incorporato, legato, ad esempio, all'impiego di materiali ad alta intensità energetica o a soluzioni tecnologiche complesse. Viceversa, strategie progettuali apparentemente meno performanti in termini energetici potrebbero risultare più vantaggiose se considerate lungo l'intero ciclo di vita.

In questo contesto, si rende necessario integrare nella valutazione progettuale indicatori in grado di rappresentare in modo sintetico l'impatto emissivo complessivo dell'edificio. Tra questi, un ruolo crescente è assunto dall'Embodied Carbon, che consente di quantificare le emissioni associate ai materiali e ai processi costruttivi, in coerenza con i metodi definiti dalle norme europee e dagli strumenti di supporto alla progettazione.

Il superamento di un approccio esclusivamente energetico a favore di una valutazione integrata delle emissioni lungo il ciclo di vita costituisce un passaggio fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica.

"Per neutralità climatica si intende il bilanciamento tra le emissioni di anidride carbonica e di gas serra di origine antropica, comprese le emissioni diverse dall'anidride carbonica, e le emissioni riassorbite (o compensate, nei residui non riducibili, da attività non impattanti sull'ambiente)."

Questo cambio di paradigma implica la revisione dei criteri decisionali, che devono necessariamente confrontarsi con una maggiore complessità e multidimensionalità del progetto, oltre all'adozione di strumenti normativi e metodologici più avanzati.

03.3. Strumenti per la valutazione ambientale

Nel contesto della crescente attenzione alle emissioni lungo il ciclo di vita dell'edificio, sono stati introdotti strumenti per facilitare la decarbonizzazione della fase di produzione e costruzione e altri in grado di supportare la quantificazione e la comparazione degli impatti ambientali associati alle diverse scelte progettuali. Tra questi, un ruolo centrale è assunto dai Criteri Ambientali Minimi (CAM), dalla Life Cycle Assessment (LCA) e dalle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (DAP o Environmental Product Declarations, EPD), affiancate da un insieme di indicatori sintetici utilizzati per la valutazione delle prestazioni ambientali.

Secondo il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica sono "requisiti ecologici definiti per le diverse fasi del processo di acquisto, orientate ad individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato".
L'applicazione di questi criteri, obbligatori in tutti gli appalti pubblici e bandi di gara, consente di:

- ridurre l'impatto ambientale degli edifici promuovendo l'utilizzo di materiali riciclati e certificati;
- incentivare l'innovazione tecnologica, sostenendo soluzioni innovative per efficienza energetica e gestione delle risorse;
- stimolare il mercato ad un livello più alto di concorrenza, favorendo chi investe in sostenibilità.

L'adozione dei CAM serve a garantire il rispetto degli obiettivi stabiliti dal Piano d'Azione Nazionale per la sostenibilità ambientale dei consumi della Pubblica Amministrazione (PAN GPP, Green Public Procurement), elaborato nel 2008 e in seguito aggiornato nel 2013 e nel 2023, e sostenere modelli di produzione e consumo più sostenibile.

Per consentire la verifica di conformità dei Criteri Ambientali Minimi sono necessarie:

- la Relazione CAM, redatta dal tecnico progettista, che è un documento che garantisce che i progetti pubblici rispet-

tino i requisiti,
le *Dichiarazioni Ambientali di Prodotto, DAP* (o Environmental Product Declarations, EPD) o le etichette ambientali ISO (Tipo I, Tipo II e Tipo III) che forniscono informazioni certificate secondo determinate variabili e anche controlli effettuati in fase di realizzazione.

Le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto rappresentano uno strumento operativo fondamentale per la disponibilità di dati ambientali affidabili sui materiali e sui prodotti da costruzione. Le EPD sono una certificazione volontaria di prodotto ISO di tipo III, secondo le norme ISO 14025 e EN 15804 per l'edilizia, che forniscono informazioni oggettive, confrontabili e verificabili da parti terze, e definiscono il consumo di risorse e gli impatti sull'ambiente circostante nelle diverse fasi del prodotto attraverso l'analisi dell'intero ciclo di vita. Per ciascuna categoria di prodotto vengono definite le regole di riferimento per lo svolgimento dell'LCA (Product Category Rules, PCR). Queste dichiarazioni possono essere utilizzate nei protocolli di conformità e certificazioni ambientali di progetto a livello internazionale quali: LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), Breeam (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) e il Protocollo ITACA.

La Life Cycle Assessment è una metodologia standardizzata a livello internazionale per la valutazione degli impatti ambientali associati a un prodotto, processo o sistema lungo il suo intero ciclo di vita. Essa è definita dalle norme International Organization for Standardization ISO 14040 e ISO 14044, che ne stabiliscono i principi e la struttura metodologica. L'approccio LCA si articola in quattro fasi principali: definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, analisi dell'inventario (LCI), valutazione degli impatti (LCIA) e interpretazione dei risultati. Tale struttura consente di considerare in modo sistematico tutte le fasi del ciclo di vita, dalla produzione dei materiali fino al fine vita, garantendo una visione complessiva degli impatti ambientali.

EPD e LCA forniscono informazioni dettagliate sugli impatti ambientali associati alle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto (moduli A, B, C e D), includendo indicatori quali il Global Warming Potential (GWP), il consumo di energia primaria, l'uso di risorse e altri impatti ambientali rilevanti. La loro utilità risiede nella possibilità di disporre di dati trasparenti, confrontabili e coerenti con i metodi di valutazione LCA, facilitando così l'integrazione degli aspetti ambientali nel processo progettuale.
Oltre al GWP, che rappresenta l'indicatore più utilizzato per la quantificazione delle emissioni di gas climalteranti, esiste un ampio set di indicatori ambientali che consentono di descrivere in modo più completo le prestazioni di un edificio o di un componente. Tra questi si includono, ad esempio, il consumo di risorse abiotiche, il potenziale di acidificazione, l'eutrofizzazione e l'uso di energia primaria. Tuttavia, nel contesto attuale della decarbonizzazione, il GWP assume un ruolo predominante, in quanto direttamente correlato agli obiettivi climatici europei.

Nel complesso, CAM, EPD e LCA costituiscono il riferimento metodologico e informativo per la valutazione ambientale nel settore delle costruzioni, offrendo un quadro strutturato ma al tempo stesso complesso. Proprio tale complessità, legata alla molteplicità di dati, indicatori e variabili in gioco, evidenzia la necessità di strumenti e approcci in grado di rendere queste informazioni maggiormente accessibili e utilizzabili all'interno del processo decisionale progettuale.

03.4. Limiti degli approcci attuali

Nonostante i significativi progressi compiuti negli ultimi anni in ambito normativo e metodologico, gli approcci attualmente adottati nella progettazione energetico-ambientale degli edifici presentano ancora alcune criticità rilevanti, in particolare se letti alla luce degli obiettivi di decarbonizzazione.

Un primo limite riguarda il persistente focus sulla prestazione energetica, ereditato dall'impostazione della direttiva Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) e

dal concetto di edificio a energia quasi zero (nZEB). Sebbene tale approccio abbia rappresentato un passaggio fondamentale per la riduzione dei consumi in fase d'uso, esso tende a trascurare o a considerare in modo marginale gli impatti associati alle fasi di produzione dei materiali e di costruzione. Ne deriva una visione parziale della sostenibilità dell'edificio, in cui la prestazione energetica non è necessariamente rappresentativa dell'impatto emissivo complessivo.

A questo si aggiunge una seconda criticità legata alla complessità degli strumenti di valutazione ambientale. Metodologie come la LCA e strumenti informativi come le EPD, pur essendo ormai consolidati, richiedono competenze specifiche e una gestione articolata dei dati, rendendo il loro utilizzo non sempre immediato all'interno del processo progettuale. In molti casi, tali strumenti vengono impiegati in fasi avanzate del progetto o con finalità di verifica, piuttosto che come supporto attivo alle decisioni nelle fasi iniziali, quando il margine di influenza sulle scelte è maggiore.

Questa condizione si riflette direttamente nella difficoltà di scelta progettuale. Il progettista si trova infatti a operare in un contesto caratterizzato da una molteplicità di alternative tecniche – materiali, stratigrafie, soluzioni impiantistiche – ciascuna associata a prestazioni energetiche, costi ed impatti ambientali differenti. In assenza di criteri sintetici e di strumenti operativi chiari, il confronto tra le alternative risulta complesso e spesso non immediatamente interpretabile, soprattutto quando si introducono variabili legate al ciclo di vita.

Un ulteriore limite riguarda la mancanza di metodi operativi semplici e integrati, in grado di tradurre la complessità delle valutazioni ambientali in indicazioni utili per il progetto. Se da un lato esistono framework normativi e strumenti di calcolo sempre più strutturati, dall'altro lato risulta ancora limitata la disponibilità di approcci in grado di supportare in modo efficace il processo decisionale, in particolare nelle fasi preliminari

e comparative. Questo divario tra disponibilità di dati e capacità di utilizzo operativo rappresenta uno degli ostacoli principali all'integrazione sistematica delle emissioni nelle scelte progettuali.

In sintesi, gli approcci attuali risultano caratterizzati da una duplice criticità: da un lato, una visione ancora parziale, fortemente orientata alla dimensione energetica; dall'altro, una complessità operativa che ne limita l'efficacia come strumenti di supporto alle decisioni. Questo scenario evidenzia la necessità di sviluppare metodologie in grado di colmare tale divario, rendendo la valutazione delle emissioni più accessibile, sintetica e direttamente utilizzabile nel processo progettuale.

03.5. Posizionamento della tesi

Alla luce del quadro delineato nei paragrafi precedenti, si inserisce il contributo della presente ricerca, che, a partire da un caso studio reale, si propone di definire un approccio metodologico orientato a supportare la scelta tra alternative progettuali, integrando in modo esplicito il tema delle emissioni all'interno del processo decisionale.
Il caso studio analizzato, relativo al progetto di riqualificazione del complesso del Politecnico, si configura, in coerenza con il quadro normativo vigente e con gli obiettivi della direttiva EPBD, come un intervento progettato secondo i criteri dell'edificio a energia quasi zero (nZEB). Tale impostazione garantisce elevate prestazioni in termini di efficienza energetica e riduzione dei consumi in fase d'uso, rappresentando un punto di partenza consolidato e necessario.
Tuttavia, come evidenziato, l'approccio nZEB non è di per sé sufficiente a rappresentare in modo completo l'impatto ambientale dell'edificio, in quanto non considera in maniera sistematica le emissioni associate al ciclo di vita dei materiali e delle soluzioni costruttive.
In questo senso, la tesi si propone di compiere un passo ulteriore rispetto al progetto di riferimento, introducendo una prospettiva che estende la valutazione alla dimensione emissiva.
Il contributo della ricerca non consiste nella definizione di nuove metriche o nell'appro-

fondimento teorico degli strumenti di calcolo, bensì nello sviluppo di una metodologia decisionale in grado di supportare il progettista nella valutazione e nel confronto tra alternative progettuali. Tale metodologia si inserisce nelle fasi iniziali del processo progettuale, dove le scelte hanno il maggiore impatto sul risultato finale, e si propone di rendere operativa e accessibile la complessità delle valutazioni ambientali.

In particolare, l'approccio proposto è orientato a due obiettivi principali:

- riduzione delle emissioni, attraverso l'integrazione esplicita di indicatori legati al ciclo di vita all'interno del processo di valutazione delle alternative;
- supporto alla scelta progettuale, mediante la costruzione di un quadro comparativo che consenta di leggere in modo chiaro e sintetico le implicazioni delle diverse opzioni, riducendo l'incertezza decisionale.

Assumendo come dati fissi gli impianti e le risorse rinnovabili descritti nel Capitolo 02, la ricerca si concentra esclusivamente sull'ottimizzazione dell'involucro opaco. La tesi si posiziona come un elemento di raccordo tra il quadro normativo e metodologico esistente e la pratica progettuale, proponendo un approccio che non sostituisce gli strumenti disponibili, ma ne facilita l'utilizzo all'interno di un processo decisionale. L'obiettivo è dunque un utilizzo attivo delle informazioni ambientali come guida alle scelte di progetto, in coerenza con gli obiettivi di decarbonizzazione del settore delle costruzioni.

METODOLOGIA - CASO STUDIO .04

04.1. Inquadramento della problematica decisionale

La definizione delle stratigrafie dell'involucro edilizio si configura oggi come un processo decisionale complesso, caratterizzato dalla presenza di molteplici alternative tecnologiche disponibili sul mercato. L'evoluzione del settore delle costruzioni, unita alla crescente attenzione verso i temi della sostenibilità ambientale e dell'efficienza energetica, ha ampliato significativamente il numero di soluzioni adottabili, rendendo il processo progettuale sempre più articolato. In particolare, per ciascun componente dell'involucro — opaco verticale, opaco orizzontale e trasparente — il progettista è chiamato a selezionare tra diverse combinazioni di materiali e tecnologie che, pur garantendo prestazioni termiche comparabili, presentano differenze rilevanti sotto altri profili.

La complessità decisionale, così come i criteri rilevanti per la scelta, dipendono fortemente dal progetto specifico. Fattori come la tipologia dell'edificio, la destinazione d'uso, il contesto climatico e urbano, nonché gli obiettivi progettuali prefissati, determinano quali criteri assumono maggiore peso nel processo decisionale e quali compromessi risultano accettabili. Ne deriva che non esistono regole generali valide per tutti i casi, ma che ogni progetto richiede un'analisi personalizzata delle alternative disponibili.

All'interno di questo scenario, la scelta progettuale assume una natura intrinsecamente multi-criterio. Accanto alle prestazioni energetiche, infatti, entrano in gioco ulteriori fattori quali l'impatto ambientale associato ai materiali, i costi di realizzazione, la durabilità, la manutenibilità e la disponibilità sul mercato. Tali criteri risultano spesso in conflitto tra loro: soluzioni caratterizzate da basse emissioni incorporate possono comportare costi più elevati, mentre alternative economicamente vantaggiose possono risultare meno performanti dal punto di vista ambientale. Ne consegue l'impossibilità di individuare una soluzione ottimale in senso assoluto, rendendo necessario un processo di valutazione capace di gestire tali trade-off in modo consapevole.

Nella pratica progettuale corrente, tuttavia, le decisioni relative alla definizione delle stratigrafie risultano frequentemente guidate da criteri parziali o da consuetudini consolidate, piuttosto che da un'analisi sistematica e integrata delle alternative disponibili. Spesso le valutazioni si concentrano su singoli aspetti, come il rispetto dei requisiti normativi o il contenimento dei costi iniziali, trascurando la complessità del sistema edificio e le interazioni tra i diversi parametri in gioco. Questo approccio rischia di condurre a scelte subottimali, soprattutto in un contesto in cui l'obiettivo progettuale è sempre più orientato verso la riduzione complessiva delle emissioni e il raggiungimento di edifici a basse o nulle emissioni di carbonio.

In tale contesto emerge la necessità di definire un approccio metodologico strutturato, in grado di supportare il progettista nella gestione della complessità decisionale. Un metodo efficace deve consentire di confrontare in modo coerente le diverse alternative progettuali, individuando criteri di valutazione chiari e strumenti operativi che rendano espliciti i bilanciamenti tra le variabili considerate. In particolare, risulta fondamentale introdurre un criterio guida capace di orientare le scelte fin dalle fasi preliminari del progetto.

A partire da tali considerazioni, il presente lavoro propone un approccio metodologico, definito nei paragrafi successivi, basato sulla selezione di un criterio prioritario e sulla costruzione di un sistema di valutazione comparativa delle alternative, applicato a un caso studio reale.

04.2. Embodied Carbon come criterio guida

Alla luce della complessità del processo decisionale descritto, emerge la necessità di individuare un criterio guida in grado di orientare le scelte progettuali fin dalle fasi iniziali. In un contesto caratterizzato dalla presenza di molteplici variabili e criteri spesso in conflitto tra loro, l'introduzione di un parametro prioritario consente di ridurre il numero di alternative da considerare, rendendo il processo decisionale più gestibile e coerente.
Come discusso nel Capitolo 03, l'Embodied Carbon (EC) rappresenta un indicatore

chiave per la valutazione delle emissioni associate ai materiali da costruzione in particolare nelle fasi iniziali del ciclo di vita. Nel presente lavoro, tale parametro viene assunto come criterio guida nella selezione preliminare delle alternative progettuali, in coerenza con l'obiettivo di orientare il progetto verso edifici a zero emissioni. In tale prospettiva, la riduzione delle emissioni complessive non può limitarsi alla sola fase operativa dell'edificio, ma deve necessariamente includere anche il contributo derivante dai materiali e dai processi costruttivi.

L'Embodied Carbon è inoltre un indicatore quantificabile e confrontabile tra diverse alternative progettuali, che consente di valutare in modo diretto l'impatto ambientale associato ai materiali. A differenza di altri parametri, spesso analizzati in fasi più avanzate del progetto, l'EC può essere utilizzato come strumento operativo già nelle fasi preliminari, quando il grado di libertà progettuale è maggiore e le decisioni hanno un impatto più significativo sul risultato finale.
È importante sottolineare che, all'interno della metodologia proposta, il carbonio incorporato non rappresenta l'unico criterio di valutazione, ma assume il ruolo di filtro iniziale nella selezione delle alternative. In una prima fase, esso viene utilizzato per individuare un insieme ristretto di materiali e soluzioni caratterizzati da basse emissioni incorporate. In una fase successiva, infatti, le alternative selezionate vengono sviluppate e confrontate a parità di prestazione termica e analizzate attraverso ulteriori variabili, quali i costi e gli impatti ambientali lungo il ciclo di vita. In questo modo, l'EC contribuisce a ridurre la complessità decisionale senza sostituire una valutazione multi-criterio, ma piuttosto strutturandola gradualmente.

L'adozione dell'Embodied Carbon come criterio guida consente quindi di strutturare il processo progettuale in modo progressivo, riducendo la complessità iniziale senza rinunciare a una valutazione più completa nelle fasi successive.

04.3. Limiti e ruolo delle EPD

Sulla base degli strumenti descritti nel Ca-

pitolo 3, nel presente lavoro le Environmental Product Declarations (EPD) sono utilizzate come principale fonte dati per la quantificazione degli impatti ambientali associati ai materiali da costruzione.
Le EPD, in quanto documenti basati su analisi del ciclo di vita, forniscono dati strutturati per le diverse fasi del ciclo di vita del prodotto, articolate in moduli. Questa struttura consente di utilizzare in modo selettivo le informazioni disponibili, in funzione delle diverse fasi della metodologia adottata.

Nel presente lavoro, le EPD assumono un duplice ruolo. In una prima fase, i dati relativi alle emissioni associate ai moduli di produzione vengono utilizzati come indicatore di Embodied Carbon per il confronto tra materiali alternativi, supportando la selezione preliminare delle soluzioni. In una fase successiva, i dati relativi all'intero ciclo di vita riportati nelle EPD vengono utilizzati come base per la costruzione di una valutazione LCA delle alternative progettuali, permettendo di estendere l'analisi a un insieme più ampio di impatti e di fasi.
Questo approccio consente di mantenere coerenza tra le diverse fasi della metodologia, utilizzando una base dati omogenea sia per la selezione iniziale dei materiali sia per la valutazione comparativa delle alternative progettuali.

Tuttavia, l'impiego delle EPD presenta alcune criticità che devono essere considerate ai fini dell'analisi. In primo luogo, i dati riportati possono variare tra produttori diversi, anche per prodotti con caratteristiche tecniche simili, a causa di differenze nei processi produttivi, nelle fonti energetiche e nelle materie prime utilizzate. Inoltre, non tutte le EPD sono direttamente confrontabili, in quanto possono differire nei confini di sistema considerati, nelle assunzioni metodologiche e nelle unità funzionali adottate. A ciò si aggiunge il fatto che i dati possono non essere sempre aggiornati o rappresentativi delle condizioni produttive attuali.

Alla luce di tali limitazioni, nel presente lavoro le EPD non vengono utilizzate come strumento per una valutazione assoluta degli impatti ambientali, ma come base per un confronto relativo tra alternative progettuali.

In particolare, al fine di garantire la coerenza del confronto, le diverse soluzioni vengono analizzate a parità di prestazione termica, assumendo come riferimento la trasmittanza dell'elemento edilizio. Questo approccio consente di ridurre l'influenza delle variabili non controllate e di focalizzare l'analisi sulle differenze effettive tra le alternative considerate.
Le EPD assumono quindi un ruolo operativo importante all'interno della metodologia proposta, fornendo i dati necessari sia per la fase di selezione basata sull'Embodied Carbon, sia per la successiva costruzione della valutazione LCA delle alternative progettuali. Tali limiti rendono tuttavia necessaria l'integrazione con ulteriori criteri di valutazione, che verranno definiti nel paragrafo successivo.

04.4. Definizione dei criteri di valutazione

La metodologia proposta si struttura come un sistema di valutazione in grado di integrare diversi parametri all'interno di un processo decisionale coerente e progressivo. Tale sistema si applica alla definizione di alternative progettuali per la riqualificazione dell'involucro edilizio, sviluppate a partire da un progetto di riferimento e nel rispetto dei vincoli imposti dalla struttura esistente.

Nel caso studio analizzato, le alternative progettuali non consistono in soluzioni tecnologiche completamente differenti, ma in variazioni delle stratigrafie dell'involucro, ottenute mantenendo invariata l'impostazione costruttiva adottata nel progetto di riferimento. In particolare, la configurazione stratigrafica di base, composta da isolamento a cappotto esterno, muratura esistente, isolamento in intercapedine, muratura esistente e controparete interna, viene assunta come struttura fissa, all'interno della quale le alternative si differenziano esclusivamente per la tipologia di materiale isolante impiegato.
L'Embodied Carbon, calcolato a partire dai dati relativi ai moduli di produzione (A1–A3) delle EPD, viene utilizzato nella fase preliminare come criterio di selezione dei materiali isolanti, consentendo di individuare le soluzioni caratterizzate da minori emissioni incorporate. Questo passaggio permette di ri-

durre il numero di alternative da sviluppare, orientando fin dall'inizio il progetto verso opzioni a minore impatto ambientale.

Successivamente, a partire dai materiali selezionati, vengono definite diverse stratigrafie alternative, progettate in modo da garantire una prestazione termica equivalente a quella del progetto di riferimento, espressa in termini di trasmittanza. Il mantenimento di questo vincolo consente di isolare l'effetto delle scelte materiche sugli altri criteri di valutazione, rendendo il confronto tra le alternative più significativo e controllato.

Infine, le stratigrafie così definite vengono sottoposte a una valutazione comparativa che include sia la variabile economica, basata sui costi dei materiali, sia la valutazione degli impatti ambientali lungo il ciclo di vita. Quest'ultima viene sviluppata utilizzando i dati completi delle EPD, permettendo di costruire una valutazione di tipo LCA delle alternative progettuali. In questo modo, il confronto non si limita alle emissioni incorporate nella fase di produzione, ma si estende all'insieme delle fasi considerate, offrendo una visione più completa delle prestazioni ambientali.

I tre criteri non vengono quindi applicati simultaneamente, ma secondo una sequenza logica che riflette il processo progettuale e i vincoli del caso studio: selezione dei materiali sulla base dell'Embodied Carbon, definizione delle stratigrafie a parità di prestazione termica e, infine, confronto delle alternative attraverso indicatori economici e ambientali. Questo approccio consente di strutturare il processo decisionale in modo progressivo, mantenendo coerenza tra le diverse fasi e rendendo espliciti i trade-off tra le variabili considerate.

Alla luce di tali considerazioni, il sistema di valutazione definito costituisce la base operativa per lo sviluppo e il confronto delle alternative progettuali, che verranno analizzate nel capitolo successivo attraverso l'applicazione della metodologia al caso studio.

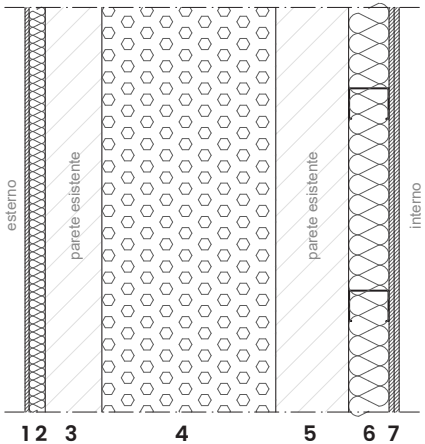
04.5. Caso studio

Sulla base dell'approccio generale delle strategie d'involucro introdotte nel paragrafo 02.2.1, vengono qui presentate le stratigrafie *tipo* del PFTE del Politecnico di Torino. Le soluzioni tecnologica di base per l'involucro, rappresentate nelle Figure 4.1 e 4.2, vengono adottate nel presente lavoro come configurazioni di riferimento e punto di partenza numerico per lo sviluppo e il confronto delle alternative progettuali.

In coerenza con l'impostazione metodologica descritta nei paragrafi precedenti, il caso studio viene definito attraverso un modello di riferimento finalizzato a stabilire le condizioni di confronto tra le diverse soluzioni, permettendo di isolare e analizzare l'influenza delle scelte materiche sulle prestazioni dei componenti dell'involucro.

Le alternative progettuali considerate riguardano la stratigrafia dei componenti opachi dell'involucro, con particolare riferimento alla parete verticale *tipo* e all'elemento orizzontale di copertura del progetto del Politecnico. Viene mantenuta la struttura portante esistente e la configurazione tecnologica complessiva delle stratigrafie dell'edificio, intervenendo unicamente sulla scelta dei materiali.

Le stratigrafie di riferimento, verticale ed orizzontale, derivate dal



1 Intonaco con rete di armatura + rasatura
2 Isolamento termico a cappotto in poliuterano tipo Stiferite SK
3 Blocco forato
4 Insufflaggio con fiocchi di cellulosa in intercapedine esistent
5 Blocco forato
6 Orditura metallica con interposto pannello isolante in lana di roccia
7 Doppia lastra di gesso rivestito + rasatura

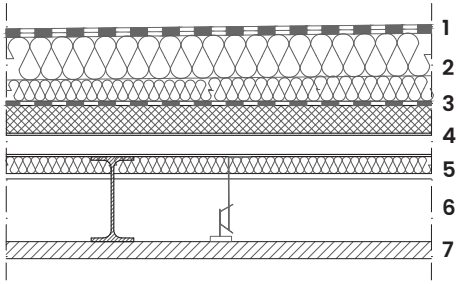
Fig. 4.1_Stratigrafia tipo verticale del progetto di riqualificazione del Politecnico di Torino (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

progetto del Politecnico di Torino, sono costituite rispettivamente da:

- un sistema composto da cappotto esterno, muratura esistente, isolamento in intercapedine, muratura esistente e controparete interna (parete verticale);
- struttura esistente e strato isolante (copertura).

Le alternative progettuali, basate su questo caso studio estremamente concreto, non si differenziano nelle scelte tecnologiche, ma si configurano pertanto come variazioni materiche dei sistemi di isolamento.

Trattandosi di un progetto concreto, si è deciso di portare avanti il lavoro già svolto e di mantenere come baseline anche il vincolo relativo allo spessore del cappotto esterno della partizione esterna verticale, fissato a 5 cm complessivi, comprensivi di materiale isolante e finitura esterna. Tale limite è stato ritenuto accettabile e coerente con il vincolo monumentale imposto dalla Soprintendenza, che prevede generalmente la non alterazione dei prospetti edilizi.
I progettisti del Politecnico di Torino hanno suggerito di operare entro le tolleranze geometriche già presenti nei prospetti esistenti, interpretando tali variazioni come margine compatibile per l'inserimento di un cappotto di ridotto spessore. Questa impostazione di



1 Doppia membrana impermeabile bituminosa
2 Isolante termico in poliuretano tipo Stiferite + EPS B
3 Strato di controllo di diffusione del vapore
4 Lamiera grecata + getto in cls
5 Pannelli fonoassorbenti in lana di roccia
6 Trave IPE 200 ancorata a travi in c.a. esistenti
7 Controssoffitto fonoassorbente sospeso

Fig. 4.2_Stratigrafia tipo orizzontale del progetto di riqualificazione del Politecnico di Torin (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

spessore massimo esterno viene assunta nel presente lavoro come vincolo progettuale, insieme anche uno spessore limite interno entro cui rimanere per non incorrere in una riduzione degli spazi interni.

Per raggiungere la prestazione termica costante dell'elemento (trasmittanza U), le diverse soluzioni stratigrafiche determinano una variazione dello spessore complessivo dell'involucro in funzione del materiale isolante adottato. Tale variazione, espressa come Δ spessore rispetto alla stratigrafia di riferimento, rappresenta un ulteriore parametro descrittivo del modello, da tenere in considerazione poichè utile ad evidenziare le implicazioni geometriche delle scelte materiche.

Il Δ spessore consente infatti di quantificare l'incremento o la riduzione dell'ingombro stratigrafico rispetto alla configurazione di riferimento, mantenendo costante la prestazione termica. Questo aspetto risulta particolarmente rilevante nel caso studio analizzato, in quanto il vincolo sullo spessore massimo del cappotto esterno viene sempre rispettato poichè influisce direttamente sulla fattibilità delle alternative progettuali e un incremento dello spessore internamente determina una riduzione dello spazio utile dell'edificio.

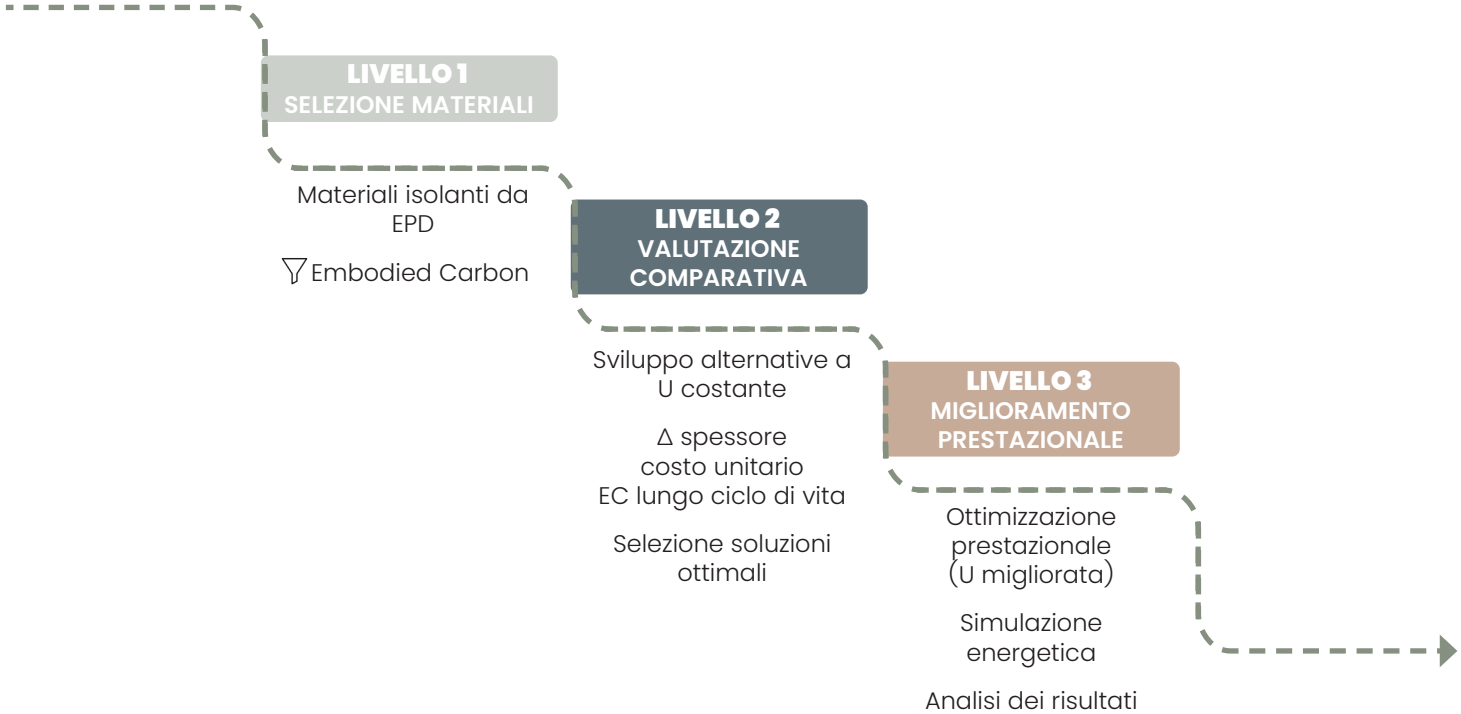
Questo approccio consente di isolare in modo netto l'effetto delle scelte materiche sugli impatti ambientali e sui costi, garantendo la coerenza del confronto tra le diverse soluzioni.
Per poter rendere il modello comparativo coerente e gestibile, sono state introdotte alcune ipotesi semplificative. In particolare, si assume l'invarianza della struttura portante esistente, che viene mantenuta costante in tutte le alternative progettuali, sia dal punto di vista fisico sia nei dati utilizzati per il calcolo delle emissioni e dei costi. L'analisi si concentra pertanto esclusivamente sui materiali relativi alla riqualificazione, che rappresentano l'unica variabile del sistema.

A partire da tale configurazione, sono state definite diverse stratigrafie alternative, ottenute mediante la sostituzione del materiale isolante in modo da garantire lo stesso va-

lore di trasmittanza termica della stratigrafia di riferimento, così da rendere il confronto coerente e indipendente dalle prestazioni energetiche del componente.
Il modello di riferimento così definito consente di strutturare il processo di analisi secondo una logica comparativa controllata, in cui le variabili indipendenti sono rappresentate esclusivamente dalle tipologie di materiale isolante, mentre le restanti condizioni di contorno risultano costanti.

- Geometria del sistema: invariata
- Struttura portante: invariata
- Strati di materiale isolante: variati
- Strati di finitura: variati, ma costanti
- Spessore cappotto esterno: 5 cm
(vincolo progettuale)
- Prestazione termica (U): costante

05. SVILUPPO ALTERNATIVE PROGETTUALI


LIVELLO 1
SELEZIONE MATERIALI
Materiali isolanti da EPD
Embodied Carbon
LIVELLO 2
VALUTAZIONE COMPARATIVA
Sviluppo alternative a U costante
Δ spessore
costo unitario
EC lungo ciclo di vita
Selezione soluzioni ottimali
LIVELLO 3
MIGLIORAMENTO PRESTAZIONALE
Ottimizzazione prestazionale (U migliorata)
Simulazione energetica
Analisi dei risultati

05.1. Livello 1: selezione dei materiali

La fase iniziale del processo di sviluppo delle alternative progettuali (Livello 1) consiste nella selezione dei materiali issolanti da impiegare nelle stratigrafie edilizie, effettuata sulla base del loro contenuto di emissioni incorporate (Embodied Carbon, EC). Questo passaggio rappresenta il primo livello di filtraggio all'interno della metodologia proposta ed è finalizzato a ridurre a monte l'impatto ambientale delle soluzioni considerate.

L'Embodied Carbon, come discusso nel Capitolo 3, comprende l'insieme delle emissioni di gas serra associate all'intero ciclo di vita dei materiali, con particolare riferimento alle fasi di produzione, trasporto e messa in opera (moduli A1–A5 secondo normativa LCA). In questa fase, tuttavia, l'analisi si concentra principalmente sui dati disponibili relativi alla produzione (A1–A3), in quanto maggiormente accessibili e confrontabili tra materiali differenti.

È importante sottolineare come in letteratura non esista un confronto univoco e universalmente valido dei valori di Embodied Carbon tra materiali, in quanto tali dati risultano fortemente dipendenti da variabili quali il processo produttivo, il mix energetico, la provenienza delle materie prime e, soprattutto, lo specifico produttore. Di conseguenza, valori apparentemente riferiti allo stesso materiale possono presentare differenze anche significative.

Per questa ragione, la selezione è stata condotta attraverso un approccio a doppio livello. In una prima fase, sono stati analizzati studi di letteratura al fine di individuare ordini di grandezza e range indicativi di emissione per le principali categorie di materiali. In particolare, è stata presa come riferimento la review di Grazieschi, Asdrubali e Thomas (Review on embodied carbon of building materials), che fornisce una sintesi comparativa dei valori di EC per diverse tipologie di materiali edilizi.

Successivamente, sulla base delle esigenze del caso studio, in particolare la realizza-

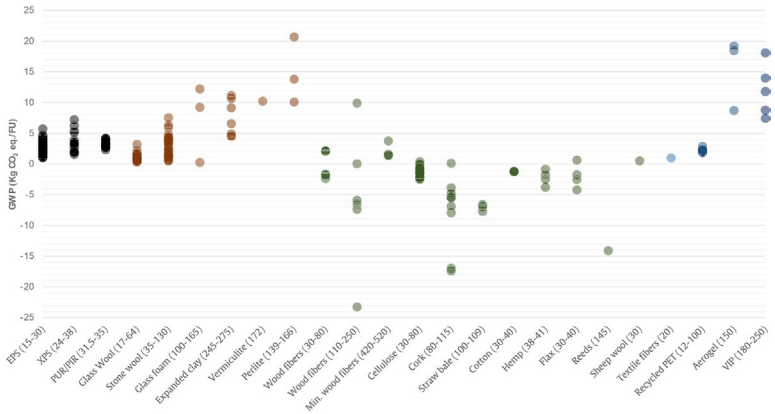


Fig. 5.1_Risultati di GWP/FU: materiali di natura fossile (grigio), mineli (marrone), naturali (verdi) e innovativi (blu) (fonte: Grazieschi G., Asdrubali F., Thomas G., Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review, Cleaner Environmental Systems 2, 100032, 2021)

zione di sistemi di isolamento sia esterni che interni per un edificio pubblico, l'analisi è stata affinata attraverso la consultazione di Dichiarazioni Ambientali di Prodotto relative a materiali effettivamente disponibili sul mercato e compatibili con i requisiti progettuali. Per ciascun materiale sono stati considerati valori specifici di emissione, espressi in $kgCO_2eq$ per unità di massa o volume, costruendo un dataset coerente e direttamente utilizzabile nelle fasi successive.

A seguito della raccolta dei dati, la selezione dei materiali non è stata tradotta in una classificazione rigida per classi emissive, quanto piuttosto in un processo di individuazione di un insieme di soluzioni caratterizzate da valori di Embodied Carbon (Fase A1-A3) contenuti e compatibili con le esigenze prestazionali e realizzative del caso studio.

Parallelamente, alcuni materiali, pur caratterizzati da valori di carbonio incorporato particolarmente ridotti secondo la letteratura, sono stati esclusi dal processo di selezione in ragione di criticità legate alla loro applicabilità nel contesto specifico. Tra questi rientrano isolanti di origine naturale quali paglia, lana di pecora e fibre tessili riciclate.

Sebbene tali materiali presentino un potenziale vantaggio in termini di emissioni incorporate, il loro impiego risulta limitato, in par-

ticolare per sistemi di isolamento a cappotto esterno, a causa di una ridotta resistenza agli agenti atmosferici e al degrado biologico. Essi risultano infatti maggiormente sensibili all'umidità, alla formazione di muffe e all'attacco di organismi biologici, con conseguente riduzione della durabilità nel tempo.

Inoltre, l'utilizzo in sistemi esterni richiederebbe l'adozione di trattamenti aggiuntivi (ad esempio ignifughi, antimuffa o antiparassitari) e di stratigrafie protettive più complesse, con un conseguente incremento della complessità costruttiva e una possibile riduzione del beneficio ambientale complessivo. Analoghe criticità si riscontrano anche per applicazioni interne, dove tali materiali necessitano di ulteriori accorgimenti per garantire adeguati livelli di resistenza al fuoco, stabilità dimensionale e requisiti igienico-sanitari, particolarmente stringenti nel caso di edifici pubblici.

Infine, la loro limitata diffusione nel settore edilizio e la conseguente ridotta disponibilità di dati certificati (EPD), unita a incertezze in fase di approvvigionamento e posa, ha contribuito alla loro esclusione dal processo progettuale.

Alla luce di tali considerazioni, la selezione si è quindi orientata verso materiali che, pur mantenendo valori contenuti di carbonio incorporato, garantiscono al contempo affidabilità tecnica, durabilità e compatibilità con sistemi costruttivi consolidati, rendendo le alternative progettuali non solo ambientalmente efficaci, ma anche realisticamente applicabili.

A valle del processo di selezione descritto, è stato quindi definito un set di materiali isolanti che verrà impiegato nello sviluppo delle alternative progettuali.
In particolare, sono stati considerati:

- isolanti in fibra di legno;
- pannelli in sughero;
- pannelli in fibra di canapa;
- lana di roccia;
- lana di vetro;
- aerogel (mantenuto per l'analisi, nono-

stante il maggiore impatto ambientale, per le alte prestazioni garantite associate ad un ingombro minimo).

Per ciascuna di queste tipologie di materiali sono stati confrontati, e successivamente selezionati, prodotti specifici presenti sul mercato, consultati i dati derivanti da schede tecniche ed EPD.

In questa fase, la selezione dei materiali avviene indipendentemente dalla configurazione stratigrafica finale e dalle prestazioni termiche dell'elemento edilizio. L'obiettivo non è ancora definire soluzioni costruttive complete, ma costruire un set di opzioni materiche coerente con gli obiettivi di decarbonizzazione, che verrà successivamente utilizzato per la generazione delle alternative progettuali a parità di trasmittanza termica, come descritto nel prossimo paragrafo.

05.2. Livello 2: costruzione delle alternative a parità di trasmittanza termica

A partire dal set di materiali selezionati nel paragrafo precedente, si prosegue con il Livello 2 in cui sono state sviluppate le diverse alternative progettuali dell'involucro edilizio. In particolare la definizione delle soluzioni è stata condotta imponendo come vincolo la parità di trasmittanza termica (U) rispetto allo stato di fatto, stratigrafie V0 e O0, al fine di garantire condizioni omogenee di prestazione energetica dell'involucro.

Come descritto nel paragrafo 04.5, tutte le alternative sviluppate fanno riferimento al valore di trasmittanza termica della stratigrafia di riferimento adottata nel progetto di riqualificazione del Politecnico di Torino, assunto come benchmark prestazionale e mantengono invariati gli strati di struttura e finitura, variando esclusivamente lo strato isolante. A partire da tale configurazione, nel presente paragrafo viene definito il processo di costruzione di tali stratigrafie.
Questo approccio permette di isolare l'effetto delle variabili che saranno oggetto di analisi durante il confronto evitando che differenze nelle prestazioni termiche influenzino il confronto tra le alternative.

La costruzione delle stratigrafie è stata effettuata mantenendo invariati i principali presupposti dell'intervento di riqualificazione elaborato per il Padiglione 1. In particolare, essendo il caso studio riferito ad un edificio esistente, la struttura portante è stata conservata in tutte le configurazioni analizzate, assumendola come elemento invariabile del sistema costruttivo.

Analogamente, sono state mantenute le scelte tecnologiche adottate nel progetto di riferimento, che prevedono una combinazione di isolamento interno e cappotto esterno. Tale impostazione consente di garantire la coerenza delle alternative con le strategie progettuali già definite e con i vincoli di intervento derivanti dal contesto architettonico e normativo. Nello specifico, per l'isolamento esterno è stato mantenuto il limite massimo di cinque centimetri di spessore concordato con la Soprintendenza, condizione che ha guidato la configurazione delle opzioni sviluppate.
La variabilità progettuale è stata pertanto concentrata principalmente sulla scelta dei materiali isolanti e sul relativo dimensionamento, mantenendo costanti gli elementi costruttivi esistenti e l'impostazione tecnologica generale dell'intervento.

La definizione dello spessore dell'isolante necessario al raggiungimento della trasmittanza termica di riferimento entro un intervallo di variazione limitato, compatibile con le approssimazioni derivanti dal dimensionamento degli strati (0.095-0.099 W/m²K per componente verticale, 0.148-0.156 W/m²K per componente orizzontale) è stata effettuata mediante il software Edilclima, che consente il calcolo delle prestazioni termo–fisiche delle stratigrafie edilizie in conformità alle normative vigenti anche per quanto riguarda la verifica termoigrometrica. Per ciascun materiale isolante selezionato, è stato quindi determinato lo spessore necessario in funzione della rispettiva conducibilità termica (λ), al fine di garantire il medesimo valore di trasmittanza dell'elemento edilizio. In particolare, la conducibilità termica del materiale isolante rappresenta il parametro variabile del pro-

cesso, da cui deriva la definizione dello spessore necessario per il raggiungimento della obiettivo prefissato.

Ne derivano stratigrafie differenti dal punto di vista geometrico e materico, ma equivalenti in termini di comportamento termico. La variazione dello spessore dell'isolante rappresenta un elemento centrale del processo: materiali caratterizzati da valori più elevati di conducibilità termica richiedono infatti spessori maggiori, con implicazioni dirette sulla quantità di materiale impiegato, e, di conseguenza, sulle emissioni, sui costi, sugli aspetti costruttivi e di spazio.

La Figura 5.2 sintetizza le principali fasi metodologiche del processo di costruzione delle stratigrafie che verranno spiegate nel corso del capitolo. La definizione di alternative progettuali, descritte dettagliatamente nella Figura 5.3.A e 5.3.B, rappresenta la base per le successive valutazioni.

È importante sottolineare che lo sviluppo di alternative di componenti opachi verticali include anche considerazioni di tipo costruttivo e impiantistico:

- l'impiego di materiali "duri" per le contropareti interne, come il

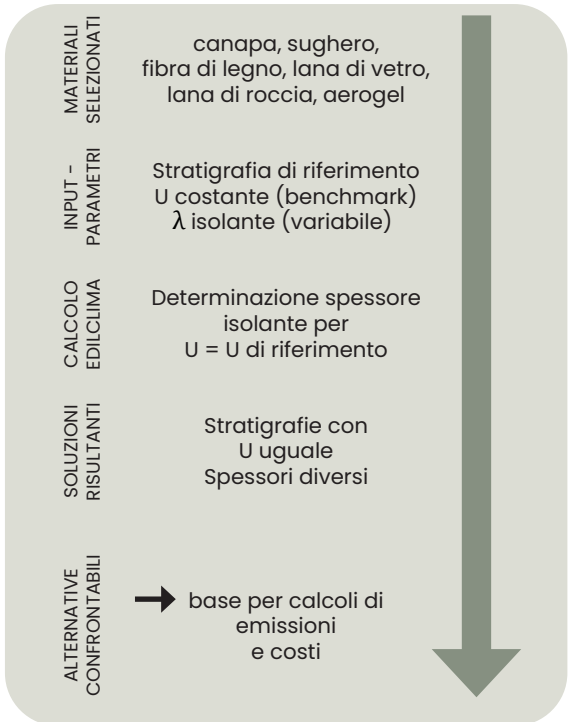


Fig. 5.2_Processo di costruzione delle alternative progettuali a parita di trasmittanza termica U (elaborazione dell'autore)

STRATIGRAFIE VERTICALI

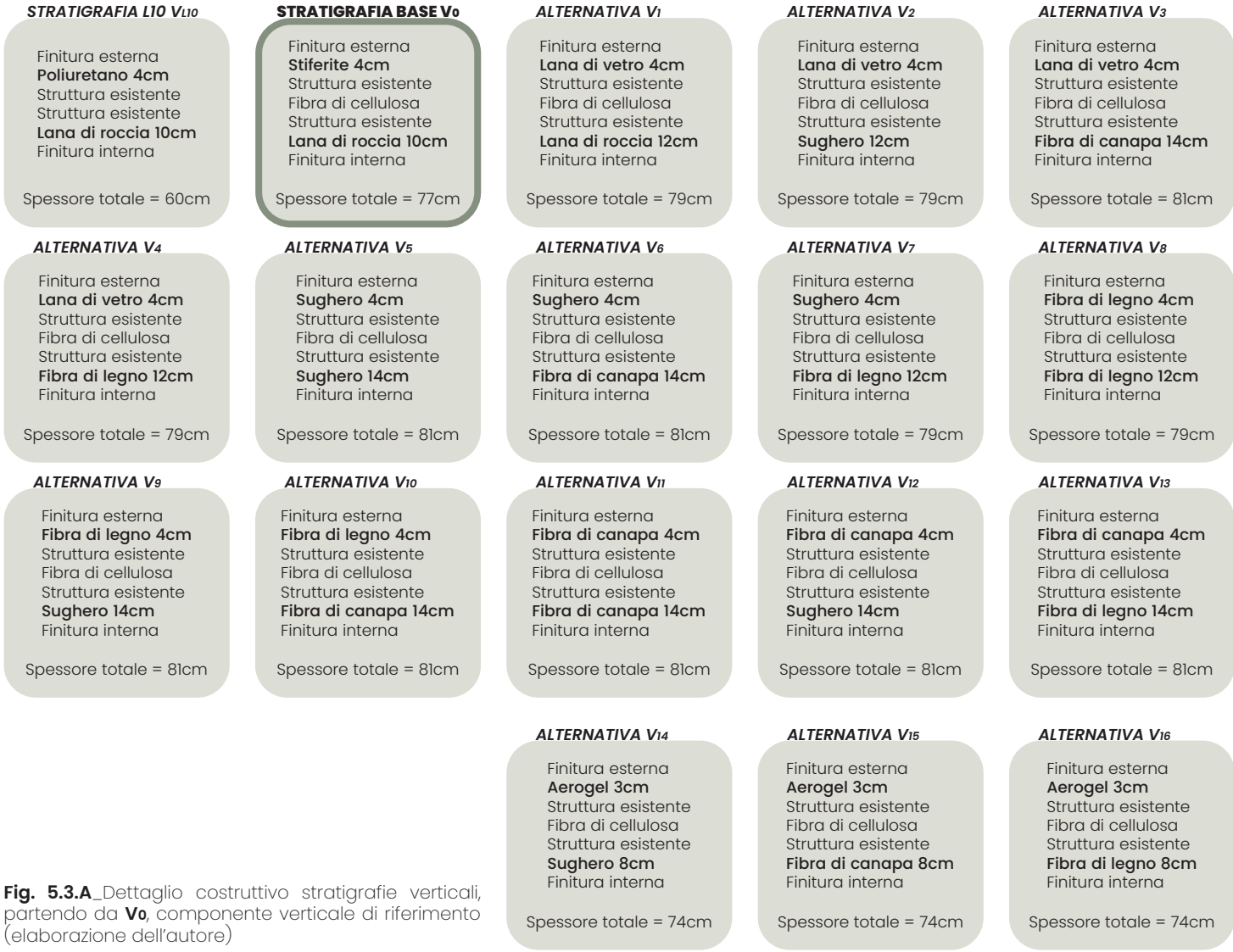


Fig. 5.3.A_Dettaglio costruttivo stratigrafie verticali, partendo da **V0**, componente verticale di riferimento (elaborazione dell'autore)



Fig. 5.3.B_Dettaglio costruttivo stratigrafie orizzontali, partendo da **O0**, componente orizzontale di riferimento (elaborazione dell'autore)

STRATIGRAFIE ORIZZONTALI

sughero, rende impossibile l'incasso degli impianti. Ciò impone il ricorso a impianti a vista oppure la realizzazione di una seconda controparete, con conseguenze rilevanti in termini di spazio, costi e complessità esecutiva, che incidono sulla valutazione complessiva delle stratigrafie.

- l'utilizzo di aerogel implica una maggiore attenzione nella posa in opera poichè i difetti di posa hanno una grande influenza sulla prestazione, così come i tasselli che su un pannello di basso spessore creeranno una perdita da ponte termico di fissaggio di maggiore impatto rispetto ad uno di dimensioni superiori, per cui la prestazione in opera risulterà diversa rispetto a quella di laboratorio data da scheda tecnica.

Per le componenti opache orizzontali è necessario evidenziare che le alternative composte da pannelli in fibra di legno e sughero necessitano di un massetto (in questo caso a base di argilla espansa) al di sopra dello strato isolante poichè altrimenti non direttamente guainabili. Questo comporta un aumento di spessore di almeno 3 cm, di maggiore quantità di materiale, con conseguente aumento di emissioni e costi.

05.2.1. Calcolo delle variabili

La fase successiva consiste nella quantificazione degli impatti associati a ciascuna alternativa progettuale, attraverso il calcolo dei costi e delle emissioni incorporate riferite all'unità di superficie (m^2) dell'elemento edilizio.

L'obiettivo di questa fase è costruire una base dati omogenea e confrontabile, in grado di supportare le successive analisi comparative. A tal fine, per ogni stratigrafia sviluppata nel paragrafo precedente sono stati determinati il costo e le emissioni di gas serra dei materiali dell'intero pacchetto stratigrafico, esclusi i layer corrispondenti alla parete e copertura esistenti poichè costanti in tutte le alternative.

Calcolo dei costi

La valutazione economica delle alternative

progettuali è stata condotta attraverso una stima riferita all'unità di superficie dell'elemento edilizio [€/m²], considerando esclusivamente il costo dei materiali introdotto dall'intervento di riqualificiazione.

Poichè il caso studio si basa sulla riqualificazione energetica di un edificio esistente e le alternative sviluppate rappresentano differenti soluzioni tecnologiche applicate a un medesimo elemento di base, non sono stati considerati i costi relativi agli strati costitutivi della parete esistente. Tali componenti, infatti, vengono mantenuti in tutte le configurazioni analizzate e risultano pertanto costanti rispetto alle variabili di progetto. La loro inclusione nel calcolo non avrebbe prodotto differenze tra le alternative, generando un incremento uniforme dei valori economici senza avere influenza sugli esiti comparativi della presente analisi.

Il costo è stato quindi attribuito unicamente ai materiali aggiunti alla stratigrafia esistente, quali sistemi di isolamento, finiture esterne e interne e componenti funzionali direttamente associati all'intervento.
Inoltre, sono stati esclusi dal calcolo i costi relativi alla posa in opera, manodopera, ponteggi, oneri di cantiere e lavorazioni accessorie. Tale scelta metodologica è stata dettata dal focus sul confronto delle sole differenze generate dalle soluzioni tecnologiche proposte.

Il costo complessivo di ciascuna alternativa risulta la somma dei contributi economici dei singoli materiali:

$$C_{tot} = \sum_i C_i$$

dove C_i rappresenta il costo del singolo strato espresso in €/m².

Per i materiali aventi il prezzo direttamente disponibile in termini superifciali (€/m²), tale valore è stato utilizzato senza ulteriori conversioni. Nel caso di materiali aventi un prezzo espresso in termini volumetrici (€/m³), il costo nell'unità di misura necessaria è stato

determinato moltiplicando il costo unitario per lo spessore del materiale.

Sono stati utilizzati prezzi riferiti a specifici prodotti commerciali aggiornati al 2025, derivati da listini tecnici e documentazione fornita dai produttori. Per i materiali privi di una specifica definizione commerciale sono stati iindividuati prodotti equivalenti disponibili sul mercato, caratterizzati da prestazioni e caratteristiche tecniche comparabili, assumendone il relativo costo come valore rappresentativo.

È importante sottolineare che l'obiettivo dell'analisi economica non consiste nella redazione di un computo metrico estimativo esecutivo, ma nella costruzione di una metodologia comparativa finalizzata al supporto decisionale nelle scelte progettuali orientate alla riduzione delle emissioni. In tale contesto, la coerenza metodologica e l'applicazione uniforme dei criteri di valutazione acquisiscono maggiore rilevanza rispetto al calcolo puntuale del costo assoluto dell'intervento.

Di seguito al calcolo delle emissioni incorporate vengono analizzate le matrici di sintesi dei dati calcolati (Tabella 5.2.A e 5.2.B).

Calcolo delle emissioni incorporate
La valutazione dell'Embodied Carbon è stata effettuata in forma semplificata, utilizzando le quantità di materiali e prodotti necessarie per l'adozione delle diverse alternative. Al fine di garantire la comparabilità tra le alternative, i dati sono poi stati riferiti alla medesima unità, pari a 1 m² di elemento edilizio.

Il calcolo delle emissioni incorporate considera l'intero ciclo di vita del manufatto edilizio secondo uno scenario temporale pari a 50 anni, includendo le seguenti fasi:

- A1–A5: produzione dei materiali, trasporto e costruzione;
- B4: sostituzione durante la fase d'uso;
- C1–C4: decostruzione e fine vita
- D: benefici oltre il ciclo di vita.

Allo scopo di rendere l'analisi coerente, sono state previste delle assunzioni specificate lungo la presentazione del processo di calcolo nei diversi moduli, basate sul report *Strumenti per la decarbonizzazione* elaborato da J. Andreotti e R. Giordano per GBC.
È importante specificare che lo studio fa riferimento a dati specifici di prodotti presenti sul mercato, derivanti da Dichiarazioni Ambientali di Prodotto e che fa riferimento a valori di GWP fossile, ovvero emissioni derivanti da combustibili fossili. Il valore di EC biogenica è stato escluso dal computo per evitare di valorizzare erroneamente materiali di origine bio.

Di seguito sono presentate in modo esemplificativo le tabelle 5.1 di calcolo delle fasi analizzate con le relative formule per una sola stratigrafia, quella di riferimento V_0; le altre soluzioni sono visibili nel dettaglio nella sezione Allegati del presente lavoro.

Tabella 5.1.A_Calcolo delle emissioni incorporate relative alle Fasi A1 - A3 (elaborazione dell'autore)

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)*	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$	tCO2eq
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600.00	15491.68	16885.93	16.89	0.16	4802.42	
Isolamento a cappotto Stiferite SK	968.23	0.04	34.70	1343.90	1464.85	1.46	3.99	3863.59	
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45.00	7406.96	8073.59	8.07	0.08	618.44	
Pannello isolante lana di roccia	968.23	0.10	70.00	6777.61	7387.59	7.39	7.88	7629.65	
Barriera al vapore	968.23	0.00	900.00	435.70	474.92	0.47	0.26	249.80	
Doppio cartongesso	968.23	0.03	800.00	19364.60	21107.41	21.11	3.48	3369.44	
Totale								20533.34	20.53

*Lo studio è stato condotto sulla Bill of Quantities (BoQ), ovvero sulle quantità di materiali e prodotti che arriveranno in cantiere, stimate al 9% in più delle quantità in progetto.

$$EC_{A1-A3} = \sum_{j=1}^{n} Mat_j * EC_{A1-A3j}$$

EC_{A1-A3} = Somma dell'Embodied Carbon degli j-esimi materiali che costituiscono il manufatto edilizio

Mat_j = Quantità dello j-esimo materiale o prodotto che costituisce il manufatto edilizio (kg)

$EC_{A1-A3-j}$ = Embodied Carbon dello j-esimo materiale o prodotto che costituisce il manufatto edilizio ($kgCO_2eq/kg$)

Tabella 5.1.B_Calcolo delle emissioni incorporate relative alla Fase A4 (elaborazione dell'autore)

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza*	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$	tCO2eq
Intonaco esterno	16.89	Autocarro 24-40t	26.00	0.65	50.00	26.83	8.71	3.43	29.88	
Isolamento a cappotto Stiferite SK	1.46	Autocarro <7.5t	3.50	0.42	300.00	13.40	16.83	3.43	630.86	
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.07	Autocarro 12-24t	12.00	0.67	300.00	20.65	41.68	3.43	5589.42	
Pannello isolante lana di roccia	7.39	Autocarro 12-24t	12.00	0.62	300.00	20.49	37.83	3.43	4679.94	
Barriera al vapore	0.47	Autocarro <7.5t	3.50	0.14	300.00	13.06	5.32	3.43	66.31	
Doppio cartongesso	21.11	Autocarro 24-40t	26.00	0.81	50.00	28.16	11.43	3.43	2938.74	
Totale									13935.16	13.94

*Il trasporto dei materiali al cantiere è stato stimato su gomma (vettore energetico Diesel), assumendo una distanza variabile in base alla produzione del materiale considerato (produzione locale: 50km - produzione nazionale: 300km - produzione europea: 1500km).

$$\text{n° viaggi} = \frac{\text{tot. tonnellate da trasportare [t]}}{\text{tot. tonnellate trasportabili a viaggio del mezzo [t]}}$$

$$\text{consumo specifico } E = A + B * \frac{N}{C}$$

E = consumo specifico (l/100km)
A = consumo carburante mezzo vuoti (l/100km)
B = differenza veicolo pieno carico - veicolo vuoto (l/100km)
N = carico trasportato (t)
C = carico utile massimo (portata - t)

$$\text{consumo del mezzo } F = \frac{D * E}{100}$$

F = consumo del mezzo
D = distanza (km)
E = consumo specifico (l/100km)

Tabella 5.1.C_Calcolo delle emissioni incorporate relative alle Fasi A5 - B4 (elaborazione dell'autore)

FASE A5

	$kgCO_2eq$	tCO2eq
Intonaco esterno	480.24	
Isolamento a cappotto Stiferite SK	386.36	
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	61.84	
Pannello isolante lana di roccia	762.97	
Barriera al vapore	24.98	
Doppio cartongesso	336.94	
Totale	2053.33	2.05

FASE B4

	Numero sostituzioni*	$kgCO_2eq$	tCO2eq
Intonaco esterno	1	5630.00	
Isolamento a cappotto Stiferite SK	0	0.00	
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0.00	
Pannello isolante lana di roccia	0	0.00	
Barriera al vapore	0	0.00	
Doppio cartongesso	0	0.00	
Totale		5630.00	5.63

Le emissioni relative alla fase di costruzione (A5) sono state stimate pari al 10% delle emissioni di produzione (A1–A3).

*La sostituzione dei materiali fa riferimento ai dati di vita utile dello specifico prodotto da EPD.

$$RF_{B4-j} = \left[\frac{ST_R}{MEL_j}\right] - 1$$

RF_{B4-j} = Replacement Factor, numero di sostituzioni previste per lo j-esimo materiale

ST_R = Scenario Temporale di Riferimento del manufatto edilizio in anni (50 anni per il presente studio)

MEL_j = durata stimata in anni del materiale

$$EC_{B4} = \sum_{j=1}^{n} \left[\left(EC_{A1\text{-}A3\text{-}j} + EC_{A4\text{-}A5\text{-}j} + EC_{C2\text{-}C4\text{-}j} \right) * RF_{B4\text{-}j} \right]$$

Tabella 5.1.D_Calcolo delle emissioni incorporate relative alle Fasi C1 - C4 - D (elaborazione dell'autore)

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m²]	70% riciclato *	30% discarica *	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$	tCO2eq
Intonaco esterno	50.66	16885.93		11820.15	5065.78	2	0.00	0.01	317.46	
Isolamento a cappotto Stiferite SK	30.70		968.23	677.76	290.47	1	0.02	2.94	2032.72	
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.90	8073.59		5651.51	2422.08	1	0.00	0.07	398.94	
Pannello isolante lana di roccia	0.00		968.23	677.76	290.47	1	0.11	0.00	32.82	
Barriera al vapore	0.00		968.23	677.76	290.47	1	0.00	0.23	153.17	
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.76	290.47	1	0.04	0.00	55.71	
Totale									2990.83	2.99

Il trasporto di materiali e prodotti, una volta dismessi, si assume avvenga presso un centro di trattamento e recupero vicino al sito di progetto (<50km), pertanto è stato considerato trascurabile (FASE C2).

*Per lo scenario di fine vita è stato considerato lo scenario 70-30% o 2030, in cui il 70% dei rifiuti è avviato a processi di recupero e il 30% destinato allo smaltimento in discarica.

EC_{C3+C4} 70-30% j_{esimo} rifiuto =
= [70% kg j_{esimo} rifiuto * *f* emissione specifica riciclo] +
+ [30% kg j_{esimo} rifiuto * *f* emissione specifica discarica]

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]	[tCO2eq]
Intonaco esterno	-59.10	
Isolamento a cappotto Stiferite SK	-947.23	
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.03	
Pannello isolante lana di roccia	-214.17	
Barriera al vapore	-63.57	
Doppio cartongesso	-17.22	
Totale	-1401.33	-1.40

Codice stratigrafia	Spessore isolamento esterno [cm]	Spessore isolamento interno [cm]	Δ Spessore totale (V0) [cm]	Costo unitario [€/m²]	Emissioni incorporate [kgCO$_2$eq/m²]
V0	**4**	**10**	**0**	**99.6**	**45.2**
V1	4	12	+2	95.4	47.6
V2	4	12	+2	178.0	84.8
V3	4	14	+4	101.8	46.7
V4	4	12	+2	101.8	86.9
V5	4	14	+4	253.0	112.4
V6	4	14	+4	131.0	56.5
V7	4	12	+2	131.1	143.3
V8	4	12	+2	107.3	144.4
V9	4	14	+4	219.6	113.5
V10	4	14	+4	107.2	57.6
V11	4	14	+4	109.9	46.9
V12	4	14	+4	222.3	102.8
V13	4	14	+4	114.3	104.5
V14	3	8	-3	467.9	116.7
V15	3	8	-3	403.6	85.3
V16	3	8	-3	406.1	117.0
O0	**10+6**	**-**	**0**	**96.4**	**1529.3**
O1	12+10	-	+8	134.8	111.2
O2	14+8	-	+6	121.1	180.6
O3	3+12+8	-	+10	108.3	1005.7
O4	14+10	-	+11	172.8	1717.3

Tabella 5.2_Confronto alternative verticali (V) e orizzontali (O) costruite a parità di trasmittanza termica rispetto alle stratigrafie di riferimento **V0** e **O0** (rispettivamente U = 0,097 W/m²K e U = 0,150 W/m²K).
Si rimanda a Fig. 5.3.A e 5.3.B per descrizione codici.

Alternative eliminate

(elaborazione dell'autore)

L'analisi di queste matrici, sintesi dei dati calcolati delle variabili per ciascuna stratigrafia, evidenzia come soluzioni caratterizzate da comportamenti differenti in ambito economico, ambientale e geometrico possano portare al raggiungimento della medesima prestazione termica. Le differenze sono riconducibili sia alle proprietà intrinseche dei materiali impiegati sia alle specifiche quantità necessarie per il conseguimento del valore di U prefissato.

Per quanto riguarda le stratigrafie verticali, le alternative che impiegano aerogel come isolamento a cappotto esterno (V14, V15, V16) presentano i costi unitari più elevati. Tale risultato rispecchia l'alta tecnologia del materiale e i complessi processi produttivi necessari per la sua realizzazione. Al tempo stesso, le elevate prestazioni termiche dell'aerogel consentono di contenere significativamente gli spessori, aspetto rilevante negli interventi di riqualificazione dell'esistente e in presenza di vincoli di ingombro.

Le soluzioni costituite da materiali di origine naturale, quali sughero, fibra di legno, fibra di canapa, mostrano un generale incrementi di spessore rispetto agli isolanti tradizionali caratterizzati da una minore conducibilità termica. Ciò è particolarmente evidente nelle stratigrafie V5, V6, V9, V10, V11, V12 e V13.
Dal punto di vista ambientale, i risultati evidenziano come l'origine naturale di un materiale non corrisponda necessariamente a valori inferiori di emissioni incorporate. Le alternative composte da pannelli di sughero mostrano infatti valori di emissioni relativamente elevate rispetto ad altre soluzioni bio-based. Tale comportamento è causato non solo dai processi di produzione e trasformazione del materiale, ma anche dalla disponibilità geografica limitata della materia prima, che comporta distanze di approvigionamento maggiori e conseguentemente un'incidenza più elevata delle emissioni associate al trasporto. Inoltre il sughero non può essere sottoposto a processi di riciclo, ma unicamente incenerito o depositato in discarica. Questo conferma esito conferma l'importanza della valutazione dell'intero ciclo di vita del materiale.

Le alternative basate su lane minerali (lana di vetro e lana di roccia) presentano valori più contenuti sia in termini di costo sia di emissioni incorporate, agevolate da filiere produttive consolidate, ampia disponibilità sul mercato e buone prestazioni termiche. Contrariamente, prodotti caratterizzati da processi di produzione più specifici o da una minore disponibilità in commercio possono generare aumenti nei costi.
Nel caso delle coperture le differenze risultano ancora più evidenti. Le stratigrafie composte da isolanti in lana di vetro (O1) e lana di roccia (O2) mostrano valori di costo e di emissioni significativamente inferiori rispetto alle alternative realizzate con materiali naturali. O4 (sughero) e O3 (fibra di legno) richiedono maggiori quantità di materiali necessitando di uno strato aggiuntivo di massetto, comportando incrementi economici, ambientali e di peso proprio dell'elemento, particolamente rilevanti negli interventi di riqualificazione.

Nel complesso, nessuna delle alternative analizzate risulta contemporaneamente ottimale rispetto a tutte le variabili esaminate. Ogni variante mostra vantaggi e criticità specifici, evidenziando come la scelta progettuale non possa essere ricondotta ad unico criterio di valutazione.

05.2.2. Valutazione comparativa
Analizzate le matrice di confronto secondo le seguenti variabili:
- incremento di spessore (Δs) rispetto allo stato di fatto,
- costo unitario (€/m^2),
- emissioni di gas serra incorporate ($kgCO_2eq/m^2$).

risulta chiaro che tali parametri presentano unità di misura eterogenee e scale numeriche differenti tra loro, è stato necessario effettuare una normalizzazione dei valori per ricondurre tutti i parametri ad una scala adimensionale omogenea [0, 100].

Per l'elaborazione dei grafici è stata effettuata una normalizzazione esponenziale rispetto al valore minimo (Fig. 5.4) che permette di:
- Invertire la polarità dei dati: i valori più alti (100) rappresentano sempre la solu-

zione ideale (impatto minimo: minor spessore, minor costo, minori emissioni) e punteggi tendenti a 0 per gli impatti peggiori.

- Enfatizzare le differenze critiche: la curva esponenziale permette di "penalizzare" le soluzioni meno efficienti, rendendo i grafici radar visivamente più sensibili alle variazioni prestazionali di ciascuna stratigrafia.

La formula applicata a ciascun valore *x* della variabile *j* per la stratigrafia *i* è la seguente:

$$N_{i,j} = e^{-\left(\frac{x_{i,j} - x_{min,j}}{x_{max,j} - x_{min,j}}\right)} * 100$$

Dove $x_{min,j}$ rappresenta il valore migliore riscontrato per quella specifica variabile (minor incremento di spessore, costo più basso, emissione incorporata minore) e $x_{max,j}$ rappresenta il valore peggiore (massimo incremento, impatto economico e ambientale più elevato). La risposta geometrica rappresenta così il vertice relativo alla soluzione migliore, pari a 100, vicino all'estremo esterno dell'asse del radar; mentre la soluzione peggiore assume un punteggio prossimo a 36,8.

I grafici radar sono utilizzati non come strumenti di valutazione automatica, ma come supporto alla discussione della complessità della scelta progettuale nel confronto tra stratigrafie alternative per i componenti opachi verticali e orizzontali dell'involucro edilizio.

A causa dell'elevato numero di alternative sviluppate, l'impostazione geometrica del grafico radar è stata invertita rispetto ai modelli tradizionali per garantire la piena leggibilità del dato ed evitare la sovrapposizione di poligoni. Gli assi radiali del grafico rappresentano pertanto le 16 stratigrafie, mentre i poligoni descrivono l'andamento delle singole variabili. L'interpretazione del grafico avviene attraverso l'analisi dei vettori sui singoli raggi: la soluzione ottimale si presenta quando si hanno contemporaneamente più linee delle variabili verso l'estremità esterna del diagramma.

Codice stratigrafia	Δ Spessore totale (V0) [0, 100]	Costo unitario [0, 100]	Emissioni incorporate [0, 100]
V0	**65.1**	**98.9**	**100.0**
V1	49.0	100.0	97.6
V2	49.0	80.1	67.1
V3	36.8	98.3	98.5
V4	49.0	98.3	65.7
V5	36.8	65.5	50.8
V6	36.8	90.9	89.2
V7	49.0	90.9	37.2
V8	49.0	96.9	36.8
V9	36.8	71.6	50.2
V10	36.8	96.9	88.2
V11	36.8	96.2	98.3
V12	36.8	71.1	56.0
V13	36.8	95.1	55.0
V14	100.0	36.8	48.6
V15	100.0	43.7	66.7
V16	100.0	43.4	48.5
O0	**100.0**	**100.0**	**41.4**
O1	46.7	60.5	100.0
O2	56.5	72.4	95.8
O3	36.8	85.6	57.3
O4	42.4	36.8	36.8

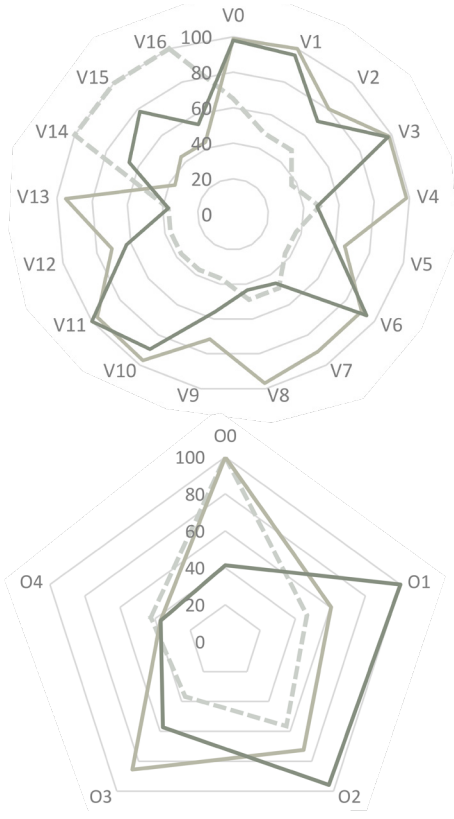


Fig. 5.4_Valutazione comparativa e rappresentazione grafica dei valori normalizzati delle alternative verticali (V) e orizzontali (O) costruite a parità di trasmittanza termica rispetto alle stratigrafie di riferimento **V0** e **O0** (rispettivamente U = 0,097 W/m²K e U = 0,150 W/m²K).
Gli assi radiali rappresentano le stratigrafie; i poligoni descrivono l'andamento delle variabili confrontate a parità di incidenza. I vertici più esterni indicano indicano le massime prestazioni per singolo criterio.
Alternative eliminate
Δ Spessore totale (V0 - O0) [0, 100] - parametro di monitoraggio
Costo unitario [0, 100] - criterio di selezione
Emissioni incorporate [0, 100] - criterio di selezione
(elaborazione dell'autore)

Nella prima rappresentazione (Fig. 5.4), a tutti i criteri viene assegnato un peso paritetico. L'incremento di spessore agisce come un parametro di monitoraggio e di verifica della conformità geometrica. Come descritto in precedenza, tutte le soluzioni sono state progettate a monte rispettando i vincoli dell'intervento sull'esistente (massimo 5cm per l'isolamento a cappotto esterno e 15cm per l'isolamento interno), ma la tecnologia in Aerogel si distingue nettamente flettendo la curva fino al punto massimo di 100 grazie alla riduzione di spessore rispetto al progetto di riferimento V0 ($\Delta s<0$).

Per quanto riguarda l'impatto ambientale, è importante specificare che le emissioni incorporate inserite nelle matrici numeriche e indicizzate nel grafico radar, come anticipato nel paragrafo precedente, si riferiscono esclusivamente ai calcoli effettuati con il GWP fossile. Per una comparazione metodologicamente coerente e rigorosa tra le alternative, si è scelto di escludere dal calcolo la componente biogenica. Tale esclusione evita di valorizzare erroneamente i materiali di origine biologica all'interno della normalizzazione in quanto rischierebbe di nascondere gli effettivi impatti generati dalle fasi del ciclo di vita.

Tuttavia, la valutazione progettuale non prescinde dal considerare che i materiali bio-based possiedono una componente biogenica intrinseca di notevole importanza, costituita dall'assorbimento e dallo stoccaggio di anidride carbonica atmosferica che si verifica durante la fase vegetativa della pianta attraverso il processo di fotosintesi. Tale assorbimento viene escluso dal grafico radar per mantenere omogeneità nel confronto, ma viene integrato nella discussione successiva come un criterio premiante di tipo qualitativo per la selezione delle soluzioni ottimali.

Codice stratigrafia	Δ Spessore totale (V0) [0, 100]	Costo unitario [0, 100]	Emissioni incorporate [0, 100]	Indice di ottimizzazione prestazionale [0, 100]
V0	**65.1**	**98.9**	**100.0**	**91.0**
V1	49.0	100.0	97.6	86.0
V2	49.0	80.1	67.1	65.8
V3	36.8	98.3	98.5	83.0
V4	49.0	98.3	65.7	69.7
V5	36.8	65.5	50.8	51.0
V6	36.8	90.9	89.2	76.5
V7	49.0	90.9	37.2	53.6
V8	49.0	96.9	36.8	54.8
V9	36.8	71.6	50.2	52.2
V10	36.8	96.9	88.2	77.5
V11	36.8	96.2	98.3	82.4
V12	36.8	71.1	56.0	55.0
V13	36.8	95.1	55.0	60.5
V14	100.0	36.8	48.6	58.5
V15	100.0	43.7	66.7	69.3
V16	100.0	43.4	48.5	60.1
O0	**100.0**	**100.0**	**41.4**	**70.7**
O1	46.7	60.5	100.0	76.8
O2	56.5	72.4	95.8	80.1
O3	36.8	85.6	57.3	59.2
O4	42.4	36.8	36.8	38.2



Fig. 5.5_Confronto pesato delle alternative verticali (V) e orizzontali (O) costruite a parità di trasmittanza termica rispetto alle stratigrafie di riferimento **V0** e **O0** (rispettivamente U = 0,097 W/m²K e U = 0,150 W/m²K).
La linea rosso mattone mostra l'andamento dell'indice di ottimizzazione progettuale derivante dalla priorità accordata alle emissioni incorporate (EC=2; Spessore/Costo=1).
Alternative eliminate
Δ Spessore totale (V0 - O0) [0, 100]
Costo unitario [0,100]
Emissioni incorporate [0, 100]
Indice di ottimizzazione progettuale
(elaborazione dell'autore)

Volendo evidenziare il carattere non neutro della scelta, è stata introdotta una ponderazione delle variabili, che simula differenti condizioni progettuali e differenti sistemi di priorità. L'attribuzione di un peso maggiore ad una variabile comporta un aumento della sua incidenza nella rappresentazione grafica, producendo una deformazione del radar che riflette visivamente il cambiamento delle gerarchie decisionali.

In particolare, l'analisi mostra come, al variare dei pesi attribuiti ai singoli criteri, la configurazione dei profili prestazionali cambi in modo significativo, portando a esiti differenti in termini di stratigrafie preferibili. Questo dimostra che la selezione della soluzione ottimale non è un esito inequivocabile, ma dipende dalle priotirà progettuali assunte alla base.

Nel caso studio del presente lavoro, coerentemente con i presupposti di un progetto orientato alla decarbonizzazione del parco edilizio esistente, la scelta finale è stata effettuata introducendo un secondo grafico in cui viene attribuito un peso maggiore (pari a 2) alla variabile delle emissioni incorporate. La ponderazione adottata evidenzia la scelta progettuale. È il progetto, nelle sue modalità operative e nei suoi vincoli specifici, a stabilire quali variabili assumono un ruolo determinante e, di conseguenza, quali stratigrafie risultino più adeguate in una determinata configurazione.

L'indice di ottimizzazione progettuale inserito nel grafico come quarto poligono di sintesi (linea rossa nel grafico della pagina successiva) è espresso nella media ponderata delle variabili per ciascuna stratigrafia:

$$\text{Indice di ottimizzazione}_i = \frac{(N_{i,\Delta s}*1) + (N_{i,costo}*1) + (N_{i,EC}*2)}{4}$$

Si può notare dai grafici pesati (Fig. 5.5) come la deformazione indotta dalla priorità ambientale e l'andamento dei poligoni permettano di far emergere con chiarezza un cluster ristretto (Fig. 5.5) di sei soluzioni ottimali per i componenti verticali (nello

Tabella 5.3_Matrice di sintesi delle stratigrafie dei componenti verticali (pareti) sviluppate a parità di trasmittanza termica U selezionate, disposte in ordine decrescente secondo il punteggio dell'indice di ottimizzazione progettuale. (elaborazione dall'autore)

Codice stratigrafia	**Tipologia isolamento esterno**	**TIpologia isolamento interno**	**Δ Spessore totale (V0)** [cm]	**Costo unitario** [€/m²]	**Emissioni incorporate** [kgCO_2eq/m²]	**Indice di ottimizzazione prestazionale** [0-100]
V_0	**Stiferite**	**Lana di roccia**	**0**	**99.6**	**45.2**	**91.0**
V_1	Lana di vetro	Lana di roccia	+2	95.4	47.6	86.0
V_3	Lana di vetro	Fibra di canapa	+4	101.8	45.6	83.0
V_{11}	Fibra di canapa	Fibra di canapa	+4	109.9	46.9	82.4
V_6	Sughero	Fibra di canapa	+4	131.0	49.7	76.5
V_{10}	Fibra di legno	Fibra di canapa	+4	107.2	56.4	77.5
O_2	Lana di roccia	-	+6	121.1	180.6	80.1
O_1	Lana di vetro	-	+8	134.8	111.2	76.8
O_0	**Stiferite+EPS**	**-**	**0**	**96.4**	**1529.3**	**70.7**

specifico le stratigrafie V_0, V_1, V_3, V_6, V_{10}, V_{11}) e di tre alternative per i componenti orizzontali (in particolare O_0, O_1, O_2) le quali si distaccano nettamente dal resto delle altre stratigrafie con dei valori normalizzati superiori a 70.

1. Per i componenti verticali, dall'analisi emerge immediatamente come le soluzioni di origine naturale che impiegano pannelli isolanti in fibra di canapa (dalla stratigrafia V_3 alla V_6) abbiano indici di ottimizzazione progettuale alti. Questo perchè coniugano un ridotto profilo emissivo, nonostante non venga considerata la componente biogenica, a fronte di un incremento di spessore, pari a +4 cm rispetto allo stato di fatto (V_0). Come era possibile ipotizzare, le stratigrafie che impiegano aerogel presentano indici di ottimizzazione progettuale tra 55-70. Nonostante l'aerogel rappresenti l'unica grande strategia in termini di spazio rispetto ai materiali considerati, presenta costi notevoli e un elevata impronta di carbonio.

2. Per quanto concerne i componenti orizzontali, la selezione evidenzia la netta concentrazione di indici elevati nelle soluzioni che impiegano materiali non naturali, le quali presentano risposte fortemente differenziate sia in termini di spessori che di valori di emissioni incorporate.

In questo sento, i grafici radar svolgono un ruolo metodologico centrale, poichè permettono di visualizzare e discutere in modo esplicito la natura non deterministica e contestuale della scelta progettuale.

05.3. Livello 3: ottimizzazione prestazionale delle alternative selezionate

Il processo di selezione sviluppato nel paragrafo precedente attraverso l'analisi comparativa (Livello 2), ha consentito di isolare un numero ristretto di stratigrafie maggiormente coerenti con gli obiettivi della ricerca, rappresentando il miglior compromesso possibile tra minimizzazione dell'impatto ambientale, minori costi di materiale e conformità geometrica a parità di trasmittanza termica.

Il presente paragrafo introduce il Livello 3 del presente studio, ovvero l'ottimizzazione prestazionale attraverso la riduzione della trasmittanza termica di queste stratigrafie selezionate. Questo processo determinerà inevitabilmente un incremento dello spessore dei materiali isolanti e, di conseguenza, un'incremento dei costi e delle emissioni incorporate legate alla maggiore quantità di materiale impiegata.

Il focus di questo livello consiste nel verificare se questo aumento sia giustificato da una significativa e proporzionata diminuzione del fabbisogno termico dell'edificio in fase di esercizio.

È importante specificare che, a differenza del livello precedente di confronto delle alternative a parità di performance termica (Livello 2), in cui tale costanza implicava che il variare della soluzione adottata, avrebbe determinato una variazione dei fabbisogni ambientali pari a zero, in questa fase più approfondita (Livello 3) si altera l'equilibio termico globale dell'edificio. Mentre prima non è stata effettuata alcuna modellazione energetica dell'edificio poichè i flussi di calore attraverso l'involucro sarebbero rimasti invariati, ora risulta necessario analizzare il comportamento dinamico dell'intero sistema edilizio.

L'ottimizzazione prestazionale si articola in due step sequenziali, supportati da diversi software:

1. **Ricalcolo e incremento degli spessori su Edilclima**:

il gruppo ristretto di stratigrafie selezionate dal grafico pesato viene rielaborato con l'utilizzo del sotfware Edilclima (come mostrato nella successiva Tabella 5.4). Si specifica che, in questa fase, decade in vincolo geometrico precedentemente fissato di 5cm massimi di spessore totale esterno (4cm di isolante). Al fine di testare il potenziale di riduzione dei fabbisogni, i limite vengono rimodulati: per i componenti verticali, viene ampliato consentendo un massimo di 6 cm di isolante per il cappotto esterno; viene invece mantenuto invariato il vincolo di 15cm massimi internamente. Per i componenti orizzontali, viene mantenuta la soglia geometrica limite di 26 cm totali di isolante, un incremento massimo di 10 cm di spessore aggiuntivo di isolante.

La scelta di ampliare i vincoli geometrici di solo qualche centimetro risponde ad un fattore di realismo e fabbilità. Sebbene sotto il profilo puramente matematico l'incremento indefinito dello spessore coibente determini una discesa della trasmittanza termica, l'applicazione di spessori eccessivi risulterebbe utopistica, non realistica e geometricamente incompatibile. L'ottimizzazione è stata quindi condotta entro nuove soglie costruttive reali, calcolando l'incremento del materiale isolante e verificando contemporaneamente la conformità termoigrometrica dei componenti (assenza di condensa superficiale e interstiziale tramite diagramma di Glaser).

2. Simulazione energetica in regime dinamico su OpenStudio (EnergyPlus):
definiti i nuovi profili delle stratigrafie, i relativi dati termo-fisici vengono implementati nel modello energetico dello stato di fatto dell'edificio in ambiente OpenStudio, descritto nel dettaglio nel capitolo successivo. Questo permette di ottenere come output i fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento relativi alle prestazioni di involucro.

È importante sottolineare che il miglioramento della trasmittanza comporta delle conseguenze dal punto di vista ambientale ed economico per la maggiore quantità di materiale impiegato. In questo contesto, l'obiettivo non è l'individuazione di una soluzione ottimale in senso assoluto, ma il confron-

Tabella 5.4_Ottimizzazione in regime stazionario delle stratigrafie verticali selezionate (elaborazione dell'autore, software Edilclima)

Codice stratigrafia	**Spessore isolamento esterno** [cm]	**Spessore isolamento interno** [cm]	**Nuovo Δ Spessore totale (V0)** [cm]	**Trasmittanza termica U iniziale** [W/m²K]	**Trasmittanza termica U ridotta** [W/m²K]
V_0_+	**6**	**14**	**+6**	**0.097**	**0.082**
V_1_+	6	14	+6	0.095	0.086
V_3_+	6	14	+6	0.095	0.090
V_6_+	6	14	+6	0.096	0.091
V_{10}_+	6	14	+6	0.096	0.092
V_{11}_+	6	14	+6	0.097	0.093
O_0_+	**12+8**	**-**	**+4**	**0.150**	**0.121**
O_1_+	14+12	-	+10	0.148	0.137
O_2_+	14+12	-	+10	0.157	0.134

to del comportamento delle alternative selezionate sulla riduzione dei fabbisogni e sul carico aggiuntivo utile per ottenerlo.
Questo approccio consente di discutere come ciascuna alternativa, compresa quella dello stato di fatto, risponda all'ottimizzazione prestazionale, evidenziando quali opzioni offrano la migliore efficienza.

I risultati della simulazione energetica in regime dinamico orario, sintetizzati nelle matrici di seguito (Tabella 5.5), offrono un quadro chiaro della reattività del sistema edificio-involucro. L'analisi mostra per quanto riguarda le chiusure verticali un comportamento fortemente omogeneo tra le diverse alternative. Avendo utilizzato le medesime soglie geometriche, si registra una quasi totale equivalenza sul piano del fabbisogno ambientale indotto.

Assumendo come riferimento il progetto dello stato di fatto, con valori di fabbisogno per riscaldamento pari a 70.25 kWh/m^2 e fabbisogno per raffrescamento di 12.41 kWh/m^2, il processo di ottimizzazione genere un abbattimento, ma simile per tutte le soluzioni. I fabbisogni non risultano quindi un fattore discriminante.

In sintesi, i dati estratti da OpenStudio confermano che l'aggiunta indiscriminata di materiale isolante, non si traduce automaticamente in un beneficio energetico.

Tabella 5.5_Matrice di sintesi delle opzioni dei componenti di involucro verticali (V) e orizzontali (O) ottimizzate a trasmittanza termica ridotta. Output della simulazione in regime dinamico: fabbisogno termico per riscaldamento e raffrescamento. (elaborazione dell'autore, software OpenStudio)

Codice stratigrafia	Spessore isolamento esterno [cm]	Spessore isolamento interno [cm]	Nuovo Δ Spessore totale (V0) [cm]	Costo unitario [€/m²]	Emissioni incorporate [kgCO_2eq/m²]	Fabbisogno riscaldamento [kWh/m²]	Fabbisogno raffrescamento [kWh/m²]
V0_+	**6**	**14**	**+6**	**111.5**	**56.8**	**70.09**	**12.40**
V1_+	6	14	+6	99.1	51.2	70.13	12.40
V3_+	6	14	+6	105.5	44.9	70.17	12.41
V6_+	6	14	+6	150.7	70.2	70.17	12.41
V10_+	6	14	+6	109.9	71.1	70.18	12.41
V11_+	6	14	+6	119.1	52.4	70.19	12.41
O0_+	**12+8**	**-**	**+4**	**111.1**	**1533.8**	**69.65**	**12.30**
O1_+	14+12	-	+10	153.9	118.1	69.95	12.34
O2_+	14+12	-	+10	162.7	218.1	69.74	12.33

Fabbisogno riscaldamento S_base = 70.25 kWh/m²

Fabbisogno raffrescamento S_base = 12.41 kWh/m²

06. SIMULAZIONE ENERGETICA E DISCUSSIONE RISULTATI

06.1. Modello energetico di riferimento

Come anticipato nel paragrafo 05.5, la valutazione dell'efficacia delle stratigrafie ottimizzate viene verificata mediante la simulazione condotta in regime dinamico. Sebbene l'analisi stazionaria effettuata su Edilclima abbia consentito di calibrare gli spessori limite e di verificare la conformità termoigrometrica dei singoli pacchetti, la risposta energetica reale di una tecnologia è intrinsecamente legata alle interazioni che si instaurano nell'intero sistema edificio-impianto tra l'involucro, il profilo d'uso dei locali, i carichi termici interni e le fluttuazioni climatiche del sito. Per compiere questo salto di scala si è proceduto alla realizzazione di un modello energetico tridimensionale all'interno dell'interfaccia di modellazione OpenStudio, che utilizza EnergyPlus come motore di calcolo per la simulazione.

La definizione del modello energetico dello stato di fatto costituisce un passaggio centrale del presente lavoro, in quanto stabilisce il riferimento prestazionale (baseline) rispetto al quale vengono valutati gli effetti delle strategie analizzate. Il modello di baseline descrive le condizioni iniziali dell'edificio oggetto di studio e fornisce il quadro conoscitivo di partenza necessario a garantire coerenza e la confrontabilità scientifica dei risultati.

La costruzione di tale baseline è stata sviluppata seguendo le sezioni del workflow metodologico proprio di OpenStudio e ha utilizzato come principali fonti di input:

- la relazione tecnica (ex art. 28 della Legge 10/91);
- i dati di progetto relativi all'intervento di riqualificazione del Padiglione 1, sviluppato dal Politecnico allo stato di Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (PFTE).

L'integrazione di questi documenti ha consentito di definire in modo univoco e coerente le caratteristiche geometriche e termo-fisiche del fabbricato, nonché le principali assunzioni relative alle condizioni di esercizio e ai profili occupazionali nello stato di fatto.

In questa configurazione, le partizioni verticali e orizzontali sono state caratterizzate applicando le stratigrafie di riferimento de-

nominate rispettivamente V0 e O0. Gli esiti di questa prima simulazione (S_base) hanno permesso definire il fabbisogno ambientale per il riscaldamento invernale a un valore di 70.25 kWh/m² e il fabbisogno per il raffrescamento estivo a 12.41 kWh/m².

La determinazione di questo scenario di base ha richiesto la regolazione e l'impostazione preliminare di una serie di parametri all'interno delle schede del software, descritti nel dettaglio di seguito.



Sito (site)

Il primo passaggio riguarda l'impostazione del contesto climatico tramite file meteo (.epw) rappresentativo della località di progetto e il file del giorno di progettazione (.ddy) necessari per descrivere temperature esterne, irraggiamento solare, umidità e vento. Questa configurazione consente al software di calcolare i bilanci termici su base oraria in condizioni reali e ripetibili.
Il file meteo e il file del giorno di progettazione sono stati scaricati dal sito di EnergyPlus, utilizzando come località di riferimento Torino.



Geometria e zonizzazione (geometry)

Successivamente è stata definita la geometria dell'edificio con un livello di dettaglio coerente con gli obiettivi della simulazione energetica, adottando alcune semplificazioni geometriche. L'edificio, prevalentemente ad uso scolatico universitario (categoria E.7 del DPR 412/93), è costituito da un piano interrato e da quattro livelli fuori terra.

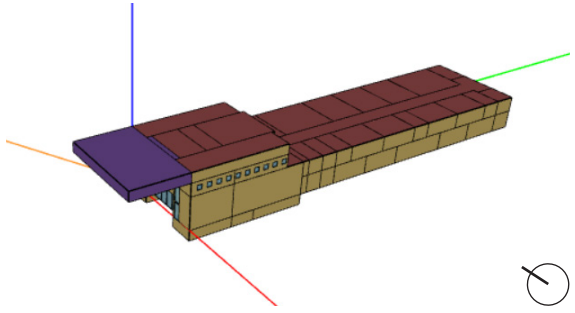


Fig. 6.1_Immagine volumetrica estrapolata dall'interfaccia grafica di OpenStudio
(elaborazione dell'autore, software OpenStudio)

La costruzione della geometria avviene in tre passaggi:

1. Planimetria: creazione degli spazi nei diversi livelli dell'edificio;
2. Assegnazioni: suddivisione degli spazi in zone termiche;
3. Componenti: inserimento di porte e finestre.

Grazie a questi step OpenStudio crea un vero e proprio modello tridimensionale dell'edificio utile ad una più facile lettura tematica degli ambienti.

Sono stati quindi creati gli spazi sulle planimetrie dell'edificio, a cui sono stati attribuite le loro funzioni e, in un secondo tempo, sono state individuate le zone termiche, alcune delle quali non riscaldate (assenza di Ideal Loads), ma modellate come ambienti al fine di una rappresentazione reale.
Le zone termiche sono in totale quattordici:

- Deposito P-1
- Locali tecnici P-1
- Blocco scale NE
- Blocco scale SE
- Atrio-corridoi P0-P1
- Aule N P0
- Aule S P0
- Servizi igienici
- Blocco scale NO
- Locali tecnici SO
- Aule N P1
- Aule S P1
- Uffici P2
- Locali tecnici P3

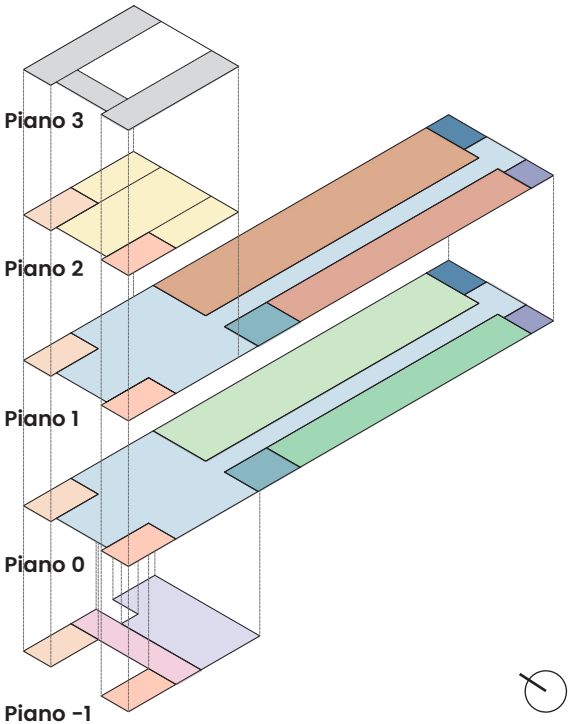


Fig. 6.2_Esploso dei diversi livelli dell'edificio che riporta la suddivisione delle zone termiche (elaborazione dell'autore, software OpenStudio)

Sono stati tenuti in considerazione criteri funzionali e fisici come la destinazione d'uso degli ambienti, i profili di occupazione differenti, la differenze di esposizione e orientamento, le caratteristiche geometriche e di involucro e la presenza di ambienti con condizioni operative differenti. Ambienti di servizio e di distribuzione, quali blocchi scala, atri/spazi distributivi e servizi igienici, sono stati modellati come un'unica zona termica, pur essendo sviluppati su più livelli. Tale scelta rappresenta una semplificazione modellistica finalizzata a ridurre la complessità del modello, in considerazione della destinazione d'uso omogenea e delle analoghe condizioni di esercizio.

La zonizzazione è un punto cruciale nella modellazione perché determina come il modello rappresenta la distribuzione dei carichi, la risposta dinamica e le interazioni tra ambienti ed è stata effettuata coerentemente con l'approccio presente nella Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale della UNI/TS 11300.
In questa fase, vengono anche assegnate le condizioni al contorno (boundary conditions - Figura 6.3) alle superfici dell'involucro e agli elementi interni, distinguendo tra superfici disperdenti verso l'esterno (colore blu), superfici interne (colore verde), elementi a contatto con il terreno (piano interrato - colore beige), superfici adiabatiche (edifici adiacenti come la Rotonda sul lato nord e il padiglione 2: Biblioteca sul lato sud - colore rosso) per rappresentare correttamente gli scambi termici tra edificio e contesto.

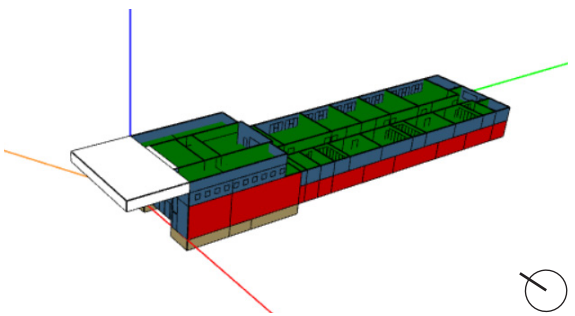


Fig. 6.3_Immagine volumetrica estrapolata dall'interfaccia grafica di OpenStudio: rappresentazione delle condizioni al contorno dell'edificio (elaborazione dell'autore, OpenStudio)

Involucro opaco e trasparente (constructions)

Una volta definita la geometria, vengono assegnate le costruzioni all'involucro, attraverso 'costruction sets', ovvero dei gruppi di componenti di costruzione (constructions) che verranno applicati all'edificio o a parti di esso. Le componenti di costruzione comprendono elementi opachi e trasparenti che possono essere esterni e/o interni: muri, partizioni, pavimenti, solai, coperture e serramenti, costituiti da strati di diversi materiali caricati precedentemente su OpenStudio.

Construction sets > Constructions > Materials

Per ogni materiale (utilizzato in pareti e coperture) sono stati inseriti i dati relativi alle stratigrafie del progetto di riferimento con spessori e proprietà specifiche dei materiali come ruvidezza, conducibilità, densità e calore specifico, così da riprodurre la trasmittanza e l'inerzia termica complessiva.

Per le chiusure trasparenti, non avendo caratteristiche dettagliate sul pacchetto vetrato e sui telai scelti sono stati inseriti le caratteristiche prestazionali dell'intero sistema vetrato: trasmittanza termica e coefficiente di guadagno di calore solare, fondamentali per la corretta stima delle dispersioni e dei guadagni solari.

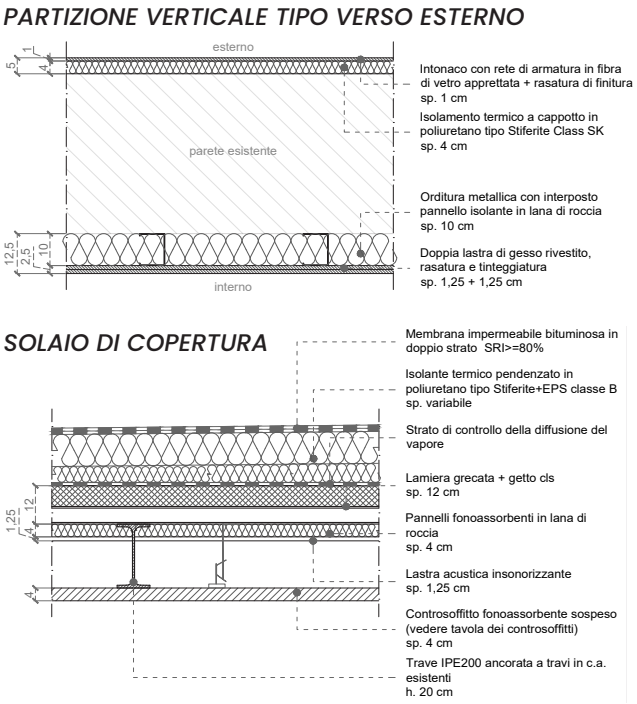


Fig. 6.4_Stratigrafia tipo del modello allo stato di fatto: partizione verticale tipo verso l'esterno e solaio di copertura (fonte: Masterplan di Ateneo, Politecnico di Torino)

Sebbene il padiglione presenti una geometria sostanzialmente regolare, la modellazione si è rivelata particolarmente articolata a causa dell'elevato numero di stratigrafie che compongono l'involucro edilizio.

Questa fase ha pertanto consentito di sviluppare un modello coerente con il progetto approvato, definendo in modo puntuale le caratteristiche dell'involucro quale riferimento di base per le successive variazioni stratigrafiche. In Figura 6.4 sono riportate le stratigrafie tipo, corrispondenti alle soluzioni maggiormente ricorrenti e rappresentative all'interno del progetto; tali stratigrafie costituiscono inoltre il riferimento per l'elaborazione e la valutazione comparativa delle alternative considerate nelle fasi successive dell'analisi.

Carichi interni (loads)

A ciascuna zona termica sono stati associati dei carichi interni, definiti in relazione all'occupazione (persone), all'illuminazione e alle apparecchiature elettriche di ogni ambiente. Tali dati, riconducibili a criteri normativi presenti nella storica UNI 10339, sostituita dal 4 luglio 2024 dalla UNI EN 16798, e UNI/TS 11300, incidono direttamente sui fabbisogni termici (riduzione dei carichi invernali e aumento dei carichi estivi) e devono essere coerenti con la destinazione d'uso degli ambienti.
I carichi inseriti sono i seguenti:

Destinazione d'uso	**Occupanti** [pers/m²]
Aule	0,60
Uffici	0,12
Sala riunioni	0,60
Corridoi/atrio	0,05
Destinazione d'uso	**Illuminazione** [W/m²]
Aule	6
Uffici	6
Sala riunioni	6
Corridoi/atrio	4
Destinazione d'uso	**Apparecchiature** [W/m²]
Aule	7
Uffici	10
Sala riunioni	7
Corridoi/atrio	0,5

Profili d'uso (schedules)

Sulla base dei carichi interni, sono stati impostati i profili temporali (schedules) necessari a descrivere il comportamento d'uso effettivo dell'edificio, controllando la variabilità oraria di occupazione, illuminazione, apparecchiature, infiltrazioni, ventilazione e set-point.

Per rispecchiare le reali dinamiche della rifunzionalizzazione in campus universitario, si è scelto di non ricorrere a profili semplificati e continui previsti dalla normativa UNI/TS 11300, ma di optare per una personalizzazione. È stato assunto un profilo di attività con apertura dalle ore 8.00 alle ore 20.00 nei giorni feriali, valido per l'intero anno accademico; non operativo durante il fine settimana e nel mese di agosto, considerato periodo di chiusura (Fig. 6.5).

Mentre i valori di picco dei carichi (occupazione, potenza elettrica e portate d'aria) fanno riferimento ai requisiti normativi prima citati e alle destinazioni d'uso del progetto, la loro modulazione temporale considera gli orari di programmazione delle attività didattiche del Politecnico, con minore intensità in corrispondenza di inizio e fine lezioni e pausa pranzo. I profili di illuminazione sono stati differenziati in base all'orientamento e alla geometria delle aule. Le aule esposte a sud, contrariamente rispetto al solito, presentano profili di accensione più prolungati nel corso della giornata, a causa del minore apporto di radiazione solare diretta poichè adiacenti al padiglione della biblioteca.

In figura 6.6 e 6.7, nelle pagine seguenti, sono rappresentati alcuni dei profili orari impostati in questa sezione, in particolare quelli riguardanti l'occupazione e l'illuminazione.

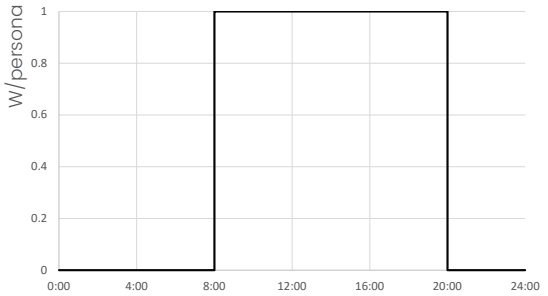


Fig. 6.5_Profilo orario di attività costante dalle ore 8.00 alle 20.00 (elaborazione dell'autore, software OpenStudio)

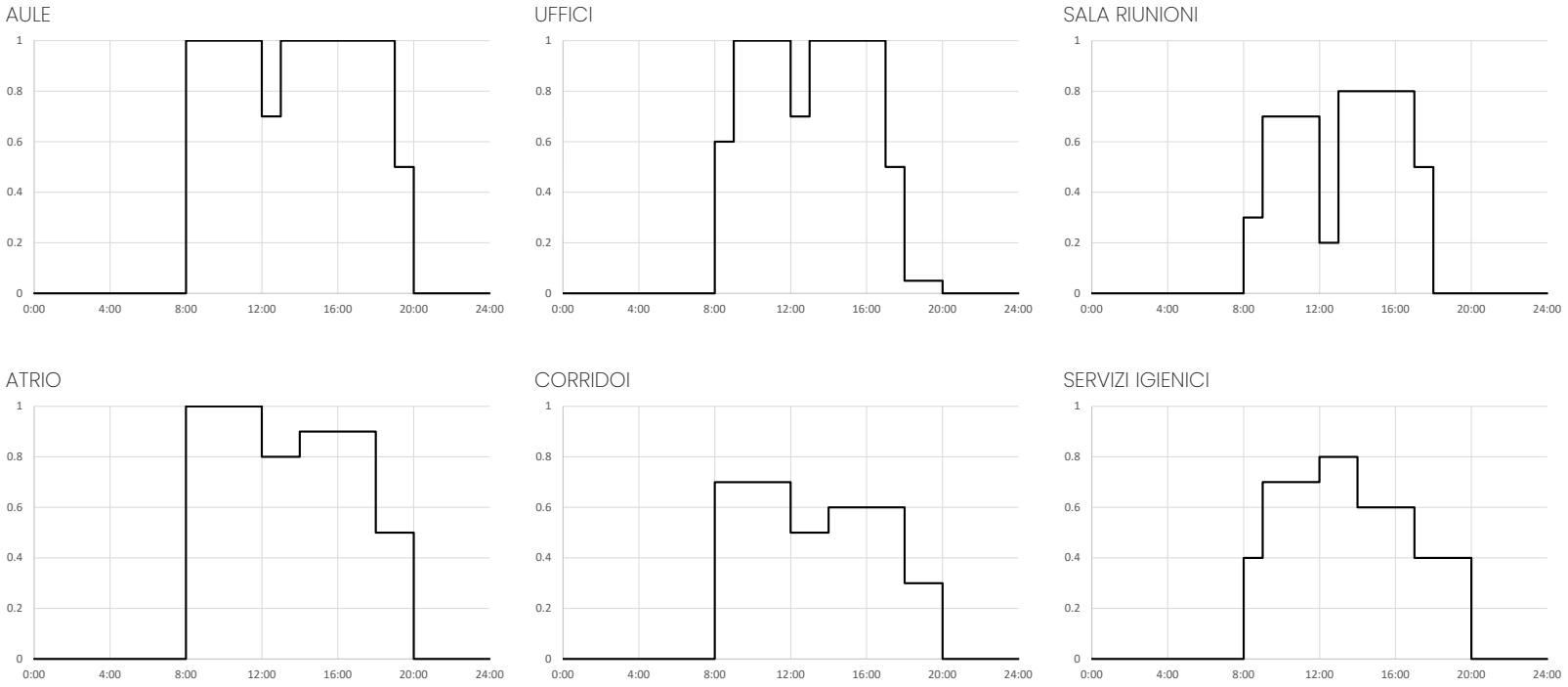


Fig. 6.6_Profili orari dell'occupazione di aule, uffici, sala riunioni, atrio, corridoi, servizi igienici nei giorni feriali, con utilizzo prevalente tra le ore 8:00 e le 20:00 e variazioni interne legate alla programmazione delle attività didattiche del Politecnico di Torino; assenza di occupazione nelle ore notturne e durante il weekend (elaborazione dell'autore, software OpenStudio)

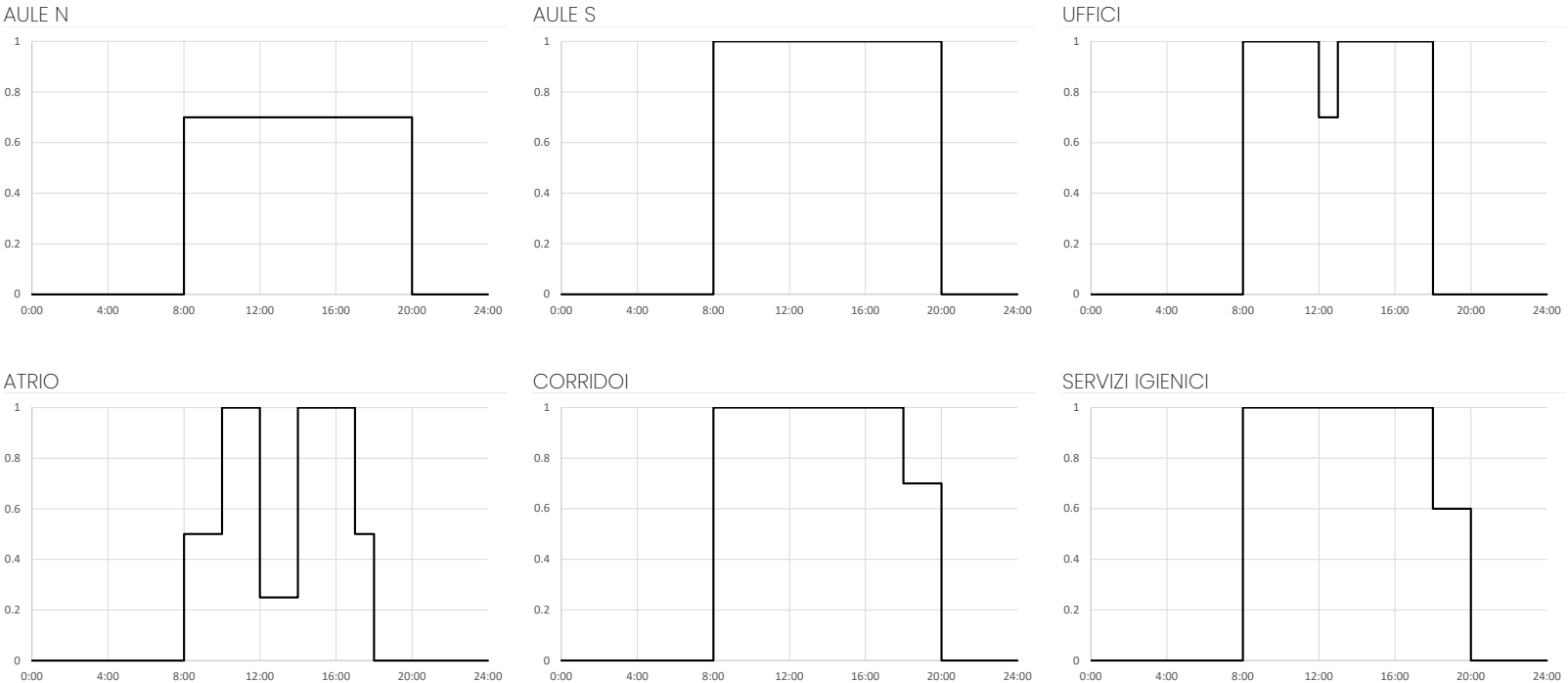


Fig. 6.7_Profili orari dell'illuminazione di aule, uffici, sala riunioni, atrio, corridoi, servizi igienici nei giorni feriali, con utilizzo prevalente tra le ore 8:00 e le 20:00 e variazioni interne legate alla distribuzione delle attività didattiche; assenza di occupazione nelle ore notturne e durante il weekend (elaborazione dell'autore, software OpenStudio)

Sistemi HVAC - temperature di set-point

Per la baseline, così come anche per le simulazioni successive, è stato adottato un sistema Ideal Loads Air System per le sette zone termiche riscaldate (Atrio-corridoi P0-P1, Aule N P0, Aule S P0, Servizi igienici, Aule N P1, Aule S P1, Uffici P2), ovvero un impianto "ideale" in grado di soddisfare i set-point di comfort annullando gli effetti legati alla tipologia impiantistica. La definizione di sistema ideale deriva dal fatto che tale configurazione assume un'efficienza e rendimenti pari al 100%, annullando le perdite dei sottosistemi di generazione, distribuzione ed emissione tipiche dei sistemi reali. Le temperature di set-point per riscaldamento e raffrescamento sono state assunte in funzione della destinazione d'uso dei locali e applicate tramite profili orari: 20–26 °C per aule e uffici, 18–27 °C per atrio e spazi distributivi e 22–26 °C per i servizi igienici. Nei periodi di non occupazione l'impianto è stato considerato spento; è stata pertanto prevista una temperatura antigelo pari a 5 °C per il periodo invernale.

Nonostante l'adozione di un sistema ideale, al fine di garantire una corretta rappresentazione del bilancio termico dell'edificio, sono stati comunque definiti i parametri relativi alla portata di ventilazione, distinguendo tra infiltrazione e portata di aria esterna.

Per la modellazione dei flussi d'aria non controllati attraverso l'involucro edilizio è stato inserito nel modello il valore Space Infiltration: Design Flow Rate, che rappresenta la portata di aria esterna che penetra negli ambienti attraverso discontinuità costruttive, giunti e serramenti. La definizione delle infiltrazioni è stata effettuata facendo riferimento alla normativa tecnica in vigore nelle norme UNI 11300-1, UNI 16798 e UNI EN ISO 9972 **[63]**. I flussi d'aria per infiltrazione incidono direttamente sui carichi di riscaldamento e raffrescamento, in quanto l'aria entrante deve essere riportata alle condizioni di set-point dal sistema ideale.

Parallelamente, è stata definita la ventilazione tramite l'oggetto Design Specification Outdoor Air, che rappresenta la portata minima di aria esterna necessaria a garantire adeguate condizioni di qualità dell'aria in-

terna in funzione dell'occupazione e della superficie degli ambienti. Il valore adottato, coerentemente con la norma di riferimento UNI 10339, è stato associato ai profili di occupazione specifici per ciascuna destinazione d'uso ed è pari a:

- Aule universitarie: 7,0 $10^{-3}m^3/s$ pers
- Uffici: 11,0 $10^{-3}m^3/s$ pers
- Sala riunioni: 10,0 $10^{-3}m^3/s$ pers

L'utilizzo degli Ideal Loads consente di ottenere direttamente i fabbisogni termici netti di riscaldamento e raffrescamento e confrontare in modo più controllato l'effetto delle prestazioni delle stratigrafie e delle modifiche all'involucro, evitando che le differenze tra scenari siano influenzate da ipotesi impiantistiche non oggetto di questa analisi. Di conseguenza, i risultati costituiscono una base robusta per la comparazione energetica.

Confronto fabbisogni ambientali modello OpenStudio - Relazione Tecnica

La Relazione L10 rappresenta, in questo contesto, il riferimento progettuale e normativo per la valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio. Ottenuti i fabbisogni termici per il riscaldamento e il raffrescamento mediante simulazione dinamica, è stato effettuato un confronto finalizzato a verificare la coerenza complessiva del comportamento energetico dell'edificio modellato in ambiente OpenStudio (EnergyPlus) rispetto alle prestazioni energetiche attese e documentate nella Relazione Tecnica del progetto di riferimento.

In particolare, il fabbisogno termico per il riscaldamento risulta pari a 77,20 kWh/m² nella Relazione L10, a fronte di un valore di 70,25 kWh/m² ottenuto dal modello OpenStudio per lo scenario S_base, presentando una riduzione pari al -9,0%. Per quanto riguarda il raffrescamento, il fabbisogno riportato nella Relazione L10 è pari a 13,41 kWh/m², mentre la simulazione dinamica restituisce un valore di 12,41 kWh/m², rilevando una diminuzione percentuale del -7,4%.

Gli scostamenti riscontrati risultano metodologicamente giustificabili e coerenti con le differenti modalità di calcolo adottate. La Relazione L10 si basa infatti su un approccio normativo di tipo semistazionario, mentre il modello OpenStudio, attraverso il motore di calcolo EnergyPlus, utilizza una simulazione dinamica oraria in grado di rappresentare in modo più dettagliato l'andamento temporale dei flussi termici, l'effetto dei carichi interni, i profili di occupazione, l'inerzia termica dell'edificio e le condizioni climatiche.

Ulteriori differenze tra i risultati derivano dalle semplificazioni geometriche e funzionali adottate nel modello di OpenStudio, nonché dalle assunzioni relative alle stratigrafie e ai componenti fisici dell'edificio, che, coerenti con il progetto architettonico del Politecnico di Torino, possono differire parzialmente da quelle adottate nella relazione tecnica che non considera specifici materiali nei calcoli.

Trattandosi di un progetto ancora non ultimato, i dati relativi ai consumi reali del padiglione non sono disponibili, per questo non sarebbe stato possibile effettuare una corretta validazione e calibrazione sul modello.

06.2. Simulazione per singolo componente

Definito il modello energetico di riferimento, per valutare l'influenza delle stratigrafie ottimizzate sul comportamento dell'edificio sono state effettuate delle simulazioni per singolo componente. Il modello dello stato di fatto mantiene le sue caratteristiche geometriche, impiantistiche e operative, ad eccezione del singolo elemento oggetto di studio.

È stata effettuata prima la sostituzione sistematica delle sole superfici d'involucro verticale con le alternative ottimizzate nel Livello 3 (V_0_+, V_1_+, V_3_+, V_6_+, V_{10}_+, V_{11}_+), mantenendo invariata la copertura con la configurazione di O_0, e successivamente è stato eseguito lo stesso procedimento individualmente per le alternative orizzontali selezionate (O_0_+, O_1_+, 0_2_+).

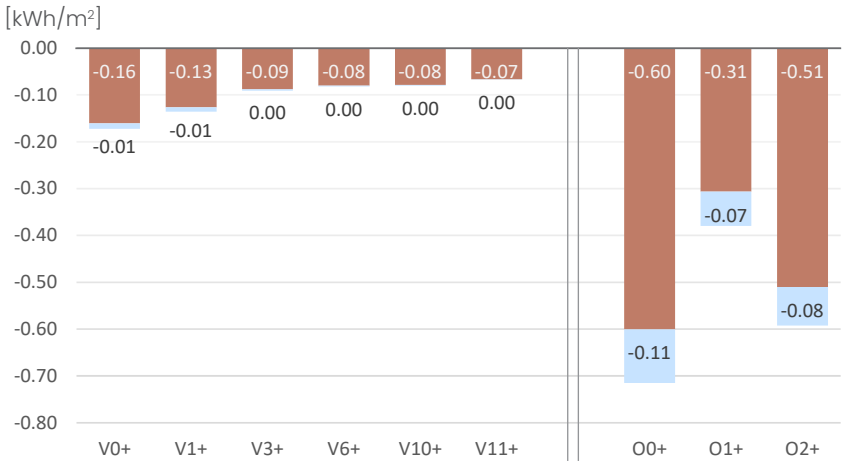


Fig. 6.8_Scostamenti assoluti dei fabbisogni termici [kWh/m²] rispetto allo scenario base (Fabbisogno per riscaldamento S_base = 70.25 kWh/m², Fabbisogno per raffrescamento S_base = 12.41 kWh/m²)
Δ Fabbisogno riscaldamento [kWh/m²]
Δ Fabbisogno raffrescamento [kWh/m²]
(elaborazione dell'autore)

Questo approccio consente di isolare il contributo del singolo componente e di quantificarne la variazione dei fabbisogni ambientali, attribuendoli esclusivamente all'elemento variato. Le informazioni estratte dai calcoli sono stati riassunti nella matrice di sintesi (Tabella 5.4 - paragrafo 05.5), mentre gli scostamenti assoluti rispetto ai dati di riferimento dello stato di fatto (S_base = 70.25 kWh/m² per il riascaldamento; 12.41 kWh/m² per il raffrescamento) sono stati trasposti graficamente nella Figura 6.8.

La lettura di questi output evidenzia la differenza nei comportamenti tra le diverse soluzioni:

- Per quanto riguarda le partizioni verticali, il comportamento è caratterizzato da una sostanziale rigidità prestazionale, infatti nel grafico non si evidenziano particolati scostamenti. Avendo uniformato

lo spessore dell'isolamento (pari a 6 cm esterni e 14 cm interni), la risposta termica in regime dinamico si dimostra quasi insensibile alla specifica natura del materiale. Il fabbisogno per il riscaldamento invernale subisce una contrazione minima e uniforme rispetto allo scenario di base, stabilizzandosi a un valore di circa 70.15 kWh/m², con uno scostamento massimo di 0.10 tra la soluzione V0_+ (70.09 kWh/m²) e la variante V11_+ (70.19 kWh/m²). Un simile riscontro si ha nel caso del fabbisogno per raffrescamento estivo, con un minimo guadagno a 12.40 kWh/m² da parte di V0_+ e V1_+.

- Le stratigrafie orizzontali, invece, mostrano una più alta sensibilità parametrica. La risposta varia in modo diverso per i tre pacchetti stratigrafici: la stratigrafia O0_+ ha l'impatto più favorevole, nonostante l'incremento di spessore minore, sia per l'invernale (69.65 kWh/m²) sia per l'estivo (12.30 kWh/m²). Le varianti O1_+ e O2_+, al contrario, pur impiegando una maggiore quantità di isolante, non riportano una rilevante diminuzione dei fabbisogni. La soluzione O1_+ ottiene un incremento di entrambe i fabbisogni (69.95 kWh/m² e 12.34 kWh/m²) rispetto a O0+. L'alternativa O2_+ attenua parzialmente questa perdita in inverno (69.74 kWh/m²), ma conferma il peggioramento estivo (12.33 kWh/m²). Tali esiti indicano che l'impiego indiscriminato di spessori troppo elevati in copertura potrebbe alterare i flussi termici di dissipazione dell'edificio in regime dinamico, trattenendo il calore interno durante i periodi di surriscaldamento e anticipando il raggiungimento del punto di saturazione prestazionale.

06.3. Discussione critica dei risultati

Il quadro sinottico emerso dalla simulazione dinamica energetica e dai risultati del Livello 3 permettono di formulare una sintesi critica approfondita sul concetto di ottimizzazione prestazionale, scardinando il pensiero comune secondo cui l'aumento indefinito dello spessore di isolante si traduca automaticamente in un beneficio ecologico e sostenibile. I dati dimostrano l'esistenza di un bilancio costi-benefici riscontrabili sull'organismo edilizio durante la fase di esercizio.

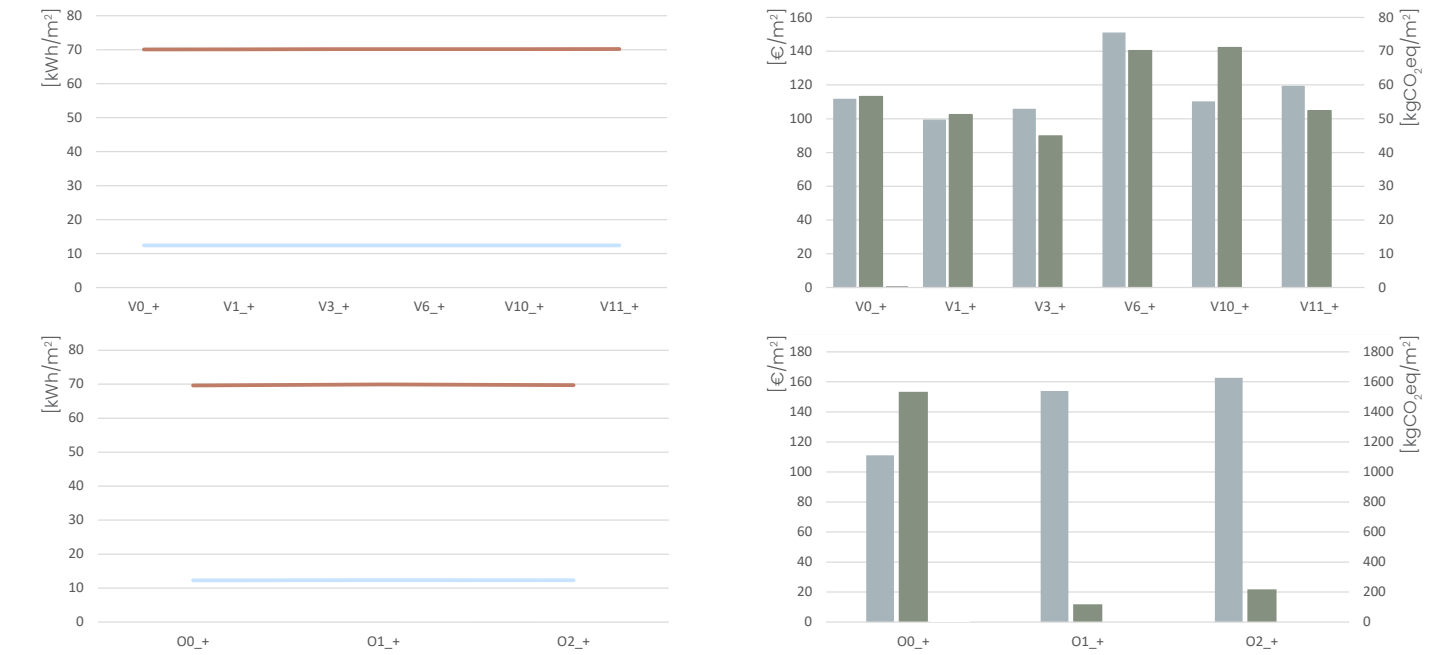


Fig. 6.9_Analisi prestazionale integrata e variabili delle stratigrafie ottimizzate. I grafici a linee a sinistra mostrano l'andamento dei fabbisogni termici [kWh/m²] per il riscaldamento e per il raffrescamento; la planarità delle curve evidenzia la rigidezza della risposta termica dell'edificio, dimostrando l'impossibilità di utilizzo del fabbisogno come parametro discriminante. A destra i grafici a colonne presentano le variabili di costo unitario [€/m²], asse principale, e emissioni incorporate [$kgCO_2eq/m^2$], asse secondario (elaborazione dell'autore)

Δ Fabbisogno riscaldamento [kWh/m²] Δ Fabbisogno raffrescamento [kWh/m²] Costo [€/m²] Emissioni incorporate [$kgCO_2eq/m^2$]

Per quanto concerne le stratigrafie verticali (Fig. 6.9 in alto), dove l'ottimizzazione è stata condotta entro i limiti di fissati di fattibilità costruttiva (Δs = +6 cm esterni, +14 cm interni), emerge che la selezione del pacchetto tecnologico non dovrebbe essere guidata dal potenziale risparmio termico in fase di esercizio. La simulazione dinamica evidenzia infatti una quasi totale equivalenza tra i fabbisogni sul Padiglione 1 delle diverse soluzioni, con oscillazioni complessive che rientrano nell'ordine di grandezza di un decimo di kWh/m² rispetto allo scenario di base. Nel caso del fabbisogno per riscaldamento tra 70.09 kWh/m² di V0_+ e 70.19 kWh/m²per V11_+, mentre per il raffrescamento si riscontra un minimo guadagno, con un valore di 12.40 kWh/m² di V0_+ e V1_+. L'andamento delle linee orizzontali (Fig. 6.9 grafico in alto a sx) dimostra che, superata una determinata soglia di isolamento, la risposta termica del sistema edificio diventa rigida, annullando di fatto il potere discriminante del vettore energetico. Dal momento che tutte le stratigrafie garantiscono un simile risparmio di energia in fase di esercizio, il dato sui fabbisogni cessa di essere un parametro utile per orientare la scelta.
Di conseguenza, l'asse decisionale del progettista deve necessariamente spostarsi sulle variabili legate alla produzione delle alternative (Fig. 6.9 grafico in alto a dx):

- variante con minore costo unitario = V1_+ 99.1 €/m²
- soluzione con minore impronta di carbonio = V3_+ 44.9 kgCO_2eq/m².

Si ricorda che il calcolo delle emissioni incorporate si limita a considerare l'impronta di carbonio di origine fossile; non sono state computate le componenti di carbonio biogenico e i relativi crediti di stoccaggio temporaneo intrinseci nei materiali bio-based. Tale assunzione, di natura cautelativa, permette di valutare l'effetto netto dei cicli produttivi a parità di condizioni al contorno.

Questo fenomeno emerge con ancor più evidenza nelle stratigrafie orizzontali (Fig. 6.9 in basso). La risposta varia in modo differente per i tre pacchetti analizzati: O0_+ presenta i migliori valori relativi al fabbisogno, 69.65 kWh/m² in inverno e 12.30 kWh/m² in estate, a fronte di un costo del materiale di 111.1 €/

m^2 e di un incremento di spessore di soli 4 cm. Tuttavia, questa alternativa, come si può notare dall'istogramma, presenta un valore di emissioni incorporate pari a 1533.8 $kgCO_2eq/m^2$, assumendo un impatto ambientale fortemente negativo.
Al contrario, le alternative $O1_+$ e $O2_+$, nonostante impieghino una maggiore quantità di isolante, non riportano una rilevante diminuzione dei fabbisogni. Sotto il profilo economico, mostrano costi nettamente superiori (153.9 e 162.7 €/m^2), ma contemporaneamente presentano una riduzione importante dell'impronta di carbonio rispetto a $O0_+$ (118.1 e 218.1 $kgCO_2eq/m^2$). Questo divario risulterebbe ancora più significativo considerando il carbonio biogenico, il quale avrebbe ulteriormente abbassato o azzerato il bilancio emissivo delle soluzioni costituite da materiali di origine naturale rispetto alla grande impronta fossile della variante tradizionale del progetto di riferimento.

In conclusione, lo studio dimostra che l'eccessivo isolamento trova una giustificazione scientifica unicamente se interpretato attraverso la sostenibilità dei processi produttivi (Life Cycle Assessment approach). L'incremento degli spessori coibenti non deve essere inteso come un obiettivo esasperato verso il risparmio in fase di esercizio, ma come un'opportunità per accogliere materiali alternativi, di origine naturale a bassissimo impatto di carbonio incorporato. Tuttavia, la diffusione di tali soluzioni non dipende esclusivamente dalla loro efficacia ambientale. Essa richiede infatti una revisione delle scelte progettuali, della filiera di approvigionamento e delle tecnologie costruttive adottate e può comportare un incremento dei costi iniziali, oltre a scontrarsi con vincoli produttivi, normativi e di mercato che ne limitano l'applicazione su larga scala.

CONCLUSIONI .07

Il presente lavoro ha sviluppato una metodologia multilivello ripetibile a supporto delle decisioni per la valutazione di alternative progettuali nell'ambito della riqualificazione energetica di edifici esistenti, assumendo come caso studio il Padiglione 1 - Padiglione Sottsass del complesso di Torino Esposizioni.
La ricerca ha assunto come base di riferimento il recente progetto di riqualificazione energetica elaborato dal Politecnico di Torino secondo gli standard nZEB vigenti al momento della sua definizione. Tale progetto ha costituito il quadro conoscitivo e progettuale di partenza, mentre la metodologia proposta ne ha esteso l'impostazione, sviluppando e confrontando alternative tecnologiche orientate agli attuali obiettivi di decarbonizzazione e di edifici a emissione zero.
La scelta di focalizzare la sperimentazione su questo edificio è stata dettata dalla volontà di applicare il metodo a un caso caratterizzato da una configurazione morfologica complessa e da criticità tecnologiche rappresentative di una vasta parte del patrimonio edilizio esistente. Pur appartenendo ad un complesso di elevato valore storico-architettonico, il Padiglione 1 costituisce un caso studio meno approfondito rispetto ai padiglioni di maggiore notorietà, risultando tuttavia particolarmente rappresentativo delle problematiche che caratterizzano gli interventi di riqualificazione, offrendo al contempo maggiore possibilità di trasferibilità dei risultati rispetto ad edifici con peculiarità strutturali o vincoli conservativi più stringenti.

Lo studio è stato articolato in tre livelli progressivi di approfondimento, sviluppati secondo una sequenza che conduce dalla selezione dei materiali alla valutazione delle prestazioni dell'edificio nel suo complesso.

Inizialmente, il dato di Embodied Carbon relativo alle fasi A1-A3 è stato utilizzato come criterio preliminare per la selezione dei materiali da impiegare nelle possibili soluzioni tecnologiche. Tale scelta è stata motivata dalla disponibilità sistematica dell'indicatore all'interno delle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto e dalla crescente rilevanza delle emissioni incorporate nel contesto delle

strategie di decarbonizzazione del settore edilizio.

In un secondo momento, i materiali selezionati sono stati utilizzati per la costruzione delle alternative progettuali caratterizzate da prestazioni termiche equivalenti rispetto ai componenti di riferimento. Il confronto tra le diverse stratigrafie è stato condotto attraverso variabili ambientali, economiche e costruttive, consentendo di sottolineare come soluzioni aventi la medesima trasmittanza termica possano avere impatti significativamente differenti in termini di requisiti geometrici, costi ed emissioni incorporate calcolate lungo l'intero ciclo di vita. In questa fase i grafici radar hanno svolto un ruolo di strumento di supporto alla lettura comparativa dei risultati, favorendo l'identificazione delle alternative maggiormente coerenti con gli obiettivi di ricerca.

Il terzo livello, ha riguardato l'ottimizzazione prestazionale delle alternative selezionate mediante la riduzione della trasmittanza termica. Tale operazione ha comportanto un incremento degli spessori isolanti e, conseguentemente, dei costi e delle emissioni incorporate associate ai componenti. Le stratigrafie ottimizzate sono state successivamente implementate all'interno del modello energetico sviluppato mediante OpenStudio, al fine di valutare l'influenza delle diverse soluzioni sui fabbisogni termici dell'edificio. Questo passaggio ha consentito di estendere l'analisi del pacchetto stratigrafico dei componenti opachi alla scala dell'edificio inteso come sistema, verificando come le modifiche introdotte nell'involucro si riflettano sul comportamento energetico complessivo del caso studio.

I risultati ottenuti evidenziano come il miglioramento delle prestazioni termiche dei componenti non produca necessariamente benefici proporzionali rispetto all'incremento di materiali impiegati. L'analisi ha mostrato come, nel caso dei componenti verticali, l'andamento dei fabbisogni termici ideali per riscaldamento e raffrescamento sia risultato rigido, registrando oscillazioni trascurabili. Tale esito ha dimostrato che il fab-

bisogno termico in fase d'uso perde interamente il proprio potere di discriminante, trasferendo l'asse decisionale sui fattori di costo unitario ed emissioni incorporate. Per quanto interessa le componenti orizzontali, la simulazione ha invece rilevato un'inversione della performance termica estiva a causa dell'elevato spessore che modifica i flussi dissipativi e trattiene il calore peggiorando il fabbisogno termico di raffrescamento rispetto a configurazioni più snelle. Le varianti energeticamente meno performanti (materiali isolanti di origine naturale) presentano impatti ambientali inferiori rispetto alle soluzioni tradizionali.

Gli esiti dell'analisi suggeriscono inoltre una riflessione più ampia sul ruolo dei materiali a basso carbonio incorporato all'interno delle strategie di riqualificazione energetica. I risultati ottenuti mostrano come il perseguimento di prestazioni termiche sempre più elevate non costituisca necessariamente la strategia più efficace dal punto di vista ambientale, soprattutto quando compporta un incremento significativo della quantità di materiale impiegato a fronte di benefici energetici marginale. In tale prospettiva, l'aumento degli spessori isolanti trova una reale giustificazione soltanto quando consente l'impiego di materiali caratterizzati da ridotte emissioni incorporate lungo il ciclo di vita, spostando l'attenzione dal solo contenimento dei consumi energetici in esercizio verso una valutazione complessiva dell'impronta di carbonio incorporato dell'edificio.

La ricerca evidenzia tuttavia come la diffusione di materiali naturali non dipenda esclusivamente dalla loro efficacia ambientale. Sebbene tali materiali abbiano dimostrato un elevato potenziale della riduzione dell'EC, la loro applicazione su larga scala risulta ancora limitata da una serie di criticità che coinvolgono l'intera filiera delle costruzioni. L'offerta industriale e la capacità produttiva attualmente disponibili non sempre risultano adeguate a soddisfare la domanda di interventi di grandi dimensioni, mentre il quadro normativo e prestazionale risulta, per alcune tipologie di prodotto, meno consolidato rispetto ai materiali convenzionali.

Ciò comporta la necessità di ulteriori verifiche progettuali relative alla durabilità, al comportamento nei confronti dell'umidità, della sicurezza antincendio e della compatibilità con i sistemi costruttivi esistenti.

Dal punto di vista esecutivo, l'impiego di tali materiali richiede inoltre competenze specialistiche non ancora ampiamente diffuse tra gli operatori del settore. Le modalità di fissaggio dei pannelli isolanti, la progettazione dei dettagli costruttivi, il controllo dei ponti termici, la gestione della trasmissione del vapore e della condensazione interstiziale, nonchè il maggiore spessore sovente necessario per conseguire le medesime prestazioni termiche dei materiali tradizionali ad alte prestazioni, possono determinare vincoli progettuali e costruttivi particolarmente rilevanti negli interventi di riqualificazione dell'esistente, dove gli spazi disponibili e le condizioni al contorno risultano frequentemente limitati.

A tali aspetti si aggiungono i maggiori costi indiretti legati alle attività di progettazione, certificazione, logistica e formazione della manodopera, oltre alla limitata disponibilità di Dichiarazioni Ambientali di Prodotto complete e omogenee per alcune categorie di materiali, che rende ancora complessa una valutazione pienamente confrontabile del loro comportamento ambientale lungo l'intero ciclo di vita. Inoltre, i benefici ambientali di tali materiali non possono essere considerati automaticamente garantiti poichè dipendono dalla provenienza della materia prima, dalla gestione sostenibile delle risorse, dalle distanze di trasporto e dagli scenari di fine vita assunti nell'analisi.

La riduzione del carbonio incorporato rappresenta pertanto una sfida sistemica che non può essere affrontata attraverso la sola sostituzione dei materiali, ma richiede una progressiva una progressiva evoluzione delle filiere produttive, delle competenze progettuali ed esecutive, degli strumenti di valutazione ambientale e del quadro normativo di riferimento. In tale contesto, la metodologia sviluppata assume il ruolo di

strumento di supporto alle decisioni, consentendo di analizzare in maniera integrata le implicazioni ambientali, energetiche, economiche e costruttive delle diverse alternative progettuali e di orientare il processo decisionale verso soluzioni maggiormente consapevoli.

La metodologia presenta tuttavia alcuni limiti intrinseci che circoscrivono il perimetro di validità dell'attuale configurazione dello strumento decisionale.
Sotto il profilo della valutazione ambientale, la contabilizzazione degli impatti si è concentrata esclusivamente sulla componente di carbonio di origine fossile legata alla produzione, al trasporto, alla costruzione e allo scenario di fine vita dei materiali, assunto con una quota standardizzata di riciclo e smaltimento pari a 70-30%. Sono stati esclusi dal computo il carbonio biogenico e i relativi crediti di stoccaggio temporaneo di anidrice carbonica propri unicamente dei materiali di origine naturale per valutare l'impatto netto dei soli cicli industriali di tutti i materiali.

Per quanto concerne la modellazione, la ricerca ha intenzionalmente escluso l'influenza dei rendimenti e delle perdite dei sistemi impiantistici reali, focalizzandosi sulle prestazioni dell'involucro attraverso l'utilizzo dei sistemi di carichi d'aria ideali grazie ai quali sono stati ottenuti i fabbisogni termici netti per il riscaldamento e il raffrescamento. Questo approccio costituisce un limite operativo in quanto non restituisce il consumo energetico finale effettivamente erogato dai vettori energetici in fase d'uso.

Gli sviluppi futuri della ricerca potrebbero ampliare e potenziare la metodologia proposta.
Un primo ambito di implementazione potrebbe riguardare l'introduzione nel modello di simulazione dinamica di impianti reali e relativi sottosistemi dell'edificio. Questo permetterebbe di calcolare i consumi energetici effettivi, mappando i singoli vettori e consentendo una quantificazione accurata anche delle emissioni in fase d'uso (Operational Carbon) in funzione della specifica scelta impiantistica.

Un secondo ambito di implementazione potrebbe mirare all'adozione di algoritmi di ottimizzazione matematica multicriterio avanzata per gestire nuove variabili fisiche e tecnologiche. Questo permetterebbe in primo luogo di estendere la valutazione dell'involucro ai componenti trasparenti e a nuove tipologie di isolamento e, in secondo luogo, consentirebbe di integrare nel modello decisionale nuovi parametri quali durabilità, manutenibilità, isolamento acustico, resistenza al fuoco, disponibilità delle risorse, approvigionamento e circolarità dei materiali, offrendo uno strumento in gradi di pesare scientificamente i vincoli e l'eterogeneità degli attori coinvolti nell'intervento.

BIBLIOGRAFIA | SITOGRAFIA

Andreotti, J., Giordano, R. (2023). *Strumenti per la decarbonizzazione: contabilizzazione dell'Embodied Carbon nel ciclo di vita di un manufatto edilizio*. Edizioni Ambiente.

Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2021). Embodied energy and GWP of windows: Review and data from EPDs. *Energies*. 14(13).

Azari, R., & Abbasabadi, N. (2018). Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends, *Energy and Buildings*. 168. P. 225–235.

Bassignana P. L. (a cura di), (2004). *Il Valentino luogo di progresso*. Torino: Centro congressi Torino Incontra. P. 109.

Boaga G., Borri B. (1962). *Riccardo Morandi*, Edizioni Comunità.

Buchanan, A.H., & Honey, B.G. (1994). Energy and Carbon Dioxide Implications of Building Construction, *Energy and Buildings*. 20(3).

Cabeza, L. F., et al. (2013). Low carbon and low embodied energy materials in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 23. P. 536-542.

Cabeza, L.F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29. P. 394-416.

Cabeza, L. F., et al. (2020). Sustainability and life cycle assessment of buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131.

Città di Torino. (25 maggio 2021). *Delibera della Giunta Comunale n. 432*. Servizio Telematico Pubblico – Ricerca Atti Amministrativi.

Città di Torino. (1 marzo 2022). *Delibera della Giunta Comunale n. 106*. Servizio Telematico Pubblico – Ricerca Atti Amministrativi.

Città di Torino. (luglio 2022). Dipartimento Ur-

banistica ed Edilizia Privata, *Piano tecnico esecutivo (ai sensi dell'art. 47 LUR): Relazione illustrativa* [Documento tecnico-amministrativo].

Collins, P. (1965). *Concrete: The Vision of a New Architecture*, McGill University Press.

Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report.* Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

Parlamento Europeo. (5 giugno 2009). *Direttiva 2009/28/CE*. Consiglio del 23 aprile 2009. Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea.

Parlamento Europeo. (19 giugno 2018). *Direttiva (UE) 2018/844*. Consiglio del 30 maggio 2018. Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea.

Parlamento Europeo. (8 maggio 2024). *Direttiva (UE) 2024/1275*. Consiglio del 24 aprile 2024, Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea.

European Commission. COM(2019). *The European Green Deal*. Bruxelles. 640 final.

European Commission. COM(2020). *A Renovation Wave fo Europe: Greening Our Buildings, Cratings Jobs, Improving Lives*. Bruxelles. 662 final.

European Commission. (2021). *Fit for 55 Package: Delivering the European Green Deal*.

European Commission. (2023). *Level(s) Framework for Sustainable Buildings - Guidance and Indicators*.

European Commission. (2023). *Directive (EU) 2023/1791 on Energy Efficiency*.

European Commission. (2023). *Directive (EU) 2023/2413 on Renewable Energy*.

Fariello F. (1937). Il concorso per il palazzo della

Moda a Torino, Progetto vincitore dell'architetto Ettore Sot-Sas, in *Architettura*, n. 16, fasc. 3.

Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., & White, L.L. (Eds). (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press.

Filippi M., Mellano F. (a cura di). (2006). *Agenzia per lo svolgimento dei XX Giochi Olimpici invernali Torino 2006: Cantieri e Opere*. Milano: Electa. 2.

Giedion, S. (1948). *Mechanization Takes Command*, Oxford University Press.

Grazieschi G., Asdrubali F., Thomas G. (2021). Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review, *Cleaner Environmental Systems*. 2.

Greco C. (2008). *Pier Luigi Nervi: dai primi brevetti al Palazzo delle Esposizioni di Torino, 1917-1948*. Quart Edizioni Lucerna.

Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., & Zeumer, M. (2008). *Energy Manual: Sustainable Architecture*. Birkhäuser.

Imbesi G., Morandi M., Moschini F. (a cura di). (1991). *Riccardo Morandi: innovazione, tecnologia, progetto*. Gangemi. Roma.

IPCC, AR6. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*.

Kalnæs, S.E., Jelle, B.P. (2015). Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities, *Energy and Buildings*. 94. P. 150–176.

Levra U. (2003). *Le esposizioni torinesi 1805 - 1911: specchio del progresso e macchina del consenso*. Archivio storico della Città di Torino. Torino. P. 133.

Masterplan di Ateneo. (2021). *Progetto di fattibilità tecnico-economica: Relazione illustrativa generale - Relazione tecnica*. Politecnico di Torino.

Melis A. (1937). Concorso per la nuova sede dell'Ente nazionale della Moda a Torino. *L'Architettura italiana*. n. 1.

Nazioni unite. (2015). *Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change. Parigi.

Nazioni unite. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*.

Pagano G. (1933). La mostra italiana della moda. *Casabella*. 5. P. 8.

Pagano G. (1936). Il palazzo della moda a Torino. *Casabella*. 108. P. 20-25.

Pomponi, F., & Moncaster, A. (2016). Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment, *Energy and Buildings*. 116.

Parlamento Europeo. (9 luglio 2021). *Regolamento (UE) 2021/1119*. Consiglio del 30 giugno 2021. Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea.

Röck, M., et al. (2020). Embodied GHG emissions in buildings: New evidence and policy implications. *Energy and Buildings*. 211.

Röcka, M., et al. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*. 258.

Sottsass E. sr. (1991). *Ettore Sottsass senior, architetto*. Milano: Electa.

Violano, A., et al. (2023). The carbon footprint

of thermal insulation: Potentials for textile-waste-based insulation materials. *Energies*.

UNEP. (2023). *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*.
UNEP & GlobalABC. (2024). *Global Status Report for Buildings and Construction 2024/25*.

Zevi B. (1960). Il nuovo padiglione del salone dell'Automobile a Torino Esposizioni. *L'Architettura, cronache e storia*. 53.

ALLEGATI

- Schede tecniche materiali
- Calcolo emissioni incorporate stratigrafie

SCHEDA TECNICA CLIMACELL®

Climacell® è un **coibentante in fiocchi di cellulosa** sfusi di pura carta di giornale.
Lo trovi nelle varianti:

- "S"
- "Sonic Loft"
- "Pure" (privo di inchiostro)
- "Green Nature" (senza acido borico)

Valutazione Tecnica Europea	EAD ETA-08/0009, marchio CE (DOP CE09-NB0432)
Certificato di prodotto dal IQUH, Germania (Istituto per la gestione di Qualità e l'igiene dell'Ambiente)	Controllo di prodotto con dichiarazione completa delle materie prima secondo DIN EN ISO9000/14000, DIN EN 15251 e REACh 1907/2006.
Emissioni/Salubrità/Sostenibilità	· **Classe A+** secondo Decret n° 2011-321 (Ordinanza francese VOC) · Conforme secondo Ordinanza francese **CMR** (2010) · **EPD** secondo ISO14025 e EN15804 · Carta da giornale certicata FSC (= Forest Stewardship Council)
Impiego di energia (solo produzione)	0,151 KWh/kg; 1,41 KWh/m3 di isolamento (valore U = 0,2)
Percentuale di materie prime riciclato	85-95% (EPD), 88% (Scheda informativa di Sicurezza)
Conducibilità termica	λD = 0,038 W/(mK) λ10, dry = 0,037 W/(mK)
Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua μ	1 – 2 secondo EN 12086:2013, condizione climatica C: 23°C / 80% umidità
Capacità termica specifica	2544 J/(kgK) / c = 0,71 Wh/(kgK) DIN ISO 11272, DIN EN ISO 12664
Classe di reazione al fuoco conforma	B -s2, d0 DIN EN ISO 13501-1
Assorbimento d'acqua	15 % del proprio peso secondo DIN 5262
Protezione da muffe	Classe 0 secondo EN ISO 846
Durabilità biologica	Ottima. Nessuna proliferazione di funghi, insetti, muffe, roditori
Putrescibilità	Nulla
Modalità per insufflaggio per l'intervento in cantiere	Con apposito macchinario. Vedi indicazioni di posa del produttore
Stabilità all'invecchiamento	Ottima
Corrosione dei metalli	Nessuna
Stabilità dimensionale	Assestamento nelle mura: 0% (45-65 kg/mc) Assestamento in posa libera: 13% (35 kg/mc)
Densità insufflaggio in intercapedine verticale (10-15 cm)	50 kg/m³ (per altri spessori, si riferisce ai documenti tecnici sulle densità minime del produttore)
Densità insufflaggio aperto (solai, superfici orizzontali e leggermente inclinate ≤ 10°)	35 kg/m³
Resistenza al flusso d'aria	Secondo DIN EN 29053
Densità apparente 30-45-55-65 kg/m3	4 - 9,4 - 19,8 - 43 kPas/m2

Spessore isolante	Valore U	Sfasamento TAV (rapporto ampiezza termica)
160 mm	0,25 W/m2K	14% = 9,3 ore
180 mm	0,23 W/m2K	11% = 10,1 ore
220 mm	0,19 W/m2K	8% = 11,7 ore

CLIMACELL
coibentazione in fiocchi di cellulosa

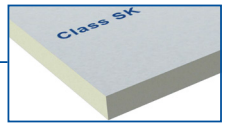
Climacell® GmbH
Etzwiesenstrasse 12
74918 Angelbachtal
Germania
Tel.: +49 7265 9131-0
Fax: +49 7265 9131-21
info@climacell.com
www.climacell.com

Climacell® è rappresentata in Italia da:
Abitare Sano System SRL Società Benefit
Via Baldissero, 21
10080 Vidracco (TO) - Italia
Cell. +39 348 4030717
info@climacell.it
www.climacell.it
www.abitaresanosystem.it

Il nostro partner Climacell® nella tua area

stiferite® l'isolante termico

Class SK



Descrizione

STIFERITE CLASS SK è un pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito su entrambe le facce con velo vetro saturato.

Linee Guida per la stesura di capitolati tecnici

Isolante termico **STIFERITE CLASS SK** in schiuma polyiso espansa rigida (PIR) di spessore ...(*), con rivestimenti di velo vetro saturato su entrambe le facce, avente:

Resistenza Termica Dichiarata: R_D= ... m²K/W (EN 13165 Annessi A e C)

... **(si consiglia di completare la voce di capitolato indicando le caratteristiche e prestazioni più rilevanti per la specifica applicazione)**

Prodotto da azienda certificata con: sistema di gestione qualità **UNI EN ISO 9001**, sistema di gestione ambientale **UNI EN ISO 14001**, sistema di gestione a tutela della Sicurezza e della Salute dei Lavoratori **UNI EN ISO 45001**, avente la marcatura di conformità CE su tutta la gamma.
Disponibile la **Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD)** verificata da Ente terzo e la valutazione dei **Criteri Minimi Ambientali (CAM)** previsti dal **Green Public Procurement (GPP).**

(*) I parametri variano in funzione dello spessore. Per inserire i valori corrispondenti allo spessore utilizzato si utilizzino i dati riportati nella presente scheda tecnica.

Formato standard

lunghezza e larghezza:
600 x 1200 mm
spessori nominali [d] EN 823:
da 20 a 200 mm

Principali applicazioni

Isolamento di pareti con soluzioni a "cappotto" (ETICS)
Correzione di ponti termici, zoccolature e controsoffitti.
Isolamento di pareti, casseri, pavimenti e coperture anche sotto manti sintetici o bituminosi applicati a freddo o caldo.

CE

PRINCIPALI CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI - rilevanti ai fini della marcatura CE [UNI EN 13165]

Conducibilità Termica Dichiarata - λ_D [W/mK]
UNI EN 13165 Annessi A e C
Valore determinato alla temperatura media di 10° C
v. tabella valori in funzione dello spessore

Resistenza Termica Dichiarata - $R_D = d/\lambda_D$ - [m²K/W]
v. tabella valori in funzione dello spessore

Trasmittanza Termica Dichiarata - $U_D = \lambda_D/d$ [W/m²K]
v. tabella valori in funzione dello spessore

d mm	λ_D W/mK	R_D m²K/W	U_D W/m²K
20	0,027	0,74	1,35
30		1,11	0,90
40		1,48	0,68
50	0,026	1,92	0,52
60		2,31	0,43
70		2,69	0,37
80		3,08	0,33
100	0,025	4,00	0,25
120		4,80	0,21
140		5,60	0,18
160		6,40	0,16
180	0,024	7,50	0,13
200		8,33	0,12

Reazione al fuoco
EN 13501-1, EN 11925-2, EN 13823
EUROCLASSE E

Resistenza alla compressione al 10% di schiacciamento - σ_{10} [kPa]
EN 826
> 150 codice etichetta CE [CS(10/Y)150]

Resistenza a trazione perpendicolare alle facce - σ_{mt} [kPa]
EN 1607
> 80 codice etichetta CE [TR80]

Fattore di resistenza alla diffusione del vapore - μ
EN 12086
63 ± 2 codice etichetta CE [MU63]

Assorbimento d'acqua per immersione parziale, breve periodo [kg/m²]
EN 1609
< 0,3 codice etichetta CE [WS(P)0,3]

Assorbimento d'acqua per immersione totale, lungo periodo [% in peso]
EN 12087
<2 per d < 120 mm codice etichetta CE [WL(T)2]
<1 per d ≥ 120 mm codice etichetta CE [WL(T)1]

Planarità dopo bagnatura da una faccia [mm]
EN 13165
≤ 10 mm codice etichetta CE [FW2]

Planarità S_{max} [mm]
EN 825
± 5 per superfici < 0.75 m²

Stabilità dimensionale [Livello]
EN 1604
48 h, 70° C, 90% UR
3 per d < 40 mm codice etichetta CE [DS(70;90)3]
4 per d ≥ 40 mm codice etichetta CE [DS(70;90)4]
48 h, -20° C
2 codice etichetta CE [DS(-20;0)2]

Ortogonalità [mm/m]
EN 13165
< 5

Tolleranze [mm]
EN 13165
Lunghezza e Larghezza
± 5 < 1000 mm codice etichetta CE [T2]
± 7,5 da 1000 a 2000 mm codice etichetta CE [T2]

Spessore [mm]
± 2 < 50 mm codice etichetta CE [T2]
± 3 da 50 a 75 mm codice etichetta CE [T2]
+ 5/-2 ≥75 mm codice etichetta CE [T2]

stiferite® l'isolante termico

ALTRE CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Massa volumica pannello - ρ [kg/m³]
Valore medio comprensivo del peso dei rivestimenti
35 ± 1,5

Calore Specifico - Cp [J/kg° K]
Valore medio
1720

Resistenza alla compressione, 2 % di schiacciamento - σ_2 [kg/m²]
EN 826
> 5000

Scorrimento viscoso (Creep) a compressione - ε_{ct} [%]
EN 1606
< 1,5 per d = 200 mm codice etichetta CE [CC(1.5/1.0/50)25]

Resistenza Pull through - [N]
EN 16382
> 750

Fattore di sicurezza per resistenza al carico di vento - γ_m
EN 13165
1,5

Modulo al taglio [kPa]
EN 12090
1656

Resistenza al taglio [kPa]
EN 12090
109

Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua - Z [m²hPa/mg]
EN 12086
1,9 - 17,6

Stabilità dimensionale - [% variazione dimensionale]
EN 1604
7 d, 70° C
< 1

Stabilità dimensionale - [% variazione dimensionale]
EN 1603
28 giorni, 23° C e 50 % UR
≤ 0,01

Percentuale in peso di materiale riciclato - [%]
Disciplinare REMADE®
> 4

CERTIFICAZIONI & RAPPORTI DI PROVA AGGIUNTIVI

Certificazioni aziendali di sistema:
- **Sistema di gestione qualità UNI EN ISO 9001,**
- **Sistema di gestione ambientale UNI EN ISO 14001,**
- **Sistema di gestione a tutela della Sicurezza e della Salute dei Lavoratori UNI EN ISO 45001**

Benestare tecnico Europeo EOTA - ETICS - Sistema a cappotto:

EAD 040083-00-0404
- **ETA 09/0060**
- **ETA 10/0027**
- **ETA 13/0871**
- **ETA 17/0102**
- **ETA 19/0022**
- **ETA 19/0247**
- **ETA 21/0945**
- **ETA 23/0522**
- **ETA 23/0839**
- **ETA 23/0839**
- **ETA 25/0568**

EAD 040089-00-0404:
- **ETA 25/0345**
- **ETA 25/0527**

Dichiarazione Ambientale di Prodotto EPD verificata da Ente terzo
ISO 14025 e EN 15804

Fonoisolamento acustico a parete - R_w [dB]
UNI EN ISO 140-3, UNI EN ISO 717-1
52
I dati relativi alla stratigrafia valutata sono riportati nel Quaderno Tecnico "Isolamento Acustico"

Rigidità dinamica apparente - s't [MN/m³]
UNI EN 29052-1
I dati relativi alla rigidità dinamica sono riportati nel Quaderno Tecnico "Isolamento Acustico"

Reazione al fuoco - fuoco covante continuo
EN 16733
Il pannello non è soggetto a combustione continua senza fiamma

Emissioni di composti organici volatili VOC
UNI EN ISO 16000
Classe Francese A



NOTE

Stabilità alla temperatura
I pannelli Stiferite sono utilizzabili in un campo di temperature continue normalmente comprese fra -40° C e +110° C. Per brevi periodi possono sopportare anche temperature fino a + 200° C, o equivalenti alla temperatura del bitume fuso, senza particolari problemi. Lunghe esposizioni a temperature superiori a +110° C potranno causare deformazioni alla schiuma o ai rivestimenti, ma non provocare sublimazioni o fusioni.

Aspetto
Eventuali piccole zone di non adesione tra i rivestimenti e la schiuma o bolle hanno origine dal processo produttivo e non pregiudicano in modo alcuno le proprietà fisico-meccaniche dei pannelli. Per garantire una corretta adesione a rasanti ed adesivi si consiglia di rimuovere le piccole zone di non adesione tra rivestimento e schiuma. L'esposizione prolungata della schiuma poliuretanica ai raggi UV può causarne l'ossidazione superficiale, il fenomeno non pregiudica le caratteristiche e prestazioni fondamentali del pannello

Imballo & Stoccaggio
I pannelli STIFERITE di misure standard vengono normalmente confezionati in termoretraibile, in pacchi chiusi e provvisti di etichetta CE.
Stoccare i pacchi sollevati da terra. Per lunghi periodi ricoverarli al coperto e all'asciutto.

Avvertenze
I dati riportati nella presente scheda sono vincolanti per le caratteristiche e prestazioni previste dalla marcatura CE.
Altre caratteristiche e informazioni aggiuntive potranno essere modificate anche in assenza di specifica segnalazione.

Altre informazioni
Per ottenere dati tecnici non contemplati nella presente Scheda Tecnica contattare l'Ufficio Tecnico STIFERITE

KNAUF INSULATION

NaturBoard SILENCE

Pannello rigido isolante in lana minerale senza rivestimento

Dati tecnici

CARATTERISTICHE	VALORE	NORMA
Spessori disponibili	30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, 140, 160 mm	-
Dimensioni pannelli	600 x 1000 mm	-
Conducibilità termica λ_D	0,034 W/mK	EN 13162 - EN 12667
Reazione al fuoco (Euroclasse)	A1	EN 13501-1
Resistenza al passaggio del vapore acqueo μ	1	EN 12086
Resistenza al flusso d'aria - AF_r	>15 kPa • s /m²	EN 29053
Assorbimento d'acqua a breve termine - WS	≤1,0 kg/m²	EN 1609
Calore specifico (Cp)	1.030 J/kg K	EN 10456
Densità nominale	70 kg/m³	-
Codice DOP	R4305MPCPR	-

Stoccaggio

In caso di stoccaggio a lungo termine, si consiglia di conservare il prodotto in un luogo chiuso o al coperto sollevato da terra.
È importante evitare l'esposizione prolungata agli agenti atmosferici per garantire l'integrità del prodotto.

Performance acustiche certificate

Isolamento acustico > R_W **53 dB**
(Ist. Giordano N° 261426)
Parete in laterizio "a cassetta" costituita da:

- forato sp. 120 mm (lato esterno) con intonaco esterno sp. 15 mm e rinzaffo interno sp. 10 mm
- forato sp. 80 mm (lato interno) con intonaco sp. 15 mm
- n. 1 strato di pannelli NaturBoard SILENCE sp. 50 mm

Isolamento acustico > R_W **63 dB**
(Ist. Giordano N° 317066)

- doppia struttura metallica sp. 75 mm
- n. 2 lastre cartongesso per lato (riv. esterno)
- n. 1 lastra cartongesso interna
- n. 2 strati di pannelli NaturBoard SILENCE sp. 60 mm

Qualità e prestazioni certificate

Knauf Insulation S.p.A.
Via Fontanino, 12 - 10090 San Raffaele Cimena (TO) Italy - Tel. +39 011 9119611 - Fax +39 011 9119655 - info.italia@knaufinsulation.com

Copyright Knauf Insulation
Tutti i diritti sono riservati, compresi quelli della riproduzione e dell'immagazzinaggio dei dati in formato elettronico. L'uso commerciale dei processi e delle attività di lavoro presentati in questo documento non è consentito. È stata posta estrema attenzione nell'editare le informazioni, nel comporre i testi e le illustrazioni contenute in questo documento, tuttavia potrebbero risultare degli errori. L'editore e i redattori declinano ogni responsabilità per le informazioni errate e le relative conseguenze. Saremo riconoscenti per i suggerimenti e i dettagli che ci vorrete segnalare.

Scheda tecnica
Isover Clima34 G3

Caratteristiche Tecniche

	Valore	U.M.	Normativa
Conducibilità termica dichiarata λ_D	0,034	W/(m·K)	EN 12667
Classe di reazione al fuoco	A2-s1,d0	-	EN 13501-1
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ	1	-	EN 12086
Assorbimento d'acqua (a breve periodo)	< 1	kg/m²	EN 1609
Resistenza alla compressione con deformazione del 10%	> 15	kPa	EN 826
Resistenza alla trazione perpendicolare alle facce	> 7,5	kPa	EN 1607
Tolleranze dimensionali: lunghezza	± 2%	%	EN 822
Tolleranze dimensionali: larghezza	± 1,5%	%	EN 822
Tolleranze dimensionali: spessore	T5	mm	EN 823
Squadratura	< 5	mm/m	EN 824
Planarità	< 6	mm/m	EN 825
Stabilità dimensionale	< 1	%	EN 1604
Calore specifico	1.030	J/Kg·K	UNI EN ISO 10456:2008
Resistività al flusso d'aria	25	kPa·s/m²	EN 29053

Spessore (mm)	Resistenza termica dichiarata R_D (m²K/W)	Dimensioni (m)	m² per pallet
40	1,15	0,60 x 1,20	86,40
50	1,45	0,60 x 1,20	69,12
60	1,76	0,60 x 1,20	57,60
80	2,35	0,60 x 1,20	43,20
100	2,94	0,60 x 1,20	34,56
120	3,53	0,60 x 1,20	28,80
140	4,12	0,60 x 1,20	25,92
160	4,70	0,60 x 1,20	23,04
180	5,29	0,60 x 1,20	17,28
200	5,88	0,60 x 1,20	17,28

Documenti disponibili

DOP: 274 Isover Clima34

Certificati, dettagli costruttivi e voci di capitolato

www.isover.it/prodotti/isover-clima34-g3

Saint-Gobain Italia S.p.A.
Via G. Bensi, 8 • 20152 Milano •
info.it.isover@saint-gobain.com | www.isover.it

Registro Imprese: Milano n. 08312170155 • R.E.A.: Milano n. 1212939
Capitale Sociale: Euro 77.305.082,40 i.v. • Codice Fiscale e P. IVA: 08312170155
Soggetta ad attività di direzione e coordinamento di Saint-Gobain Produits Pour la Construction S.A.S.

Le informazioni contenute in questa scheda tecnica sono state redatte con la massima cura e attenzione. Saint-Gobain Italia S.p.A. non risponde in alcun modo di eventuali errori o omissioni e declina ogni responsabilità per l'uso improprio dei prodotti descritti in questa scheda tecnica. Si raccomanda di verificare che la scheda tecnica in vostro possesso sia l'ultima disponibile sul sito www.isover.it. Saint-Gobain Italia S.p.A. si riserva il diritto di modificare i dati senza preavviso.

REV. 06
06/2024



naturaliabau

NATURAHANF WALL

Pannello in fibra di canapa per facciate

Vantaggi

- pannello rigido - ideale er facciate
- eccezionale isolamento termico e protezione dal caldo
- ottime caratteristiche insonorizzanti e fonoassorbenti
- molto traspirante e ottimo igroregolatore
- salubre e privo di ingredienti dannosi
- sicuro contro attacchi di roditori e insetti (non contiene sostanze nutritive come proteine o amido)
- consigliato per la bioedilizia
- comportamento al fuoco C-s2,d0
- certificazione ETA - CE

Descrizione

La canapa è una materia prima rapidamente rinnovabile. Con del tempo soleggiato le piante crescono fino a quattro metri in 100 giorni. Inoltre, le piante di canapa non hanno bisogno di fitosanitari. Sono estremamente robusti contro i parassiti, il che rende superfluo l'uso di pesticidi.La canapa è dotata di una fibra naturale molto resistente allo strappo, robusta e durevole. Non richiede alcuna sostanza chimica e trattamento contro la muffa o infestazione di parassiti. Perfetto per le esigenze di un materiale isolante ad alte prestazioni. La canapa come materiale isolante offre vantaggi a tutto tondo come materiale isolante privo di sostanze inquinanti e a basso consumo di risorse.
A causa della sua grande biomassa, la canapa lega durante la fase di crescita più CO^2 di qualsiasi altra pianta agricola alle nostre latitudini.

Campi di applicazione

Facile installazione in edifici vecchi e nuovi.

- coibentazione di facciate ventilate e intonacate
- coibentazione termoacustica di pareti con struttura metallica/lignea
- coibentazione termica ed acustica di pareti in laterizio e murature miste
- coibentazione tetto sopra il tavolato interposto a listoni

ecifiche tecniche

nposizione / Ingredienti	80–85% fibra di canapa 10–15% fibre di rinforzo in polimero PE 2–5% soda come ritardante di fiamma (sale naturale)
nsità ρ [kg/m³]	100
acità termica massica c [J/kgK]	2300
meabilità al vapore acqueo [μ]	≤ 2
istenza a trazione parallela alle facce [kPa]	≥ 100
nportamento al fuoco (EN 13501)	C-s2,d0
estare tecnico europeo	ETA 24/0170
duttività termica dichiarata λD [W/mK]	0,041
istenza a trazione perpendicolare alle facce (TR) [kPa]	≥ 15



naturaliabau

NATURAHANF FLEX

Pannello isolante flessibile in fibra di canapa in classe C-s2,d0

Vantaggi

- comportamento al fuoco C-s2,d0
- ottimo isolamento termico e protezione dal caldo
- buone caratteristiche insonorizzanti e fonoassorbenti
- molto traspirante e ottimo igroregolatore
- salubre e privo di ingredienti dannosi
- sicuro contro attacchi di roditori e insetti (non contiene sostanze nutritive come proteine o amido)
- consigliato per la bioedilizia
- resistenze alla muffa (secondo EN 846)
- certificazione ETA - CE

Descrizione

La canapa è dotata di una fibra naturale molto resistente allo strappo, robusta e durevole. Non richiede alcuna sostanza chimica e trattamento contro la muffa o infestazione di parassiti. Perfetto per le esigenze di un materiale isolante ad alte prestazioni. La canapa come materiale isolante offre vantaggi a tutto tondo come materiale isolante privo di sostanze inquinanti e a basso consumo di risorse.
Grazie alla sua grande biomassa, la canapa lega durante la fase di crescita più CO^2 di qualsiasi altra pianta agricola alle nostre latitudini.

Campi di applicazione

Facile installazione in edifici vecchi e nuovi.

- coibentazione di pareti esterne e interne a telaio in legno/metallo
- coibentazione tra le travi
- coibentazione sopra il tavolato interposto a listoni
- coibentazione di controsoffitti e contropareti
- coibentazione termoacustica di pareti con struttura mettalica

Specifiche tecniche

Composizione / Ingredienti	> 85% fibra di canapa 10–15% fibre di rinforzo in polimero PE e soda
Densità ρ [kg/m³]	40
Capacità termica massica c [J/kgK]	2300
Permeabilità al vapore acqueo [μ]	≤ 2
Resistenza a trazione parallela alle facce [kPa]	≥ 50/10
Comportamento al fuoco (EN 13501)	C-s2,d0
Benestare tecnico europeo	ETA 24/0170
Stabilità dimensionale DS (70,90)	1
Conduttività termica dichiarata λD [W/mK]	0,041
Classe di assorbimento acustico C [αW]	0,70 (spessore / Dicke 50 mm)



naturaliabau

NATURAWALL

Pannello intonacabile in fibra di legno

Vantaggi

- valido coibente a cappotto per diversi sistemi d'intonaco
- per un'ottima protezione dal freddo, dal caldo, acustica e antincendio
- traspirante per un clima abitativo confortevole
- protezione acustica migliorata grazie alla porosità e all'alto peso
- coibente di qualità certificato CE e con controllo di produzione
- prodotto validato BioSafe per la salubrità

Descrizione

Pannello isolante in fibra di legno, intonacabile, aperto alla diffusione. Può essere utilizzato, come da ETICS, per sistemi a cappotto su muratura, calcestruzzo e strutture in legno; sia all'interno che all'esterno. Bordo dritto.
Grazie alla struttura in fibra aperta alla diffusione, i pannelli hanno un buon isolamento termico (estivo e invernale) ed acustico.
Dalla produzione allo smaltimento, NATURAWALL soddisfa tutti i requisiti ecologici. Grazie agli ingredienti naturali, NATURAWALL può essere completamente riciclato.

Campi di applicazione

- all'esterno per facciate intonacate, applicabile sia su supporto ligneo che muratura o calcestruzzo
- utilizzabile nelle nuove e nelle vecchie costruzioni
- utilizzabile come isolante dall'interno (ad esempio in abbinamento con intonaco in argilla)

Specifiche tecniche

Composizione / Ingredienti	Fibra di legno di Douglasia Legante in PMDI Additivo protezione antincendio
Densità ρ [kg/m³]	~ 145
Capacità termica massica c [J/kgK]	2250
Permeabilità al vapore acqueo [μ]	3
Resistenza a compressione al 10% di deformazione CS (10/Y) [kPa]	> 70
Comportamento al fuoco (EN 13501)	E
Codice rifiuti secondo Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER)	030105, 170201, 170604
Codice di designazione (EN 13171)	WF-EN13171-T5-WS1,0-MU3-CS(10/Y)70-DS(70,90)3-TR7,5
Stabilità dimensionale DS (70,90)	3
Bordi	a spigolo vivo / stumpf
Assorbimento d'acqua per immersione WS [kg/m²]	1
Conduttività termica dichiarata λD [W/mK]	0,040
Marchiatura CE	UNI EN 13171
Resistenza a trazione perpendicolare alle facce (TR) [kPa]	> 7,5



naturaliabau

NATURATHERM

Pannello isolante prestazionale in fibra di legno

Vantaggi

- coibente eccezionale
- ottima protezione dal caldo estivo grazie alla capacità termica massica eccezionale
- isolamento acustico
- utilizzo universale su tetto, pareti e pavimenti
- molto traspirante e con particolari proprietà di regolazione del clima
- fibra di legno da foresta alpina a rinnovabilità controllata
- certificato Biosafe per la salubrità

Descrizione

Pannello isolante in fibra di legno. Forte isolamento contro le perdite di calore in inverno e in estate. Prodotto dal legno da foresta alpina a rinnovabilità controllata. Grazie alla struttura fibrosa del pannello, proteggono in modo eccezionale dal caldo, dal freddo e dal rumore.

Campi di applicazione

Pannello isolante universale, utilizzabile su: tetti, pareti e pavimenti.

- isolamento del tetto
- isolamento su solai in legno massiccio
- isolamento delle pareti esterne in legno o in muratura, posa in doppio strato con il pannello NATURAWALL o in mono strato per facciate ventilate
- contropareti interne

Specifiche tecniche

Composizione / Ingredienti	Legno di abete e abete rosso non trattato 4,0 % resina PUR 0,5 % paraffina
Densità ρ [kg/m³]	120
Capacità termica massica c [J/kgK]	2400
Permeabilità al vapore acqueo [μ]	4
Resistenza a compressione al 10% di deformazione CS (10/Y) [kPa]	50
Resistenza al flusso d'aria Afr [kPa*s/m³]	35
Comportamento al fuoco (EN 13501)	E
Codice rifiuti secondo Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER)	030105, 170201, 170604
Tolleranza dimensionale Classe (EN 823)	T4
Codice di designazione (EN 13171)	WF-EN13171-T4-CS(10/Y)50-WS2,0-MU4-AFr35
Dichiarazione ambientale (EN 15804)	FDES
Assorbimento d'acqua per immersione WS [kg/m²]	< 2
Conduttività termica dichiarata λD [W/mK]	0,038
Resistenza a trazione perpendicolare alle facce (TR) [kPa]	> 5

TECNOSUGHERI srl
Via privata Goito, 7
20037 - Paderno Dugnano (MI)
Tel. 02.99500134
Mail: info@tecnosugheri.it
www.tecnosugheri.it

CORKPAN

Pannello in sughero espanso, autocollato, per isolamenti termo-acustici.

CORKPAN è un pannello in sughero totalmente naturale perchè ottenuto tramite processo termico, senza aggiunta di alcun tipo di collante.

Il processo termico di espansione permette la fusione delle resine naturalmente contenute nella corteccia, che agiscono da collante naturale per aggregare i granuli e formare il pannello, mentre l'espansione ne migliora le caratteristiche di coibenza.

La colorazione bruna del prodotto non è dovuta ad una alterazione del sughero ma solo al processo termico di espansione.

Caratteristiche

- 100% da sottoprodotto forestale, riutilizzabile e riciclabile
- Durabilità illimitata e NON biorecettivo (Test ASTM D-6329)
- Certificato per la bio-edilizia da **natureplus®** e **ANAB I ICEA**
- Certificato da **Biosafe** come salubre e basso emissivo
- Dispone di **EPD** (Dichiarazione Ambientale di Prodotto)
- Mappato da ongreening® per i protocolli **GBC** Historic Building, **LEED**, **WELL**, **BREEAM**, ITACA e per i **CAM** (Criteri Ambientali Minimi)

Impieghi

- Isolamento esterno a cappotto
- Isolamenti interni e intercapedini
- Facciate ventilate
- Sottomassetto
- Solai, sottotetti e coperture piane, tetti verdi e coperture a falde

Rispondenza ai Criteri Ambientali Minimi DM 23.06.2022

Criterio	Area di interesse	Requisito
2.4.14	Disassemblaggio a fine vita	di progetto
2.5.1	Emissioni in ambienti confinati	di prodotto
2.5.6	Prodotti legnosi	di prodotto
2.5.7	Isolanti termici e acustici	di prodotto
3.2.3	Prestazioni migliorative dei pdc	di progetto
3.2.8	Emissioni indoor	di prodotto
3.2.10	Etichettature ambientali	di progetto
4.3.4	Materiali rinnovabili	di progetto

EN13170



Caratteristiche Tecniche (EN13170)

Dimensioni: 100 x 50 cm
Spessore: da 20 a 320 mm
Densità: 110 kg/m³
Conducibilità termica dichiarata: λ_D=0,039 W/mK
Calore specifico: 1900 J/kgK
Resistenza al passaggio del vapore: μ = 20
Assorbimento di acqua: <0,5 kg/m²
Reazione al fuoco: Classe E
Rigidità dinamica (50mm spessore): ≤ 126 MN/m³
Resistenza alla flessione: σ ≥130 kPa b
Resistenza alla compressione: σ ≥100 kPa 10
Resistenza alla trazione (perp. alle facce): σ ≥50 kPa mt

Altre Informazioni

Composizione: 100% corteccia della quercia da sughero
Stabilità dimensionale: ottima in ogni condizione
Biorecettività: nulla (ASTM D3629)
Durabilità: sempre superiore alla vita dell'edificio
Prestazioni coibenti dopo 50 anni: immutate
COV TOTALI (composti organici volatili): 77 μg/m³
GWP (Effetto Serra): -17,74 kg CO_2e/kg
PER rinnovabili: 374,78 MJ/kg I non rinnovabili: 9,13 MJ/kg

Voce di capitolato

Strato isolante costituito da pannelli di sughero espanso auto-collato, privo di collanti chimici, **CORKPAN** spessore mm... della ditta Tecnosugheri srl, con le seguenti caratteristiche:

- Densità: 110 kg/m³
- Conducibilità dichiarata: **λ_D = 0,039 W/mK**
- **Marchio CE** (EN13170)
- Certificato **natureplus®** e **ANAB-ICEA** per la bio-edilizia
- Certificato **Biosafe** e **A+** per la salubrità delle emissioni COV
- 100% da materia prima riciclata (pre-consumo)
- Dichiarazione Ambientale di Prodotto.

Le informazioni e i dati riportati sono indicati in buona fede e ritenuti corretti. Tuttavia non viene assunta alcuna responsabilità per tali informazioni e dati, nè può essere presunta alcuna garanzia. Tecnosugheri srl a causa della politica di sviluppo e miglioramento dei suoi prodotti, si riserva il diritto di modificare senza preavviso modelli e caratteristiche dei prodotti descritti. Le immagini possono non corrispondere fedelmente alla reale colorazione dei prodotti presentati. I dati indicati in questa pubblicazione, frutto di prove di laboratorio o rilevazioni in cantiere, non garantiscono la ripetibilità dei risultati per sistemi equivalenti.

Rev. 02/24

AEROPAN

NANOTECH THERMAL INSULATION

Aeropan® è un pannello studiato per l'isolamento termico di quelle strutture edilizie che necessitano del maggior grado di coibentazione nel minor spazio possibile. È composto da un isolante nanotecnologico in Aerogel accoppiato a una membrana traspirante in polipropilene armato con fibra di vetro ed è pensato per la realizzazione di isolamenti termici a basso spessore.
Con uno spessore di 10 mm - e una conducibilità termica pari a 0,015 W/mK - Aeropan® permette di ridurre la dispersione energetica recuperando spazio negli edifici civili, commerciali e residenziali.
Le proprietà del pannello - minima conduttività termica, flessibilità e resistenza alla compressione, idrofobicità e facilità di posa - ne fanno un prodotto indispensabile per garantire il massimo isolamento termico sia nelle strutture nuove che da riqualificare. È il prodotto ideale per applicazioni su pareti perimetrali esterne e pareti interne, intradossi, imbotti delle finestre, solai e per la risoluzione dei ponti termici. Aeropan® si pone quale scelta ottimale per le ristrutturazioni esterne e interne, nonché nel recupero edilizio e negli edifici storici sottoposti a vincoli architettonici che abbiano bisogno del massimo comfort abitativo.

LE PRESTAZIONI

Aeropan® è un pannello isolante semi-rigido formato da fibre rinforzate ad alta densità, completamente saturate di Aerogel nanoporoso a bassissima conducibilità termica e una finitura in PP armato con fibra di vetro.

In soli 10 mm di spessore il pannello è in grado di offrire un isolamento termico da -50°C a +450°C. Queste caratteristiche rendono Aeropan® estremamente adatto all'utilizzo nelle più svariate condizioni ambientali, senza che queste possano alterarne le prestazioni e la durabilità nel tempo.
Il pannello deve essere posato con la scritta Aeropan® rivolta verso il lato esterno che riceverà la rasatura di finitura.

CAPITOLATO PER CAPPOTTO ESTERNO/INTERNO

Realizzazione di isolamento termico del tipo a cappotto esterno/interno, per superfici verticali ed orizzontali, quali aggetti di balconi o simili, costituito da un pannello semirigido, formato da uno strato di Aerogel di silice rinforzata con fibre di vetro parzialmente riciclata (feltro) accoppiati ad una membrana traspirante in polipropilene armato con fibra di vetro, del tipo Aeropan®, idrorepellente e traspirante, fornito in pannelli da mm 1400x720, per uno spessore nominale di mm 10 (o in pannelli aventi spessore di 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm) con densità volumetrica pari a 230 kg/m³, conduttività termica pari a 0,016 W/mK, resistenza termica Rd pari a 0,63 m²K/W a cm di spessore, temperatura di impiego compresa fra -50°C /+450°C, permeabile alla diffusione del vapore (μ 7), impermeabile all'acqua di superficie e/o di immersione con angolo di contatto all'acqua non inferiore a 150°, steso su superfici piane o curve, verticali o orizzontali, previo incollaggio, posato assicurandosi che il fondo sia liscio, asciutto, non polveroso, perfettamente integro e privo di asperità acuminate.

DATI TECNICI	VALORI	UNITÀ	METODO DI PROVA
Formato pannello	1400x720	mm	
Spessori	6/10/20/30/40/50/60	mm	
Conducibilità termica (λ) a 10 °C	0,015	W/mK	EN 12667
Conducibilità termica (λ 90/90)	0,016	W/mK	EN 13162
Permeabilità al vapore acqueo	0,07	m	EN 12086
Temperature limite di impegno	-50 +450	°C	
Resistenza alla compressione (per una deformazione del 10%)	80	kPa	EN 826
Calore specifico	1.000	J/kgK	ASTM E 1269
Densità nominale	230 ± 10%	kg/m³	
Classe di reazione al fuoco*		$B\text{-}s_1d_0$	EN 13501-1
Assorbimento di acqua a lungo termine per immersione parziale	Wp ≤ 0,01	kg/m²	EN 1609
Colore	bianco		

RESISTENZA TERMICA							
Spessore	6	10	20	30	40	50	60
R(m²k/W)	0,38	0,63	1,25	1,88	2,50	3,13	3,75

* I test di reazione al fuoco sono stati realizzati su sistema a cappotto integrale.

Via della Resistenza, 60 - 42018 San Martino in Rio - Reggio Emilia - Italy
Tel. +39 - 0522 - 636304 - Fax +39 - 059 - 5221161 - **www.aeropan.it - info@aeropan.it**

Scheda Tecnica di prodotto

Lastra Knauf GKB Advanced (A)

Campo di applicazione

Le lastre Knauf GKB Advanced sono le lastre standard in cartongesso ultraleggere, dotate di nuova tecnologia LI-Tek, adatte per qualsiasi campo di applicazione in interni, soprattutto per esigenze di ridotti pesi quali ristrutturazioni, sopraelevazioni, edilizia antisismica.

Impiego:

- Pareti divisorie
- Contropareti
- Intonaco a secco
- Controsoffitti
- Velette

Caratteristiche

- Facili da applicare grazie al suo ridotto peso
- Ergonomica, più maneggevole
- Ultraleggera
- Tecnologia costruttiva innovativa Li-Tek
- Non combustibili
- Flessibilità aumentata
- Ridotte dilatazioni o restringimenti al variare delle condizioni climatiche

Dati tecnici

DIMENSIONI DELLA LASTRA



FORMA DEI BORDI

Bordi longitudinali rivestiti di cartone: **AK**



Bordi tagliati: **SK**



TIPO DI LASTRA		A	UNI EN 520
CLASSE DI REAZIONE AL FUOCO EN 13501-1		A2-s1,d0	UNI EN 520
FATTORE DI RESISTENZA VAPORE ACQUEO (μ)			
• secco		9,2	UNI EN ISO 12572
• umido		5,7	
CONDUCIBILITÀ TERMICA (λ)	W/(m·K)	0,19	UNI EN 12664
DENSITÀ	kg/m³	ca. 600	
PESO DELLA LASTRA			
• lastra spessore 12,5 mm	kg/m²	ca. 7,5	
CARICO A FLESSIONE			UNI EN 520
• **lastra spessore 12,5 mm**			
– Longitudinale	N	≥ 550	
– Trasversale	N	≥ 210	

Note

Per l'installazione delle lastre fare riferimento anche alla norma UNI 11424, alle schede tecniche e ai manuali di posa Knauf.
Altri documenti disponibili: DoP (Dichiarazione di Prestazione).

Sede
Knauf di Knauf S.r.l. s.a.s.
Castellina Marittima (PI)
Tel. 050 69211
Fax 050 692301

Stabilimento Sistemi a Secco
Castellina Marittima (PI)
Tel. 050 69211
Fax 050 692301

Stabilimento Intonaci
Gambassi Terme (FI)
Tel. 050 69211
Fax 050 692301

Knauf Milano
Rozzano (MI)
Tel. 02 52823711

Knauf Plus
Castellina Marittima (PI)
Tel. 050 69211

Tutti i diritti sono riservati ed oggetto di protezione industriale. Le modifiche dei prodotti illustrati, anche se parziali, potranno essere eseguite soltanto se esplicitamente autorizzate dalla società Knauf di Knauf S.r.l. s.a.s. di Castellina Marittima (PI), che, pertanto, non risponde di un eventuale uso improprio degli stessi. Tutti i dati forniti ed illustrati sono indicativi e la società Knauf si riserva di apportare in ogni momento eventuali modifiche che riterrà opportune, in conseguenza delle proprie necessità aziendali e dei procedimenti produttivi.

www.knauf.com



INTESANA 210

Membrana freno al vapore igrovariabile e barriera all'aria ad alte prestazioni

Vantaggi

- la miglior protezione in assoluto da danni edili e muffa grazie alla resistenza alla diffusione igrovariabile
- protegge l'opera edile durante la fase costruttiva dalle possibili intemperie esterne, a partire da una pendenza del tetto di 10°
- sicurezza nei cantieri invernali grazie alla funzione Hydrosafe
- impermeabile e resistente all'acqua, calpestabile
- ottimi risultati nel test delle sostanze nocive, testato secondo i criteri ISO 16000

Campi di applicazione

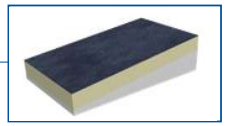
Impiego come membrana freno al vapore e barriera all'aria resistente alle intemperie sotto le coibentazioni su travatura, in abbinamento a tutti i coibenti fibrosi, in costruzioni aperte alla diffusione esternamente e chiuse alla diffusione, come tetti piani/a spioventi e tetti verdi in base alla misurazione.

pro clima®

Specifiche tecniche

Composizione / Ingredienti	Tessuto di protezione e di copertura: Polipropilene Film: Polietilene-copolimeri
Permeabilità al vapore acqueo [μ]	20.000
Comportamento al fuoco (EN 13501)	E
Resistenza all'invecchiamento	superata / bestanden
Allungamento longitudinale [%]	45
Allungamento trasversale [%]	55
Colore	arancio / orange
Grammatura [g/m²]	215
Esposizione agli agenti atmosferici [mesi]	2
Resistenza a trazione longitudinale [N/5 cm]	340
Resistenza a trazione trasversale [N/5 cm]	250
Resistenza alla pioggia battente	superata / bestanden
Valore sD [m]	14
Valore sD a diffusione igrovaribile [m]	0,25 - >25
Resistenza alla temperatura [°C]	continua / dauerhaft -40 / +80
Conducibilità termica λ [W/mK]	0,04
Marchiatura CE	disponibile / vorhanden
Resistenza al passaggio dell'acqua (EN 1928)	W1

Pendenzato Class B



Descrizione

STIFERITE PENDENZATO CLASS B è un pannello composito costituito da un componente isolante in EPS150, utilizzato per creare il piano inclinato, e da un isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito sulla faccia superiore con velo vetro bitumato accoppiato PP, idoneo alla sfiammatura

Linee Guida per la stesura di capitolati tecnici

Isolante termico **STIFERITE PENDENZATO CLASS B** in schiuma polyiso espansa rigida (PIR) di spessore …(*), con rivestimento di velo vetro bitumato accoppiato PP, idoneo alla sfiammatura, e strato delle pendenze in EPS150, avente:

Resistenza Termica Dichiarata: R_D= … m²K/W (EN 13165 Annessi A e C)
… **(si consiglia di completare la voce di capitolato indicando le caratteristiche e prestazioni più rilevanti per la specifica applicazione)**

Prodotto da azienda certificata con: sistema di gestione qualità **UNI EN ISO 9001**, sistema di gestione ambientale **UNI EN ISO 14001**, sistema di gestione a tutela della Sicurezza e della Salute dei Lavoratori **UNI EN ISO 45001**, avente la marcatura di conformità CE su tutta la gamma.
Disponibile la **Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD)** verificata da parte Terza e la valutazione dei **Criteri Minimi Ambientali (CAM)** previsti dal **Green Public Procurement (GPP).**

Formato standard

lunghezza e larghezza:
1200 x 2000 mm
spessori nominali [d] EN 823:
da 40 a 1000 mm

Principali applicazioni

Isolamento di copertura e pavimenti sotto manti impermeabili bituminosi a vista dove si richiede un'elevata resistenza alla sfiammatura durante la posa

(*) I parametri variano in funzione dello spessore. Per inserire i valori corrispondenti allo spessore utilizzato si utilizzino i dati riportati nella presente scheda tecnica.

PRINCIPALI CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI - rilevanti ai fini della marcatura CE - PU [UNI EN 13165]

Conducibilità Termica Dichiarata - λ_D [W/mK]
UNI EN 13165 Annessi A e C
Valore determinato alla temperatura media di 10° C
v. tabella valori in funzione dello spessore

Resistenza Termica Dichiarata - $R_D = d/\lambda_D$ - [m²K/W]
v. tabella valori in funzione dello spessore

Trasmittanza Termica Dichiarata - $U_D = \lambda_D/d$ [W/m²K]
v. tabella valori in funzione dello spessore

d mm	λ_D W/mK	R_D m²K/W	U_D W/m²K
30	0,027	1,11	0,90
40		1,48	0,68
50	0,026	1,92	0,52
60		2,31	0,43
70		2,69	0,37
80		3,08	0,33
100	0,025	4,00	0,25
120		4,80	0,21

Reazione al fuoco
EN 13501-1, EN 11925-2, EN 13823
EUROCLASSE E

Resistenza alla compressione al 10% di schiacciamento - σ_{10} [kPa]
EN 826
> 150 codice etichetta CE [CS(10/Y)150]

Resistenza a trazione perpendicolare alle facce - σ_{mt} [kPa]
EN 1607
> 40 codice etichetta CE [TR40]

Fattore di resistenza alla diffusione del vapore - μ
EN 12086
600 - 150 codice etichetta CE [MU280]

Assorbimento d'acqua per immersione parziale, breve periodo [kg/m²]
EN 1609
< 0,3 codice etichetta CE [WS(P)0,3]

Assorbimento d'acqua per immersione totale, lungo periodo [% in peso]
EN 12087
<2 per d < 120 mm codice etichetta CE [WL(T)2]
<1 per d ≥ 120 mm codice etichetta CE [WL(T)1]

Planarità dopo bagnatura da una faccia [mm]
EN 13165
≤ 10 codice etichetta CE [FW2]

Planarità S_{max} [mm]
EN 825
± 5 per superfici < 0,75 m²
± 10 per superfici > 0,75 m²

Stabilità dimensionale [Livello]
EN 1604
48 h, 70° C, 90% UR
3 per d < 40 mm codice etichetta CE [DS(70;90)3]
4 per d ≥ 40 mm codice etichetta CE [DS(70;90)4]
48 h, -20° C
2 codice etichetta CE [DS(-20;0)2]

Tolleranze [mm]
EN 13165
Lunghezza e Larghezza
± 5 < 1000 mm codice etichetta CE [T2]
± 7,5 da 1000 a 2000 mm codice etichetta CE [T2]

Spessore [mm]
± 2 < 50 mm codice etichetta CE [T2]
± 3 da 50 a 75 mm codice etichetta CE [T2]
+ 5/-2 ≥75 mm codice etichetta CE [T2]

ALTRE CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Massa volumica pannello - ρ [kg/m³]
Valore medio comprensivo del peso dei rivestimenti
44 ± 1,5

Calore Specifico - Cp [J/kg° K]
Valore medio
1710

Resistenza alla compressione, 2 % di schiacciamento - σ_2 [kg/m²]
EN 826
> 5000

Scorrimento viscoso (Creep) a compressione - ε_{ct} [%]
EN 1606
< 1.5 per d = 200 mm codice etichetta CE [CC(1,5/1,0/50)25]

Deformazione sotto carico e temperatura - ε_d [%]
EN 1605
≤ 5 - carico di 20 kPa a 80° C per 48 h codice etichetta CE [DLT(1)5]

Resistenza Pull through - [N]
EN 16382
> 800

Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua - Z [m²hPa/mg]
EN 12086
4,9 - 7,3

Stabilità dimensionale - [% variazione dimensionale]
EN 1604
7 d, 70° C
< 1

Percentuale in peso di materiale riciclato - [%]
Schiuma isolante
> 4

CERTIFICAZONI & RAPPORTI DI PROVA AGGIUNTIVI

Certificazioni aziendali di sistema:
- Sistema di gestione qualità UNI EN ISO 9001,
- Sistema di gestione ambientale UNI EN ISO 14001,
- Sistema di gestione a tutela della Sicurezza e della Salute dei Lavoratori UNI EN ISO 45001

Reazione al fuoco - fuoco covante continuo
EN 16733
il pannello non è soggetto a combustione continua senza fiamma

PRINCIPALI CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI - rilevanti ai fini della marcatura CE - EPS [UNI EN 13163]

Conducibilità Termica Dichiarata - λ_D [W/mK]
UNI EN 13163
Valore determinato alla temperatura media di 10° C
0,033

Reazione al fuoco
EN 13501-1, EN 11925-2, EN 13823
EUROCLASSE E

Resistenza alla compressione al 10% di schiacciamento - σ_{10} [kPa]
EN 826
> 150 codice etichetta CE [CS(10/Y)150]

Assorbimento d'acqua per immersione totale, lungo periodo [% in peso]
EN 12087
<2 codice etichetta CE [WL(T)2]

NOTE

Stabilità alla temperatura
I pannelli Stiferite sono utilizzabili in un campo di temperature continue normalmente comprese fra -40° C e +110° C. Per brevi periodi possono sopportare anche temperature fino a + 200° C, o equivalenti alla temperatura del bitume fuso, senza particolari problemi. Lunghe esposizioni a temperature superiori a +110° C potranno causare deformazioni alla schiuma o ai rivestimenti, ma non provocare sublimazioni o fusioni.

Aspetto
Eventuali piccole zone di non adesione tra i rivestimenti e la schiuma o bolle hanno origine dal processo produttivo e non pregiudicano in modo alcuno le proprietà fisico-meccaniche dei pannelli. Un'esposizione prolungata della schiuma poliuretanica ai raggi UV può causarne l'ossidazione superficiale, il fenomeno non pregiudica le caratteristiche e prestazioni fondamentali del pannello

Imballo & Stoccaggio
I pannelli STIFERITE di misure standard vengono normalmente confezionati in termoretraibile, in pacchi chiusi e provvisti di etichetta CE.
Stoccare i pacchi sollevati da terra. Per lunghi periodi ricoverarli al coperto e all'asciutto.

Avvertenze
I dati riportati nella presente scheda sono vincolanti per le caratteristiche e prestazioni previste dalla marcatura CE.
Altre caratteristiche e informazioni aggiuntive potranno essere modificate anche in assenza di specifica segnalazione.

Altre informazioni
Per ottenere dati tecnici non contemplati nella presente Scheda Tecnica contattare l'Ufficio Tecnico STIFERITE

SmartRoof ALL-FIX THERMAL

Pannello rigido isolante in lana minerale con velo vetro rinforzato

Dati tecnici

CARATTERISTICHE	VALORE	NORMA
Spessori disponibili	40, 50, 60, 80, 100, 120, 140 mm	-
Dimensioni pannelli	1200 x 1000 mm	-
Conducibilità termica λ_D	0,036 W/mK	EN 13162 - EN 12667
Reazione al fuoco (Euroclasse)	A2-s1,d0	EN 13501-1
Resistenza al passaggio del vapore acqueo μ	1	EN 12086
Assorbimento d'acqua a breve termine - WS	≤1,0 kg/m²	EN 1609
Assorbimento d'acqua a lungo termine - WL(P)	≤3,0 kg/m²	EN 12087
Resistenza a compressione con schiacciamento al 10% - CS(10)	≥50 kPa	EN 826
Resistenza al carico puntuale - PL(5)	800 N	EN 12430
Resistenza a trazione perpendicolare alla facce - TR	≥10 kPa	EN 1607
Calore specifico (Cp)	1.030 J/kg K	EN 10456
Densità nominale	115 kg/m³	-
Codice DOP	R4308KPCPR	-

Stoccaggio

In caso di stoccaggio a lungo termine, si consiglia di conservare il prodotto in un luogo chiuso o al coperto sollevato da terra.
È importante evitare l'esposizione prolungata agli agenti atmosferici per garantire l'integrità del prodotto.

Qualità e prestazioni certificate

Knauf Insulation S.p.A.
Via Fontanino, 12 - 10090 San Raffaele Cimena (TO) Italy - Tel. +39 011 9119611 - Fax +39 011 9119655 - info.italia@knaufinsulation.com

Copyright Knauf Insulation
Tutti i diritti sono riservati, compresi quelli della riproduzione e dell'immagazzinaggio dei dati in formato elettronico. L'uso commerciale dei processi e delle attività di lavoro presentati in questo documento non è consentito. È stata posta estrema attenzione nell'editore le informazioni, nel comporre i testi e le illustrazioni contenute in questo documento, tuttavia potrebbero risultare degli errori. L'editore e i redattori declinano ogni responsabilità per le informazioni errate e le relative conseguenze. Saremo riconoscenti per i suggerimenti e i dettagli che ci vorrete segnalare.

Knauf Insulation – Schede tecniche

SmartRoof THERMAL

Pannello rigido isolante in lana minerale senza rivestimento

Dati tecnici

CARATTERISTICHE	VALORE	NORMA
Spessori disponibili SmartRoof THERMAL	50, 60, 80, 100, 120, 140, 160 mm	-
Dimensioni pannelli SmartRoof THERMAL	600 x 1000 mm	-
Spessori disponibili SmartRoof THERMAL XL	50, 60, 80, 100, 120, 140 mm	-
Dimensioni pannelli SmartRoof THERMAL XL	1000 x 1200 mm	-
Spessori disponibili SmartRoof THERMAL XXL	50, 60, 80, 100 mm	-
Dimensioni pannelli SmartRoof THERMAL XXL	1200 x 2000 mm	-
Conducibilità termica λ_D	0,036 W/mK	EN 13162 - EN 12667
Reazione al fuoco (Euroclasse)	A1	EN 13501-1
Resistenza al passaggio del vapore acqueo μ	1	EN 12086
Assorbimento d'acqua a breve termine - WS	≤1,0 kg/m²	EN 1609
Resistenza a compressione con schiacciamento al 10% - CS(10)	≥50 kPa	EN 826
Resistenza al carico puntuale - PL(5)	500 N	EN 12430
Calore specifico (Cp)	1.030 J/kg K	EN 10456
Densità nominale	115 kg/m³	-
Codice DOP	R4308KPCPR	-

Stoccaggio

In caso di stoccaggio a lungo termine, si consiglia di conservare il prodotto in un luogo chiuso o al coperto sollevato da terra.
È importante evitare l'esposizione prolungata agli agenti atmosferici per garantire l'integrità del prodotto.

Performance acustiche certificate

Isolamento acustico > ***R_w 43 dB***
(Ist. Giordano N° 341567)

Copertura in legno costituita da:
- riv. esterno in tegole portoghesi su listelli lignei
- listelli di ventilazione
- membrana impermeabilizzante bituminosa su assito in tavole di compensato
- listelli di ventilazione
- telo impermeabile traspirante
- n. 1 strato di pannelli SmartRoof Thermal sp. 80 mm
- n. 1 strato di pannelli SmartRoof Top sp. 100 mm
- freno al vapore su assito ligneo

Qualità e prestazioni certificate

Knauf Insulation S.p.A.
Via Fontanino, 12 - 10090 San Raffaele Cimena (TO) Italy - Tel. +39 011 9119611 - Fax +39 011 9119655 - info.italia@knaufinsulation.com

Copyright Knauf Insulation
Tutti i diritti sono riservati, compresi quelli della riproduzione e dell'immagazzinaggio dei dati in formato elettronico. L'uso commerciale dei processi e delle attività di lavoro presentati in questo documento non è consentito. È stata posta estrema attenzione nell'editore le informazioni, nel comporre i testi e le illustrazioni contenute in questo documento, tuttavia potrebbero risultare degli errori. L'editore e i redattori declinano ogni responsabilità per le informazioni errate e le relative conseguenze. Saremo riconoscenti per i suggerimenti e i dettagli che ci vorrete segnalare.

Scheda tecnico-commerciale

Isover **SuperBac**



Pannello in lana di vetro ad **elevate prestazioni meccaniche**. Assicura un ottimo **isolamento termo-acustico.** Disponibile in due versioni:

- Superbac **N** Roofine G3: senza rivestimento
- Superbac Roofine G3: rivestito con uno strato di bitume ad elevata grammatura, armato con un velo di vetro e con un film di polipropilene a finire. L'applicazione di un **film in polipropilene bianco** consente di **ridurre la temperatura superficiale del pannello di circa 30°C**

Prodotto in Italia con elevato contenuto di vetro riciclato e con una resina termoindurente di nuova generazione, che associa componenti organici e vegetali, minimizzando le emissioni nell'aria di sostanze inquinanti come formaldeide e altri composti organici volatili (VOC).

Dimensioni (m): 1,00 x 1,20

50 kPa
800 N

Applicazione

Isolamento termico e acustico di **coperture piane e inclinate.**

Vantaggi

- Ottima resistenza a compressione e al carico puntuale
- Reazione al fuoco in classe A2-s1,d0 (versione N)
- Lo strato di bitume facilita la posa in opera del primo strato impermeabilizzante
- Stabilità dimensionale al variare della temperatura e dell'umidità

Spessore	Resistenza termica dichiarata R_D (m^2K/W)	mq/pallet
50	1,35	30,00
60	1,60	24,00
80	2,15	18,00
100	2,70	14,40
120	3,20	12,00

Saint-Gobain Italia S.p.A.
Via Giovanni Bensi 8 • 20152 Milano • Italia
info.it.isover@saint-gobain.com | www.isover.it

isover SAINT-GOBAIN

Scheda tecnico-commerciale
Isover SuperBac

Dati Tecnici

Caratteristica	Normativa	Valore	Unità di misura
Conducibilità termica dichiarata λ_D	EN 12667	0.037	W/(m·K)
Resistenza alla compressione con deformazione del 10%	EN 826	≥ 50	kPa
Resistenza al carico puntuale spessori 50 ÷ 60 mm	EN 12430	≥ 600	N
Resistenza al carico puntuale spessori 80 ÷ 120 mm	EN 12430	≥ 800	N
Resistenza alla trazione perpendicolare alle facce	EN 1607	≥ 10	kPa
Resistività al flusso d'aria	EN 29053	50	kPa·s/mq
Classe di reazione al fuoco (versione N)	EN 13501-1	A2-s1, d0	-
Classe di reazione al fuoco (versione bitumata)	EN 13501-1	F	-
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ (versione N)	EN 12086	1	-
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ (versione bit.)	EN 12086	20.000	-
Assorbimento d'acqua a breve periodo	EN 1609	≤ 1	Kg/mq
Stabilità dimensionale	EN 1604	≤ 1	%
Tolleranze dimensionali: lunghezza	EN 822	± 2%	%
Tolleranze dimensionali: larghezza	EN 822	± 1,5%	%
Tolleranze dimensionali: spessore	EN 823	T2	mm
Squadratura	EN 824	≤ 5	mm/m
Planarità	EN 825	≤ 6	mm
Calore specifico	EN 10456:2008	1.030	J/Kg·K

Stoccaggio

Il prodotto deve essere immagazzinato al coperto, in ambienti ben ventilati e lontano da fonti di calore dirette. Prodotto di agevole manipolazione e taglio, meccanicamente resistente, resistente all'insaccamento, imputrescibile, inattaccabile dalle muffe. Nelle previste condizioni d'impiego il prodotto è stabile nel tempo.

Le informazioni contenute in questa scheda tecnica sono il risultato delle conoscenze disponibili alla data di pubblicazione. Saint-Gobain Italia S.p.A. non si assume alcuna responsabilità per danni a persone o cose derivanti da un uso improprio di tali informazioni e si riserva il diritto di modificare i dati senza preavviso.

Saint-Gobain Italia S.p.A.
Via Giovanni Bensi 8 • 20152 Milano • Italia
info.it.isover@saint-gobain.com | www.isover.it

Registro Imprese: Milano n. 08312170155 • R.E.A.: Milano n. 1212939
Capitale Sociale: Euro 77.305.082,40 i.v. • Codice Fiscale e P. IVA: 08312170155
Soggetta ad attività di direzione e coordinamento di Saint-Gobain Produits Pour la Construction S.A.S.

isover SAINT-GOBAIN

REVISIONE 04
Data: set 2023



GUTEX Multiplex-top

Pannello a basso spessore impermeabilizzante

Descrizione

Maggiori dettagli e informazioni

Dati tecnici

- Densità ρ: ~ 220 kg/m³
- Conduttività termica dichiarata λD: 0,045 W/mK
- Resistenza a compressione: ≥ 200 kPa
- Resistenza a trazione perpendicolare alle facce (TR): ≥ 30 kPa

GUTEX

Fornitura

Cod.Art.	Spessore	Formato	Note	Unità misura	m² / pez	m³ / ban	pez / ban	kg / m²	kg / pez	ban / bilico	Formato bancale
GMPT022	22 mm	250 x 75 cm	maschio+femmina	M²	1,88	84,38	45	4,84	9,08	30	255x80xh120 cm
GMPT035	35 mm	250 x 75 cm	maschio+femmina	M²	1,88	56,25	30	7,7	14,44	30	255x80xh120 cm

Voce di capitolato

Isolamento termoacustico con pannello impermeabilizzante a basso spessore **GUTEX Multiplex-top**, realizzato con fibra di legno di conifere da foreste certificate PEFC, con contenuto di legno ca. 95% in peso. Densità ca. 220 kg/m³, conducibilità termica λD = 0,044 W/(m·K), capacità termica specifica specifica 2100 J/(kg·K), resistenza alla diffusione del vapore μ = 3, resistenza a compressione ≥ 200 kPa, trazione perpendicolare ≥ 30 kPa. Reazione al fuoco classe E secondo EN 13501-1. Certificato CE secondo UNI EN 13171. Certificato Natureplus e conforme ai Criteri Ambientali Minimi (CAM). Formato pannelli: 750 x 2500 mm. Spessori disponibili: 22, 35 mm.

Densità apparente ρ	~ 220 kg/m³
Diffusione del vapore (μ)	3μ
Conduttività termica nominale λ_D	0,045 W/mK
Resistenza a compressione	≥ 200 kPa
Assorbimento d'acqua a breve termine	≤ 1 kg/m²
Resistenza al flusso d'aria	≥ 100 kPa s/m²
Capacità termica specifica	2100 J/kgK
Classe di reazione al fuoco secondo DIN EN 13501-1	E
Marcatura dei pannelli	WF-EN 13171-T5-CS(10/Y)200-TR30-WS1,0-AF100-MU3
Resistenza alla trazione perpendicolare al piano del pannello	≥ 30 kPa

naturaliabau SCHEDA TECNICA Isolanti naturali



naturaliabau

NATURATHERM HD

Pannello isolante in fibra di legno ad alta densità

Vantaggi

- straordinaria protezione dal surriscaldamento estivo
- ottima protezione dal freddo invernale
- isolamento acustico migliorato
- pannello isolante stabile e adatto a diversi campi di applicazione
- massima apertura alla diffusione
- realizzato con legname proveniente da una gestione forestale sostenibile certificata

Descrizione

Pannello isolante in fibra di legno a elevata densità, resistente alla compressione. Garantisce una straordinaria protezione dal surriscaldamento estivo e un ottimo isolamento termico invernale. Prodotto con il processo a umido: questo è un processo di produzione ancora più ecologico, poiché le fibre sono legate con la stessa lignina contenuta nel legno.

Campi di applicazione

Pannello isolante universale, resistente alla compressione per applicazioni molteplici su tetto e parete.

- coibentazione di tetti ventilati
- isolamento termico di strutture in legno massiccio
- contropareti interne
- isolamento delle pareti esterne in legno o in muratura:
  posa in doppio strato con il pannello rasabile NATURAWALL oppure in monostrato negli edifici con facciate ventilate

Specifiche tecniche

Composizione / Ingredienti	fibra di legno incollaggio degli strati
Densità ρ [kg/m³]	160
Capacità termica massica c [J/kgK]	2100
Permeabilità al vapore acqueo [μ]	5
Resistenza a compressione al 10% di deformazione CS (10/Y) [kPa]	50
Resistenza al flusso d'aria Afr [kPa*s/m³]	≥ 100
Comportamento al fuoco (EN 13501)	E
Codice rifiuti secondo Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER)	030105, 170201
Assorbimento d'acqua per immersione WS [kg/m²]	≤ 2,0
Conduttività termica dichiarata λD [W/mK]	0,038
Resistenza a trazione perpendicolare alle facce (TR) [kPa]	> 2,5

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in lana di vetro	968.23	0.04	75	2905	3166	3.166	0.77	740.696
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello isolante lana di roccia	968.23	0.12	70	8133.132	8865	8.865	9.46	9156
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								18936

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in lana di vetro	3.166	Autocarro <7.5t	3.5	0.9	300	13.986	37.954	3.43	2947
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello isolante lana di roccia	8.865	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.842	46.193	3.43	6739
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									18311

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in lana di vetro	74
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello isolante lana di roccia	916
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	1894

B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in lana di vetro	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello isolante lana di roccia	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in lana di vetro	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello isolante lana di roccia	-257.007
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-497

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in lana di vetro	0.000		968.23	677.761	290.469	1	0.008	0.000	2.228
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello isolante lana di roccia			968.23	677.761	290.469	1	0.136	0.000	39.388
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1396.481

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in lana di vetro	968.23	0.04	75	2905	3166	3.166	0.77	740.696
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello di sughero	968.23	0.12	115	13362	14564	14.564	82.80	9620
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								19401

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in lana di vetro	3.166	Autocarro <7.5t	3.5	0.9	300	13.986	37.954	3.43	2947
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello di sughero	14.564	Autocarro 24-40t	26	0.6	1500	26.093	219.246	3.43	41974
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									53545

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in lana di vetro	74
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello di sughero	962
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	1940

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in lana di vetro	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello di sughero	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in lana di vetro	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello di sughero	-107.357
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-347

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in lana di vetro	0.000		968.23	677.761	290.469	1	0.008	0.000	2.228
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello di sughero	44.035		968.23	81.331	34.856	1	0.497	0.604	110.483
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1467.577

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in lana di vetro	968.23	0.04	75	2905	3166	3.166	0.77	740.696
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibre di canapa	968.23	0.14	40	5422	5910	5.910	0.43	417
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								10198

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in lana di vetro	3.166	Autocarro <7.5t	3.5	0.9	300	13.986	37.954	3.43	2947
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibre di canapa	5.910	Autocarro 12-24t	12	0.5	1500	20.128	148.699	3.43	14976
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									26547

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in lana di vetro	74
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibre di canapa	42
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	1020

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in lana di vetro	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibre di canapa	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in lana di vetro	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibre di canapa	-85.018
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-325

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in lana di vetro	0.000		968.23	677.761	290.469	1	0.008	0.000	2.228
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibre di canapa	0.002		968.23	94.887	40.666	1	0.000	0.271	25.739
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.791	536.109
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1765.768

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in lana di vetro	968.23	0.04	75	2905	3166	3.166	0.77	740.696
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibra di legno	968.23	0.12	110	12781	13931	13.931	15.20	14717
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								24498

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in lana di vetro	3.166	Autocarro <7.5t	3.5	0.9	300	13.986	37.954	3.43	2947
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibra di legno	13.931	Autocarro 24-40t	26	0.5	1500	25.894	208.108	3.43	38403
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									49975

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in lana di vetro	74
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibra di legno	1472
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	2450

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in lana di vetro	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibra di legno	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in lana di vetro	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibra di legno	0.000
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-240

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in lana di vetro	0.000		968.23	677.761	290.469	1	0.008	0.000	2.228
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibra di legno	0.000		968.23	81.331	34.856	1	0.168	0.000	5.856
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1362.950

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello di sughero	968.23	0.04	115	4454	4855	4.855	82.80	3207
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello di sughero	968.23	0.14	115	15589	16991	16.991	82.80	11224
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								23471

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello di sughero	4.855	Autocarro 12-24t	12	0.4	1500	19.873	120.598	3.43	10105
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello di sughero	16.991	Autocarro 24-40t	26	0.7	1500	26.859	263.291	3.43	57131
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									75860

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello di sughero	321
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello di sughero	1122
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	2347

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello di sughero	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello di sughero	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello di sughero	-35.786
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello di sughero	-125.250
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-401

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello di sughero	14.678		968.23	27.110	11.619	1	0.497	0.604	36.828
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello di sughero	51.374		968.23	94.887	40.666	1	0.497	0.604	128.897
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1520.590

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello di sughero	968.23	0.04	115	4454	4855	4.855	82.80	3207
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibre di canapa	968.23	0.14	40	5422	5910	5.910	0.43	417
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								12664

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello di sughero	4.855	Autocarro 12-24t	12	0.4	1500	19.873	120.598	3.43	10105
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibre di canapa	5.910	Autocarro 12-24t	12	0.5	1500	20.128	148.699	3.43	14976
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									33705

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello di sughero	321
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibre di canapa	42
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	1266

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello di sughero	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibre di canapa	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello di sughero	-35.786
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibre di canapa	-85.018
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-361

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello di sughero	14.678		968.23	27.110	11.619	1	0.497	0.604	36.828
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibre di canapa	0.002		968.23	94.887	40.666	1	0.000	0.271	25.739
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1417.433

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello di sughero	968.23	0.04	115	4454	4855	4.855	82.80	3207
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibra di legno	968.23	0.12	110	12781	13931	13.931	15.20	14717
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								26964

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello di sughero	4.855	Autocarro 12-24t	12	0.4	1500	19.873	120.598	3.43	10105
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibra di legno	13.931	Autocarro 12-24t	12	1.2	1500	22.067	384.260	3.43	83207
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									101937

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello di sughero	321
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibra di legno	1472
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	2696

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello di sughero	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibra di legno	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello di sughero	-35.786
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibra di legno	0.000
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-276

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello di sughero	14.678		968.23	27.110	11.619	1	0.497	0.604	36.828
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibra di legno	0.000		968.23	81.331	34.856	1	0.168	0.000	5.856
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1397.549

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in fibra di legno	968.23	0.04	110	4260	4644	4.644	5.07	4906
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibra di legno	968.23	0.12	110	12781	13931	13.931	15.20	14717
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								28663

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in fibra di legno	4.644	Autocarro 12-24t	12	0.4	1500	19.822	115.059	3.43	9245
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibra di legno	13.931	Autocarro 12-24t	12	1.2	1500	22.067	384.260	3.43	83207
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									101077

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in fibra di legno	491
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibra di legno	1472
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	2866

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in fibra di legno	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibra di legno	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in fibra di legno	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibra di legno	0.000
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-240

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in fibra di legno	0.000		968.23	27.110	11.619	1	0.056	0.000	0.651
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibra di legno	0.000		968.23	81.331	34.856	1	0.168	0.000	5.856
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1361.372

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in fibra di legno	968.23	0.04	110	4260	4644	4.644	5.07	4906
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello di sughero	968.23	0.14	115	15589	16991	16.991	82.80	11224
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								25170

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in fibra di legno	4.644	Autocarro 12-24t	12	0.4	1500	19.822	115.059	3.43	9245
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello di sughero	16.991	Autocarro 24-40t	26	0.7	1500	26.859	263.291	3.43	57131
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									75001

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in fibra di legno	491
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello di sughero	1122
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	2517

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in fibra di legno	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello di sughero	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in fibra di legno	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello di sughero	-125.250
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-365

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in fibra di legno	0.000		968.23	27.110	11.619	1	0.056	0.000	0.651
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello di sughero	51.374		968.23	94.887	40.666	1	0.497	0.604	128.897
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1484.413

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in fibra di legno	968.23	0.04	110	4260	4644	4.644	5.07	4906
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibre di canapa	968.23	0.14	40	5422	5910	5.910	0.43	417
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								14363

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in fibra di legno	4.644	Autocarro 12-24t	12	0.4	1500	19.822	115.059	3.43	9245
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibre di canapa	5.910	Autocarro 12-24t	12	0.5	1500	20.128	148.699	3.43	14976
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									32845

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in fibra di legno	491
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibre di canapa	42
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	1436

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in fibra di legno	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibre di canapa	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in fibra di legno	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibre di canapa	-85.018
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-325

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in fibra di legno	0.000		968.23	27.110	11.619	1	0.056	0.000	0.651
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibre di canapa	0.002		968.23	94.887	40.666	1	0.000	0.271	25.739
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1381.256

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in fibre di canapa	968.23	0.04	40	1549	1689	1.689	0.12	119
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibre di canapa	968.23	0.14	40	5422	5910	5.910	0.43	417
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								9576

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in fibre di canapa	1.689	Autocarro <7.5t	3.5	0.5	1500	13.479	97.545	3.43	4191
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibre di canapa	5.910	Autocarro 12-24t	12	0.5	1500	20.128	148.699	3.43	14976
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									27792

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in fibre di canapa	12
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibre di canapa	42
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	958

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in fibre di canapa	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibre di canapa	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in fibre di canapa	-6.940
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibre di canapa	-85.018
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-332

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in fibre di canapa	0.000		968.23	27.110	11.619	1	0.000	0.078	2.101
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibre di canapa	0.002		968.23	94.887	40.666	1	0.000	0.271	25.739
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1382.707

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in fibre di canapa	968.23	0.04	40	1549	1689	1.689	0.12	119
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello di sughero	968.23	0.14	115	15589	16991	16.991	82.80	11224
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								20383

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in fibre di canapa	1.689	Autocarro <7.5t	3.5	0.5	1500	13.479	97.545	3.43	4191
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello di sughero	16.991	Autocarro 24-40t	26	0.7	1500	26.859	263.291	3.43	57131
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									69947

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in fibre di canapa	12
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello di sughero	1122
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	2038

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in fibre di canapa	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello di sughero	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in fibre di canapa	-6.940
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello di sughero	-125.250
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-372

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in fibre di canapa	0.000		968.23	27.110	11.619	1	0.000	0.078	2.101
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello di sughero	51.374		968.23	94.887	40.666	1	0.497	0.604	128.897
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1485.864

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Pannello in fibre di canapa	968.23	0.04	40	1549	1689	1.689	0.12	119
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibra di legno	968.23	0.14	110	14911	16253	16.253	17.73	17170
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								26329

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Pannello in fibre di canapa	1.689	Autocarro <7.5t	3.5	0.5	1500	13.479	97.545	3.43	4191
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibra di legno	16.253	Autocarro 24-40t	26	0.6	1500	26.626	249.659	3.43	52271
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									65087

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Pannello in fibre di canapa	12
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibra di legno	1717
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	2633

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Pannello in fibre di canapa	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibra di legno	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Pannello in fibre di canapa	-6.940
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibra di legno	0.000
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-247

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Pannello in fibre di canapa	0.000		968.23	27.110	11.619	1	0.000	0.078	2.101
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibra di legno	0.000		968.23	94.887	40.666	1	0.196	0.000	7.970
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1364.938

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Aerogel	968.23	0.03	40	1162	1266	1.266	36.90	35728
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello di sughero	968.23	0.08	115	8908	9709	9.709	82.80	6414
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								51181

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Aerogel	1.266	Autocarro <7.5t	3.5	0.4	300	13.334	14.475	3.43	472
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello di sughero	9.709	Autocarro 12-24t	12	0.8	1500	21.046	255.436	3.43	40419
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									49515

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Aerogel	3573
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello di sughero	641
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	5118

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Aerogel	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello di sughero	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Aerogel	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello di sughero	-71.572
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-311

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Aerogel	1.900	1266.445		886.511	379.933	1	0.060	0.000	24.696
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello di sughero	29.357		968.23	54.221	23.238	1	0.497	0.604	73.655
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1453.217

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Aerogel	968.23	0.03	40	1162	1266	1.266	36.90	35728
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibre di canapa	968.23	0.08	40	3098	3377	3.377	0.25	238
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								45006

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Aerogel	1.266	Autocarro <7.5t	3.5	0.4	300	13.334	14.475	3.43	472
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibre di canapa	3.377	Autocarro <7.5t	3.5	1.0	1500	14.058	203.469	3.43	16766
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									25862

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Aerogel	3573
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibre di canapa	24
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	4501

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Aerogel	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibre di canapa	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Aerogel	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibre di canapa	-27.761
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-268

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Aerogel	1.900	1266.445		886.511	379.933	1	0.060	0.000	24.696
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibre di canapa	0.001		968.23	54.221	23.238	1	0.000	0.155	8.405
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1387.967

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	968.23	0.01	1600	15492	16886	16.886	0.1584	4802
Aerogel	968.23	0.03	40	1162	1266	1.266	36.90	35728
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	968.23	0.17	45	7407	8074	8.074	0.08	618.437
Pannello in fibra di legno	968.23	0.08	110	8520	9287	9.287	10.13	9811
Barriera al vapore	968.23	0.0005	900	436	475	0.475	0.258	250
Doppio cartongesso	968.23	0.025	800	19365	21107	21.107	3.48	3369
Totale								54579

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	16.886	Autocarro 24-40t	26	0.6	50	26.826	8.711	3.43	30
Aerogel	1.266	Autocarro <7.5t	3.5	0.4	300	13.334	14.475	3.43	472
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	8.074	Autocarro 12-24t	12	0.7	300	20.651	41.682	3.43	5589
Pannello in fibra di legno	9.287	Autocarro 12-24t	12	0.8	1500	20.944	243.145	3.43	36981
Barriera al vapore	0.475	Autocarro <7.5t	3.5	0.1	300	13.063	5.318	3.43	66
Doppio cartongesso	21.107	Autocarro 24-40t	26	0.8	50	28.157	11.429	3.43	2939
Totale									46077

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480
Aerogel	3573
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	62
Pannello in fibra di legno	981
Barriera al vapore	25
Doppio cartongesso	337
Totale	5458

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	1	6060
Aerogel	0	0
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	0	0
Pannello in fibra di legno	0	0
Barriera al vapore	0	0
Doppio cartongesso	0	0
Totale		6060

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Intonaco esterno	-59.101
Aerogel	0.000
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	-100.032
Pannello in fibra di legno	0.000
Barriera al vapore	-63.574
Doppio cartongesso	-17.215
Totale	-240

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Intonaco esterno	480.242	16885.931		11820.152	5065.779	2	0.003	0.010	747.040
Aerogel	1.900	1266.445		886.511	379.933	1	0.060	0.000	24.696
Insufflaggio fiocchi di cellulosa	3.900	8073.586		5651.510	2422.076	1	0	0.070	398.940
Pannello in fibra di legno	0.000		968.23	54.221	23.238	1	0.112	0.000	2.603
Barriera al vapore	0		968.23	677.761	290.469	1	0.000	0.226	153.174
Doppio cartongesso	44.73		968.23	677.761	290.469	1	0.04	0.000	55.712
Totale									1382.164

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2516.90	0.008	1300	26176	28532	28.532	9.02	22702
Stiferite Class B	2516.90	0.16	32.1	12927	14090	14.090	12.75	32084.286
Barriera al vapore	2516.90	0.0005	900	1133	1235	1.235	0.258	649
Intonaco	2516.90	0.01	1600	40270	43895	43.895	0.1584	12484
Totale								67920

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	28.532	Autocarro 24-40t	26	1.1	50	30.498	16.734	3.43	57
Stiferite Class B	14.090	Autocarro 24-40t	26	0.5	300	25.944	42.179	3.43	7857
Barriera al vapore	1.235	Autocarro <7.5t	3.5	0.4	300	13.323	14.098	3.43	448
Intonaco	43.895	Autocarro 24-40t	26	1.7	50	35.344	29.835	3.43	102
Totale									8465

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2270
Stiferite Class B	3208
Barriera al vapore	65
Intonaco	1248
Totale	6792

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	1	66610
Stiferite Class B	0	0
Barriera al vapore	0	0
Intonaco	1	16753
Totale		83363

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Impermeabilizzazione	-5496.910
Stiferite Class B	-8800.931
Barriera al vapore	-165.260
Intonaco	-153.632
Totale	-14617

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	8.859		2516.9	1761.830	755.070	2	0.51	11.580	41579.993
Stiferite Class B	0.000		2516.9	1761.830	755.070	1	0.584918	2073.344	3653321.776
Barriera al vapore	0		2516.9	1761.830	755.070	1	0.000	0.226	398.174
Intonaco	1248.382	43894.736		30726.315	13168.421	2	0.003	0.010	1941.919
Totale									3697241.862

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2516.90	0.008	1300	26176	28532	28.532	9.02	22702
Pannello in lana di vetro	2516.90	0.14	97	34180	37256	37.256	3.29	8289.874
Pannello in lana di vetro (N)	2516.90	0.1	97	24414	26611	26.611	9.44	23762.497
Barriera al vapore	2516.90	0.0005	900	1133	1235	1.235	0.258	649
Intonaco	2516.90	0.01	1600	40270	43895	43.895	0.1584	12484
Totale								67888

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	28.532	Autocarro 24-40t	26	1.1	50	30.498	16.734	3.43	57
Pannello in lana di vetro	37.256	Autocarro 24-40t	26	1.4	300	33.250	142.932	3.43	54932
Pannello in lana di vetro (N)	26.611	Autocarro 24-40t	26	1.0	300	29.893	91.786	3.43	28027
Barriera al vapore	1.235	Autocarro <7.5t	3.5	0.4	300	13.323	14.098	3.43	448
Intonaco	43.895	Autocarro 24-40t	26	1.7	50	35.344	29.835	3.43	102
Totale									83567

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2270
Pannello in lana di vetro	829
Pannello in lana di vetro (N)	2376
Barriera al vapore	65
Intonaco	1248
Totale	6789

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	1	66610
Pannello in lana di vetro	0	0
Pannello in lana di vetro (N)	0	0
Barriera al vapore	0	0
Intonaco	1	16753
Totale		83363

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Impermeabilizzazione	-5496.910
Pannello in lana di vetro	0.000
Pannello in lana di vetro (N)	0.000
Barriera al vapore	-165.260
Intonaco	-153.632
Totale	-5816

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	8.859		2516.9	1761.830	755.070	2	0.51	11.580	41579.993
Pannello in lana di vetro	0.000		2516.9	1761.830	755.070	1	0.032	0.000	24.119
Pannello in lana di vetro (N)	0.000		2516.9	1761.830	755.070	1	0.095	0.000	71.510
Barriera al vapore	0		2516.9	1761.830	755.070	1	0.000	0.226	398.174
Intonaco	1248.382	43894.736		30726.315	13168.421	2	0.003	0.010	1941.919
Totale									44015.714

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2516.90	0.008	1300	26176	28532	28.532	9.02	22702
Pannello isolante lana di roccia	2516.90	0.22	115	63677.57	69409	69.409	37.40	94132
Barriera al vapore	2516.90	0.0005	900	1133	1235	1.235	0.258	649
Intonaco	2516.90	0.01	1600	40270	43895	43.895	0.1584	12484
Totale								129968

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	28.532	Autocarro 24-40t	26	1.1	50	30.498	16.734	3.43	57
Pannello isolante lana di roccia	69.409	Autocarro 24-40t	26	2.7	300	43.390	347.500	3.43	190664
Barriera al vapore	1.235	Autocarro <7.5t	3.5	0.4	300	13.323	14.098	3.43	448
Intonaco	43.895	Autocarro 24-40t	26	1.7	50	35.344	29.835	3.43	102
Totale									191271

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2270
Pannello isolante lana di roccia	9413
Barriera al vapore	65
Intonaco	1248
Totale	12997

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	1	66610
Pannello isolante lana di roccia	0	0
Barriera al vapore	0	0
Intonaco	1	16753
Totale		83363

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Impermeabilizzazione	-5496.910
Pannello isolante lana di roccia	-1329.477
Barriera al vapore	-165.260
Intonaco	-153.632
Totale	-7145

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	8.859		2516.9	1761.830	755.070	2	0.51	11.580	41579.993
Pannello isolante lana di roccia	0.000		2516.9	1761.830	755.070	1	0.376	0.000	284.057
Barriera al vapore	0		2516.9	1761.830	755.070	1	0.000	0.226	398.174
Intonaco	1248.382	43894.736		30726.315	13168.421	2	0.003	0.010	1941.919
Totale									44204.144

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2516.90	0.008	1300	26176	28532	28.532	9.02	22702
Massetto	2516.90	0.03	700	52855	57612	57.612	54.40	2875306.560
Gutex	2516.90	0.035	173	15240	16611	16.611	-164.00	-2724272
Pannello in fibra di legno	2516.90	0.2	110	55372	60355	60.355	25.33	63761
Barriera al vapore	2516.90	0.0005	900	1133	1235	1.235	0.258	649
Intonaco	2516.90	0.01	1600	40270	43895	43.895	0.1584	12484
Totale								250632

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	28.532	Autocarro 24-40t	26	1.1	50	30.498	16.734	3.43	57
Massetto	57.612	Autocarro 24-40t	26	2.2	50	39.670	43.951	3.43	21893
Gutex	16.611	Autocarro 24-40t	26	0.6	1500	26.739	256.253	3.43	54604
Pannello in fibra di legno	60.355	Autocarro 12-24t	12	5.0	1500	33.286	2511.221	3.43	1561832
Barriera al vapore	1.235	Autocarro <7.5t	3.5	0.4	300	13.323	14.098	3.43	448
Intonaco	43.895	Autocarro 24-40t	26	1.7	50	35.344	29.835	3.43	102
Totale									1638938

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2270
Massetto	287531
Gutex	-272427
Pannello in fibra di legno	6376
Barriera al vapore	65
Intonaco	1248
Totale	25063

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	1	66610
Massetto	0	0
Gutex	0	0
Pannello in fibra di legno	0	13877
Barriera al vapore	0	0
Intonaco	1	16753
Totale		97240

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Impermeabilizzazione	-5496.910
Massetto	-42271.821
Gutex	-2627925.719
Pannello in fibra di legno	0.000
Barriera al vapore	-165.260
Intonaco	-153.632
Totale	-2676013

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	8.859		2516.9	1761.830	755.070	2	0.51	11.580	41579.993
Massetto	158.565	57612		40328.289	17283.552	1	0.001	0.000	175.848
Gutex	0.000	16611		11627.990	4983.424	1	0.000	271.000	3151185.265
Pannello in fibra di legno	0.000		2516.9	352.366	151.014	1	0.280	0.000	42.284
Barriera al vapore	0		2516.9	1761.830	755.070	1	0.000	0.226	398.174
Intonaco	1248.382	43894.736		30726.315	13168.421	2	0.003	0.010	1941.919
Totale									3195323.484

FASE A1-A3

	Superficie [m²]	Spessore [m]	Densità [Kg/m³]	Peso [Kg]	BoQ (+9%)	Peso [t] BoQ	GWP (EPD)	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2516.90	0.008	1300	26176	28532	28.532	9.02	22702
Massetto	2516.90	0.03	700	52855	57612	57.612	54.40	2875306.560
Pannello di sughero	2516.90	0.22	115	63678	69409	69.409	82.80	45848
Barriera al vapore	2516.90	0.0005	900	1133	1235	1.235	0.258	649
Intonaco	2516.90	0.01	1600	40270	43895	43.895	0.1584	12484
Totale								2956990

FASE A4

	Peso [t] BoQ	Tipo veicolo	Carico utile max [t]	N. viaggi	Distanza	Consumo specifico	Consumo mezzo	Fattore di emissione	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	28.532	Autocarro 24-40t	26	1.1	50	30.498	16.734	3.43	57
Massetto	57.612	Autocarro 24-40t	26	2.2	50	39.670	43.951	3.43	21893
Pannello di sughero	69.409	Autocarro 24-40t	26	2.7	1500	43.390	1737.498	3.43	953318
Barriera al vapore	1.235	Autocarro <7.5t	3.5	0.4	300	13.323	14.098	3.43	448
Intonaco	43.895	Autocarro 24-40t	26	1.7	50	35.344	29.835	3.43	102
Totale									975820

FASE A5

	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	2270
Massetto	287531
Pannello di sughero	4585
Barriera al vapore	65
Intonaco	1248
Totale	295699

FASE B4

	Numero sostituzioni	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	1	66610
Massetto	0	0
Pannello di sughero	0	14361
Barriera al vapore	0	0
Intonaco	1	16753
Totale		97725

FASE D

	70% riciclato - 30% discarica [$kgCO_2eq$]
Impermeabilizzazione	-5496.910
Massetto	-42271.821
Pannello di sughero	-511.635
Barriera al vapore	-165.260
Intonaco	-153.632
Totale	-48599

FASE C1-C4

	C1	Peso [Kg] BoQ	Superficie [m^2]	70% riciclato	30% discarica	Numero dismissioni	GWP (EPD) Landfill	GWP (EPD) Open/CLose-loop	$kgCO_2eq$
Impermeabilizzazione	8.859		2516.9	1761.830	755.070	2	0.51	11.580	41579.993
Massetto	158.565	57612		40328.289	17283.552	1	0.001	0.000	175.848
Pannello di sughero	209.859		2516.9	387.603	166.115	1	0.497	0.604	526.530
Barriera al vapore	0		2516.9	1761.830	755.070	1	0.000	0.226	398.174
Intonaco	1248.382	43894.736		30726.315	13168.421	2	0.003	0.010	1941.919
Totale									44622.465

RINGRAZIAMENTI

Desidero in primis esprimere la mia più sincera gratitudine alla mia relatrice, Cristina Becchio, per avermi guidata con competenza, disponibilità e costante attenzione durante l'intero percorso di borsista, di ricerca e di stesura di questo elaborato. I suoi preziosi consigli e la sua gentilezza hanno rappresentato un punto di riferimento fondamentale per la realizzazione di questo lavoro.

Un sentito ringraziamento va anche ai miei correlatori, Carlo Deregibus, per i suggerimenti puntuali, le sue critiche costruttive ed il prezioso contributo di progettazione, e Daniele Salvatore Schiera, per la grande pazienza, la disponibilità e il supporto fornito nello sviluppo del modello.
Ringrazio inoltre il Professor Roberto Giordano per la disponibilità dimostrata ed i preziosi suggerimenti che hanno contribuito ad arricchire il presente lavoro.

Ringrazio infinitamente i miei genitori, mio fratello Pietro e tutta la mia grande famiglia allargata, che con il loro affetto, la loro fiducia ed il loro sostegno mi hanno accompagnata in ogni fase di questo percorso. La presenza costante e l'incoraggiamento mi hanno dato la forza di affrontare ogni sfida e di raggiungere questo importante traguardo.

Un ringraziamento speciale va a Daniele, che mi è stato accanto ogni giorno con pazienza, comprensione ed affetto. Grazie per aver creduto in me anche nei momenti di maggiore difficoltà, per avermi sostenuta senza mai farmi mancare il tuo incoraggiamento e per aver condiviso con me ogni passo di questo percorso.

Desidero inoltre ringraziare i miei amici, per aver alleggerito i miei momenti più pesanti con la loro presenza e vicinanza, contribuendo a rendere questo cammino più sereno.

Infine desidero ringraziare i miei fedeli compagni di gruppo ed amici di università, che hanno condiviso con me gioie e dolori di questo percorso universitario, rendendolo ricco di ricordi indimenticabili.