

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Restauro e la Valorizzazione del Patrimonio

Tesi di Laurea Magistrale

LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA PER TUTELARE E VALORIZZARE
ECONOMICAMENTE IL PATRIMONIO DEL NOVECENTO:
IL CASO DELLA TESTATA NORD DEL LINGOTTO



Relatore:
prof. Rocco Antonio Curto

Candidata:
Caterina Marzocchi

Correlatore:
prof. Carlo Micono

con la collaborazione di:
arch. Maria Cristina Azzolino
arch. Rossella Taraglio
del Laboratorio di Analisi e Modellazione
dei Sistemi Ambientali (LAMSA)

Anno Accademico 2019/2020

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Restauro e la Valorizzazione del Patrimonio

Tesi di Laurea Magistrale

LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA PER TUTELARE E VALORIZZARE
ECONOMICAMENTE IL PATRIMONIO DEL NOVECENTO:
IL CASO DELLA TESTATA NORD DEL LINGOTTO



Relatore:
prof. Rocco Antonio Curto

Candidata:
Caterina Marzocchi

Correlatore:
prof. Carlo Micono

con la collaborazione di:
arch. Maria Cristina Azzolino
arch. Rossella Taraglio
del Laboratorio di Analisi e Modellazione
dei Sistemi Ambientali (LAMSA)

Anno Accademico 2019/2020

*A Nello,
come una margherita.*

INTRODUZIONE	5
---------------------	---

CAPITOLO 1. PROBLEMATICHE CONSERVATIVE E DI RIUSO	
--	--

1.1 Restauro e Conservazione	8
1.2 La questione dell'involucro: i serramenti	
1.2.1 Introduzione al tema	11
1.2.2 <i>Reframing the Moderns</i>	13
1.2.3 Casi internazionali	16
1.2.4 Conclusioni	31
1.3 La questione del riuso	
1.3.1 Introduzione al tema	33
1.3.2 La nascita dell'archeologia industriale	34
1.3.3 Il riuso del patrimonio industriale	35
1.3.4 Casi internazionali	37
1.3.5 Conclusioni	44

CAPITOLO 2. TRA TUTELA E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	
---	--

2.1 L'efficienza energetica in edilizia	
2.1.1 Analisi storica del quadro legislativo di riferimento	46
2.1.2 L'efficienza energetica nella valutazione economica	51
2.1.3 I Fondi europei e nazionali	53
2.2 La riqualificazione energetica degli edifici storici	
2.2.1 Introduzione al tema	55
2.2.2 Normative e le linee guida attuative	56
2.2.3 Edifici storici. Le problematiche da affrontare	60
2.2.4 La corretta progettazione degli interventi	62
2.2.5 I vantaggi della riqualificazione ed il sistema degli incentivi	68
2.3 Riferimenti progettuali	
2.3.1 Casi internazionali	74
2.3.2 Conclusioni	91

CAPITOLO 3. ANALISI DEL CASO STUDIO

3.1 Introduzione al caso studio	93
3.2 Inquadramento storico	
3.2.1 Contesto della Torino post capitale	95
3.2.2 Dalla Costruzione al dibattito internazionale	95
3.2.3 Il progetto vincitore	107
3.2.4 Un complesso polivalente	109
3.2.5 Le fasi del cantiere	112
3.2.6 Il recupero della Testata Nord	115
3.2.7 Confronto tra stima e valore reale dell'investimento	119
3.2.8 Interventi successivi	122
3.2.9 Considerazioni conclusive	124
3.3 Il Politecnico oggi e la sua politica edilizia	
3.3.1 Il Piano Strategico	126
3.3.2 Il Masterplan di Ateneo	127
3.3.3 L'organizzazione delle sedi	130
3.3.4 La sede del Lingotto. Spazi aperti e rapporto con la città	132
3.4 Analisi dello stato di fatto	
3.4.1 Il rilievo dell'esistente	136
3.4.2 L'orientamento	137
3.4.3 Il sistema edificio-impianto	137
3.5 Analisi del comportamento energetico	
3.5.1 Premessa	158
3.5.2 Le zone termiche e l'involucro disperdente	159
3.5.3 Caratteristiche dell'involucro opaco	170
3.5.4 Caratteristiche dell'involucro trasparente	183
3.5.5 Ponti Termici	191
3.5.6 Analisi degli aggetti e delle ostruzioni	206
3.5.7 Elaborazione dei risultati	208
3.5.8 Normalizzazione dei risultati sulla base dei Gradi Giorno	258
3.5.9 Conclusioni	261
3.6 Le indagini strumentali in campo	
3.6.1 Introduzione al tema	264
3.6.2 Cenni di termografia	265
3.6.3 Le indagini termografiche al Lingotto	270
3.6.4 La trasmittanza termica e la procedura di rilevamento in opera	277
3.6.5 La campagna di misure al Lingotto	284
3.6.6 Conclusioni	293

CAPITOLO 4. VALUTAZIONE ENERGETICA ED ECONOMICA DEGLI SCENARI DI PROGETTO

4.1 Tra requisiti normativi e vincolo di tutela	295
4.2 Ipotesi di interventi sull'involucro	
4.2.1 Interventi sui serramenti	300
4.2.2 Sostituzione del frangisole in copertura	354
4.2.3 Progettazione di una bussola d'ingresso	364
4.2.4 Isolamento degli orizzontamenti	375
4.2.5 I pacchetti progettuali	385
4.2.6 Considerazioni conclusive	402
4.3 Ipotesi di interventi sul sistema impiantistico	
4.3.1 Premessa	406
4.3.2 <i>Relamping</i>	407
4.3.3 Sistemi di regolazione, gestione e controllo	410
4.3.4 Installazione di un impianto fotovoltaico	423
4.4 Strumenti estimativi per la valorizzazione degli interventi	
4.4.1 Introduzione al tema	429
4.4.2 Categorie di costo ed approcci per la sostenibilità del progetto	432
4.4.3 Il metodo LCCA e gli indicatori economici	434
4.5 Analisi economica degli scenari di progetto	
4.5.1 Quadro metodologico	439
4.5.2 Definizione dei pacchetti progettuali	441
4.5.3 Valutazione economica dei pacchetti progettuali	447
4.5.4 Confronto tra gli scenari	462
4.5.5 Valutazione economica delle proposte di gestione e controllo	466
4.5.6 Considerazioni conclusive	473
CONCLUSIONI	479
BIBLIOGRAFIA	485
RINGRAZIAMENTI	495

INTRODUZIONE

Il patrimonio architettonico del Lingotto è oggi custode di un valore inestimabile, non solo per i suoi caratteri compositivi e formali, ma anche perchè rappresenta una traccia concreta di quel lungo processo di ricerca di modernità e di avanguardia tecnologica che aveva reso la città di Torino “*un laboratorio di sperimentazione dell’architettura e di altre espressioni artistiche*”.¹ Alla vigilia della prima guerra mondiale, alla Torino aristocratica e borghese, espressa nelle raffinate efflorescenze del *liberty*, si affianca una nuova ed emergente città industriale ed operaia, di cui l’edificio del Lingotto è uno dei più chiari emblemi.

La straordinarietà dell’edificio risiede nella sua capacità di esprimere con estrema franchezza i caratteri identitari dell’architettura industriale moderna, come la poetica e la funzionalità delle forme, le sperimentazioni tecnologiche, l’utilizzo di nuovi materiali e l’organizzazione dello spazio che riflette una parimenti articolata organizzazione del lavoro, della produzione e della vita delle persone.

Ma i singolari ed innovativi aspetti compositivi, materici e tecnologici che hanno sempre contraddistinto il Lingotto come icona d’avanguardia in contesto nazionale e internazionale, sono gli stessi che, oggi, lo rendono fragile da un punto di vista energetico. Nonostante la profonda riqualificazione operata da Renzo Piano a partire dagli anni Novanta del secolo scorso, che aveva previsto un recupero con sguardo lungimirante all’efficienza energetica, le ampie superfici vetrate, i solai a sbalzo su spazi esterni, gli enormi lucernari in copertura e le grandi dimensioni, concorrono oggi a rendere l’intero complesso assai energivoro e poco performante.

La ragione di tale fenomeno risiede nel fatto che, fino all’anno 2005 in Italia, prima che venisse recepita la Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico nell’edilizia, gli interventi di riqualificazione venivano svolti con il principale fine di recuperare l’originale matericità e vocazione dell’immobile, senza che la *performance* energetica assumesse un ruolo di assoluta prerogativa.

Nel corso del tempo, però, a fronte delle politiche ambientali europee sempre più cogenti, volte ad accrescere il risparmio energetico, ridurre le emissioni climalteranti ed aumentare la produzione di energia da fonti rinnovabili, l’aspetto della sostenibilità ha modificato ed ampliato il quadro legislativo normalmente assunto con gli interventi di restauro e di riuso. Oggi, pertanto, si è chiamati ad intervenire sull’edilizia storica, non solo per restaurarla a fronte dei naturali ed inevitabili attacchi del tempo, ma soprattutto nella prospettiva di controllare e migliorare le prestazioni energetiche dell’edificio. A rendere più complesso, poi, il rapporto tra conservazione e riqualificazione energetica sono le condizioni stesse delle operazioni di restauro, non più soggette al confronto con le sole esigenze di redditività da parte degli investitori, e quindi la massimizzazione dei profitti, ma anche con gli obiettivi di natura ambientale riguardanti benefici di cui si avvantaggia l’intera collettività.

La presente tesi si pone quindi l’obiettivo di indagare una porzione di questo ampio sistema, analizzando quella manica settentrionale, collocata di taglio rispetto allo sviluppo longitudinale del grande complesso, che è oggi di proprietà del Politecnico di Torino: la Testata Nord.

1. G. Canella, P. Mellano, *Il diritto alla Tutela: architettura d’autore del secondo Novecento*, Franco Angeli, 2019, p. 138

All'interno di uno scenario complesso di trasformazioni, Piani Strategici e nuove politiche edilizie ma anche nuove modalità di intendere e fare didattica, rese ormai ineludibili dopo l'emergenza epidemiologica da COVID-19, ci si è chiesti come potrebbe cambiare l'immagine dell'Ateneo, e quindi diventare più *smart* e all'avanguardia non solo in rapporto al modo di trasmettere il sapere, ma anche in rapporto al suo ruolo nella città.

La Testata Nord del Lingotto, che costituisce oggi un bene architettonico di assoluto pregio, potrebbe assumere un ruolo di emblematico esempio anche nel dimostrare come le nuove e mature tecnologie possano concorrere alla valorizzazione dell'edificio sul piano economico senza rinunciare alla conservazione dei suoi caratteri storici e simbolici.

La riqualificazione della Testata Nord, per i valori che incorpora, presuppone che vengano affrontati aspetti delicati non solo da un punto di vista formale, compositivo e tecnologico ma anche sotto il profilo economico. Il progetto di riqualificazione, oltre a rispondere alle criticità dell'involucro edilizio, deve porsi come obiettivo anche l'ottimale gestione integrata di tutti gli impianti, al fine di migliorare il *comfort* interno agli ambienti ed al contempo ridurre gli elevati consumi e costi operativi registrati dalla sede del Politecnico. Da questo punto di vista, gli strumenti propri della valutazione economica e finanziaria diventano indispensabili per supportare le scelte progettuali e proporre pertanto soluzioni compatibili e soprattutto sostenibili. La difficoltà di intervenire per apportare miglioramenti ad un edificio di tale impatto urbano e sociale, consiste *in primis* nel non travolgere la sua qualità espressiva, rendendo difficili, o addirittura impraticabili, la lettura e la comprensione del suo assoluto valore, capendo, e quindi scegliendo, quali elementi conservare e quali trasformare, cosa sacrificare e cosa preservare per le generazioni future.

Per tale motivo, la prima parte della tesi introduce ai temi della conservazione e della riqualificazione dell'edilizia storica, al fine di comprendere le strategie d'intervento più adeguate e formulare valide linee guida metodologiche per la stesura delle proposte progettuali affrontate nei capitoli successivi.

I primi due capitoli assumono un ruolo centrale in questo lavoro di tesi, per il fatto che affrontano e discutono le problematiche connesse alla conservazione, al riuso e alla riqualificazione di beni del patrimonio architettonico storico, di cui sia stato riconosciuto un interesse culturale.

Il terzo capitolo indaga le vicende storiche ed uniche nel proprio genere, concentrandosi prima sul Lingotto nel suo complesso, e poi più specificatamente sulla Testata Nord. Sebbene in una valutazione complessiva l'intervento di recupero e di riuso operato da Piano sia stato esemplare, sotto il profilo della conservazione, svolto in un momento storico in cui ancora non esisteva lo stesso approccio odierno alla tutela del patrimonio industriale, lascia aperto ancora qualche interrogativo a cui, in una prima fase di questo lavoro, si è tentato di dare risposta.

In seguito all'analisi storica è stata condotta un'analisi energetica per poter comprendere quali fossero le principali criticità dell'edificio ed orientare in questo modo le proposte d'intervento. Le prime ed embrionali considerazioni elaborate sulla base di sopralluoghi *in situ* e simulazioni energetiche tramite *Software* hanno trovato riscontro oggettivo nella campagna di indagini strumentali e nella consultazione di documenti d'archivio.

L'ultima parte del lavoro si è pertanto proposta di individuare soluzioni alle principali problematiche dell'edificio, connesse all'involucro e ai sistemi di controllo e di

regolazione degli impianti. Mantenendo la stessa destinazione d'uso, la sede del Lingotto è stata simulata secondo differenti scenari di efficientamento energetico, per valutare e quantificare i vantaggi conseguibili in termini di ottimizzazione dei consumi, e dunque di risparmi economici, per il Politecnico. Attraverso lo strumento di analisi del *Life Cycle Cost* sono state valutate soluzioni progettuali alternative, che comprendessero interventi sulle superfici opache, trasparenti e componenti impiantistiche, allo scopo di determinare infine quella economicamente più vantaggiosa.

L'obiettivo di questa tesi, concludendo, vorrebbe dunque evidenziare come un bene pubblico di Ateneo, appartenente al patrimonio architettonico novecentesco, possa essere valorizzato assumendo le opportunità che ci vengono fornite oggi, ossia intervenendo con una serie di operazioni volte a migliorarne gli aspetti gestionali, energetici ed economici. A seconda della disponibilità della proprietà e degli scenari economici più convenienti, questo studio vorrebbe comprendere come poter valorizzare la sede del Politecnico, migliorandone la *performance* energetica ma al contempo tutelandone la sua identità storica ed *"avendo sempre cura - per citare il professor Paolo Mellano - della quinta dimensione dell'architettura, quella della memoria, della storia, del patrimonio materiale e immateriale che appartiene a coloro che vivono, che abitano il paesaggio, ai loro immaginari"*.¹

Il lavoro, principalmente orientato sull'analisi e lo studio dell'involucro edilizio, ha poi cercato di ripensare al sistema edificio/impianto secondo una progettazione integrata e consapevole, introducendo operazioni impiantistiche per l'alta efficienza e sistemi gestionali *smart* a supporto degli interventi proposti per l'involucro.

Gli interventi di riqualificazione, gestione e valorizzazione proposti in questo lavoro tentano di rendere il progetto per la sede del Politecnico un primo impulso per la realizzazione di un programma di riqualificazione integrata ad ampio raggio, nella speranza che, in futuro, queste proposte possano costituire una sollecitazione sia per l'università, sia per tutte le altre società consorziate del Lingotto, nella prospettiva di riportare all'avanguardia anche dal punto di vista energetico non solo la Testata Nord ma l'intero complesso del Lingotto.

1. G. Canella, P. Mellano, *Il diritto alla Tutela: architettura d'autore del secondo Novecento*, Franco Angeli, 2019, p. 135

1.1 Restauro e Conservazione

Le opere architettoniche del patrimonio storico, così come quelle del patrimonio contemporaneo, sono per loro natura particolarmente vulnerabili sia in quanto esposte agli agenti atmosferici sia in quanto compromesse dal degrado funzionale. Spesso sottoposte all'uso scorretto da parte dei propri fruitori, nel tempo hanno subito adattamenti che ne hanno modificato radicalmente l'impianto distributivo. Il patrimonio architettonico è inevitabilmente soggetto agli attacchi del tempo e ad una naturale deperibilità che potrebbero, senza una periodica manutenzione, ad una conseguente e progressiva perdita del proprio aspetto originario. Quando s'interviene su un'opera architettonica, di qualunque epoca storica essa faccia parte, è assolutamente necessario disporre di una conoscenza vasta ed approfondita del fabbricato prima di intervenire in maniera irreversibile.

I due termini chiave che in un qualche modo accompagnano l'intero percorso nei suoi contenuti, nel suo sviluppo e negli obiettivi finali, sono Restauro e Conservazione. Se il primo fa riferimento ad un'operazione critica e fisica sul bene, e dunque corrisponde ad un progetto, prima ancora che un intervento; il secondo richiama piuttosto un principio, nato dall'esigenza forte di preservare la matericità dell'opera ancor prima della sua immagine. Se il Restauro è un progetto, è per sua natura un'azione soggettiva, nata dalla libera interpretazione del manufatto da parte del progettista e che dunque presuppone scelte di intervento diversificate, a seconda della lettura dell'opera architettonica che ne si vuole dare. Ogni decisione nasce però in seguito ad un lungo ed articolato processo di conoscenza del bene, nonché delle sue peculiarità e criticità adottando strategie e strumenti propri della disciplina e attestandosi pertanto come un *“un intervento colto e consapevole di riabilitazione di un bene in stato di degrado”*.¹

Restauro deriva infatti dal termine latino *restaurare*, traducibile nell'accezione di ristabilire, reintegrare, intendendo dunque tutte quelle operazioni volte a ripristinare gli elementi mancanti o che riversano in uno stato di degrado facenti parte di un sistema unitario.

«S'intende generalmente per restauro qualsiasi intervento volto a rimettere in efficienza un prodotto dell'attività umana. (...) Il restauro costituisce il momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte nella sua consistenza fisica e nella duplice polarità estetico-storica, in vista della sua trasmissione al futuro.»

- C. Brandi, voce "Restauro" in E.U.A.

«S'intende per "restauro" qualsiasi intervento volto a conservare e a trasmettere al futuro, facilitandone la lettura e senza cancellarne le tracce del passaggio nel tempo, le opere d'interesse storico, artistico e ambientale; esso si fonda sul rispetto della sostanza antica e delle documentazioni autentiche costituite da tali opere, proponendosi, inoltre, come atto d'interpretazione critica non verbale ma espressa nel concreto operare. Più precisamente come ipotesi critica e proposizione sempre modificabile, senza che per essa si alteri irreversibilmente l'originale.»

- G. Garbonara, definizione di "Restauro" in *Che cos'è il restauro?*

1. K. Ambrogio, *Miglioramento dell'efficienza energetica in sistemi aggregati di edilizia pre-industriale di base, tra istanze conservative e prestazionali*, Rel. R. Fabbri, Università degli Studi di Ferrara, Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura, 2010, p. 32

Il termine Conservazione, invece, ha origini dal latino *conservare*, composto dall'avverbio *cum* (=con) ed il verbo *servare* (=salvare), traducibile con preservare, custodire: con tale sostantivo infatti s'intende l'insieme di tutte quelle operazioni sul bene, il più possibile compatibili e reversibili, volte al suo mantenimento nel tempo, senza alterarne in alcun modo la sua consistenza materica.

La Conservazione appare allora quale principio fondamentale su cui si dovrebbe basare qualsiasi intervento di restauro, avendo riconosciuto nell'opera architettonica valori artistici e storico-culturali e desiderando garantire la corretta interpretazione e fruizione da parte delle generazioni presenti e future.

«Conservazione: l'insieme degli atti di prevenzione e salvaguardia rivolti ad assicurare una durata tendenzialmente illimitata alla configurazione materiale dell'oggetto considerato.»

- Carta CNR 1987, art. 2

«La conservazione (...) si fonda sul riconoscimento di un valore, sulla coscienza della sua irriproducibilità e insostituibilità, sulla fiducia nella possibilità di trasmetterlo al futuro, almeno nei suoi caratteri essenziali, di poterne trarre un insegnamento.»

- A. Bellini, *Tecniche della conservazione*, p. 9

La pratica del restauro oggi appare complessa, in quanto molto spesso gli edifici su cui si deve intervenire riversano in condizioni di degrado profondo e necessitano di consolidamenti importanti, integrazioni volumetriche, rifacimenti di porzioni architettoniche, sostituzioni o nuove installazioni impiantistiche. La difficoltà degli interventi consiste nel saper tutelare l'immagine e la consistenza storica del manufatto adeguandole ai nuovi *standard* normativi e prestazionali. Il concetto di "miglioramento" dell'edilizia esistente è un concetto piuttosto recente, nato alla fine degli anni Settanta inizialmente con l'intento di adeguare a livello sismico tutti quegli edifici profondamente colpiti dai danni sismici di quegli anni, studiando strategie e metodologie per il consolidamento delle strutture in linea con le nuove prescrizioni normative, nella prospettiva di ottenere un prodotto tecnico che garantisse sicurezza e al tempo stesso un certo grado di rispetto della natura originaria dell'edificio.

Negli stessi anni, poi, si è cominciato anche a parlare di miglioramento energetico, inteso come l'insieme delle operazioni volte al controllo e alla riduzione dei consumi energetici dei fabbricati, dal momento che gran parte del patrimonio edilizio è stato costruito prima di normative che ne orientassero la costruzione al contenimento delle emissioni inquinanti e dannose per l'ambiente.

Con la locuzione "miglioramento dell'efficienza energetica" o "retrofit energetico" s'intende un complesso sistema di interventi edilizi, tecnologici e gestionali che hanno l'obiettivo di aumentare la *performance* energetica dell'edificio abbattendone i consumi ed i costi.

Le politiche internazionali stanno sempre più spingendo verso un nuovo modo di concepire l'edificio, sia per salvaguardare l'ambiente, sottoposto ormai a sempre più forti minacce climatiche, sia per tutelare il *comfort* interno degli spazi e dunque il benessere degli utenti che li abitano.

Di nuovo, la grande sfida consiste nell'adottare soluzioni innovative su un patrimonio edilizio antecedente e quindi differente per sistemi costruttivi, impiantistici e tecnologici. L'adattabilità e la compatibilità degli interventi diventa, di nuovo, il primo

fondamento su cui si deve basare qualsiasi operazione di riqualificazione energetica, che deve saper adeguare ai nuovi requisiti prestazionali interventi che al tempo stesso ne preservino l'integrità materica ed estetica del fabbricato.

In conclusione il restauro, rispetto al patrimonio architettonico più recente, è chiamato a rivedere i propri approcci e i propri strumenti operativi in quanto il degrado fisico e funzionale è sempre di più associato alla gracilità delle "architetture moderniste" che sono particolarmente onnive sul piano energetico.

Succede, pertanto, che mentre il degrado materico è affrontato sulla base di principi e metodologie consolidate, il degrado determinato dagli elementi tecnologico-costruttivi ed impiantistici non trova ancora la giusta attenzione e, pertanto, le problematiche proprie del *retrofit* energetico non hanno ancora avuto la necessaria attenzione.

Il degrado fisico e funzionale dei grandi contenitori del Novecento, riconosciuti dalla critica architettonica anche a livello internazionale, è stato prodotto proprio dagli elevati costi di gestione determinati dagli elevati consumi energetici. Gli elementi costruttivi e architettonici che connotano le architetture del Movimento Moderno, che devono essere preservate, richiedono soluzioni che ne migliorino le *performance* energetiche. Le problematiche che devono essere affrontate in fase di riqualificazione energetica del patrimonio moderno modificano radicalmente l'approccio al restauro in quanto richiedono apporti di altri settori disciplinari dai quali non è possibile prescindere, tra cui la fisica dell'edificio e la valutazione economica degli interventi. L'approccio al restauro a sua volta diviene più complesso quando il *retrofit* energetico è associato al riuso di beni del patrimonio del Novecento non solo privati ma anche di proprietà pubblica, destinati o destinabili a servizi.

1.2 La questione dell'involucro: i serramenti

1.2.1 Introduzione al tema

Nel Ventesimo secolo non solo l'arte e le scienze ma anche l'architettura, la progettazione urbana e del paesaggio cominciano ad assumere connotati diversi ed esprimono idee innovative. L'architettura moderna diventa un imperativo culturale che suggerisce nuove visioni ed apre a nuove prospettive, rappresentando un elemento di fondamentale importanza all'interno del nostro patrimonio intellettuale.

Tale eredità architettonica, che costituisce una traccia tangibile della dinamicità dello spirito di questo secolo, ha sfruttato tecnologie avanzate che hanno sottoposto per lungo tempo a sollecitazioni gli edifici, facendo sì che i requisiti prestazionali che gli edifici originariamente soddisfacevano cambiassero sostanzialmente.

La conservazione di tali edifici presenta pertanto problemi sia in termini fisici che in termini economici. La conservazione dell'opera architettonica nel tempo, sia di quella iconica che di quella ordinaria, in un mondo guidato dall'economia dipende in primo luogo dal riconoscimento condiviso dei loro valori culturali e sociali e, in secondo luogo, dalla loro facoltà di generare redditività economica.

Negli ultimi anni, come si è detto, il tema della sostenibilità ambientale è diventato sempre più cogente. Il contenimento delle emissioni nocive prevede misure sempre più restrittive in ogni settore, da quello dei trasporti a quello produttivo e a quello dell'edilizia. Proprio quest'ultimo, in particolar modo, è sempre più soggetto a severi requisiti di prestazione energetica, che non si limitano più a vincolare solo le nuove costruzioni ma anche gli interventi di recupero.

L'attenzione al miglioramento energetico del patrimonio contemporaneo di grande valore storico e architettonico è stata posta fino ad oggi in forma discontinua, senza cogliere i riflessi che questa determina sul restauro e sulle altre discipline. Per le architetture contemporanee, in molti casi, il degrado legato alle basse *performances* energetiche è superiore al degrado materico ed ha ricadute negative rilevanti sul piano funzionale.

Le nuove tecnologie hanno profondamente modificato l'approccio negli interventi di restauro e conservazione, con importanti conseguenze sulle discipline storicamente coinvolte, anche sulla base delle sollecitazioni poste dall'economia e dalla valutazione economica. Da più anni accademici, grazie alle sollecitazioni del Professor Curto, negli Atelier di Valorizzazione del Patrimonio è stato introdotto l'aspetto del *retrofit* energetico, a partire dalla necessità di individuare le soluzioni tecnologiche ed impiantistiche più convenienti dal punto di vista economico; l'introduzione dell'aspetto energetico, come uno dei nodi cruciali da affrontare, ha portato ad un approccio al progetto nuovo e di carattere olistico.

L'operazione più diffusa nei progetti di riqualificazione energetica consiste nell'isolamento dell'involucro edilizio, poiché, riducendo il valore della trasmittanza termica delle componenti edilizie disperdenti, si limitano gli scambi di energia termica tra gli spazi interni climatizzati e l'ambiente esterno.

Tutta l'architettura pre-industriale, ma anche gran parte del patrimonio precedente alla legge del '76 che ne orienta la costruzione al contenimento dei consumi, appaiono inadeguati a fronte degli attuali nuovi requisiti. Per quanto riguarda il settore residenziale, si tratta di strutture che dispongono di impianti antiquati ed ormai troppo energivori, nonché un involucro assai disperdente. Per quanto invece concerne il

terziario, gran parte degli edifici sono stati recuperati a seguito della riconversione di ex stabilimenti industriali dismessi, i quali, al tempo, non necessitavano di un sistema di isolamento della struttura e pertanto oggi non potrebbero garantire i requisiti di comfort termico, illuminotecnico e di qualità dell'aria se non fossero riqualificati anche da un punto di vista energetico.

Quando si parla di un involucro disperdente, gran parte della responsabilità va attribuita agli infissi tradizionali, composti da un telaio in legno o in metallo poco performante e da vetri singoli, la cui sostituzione "è dettata dalla necessità di ridurre le infiltrazioni d'aria, di migliorare le capacità isolanti e di diminuire l'irraggiamento diurno."¹ Non sono tuttavia trascurabili i ponti termici, determinati, da una parte, dalle grandi vetrate e, dall'altra, dall'introduzione del cemento armato che accomuna tanto le architetture razionaliste quanto quelle organiche, tanto i grandi contenitori quanto le tipologie più ricorrenti, edifici residenziali e per uffici.

Oggi, con l'affinamento delle tecnologie anche la forma e le caratteristiche dimensionali dei telai sono state aggiornate per rispondere alle sempre più stringenti esigenze di resistenza termica, acustica e meccanica.

I nuovi telai in PVC, o i più performanti in alluminio e in acciaio, dotati di taglio termico, permettono un ottimo contenimento delle dispersioni, ma molto spesso la sostituzione dei serramenti originali con i nuovi prodotti del mercato rischia di non risultare compatibile con l'immagine storica delle facciate del fabbricato.

Si è pertanto sviluppata, nel corso del tempo, una soluzione alternativa, che prevede una preliminare rimozione del vetro singolo ed un successivo adeguamento del telaio originario attraverso sistemi e giunti volti ad inspessirne la sezione, in modo tale da permettere l'alloggiamento di uno, o due, vetrocamera e dunque due, o tre, lastre vetrate.

Questo secondo sistema, sebbene dal punto di vista economico non sia così vantaggioso, in quanto nella maggior parte dei casi le spese totali per l'intervento di rinnovamento corrispondono quasi al costo per l'acquisto di un serramento nuovo, permette tuttavia da un lato di migliorare la prestazione energetica del serramento, dall'altro di conservarne il telaio originale senza alterarne l'immagine storica, il disegno e le proporzioni.

1. K. Ambrogio, M. Zuppiroli, *Energia e restauro. Il miglioramento dell'efficienza energetica in sistemi aggregati di edilizia pre-industriale, tra istanze conservative e prestazionali*, Angeli, Milano, 2013, p. 37

1.2.2 Reframing the Moderns

Docomomo International è un'associazione attiva a livello internazionale fondata ad Eindhoven nel 1988 che, ispirandosi al lavoro intrapreso da ICOMOS¹, si occupa principalmente della documentazione, della conservazione e della valorizzazione degli edifici e dei complessi urbani del Novecento. Per una diffusione capillare della conoscenza del patrimonio, nonché dello studio di strategie di intervento, l'associazione si è dotata di una propria rivista e promuove cicli di dibattiti, incontri e seminari. Tra questi ultimi, il seminario dal titolo di *Reframing the Moderns – Substitute windows and glass*, tenuto a Copenhagen il 20 Maggio 1998, ha visto la partecipazione di circa 55 ricercatori e professionisti provenienti da dieci Paesi di tutto il mondo, che hanno portato esperienze personali, esempi e spunti di riflessione per quanto riguarda l'approccio al restauro dell'architettura del Movimento Moderno, ed in particolar modo dei serramenti, che costituiscono testimonianze preziose non solo per ragioni tecniche ma anche perchè esprimono un valore estetico tipico dell'ideologia di una precisa un'epoca storica.

Prima del ventesimo secolo, infatti, la disposizione dei serramenti nelle facciate degli edifici corrispondeva ad una ritmata e modulare ripetizione di elementi tra loro uniformi che denunciava, all'esterno, la struttura portante interna dell'edificio. La differenza tra le facciate, che apparentemente dunque potevano sembrare tutte molto simili tra loro, non la facevano più soltanto le *textures* dei muri e quindi i materiali costruttivi, ma anche i serramenti con i propri telai, dimensioni e disposizione.

Agli inizi del Novecento il Movimento Moderno scardina i principi tradizionali ed altera la modularità delle facciate. Il serramento, infatti, acquista un ruolo di primaria importanza nella complessità dell'edificio, in quanto rappresenta l'elemento che favorisce l'ingresso di luce naturale così come il regolare ricambio di aria, condizioni considerate ideali per garantire un benessere fisico e psicologico, che comporta dunque una maggior produttività da parte degli utenti. Inoltre, soprattutto per gli edifici che devono assolvere funzioni civili, politiche ed amministrative di grande importanza, l'idea della trasparenza tipica del vetro significa, metaforicamente parlando, una trasparenza comunicativa tra istituzione e cittadini, un dialogo aperto ed onesto. Parallelamente alle nuove idee del Movimento Moderno, anche la diffusione sul mercato dei nuovi materiali da costruzione come acciaio e calcestruzzo permette di realizzare strutture a telaio in contrapposizione alla tradizionale muratura portante. I serramenti, a cui prima veniva destinato uno spazio contenuto e preciso proprio perché non si poteva sottrarre troppa superficie alla struttura che doveva assolvere le funzioni portanti, ora non sono più limitati da vincoli strutturali e vengono progettati con dimensioni via via sempre maggiori, fino ad arrivare alle più recenti sperimentazioni di *curtain wall*.

I serramenti, pertanto, non costituiscono solo un elemento di chiusura tra ambiente interno e spazio esterno, ma diventano il prodotto tangibile di una linea di pensiero, di un processo di lavorazione e di produzione. Per tale motivo, quando si viene costretti dalle norme sul contenimento dei consumi energetici a dover intervenire sull'edificio, spesso sostituendo gli infissi originari con i più performanti prodotti del mercato, non ci si deve concentrare esclusivamente sul rispetto dei requisiti di

1. International Council on Monuments and Sites, istituito nel 1965 con il principale obiettivo di proteggere e conservare gli edifici e i siti storici.

efficienza energetica, ma bisogna porre uguale attenzione anche all'impatto che i nuovi serramenti producono sulla struttura architettonica nel suo complesso.

Il tema delicato sul giusto approccio da adottare nei confronti dei serramenti storici è stato ampiamente dibattuto in sia in contesto nazionale che internazionale e qui di seguito vengono riportati due esempi in cui, a partire da un episodio scatenante, si è attivata una reazione su vasta scala per la protezione e la tutela del patrimonio storico degli infissi.

In Inghilterra, ad esempio, è nato l'*English Heritage*, fino al 1999 noto come *Historic Building and Monuments Commission for England*, con il principale obiettivo di gestire, conservare, registrare e proteggere il patrimonio culturale, storico ed archeologico della nazione. Una delle sue principali campagne di propaganda prende il nome di *Framing Opinions*, nata inizialmente per tutelare le *sash windows*¹ londinesi minacciate da un rapido e sempre più diffuso fenomeno di sostituzione per garantire nuovi ed alti *standard* di efficienza energetica. Secondo l'associazione, questi serramenti, che da sempre hanno rappresentato un elemento caratteristico e caratterizzante dei quartieri in cui si collocavano, non avrebbero potuto essere sostituiti con tale facilità secondo scelte arbitrarie ed individuali dei cittadini con il solo obiettivo di perseguire un mero risparmio energetico ed economico.

Attraverso *meetings*, lezioni, articoli stampa e video divulgativi l'obiettivo principale di *Framing Opinions* è stato quello di dimostrare che i serramenti rappresentano lo stile ed il carattere di un'epoca e ne scandiscono il tempo così come i cambiamenti nella storia della tecnologia edilizia. Gli infissi assumono un ruolo di grande importanza nella facciata di un edificio e la loro sostituzione, ad eccezione che questa non sia estremamente necessaria, comporterebbe un'alterazione del carattere complessivo della struttura, così come la cancellazione di una traccia storica di valore inestimabile. Proprio per la grande eco ottenuta, la campagna di propaganda è stata rinnovata ed ampliata, abbracciando non più solo gli infissi sette-ottocenteschi ma tutti quelli dell'epoca moderna.

Un caso analogo a quello inglese si è individuato in alcuni quartieri di *social housing* di Rotterdam, in cui la sostituzione su vasta scala dei serramenti che ne stava profondamente mutando la fisionomia ha innescato una forte reazione nel Comitato di Revisione cittadino, ostinato a volerne preservare la particolare qualità architettonica.

Del resto, come molto spesso accade nei casi di edilizia residenziale, e soprattutto in quella sociale in cui si dispone di un *budget* ancora più limitato, la sostituzione degli infissi per migliorare l'efficienza energetica della struttura risulta essere la pratica più diffusa in quanto corrisponde all'intervento meno costoso, consentendone comunque garanzia completa e miglioramenti consistenti sia di tipo tecnologico che ambientale.

La peculiarità di questi interventi su vasta scala è che non hanno saputo dialogare tra loro, dando vita ad un *patchwork* di recuperi e di sostituzioni effettuati sulla base di scelte personali ed autonome dei diversi privati.

Nelle aree caratterizzate da edilizia post bellica, invece, i precedenti serramenti in legno proprio per la qualità estremamente scadente del materiale di quegli anni, dovevano essere necessariamente sostituiti. In questo panorama, si può comprendere

1. Serramenti del XVIII e XIX secolo tipicamente londinesi, e poi diffusi nel resto del mondo, realizzati in telaio legno e con un sistema di apertura scorrevole verso l'alto.

comprendere come, per motivi ed esigenze diversi, gran parte dei quartieri cittadini sono stati profondamente trasformati sulla base di interventi poco compatibili e vocati al semplice soddisfacimento di requisiti prestazionali nonché di risparmio economico.

Questa campagna di ricerca e di sensibilizzazione è stata anche molto utile per le industrie di serramenti, che hanno potuto apportare, in fase di realizzazione, piccoli interventi migliorativi ai prodotti, come la modifica al colore dei telai, nonché l'introduzione sul mercato di serramenti in PVC con la tipica apertura scorrevole in senso verticale. Anche le fabbriche di serramenti in metallo si sono sempre più impegnate nella realizzazione di telai dallo spessore sempre più contenuto per emulare il più possibile il *design* dei serramenti metallici originari e tutto questo ha innescato un miglioramento generale della qualità architettonica durante il rinnovamento delle abitazioni pubbliche a Rotterdam, proprio perché le stesse autorità municipali hanno ottenuto i giusti strumenti per conservare lo spirito di quei quartieri.

1.2.3 Casi internazionali

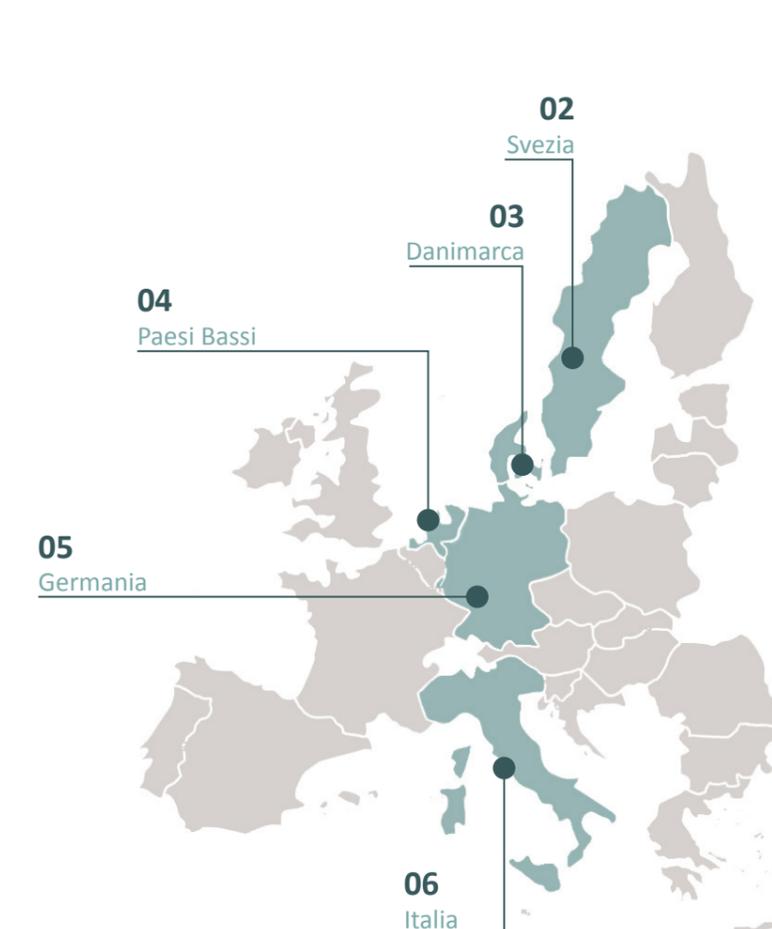
In questa sezione sono stati individuati e mappati numerosi casi a livello internazionale in cui si è affrontato il tema del restauro del moderno, ed in particolar modo dei serramenti moderni. Per ragioni di spazio non è stato possibile trattare tutti i casi, ma si sono selezionati i quattro esempi più significativi, con i rispettivi approcci metodologico-conservativi, nella prospettiva di poter delineare un quadro di intervento il più esaustivo possibile.



01
Illinois
- *Reliance Building*, Chicago

02
Svezia
- *Westman House*, Lund
- *Sveaplan School*, Stoccolma

03
Danimarca
- *Vestersøhus*, Copenhagen
- *Den Hvide Kødby*, Copenhagen



04
Paesi Bassi
- *Centrale Postkantoren*, L'Aia
- *Rietveld's School of Art*, Arnhem

05
Germania
- *Bauhaus*, Dessau
- *Bauhaus*, Weimar
- *Weißer Stadt*, Berlino

06
Italia
- *Casa del Fascio*, Como
- *Grattacielo Pirelli*, Milano
- *Palazzo Novecento*, Torino

LEGENDA :



Reliance Bulding, Chicago



Il *Reliance Bulding* rappresenta per la città di Chicago un vero e proprio *landmark* storico urbano, attestandosi come uno dei primi grattacieli costruiti con soluzioni tecnologiche e strutturali che in un qualche modo anticipano il sistema moderno del *curtain wall*. L'ampio uso dell'elemento vetrato e la riduzione al minimo della muratura esterna sono i due aspetti che caratterizzano maggiormente l'opera di Daniel H. Burnham, l'architetto statunitense membro della Scuola di Chicago.

Nel 1890, al civico 32 di North State Street, venivano costruiti i primi 5 piani l'edificio, con un basamento in *cast-iron* per i primi due piani e su cui si elevava un'ossatura in acciaio con rivestimento in mattonelle di terracotta, chiusa da ampie vetrate. Solo cinque anni più tardi, nel 1895, l'edificio è stato completato con l'aggiunta di altri 10 piani, ripetendo senza nessuna variazione il medesimo modulo architettonico ed enfatizzandone la maglia strutturale.

La pelle in terracotta, oltre ad una semplice funzione decorativa, assolveva lo scopo di rendere più facile la pulizia dell'edificio e di mascherare il telaio dei serramenti per ottenere un sistema unitario ed armonico.

La storia del *Reliance Bulding* nel corso del XX secolo, appare come una serie di interventi peggiorativi che, insieme ad una cattiva manutenzione, non hanno saputo valorizzare l'integrità fisica e materica del bene architettonico. Nel 1941, gli ambienti in affaccio al primo piano sono stati coperti da insegne pubblicitarie che hanno profondamente snaturato l'immagine complessiva dell'edificio. Nel 1950, la cornice lievemente aggettante in copertura del fabbricato è stata rimossa ed i serramenti con i vetri rotti sono stati integralmente sostituiti. I nuovi infissi, con telaio in alluminio ed un montante verticale centrale che seziona la lastra vetrata in due porzioni distinte, sono stati scelti ed installati senza alcuna attenzione al *design* originario, provocando una grave disarmonia nell'immagine complessiva dell'edificio.

A causa del forte inquinamento, anche le chiare facciate in terracotta venivano sempre più coperte da uno strato di fuliggine nera, perdendo la loro caratteristica tonalità originaria. Il destino del *Reliance Bulding* era sempre più a repentaglio, soprattutto a seguito del terribile episodio intorno agli anni Ottanta in cui un gran numero di mattonelle in terracotta si staccarono dalle pareti perimetrali e precipitarono a terra minacciando l'integrità dei pedoni sottostanti. Proprio per questo motivo, nel 1994 la Città di Chicago ha stanziato fondi per il recupero e la riqualificazione dell'edificio.

FASE I

La prima fase del progetto ha visto lo svolgimento di un'analisi conoscitiva del

manufatto e la redazione di un'esauriva relazione tecnica che indagassero in maniera approfondita le vicende storiche costruttive, la scelta dei materiali e delle strategie tecnologiche, per poter elaborare un giusto approccio conservativo all'opera. In particolar modo, grande attenzione è stata posta al sistema del *curtain wall*, traducendosi in un'ispezione di oltre 14.000 piastrelle di terracotta, smontaggi selettivi, test sul materiale, sperimentazioni di tecniche di pulitura, nonché il rilievo dei serramenti. L'indagine ha evidenziato come gran parte dell'edificio fosse sottoposto a terribili sforzi di compressione: lo scorcio del telaio d'acciaio sotto il peso dell'edificio, l'espansione della muratura in terracotta dovuta alle forze ambientali e la mancanza di mezzi all'interno della facciata continua per accordare queste forze contrarie. È stato inoltre appreso che l'operazione di rimozione e sostituzione delle piastrelle ammalorate avrebbe comportato danni ai pannelli adiacenti.

PIASTRELLE IN TERRACOTTA

Per spingere gli sforzi all'interno della facciata continua, si è dunque progettato di collocare giunti di dilatazione orizzontale temporanei sotto la linea di pavimento di ciascun piano del *Reliance Bulding*, partendo dall'alto in direzione verso il basso, in corrispondenza di tutti gli angoli sporgenti dell'edificio.

Una volta completati i giunti di dilatazione ed allentate le tensioni, si è potuti procedere con il restauro delle mattonelle in terracotta: sono state rimosse circa 3.000 piastrelle, delle quali 1.000 sono state recuperate e reinstallate e 2.000 circa sostituite con elementi fabbricati *ex novo*.

Insieme a tale ripristino, si è progettato di ricostruire in copertura l'originaria cornice, non più in terracotta a causa del costo proibitivo, ma in lega di alluminio, conferendole maggiore leggerezza, durabilità e facilità di manutenzione.

SERRAMENTI

Il sistema vetrato del *Reliance Bulding* è modulare e si compone di un'ampio infisso centrale non apribile e serramenti laterali con sistema di apertura verticale verso l'alto. L'ampia vetrata mediana è costituita da una lastra lucida *plate glass* installata all'interno della griglia strutturale in ghisa, mentre i serramenti a fianco sono stati sapientemente collocati in posizione arretrata rispetto al rivestimento in terracotta, proprio per occultare il più possibile il telaio in legno.

Nella prospettiva di rendere l'edificio più prestante sotto il profilo energetico e per uniformare tutti i serramenti, in parte già sostituiti nel corso del XX secolo con tipologie decisamente poco compatibili con l'immagine progettuale originaria, è stato elaborato un intervento di alloggiamento di nuove lastre vetrate più isolanti e la progettazione di un sistema di serramenti non apribili per contenere il più possibile le dispersioni termiche.

VETRATA CENTRALE

Le sfide maggiori nel dover sostituire le ampie vetrate centrali hanno consistito in primo luogo nella difficoltà di riprodurre una tipologia di vetro ormai non più in produzione e di utilizzare quindi un prodotto che per conformazione e caratteristiche avrebbe creato un differente effetto nell'immagine complessiva delle facciate. In secondo luogo, sebbene il progetto e l'indagine strutturale consentissero la presenza di lastre vetrate di tali dimensioni nell'edificio, l'industria statunitense ne richiedeva tuttavia un trattamento di tempra e rinforzo termico per aumentarne la resistenza

meccanica e la tenuta al carico vento, aspetti di fondamentale importanza per la corretta progettazione di un qualsiasi grattacielo.

Un vetro temperato appare però sia per colorazione che per forma estremamente differente rispetto ad un *plate glass* e, proprio in seguito alla lavorazione sotto rulli paralleli, presenta in superficie un lieve motivo a strisce, percepibile all'occhio umano sotto precise angolazioni. Il *team* di progetto è pertanto riuscito ad ovviare a tale inconveniente individuando un'azienda di serramenti disposta a produrre lastre vetrate senza il processo di tempra, raggiungendo pertanto l'obiettivo di installare nel telaio esistente due nuovi pannelli separati da un'intercapedine d'aria. Non si è però risolto l'inevitabile fenomeno di doppia riflessione, dovuto al nuovo sistema di vetri isolanti che producono un riflesso leggermente sfocato rispetto alla marcata riflessione che sarebbe stata invece emessa da un singolo vetro.

La scelta di alterare il meno possibile la consistenza e l'estetica del manufatto ha imposto, in fase di progetto, di eseguire soltanto la ricollocazione dei vetri e non la sostituzione integrale di tutti i serramenti. Il telaio originario metallico prevedeva uno spessore di 1,25 cm per ospitare la lastra singola, che veniva poi fissata alla struttura tramite un fermo interno in legno avvitato nella ghisa. Questo intelligente ma arcaico sistema è stato quindi sostituito con l'inserimento di un secondo sottile telaio in alluminio installato all'interno della struttura in ghisa ed isolato tramite guarnizioni in silicone. Lo spessore del telaio in alluminio è stato sufficiente per potervi collocare il nuovo pacchetto vetrato e, grazie alle ampie dimensioni di questi serramenti, non si sono modificate sensibilmente le proporzioni tra telaio ed elemento vetrato.

Il prodotto finale, allora, appare come sintesi e compromesso tra l'esigenza di un miglioramento prestazionale e la volontà di tutelarne l'immagine originaria. Il nuovo serramento è composto dal telaio metallico originario e due nuove lastre di vetro indurito, e non temperato, che producono un lieve effetto di doppia riflessione, che si potrebbe definire quasi impercettibile dall'occhio poco allenato di un comune osservatore.

SERRAMENTI CON APERTURA SCORREVOLE

Le sottili dimensioni delle guide e dei montanti in legno non hanno permesso di installare un nuovo pacchetto vetrato come nel caso dei serramenti precedenti. Si è pertanto pensato di sostituire le *sash windows* con nuovi sistemi non apribili composti da vetrocamera e due lastre vetrate. Con questa strategia si sarebbe intervenuti ampliando lo spessore del telaio solo nella misura sufficiente per ospitare la doppia lastra, senza prevedere un ulteriore spessore per ospitare il sistema di apertura scorrevole verso l'altro, che avrebbe comportato una sensibile alterazione delle dimensioni e delle proporzioni originarie.

Tuttavia, tale impresa è stata complicata dal fatto che nessun produttore di serramenti volesse modificare i propri dettagli di produzione *standard* per realizzare 220 infissi dalle dimensioni e dalle forme così personalizzate. Dopo aver trovato finalmente un'azienda volontaria, la nuova difficoltà ha consistito nel progettare un sistema efficace di apertura dei serramenti: dal momento che gli infissi sostitutivi avrebbero avuto un'anta fissa, il binario d'incontro dell'anta superiore e inferiore è stato congiunto meccanicamente diventando pertanto insolitamente sottile e abbastanza robusto da consentire lo scorrimento del vetro superiore senza causare deformazioni.

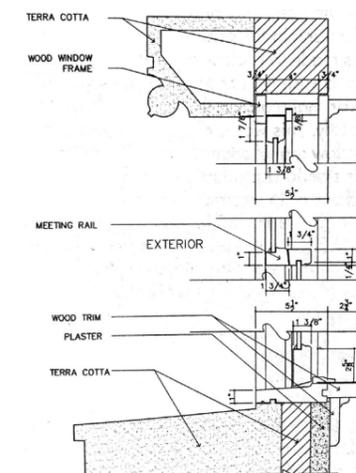


Fig. 1: Sezione del serramento originale con lastra di vetro singola.

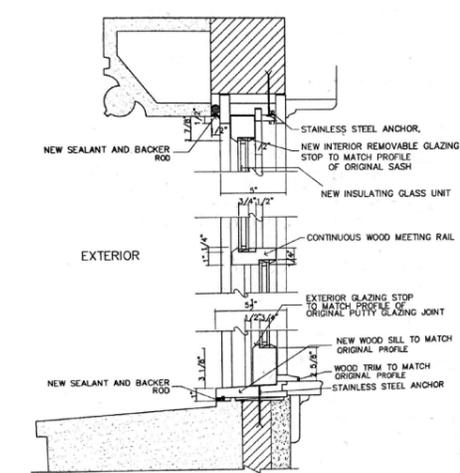


Fig. 2: Sezione del serramento restaurato con doppia lastra vetrata ed intercapedine d'aria.

Il *team* di progetto, avendo rivolto fin dal principio un'attenzione ed una sensibilità particolari all'intima natura degli infissi storici, ha saputo elaborare una soluzione innovativa ed ambiziosa per cercare di mantenere il più possibile inalterato il significato e l'aspetto di tali serramenti, nonché le profonde relazioni tra architettura ed elemento vetrato.

FASE II E CONCLUSIONI

La seconda fase di restauro è iniziata nel 1997 e si è conclusa nel 1999 con la rifunzionalizzazione dell'edificio nel nuovo piccolo *boutique hotel Burnham*. Durante questa fase sono stati restaurati la cornice in filigrana di granito e bronzo della vetrina al piano terreno, la *hall* in marmi colorati al primo piano e le porzioni metalliche decorative dell'antico ascensore e del corrimano delle scale.

Il recupero ha anche riguardato gli storici pannelli di rivestimento in marmo di Carrara, le originali porte in legno di mogano e la bellissima decorata scala metallica. L'intervento complessivo del *Reliance Bulding* ha cercato di orientarsi il più possibile verso un recupero conservativo, per cercare di tutelarne la consistenza materica, l'immagine, i dettagli, la storia e i significati simbolici.

Weißer Stadt, Berlino

A seguito della prima guerra mondiale, per far fronte alla progressiva carenza di abitazioni, la città di Berlino acquista nel distretto di Reinickendorf ampi appezzamenti di terreno destinati a diventare aree residenziali e spazi verdi. Il complesso abitativo viene così progettato tra il 1929 e il 1931 dagli architetti Wilhelm Büning, Rudolf Otto Salvisberg e Bruno Ahrends e prende il nome di *Weißer Stadt*, o Città Bianca, proprio per rievocare il colore delle facciate degli edifici che lo compongono. L'ampio sistema residenziale, oggi riconosciuto come Patrimonio Mondiale dell'UNESCO, insiste sui lotti che si sviluppano sui lati est ed ovest del lungo asse viario della Arosener Allee, quello orientale con andamento radiale, quello occidentale che segue longitudinalmente lo sviluppo stradale. Il tessuto abitativo viene ricucito attraverso la Bridge House, l'edificio su pilotis che taglia trasversalmente la Arosener Allee e che si attesta come edificio chiave di tutto il progetto.

L'intero complesso si compone di edifici di tre o quattro piani e conta complessivamente 1.286 appartamenti, una centrale elettrica per il riscaldamento, due strutture di lavanderia, una scuola materna, strutture educative e sanitarie, una farmacia e 24 piccoli negozi al dettaglio.

I RESTAURI

Nel corso del tempo si sono succeduti due importanti interventi di riqualificazione nella Città Bianca. Il primo si è svolto tra il 1949 e il 1954 ed ha riguardato la ricostruzione degli edifici colpiti dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale, il secondo invece, avvenuto nel 1982, si è principalmente concentrato sulla riqualificazione degli edifici per rispondere ai nuovi requisiti di prestazione energetica, anche a fronte delle lamentele degli inquilini per i costi delle bollette sempre meno sostenibili. In effetti, la necessità di affittare a basso costo ha comportato la progettazione di appartamenti dalla metratura contenuta, con ambienti di servizio essenziali e una, o massimo due, camere da letto. Forse, proprio per questa mancanza di spazio, le verande in affaccio sul giardino di ogni edificio, progettate inizialmente come una zona cuscinetto tra spazio interno ed ambiente esterno, sono state poi sempre più sfruttate dagli inquilini come estensione della propria zona living, dando origine ad uno spazio comune che però, a causa dell'uso improprio, ha comportato spese di manutenzione per gli infissi sempre maggiori. I telai in acciaio, oltre a presentare degradi diffusi dovuti a corrosione, non aderendo più molto bene al muro, hanno permesso infiltrazioni d'acqua con consistenti danni ai muri interni, alla pavimentazione, nonché alla struttura portante dei fabbricati.

In fase di recupero, dunque, è stata posta grande attenzione alla questione dei

serramenti, valutando da un lato la loro ormai completa inefficienza tecnologica, ma dall'altro il loro importante valore storico e culturale.

FASE I

Si è pertanto preliminarmente redatto un esaustivo inventario in cui sono state elencate le tipologie di serramenti, le parti in acciaio danneggiate, le misure e le dimensioni degli infissi, nonché i colori delle vernici impiegate per ridipingere i telai, corredato da una scrupolosa relazione con l'ammontare dei danni complessivi agli infissi e la stima esatta delle spese di riqualificazione. Sebbene la soluzione migliore sarebbe stata quella di sostituire completamente tutti i serramenti originari con i nuovi prodotti sul mercato, si sarebbero violati i principi di conservazione dell'edificio storico. La possibilità che vi fossero industrie di serramenti disposte a ricalcarli il più fedelmente possibile nel design e nei materiali era fuori discussione, così come quella di riprodurli artigianalmente, che avrebbe comportato un eccessivo dispendio di tempo e di denaro.

I SERRAMENTI DELLE VERANDE

Per quanto riguarda i serramenti delle verande della *Weißer Stadt*, si è pertanto deciso di recuperare il telaio originario e di sostituire la porzione vetrata con nuove lastre dal valore migliorato di trasmittanza termica. Per prima cosa si sono rimossi dai telai i numerosi strati di vernice applicati

nel corso degli anni, in modo tale da lasciare la superficie libera per la rimozione della ruggine. Nei casi di degrado consistente con erosioni profonde del materiale, le zone interessate sono state riparate saldando nuove porzioni metalliche. Dopo l'applicazione di un primer anti-ruggine è stata applicata una mano di vernice colorata della stessa tonalità dell'originale, per riprendere quel gioco di contrasto con le pareti bianche.

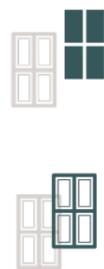
È stata poi avviata una collaborazione con aziende produttrici di serramenti per cercare di predisporre sui telai originari giunti e sistemi di inspessimento della sezione in modo tale da ospitare un vetrocamera e nuovi doppi vetri. Per ridurre il livello di umidità interna e quindi il fenomeno della condensa, è stata garantita una leggera ventilazione continua nel volume che ospita le verande, attraverso l'omissione di guarnizioni a labbro nei serramenti superiori.

CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che i benefici conseguiti a seguito dell'intervento, che sono stati davvero significativi, si possono apprezzare più da un punto di vista conservativo, che economico, tanto che, per l'appunto, il costo complessivo per il recupero dei serramenti è stato quasi pari all'80% della spesa che si poteva contrarre per acquistarne dei nuovi, non garantendo, tra l'altro, nemmeno un'aspettativa di vita minima di trent'anni. Tuttavia, sebbene gli infissi rinnovati non corrispondano esattamente ai modelli storici, in quanto dispongono di nuovi vetri ed un telaio la cui sezione è più spessa di 10 mm, mantengono inalterate le proporzioni tra elemento vetrato ed intelaiatura, nonché la stessa geometria dettata dal sistema di apertura a doppio battente.

Il caso berlinese non vuole imporsi come unico metodo di intervento sui serramenti storici, ma cerca di stimolare riflessioni sulla possibilità che, anche di fronte a serramenti di grande pregio, si possano migliorare le prestazioni energetiche senza comprometterne il design originario.

Sveaplan School, Stoccolma



Nel 1936 veniva indetto nella città di Stoccolma un concorso pubblico per la realizzazione della nuova scuola superiore femminile, la *Sveaplan School*, vinto dai giovani architetti Nils Ahlbon e Helge Zimdahl. L'edificio ha per lungo tempo rappresentato non solo un esempio maestrale di architettura del Movimento Moderno, ma anche un importante simbolo di emancipazione femminile in Svezia. La scuola è diventata presto emblematica per l'innovativo stile di vita che si conduceva al proprio interno ed è stata fin da subito concepita per assicurare luce ed aria fresca alle proprie utenti, con l'auspicio di garantire loro le migliori condizioni per un corretto apprendimento, in modo tale da essere sufficientemente istruite per poter ricoprire incarichi pubblici al pari degli uomini. Nel 1921, infatti, le donne svedesi hanno ottenuto il diritto di voto e, poco tempo dopo, una nuova legge ha permesso loro di ricoprire incarichi nell'amministrazione governativa anche se, nei primi tempi, poche donne riuscivano a fare carriera proprio a causa della loro poca istruzione.

La *Sveaplan School* si inserisce nel gruppo di quelle cinque scuole di Svezia nate dall'intento di accelerare questo processo di emancipazione, e vanta il pregio di essere stata la prima ad essere costruita.

Anche il *design* dell'edificio costituiva uno strumento educativo: i serramenti e i vetri possedevano un ruolo centrale nel progetto per consentire il maggior ingresso di luce e l'aria, e metaforicamente parlando di ragione e chiarezza, individuati come requisiti e obiettivi espliciti per una corretta istruzione. Infissi di ampie dimensioni erano studiati per permettere alla luce naturale di filtrare e riverberarsi sul soffitto e sulle pareti degli ambienti interni, appositamente intonacati di bianco per rendere ancora più luminoso lo spazio.

A metà degli anni Settanta, la *Sveaplan School* è stata dismessa con la naturale caduta di quella specifica destinazione d'uso ma, per salvaguardare la struttura dal degrado e dall'abbandono, si è pensato ad un riuso adattivo, che coinvolgesse il collocamento di nuovi uffici negli spazi prima destinati alle aule, reputando che la rifunzionalizzazione della scuola superiore in nuove aree di lavoro per l'Università fosse un buon metodo per tutelarne la consistenza e la storia dell'edificio.

I SERRAMENTI

I serramenti esistenti erano costituiti da un telaio in legno ed un vetro singolo. Data la necessità di migliorarne la trasmittanza termica senza comprometterne la forma e l'aspetto complessivo, si è cercato un compromesso che mettesse d'accordo gli investitori e i restauratori del progetto. Nel corso degli anni '60 del Novecento, i telai in pregiato legno *teak* dei serramenti al piano terra sono stati ridipinti con una vernice non adatta al materiale sia per colore che per composizione chimica, danneggiando gli elementi e distruggendo la sottile relazione tra i volumi.

Nell'assoluta certezza che questa tipologia di infissi non fosse stata concepita insieme a tutti gli altri ma come un elemento autonomo e distintivo dell'edificio, si è provveduto a ripulirli dalla dannosa vernice e a ridare loro il giusto carattere in legno di *teak*. I telai restaurati sono stati poi aggiustati per poter ospitare il nuovo pacchetto vetrato isolante, senza subire consistenti alterazioni alla forma originaria. Per quanto invece riguarda i serramenti ai piani superiori, dopo aver convinto gli investitori dell'importanza di mantenere i telai lignei originari, sono stati restaurati e le parti in legno maggiormente danneggiate sono state ricostruite, prevedendo per le riparazioni un materiale molto prestante, con un'alta concentrazione di resina.

Sebbene il sistema vetrato sia stato in gran parte recuperato, le condizioni di degrado avanzato di circa la metà dei davanzali e delle estremità inferiori degli stipiti ne hanno imposto una sostituzione integrale. Dopo l'intervento, davanzali e stipiti sono stati trattati con una soluzione protettiva con olio di semi di lino su cui si sono successivamente applicate diverse mani di vernice, sempre a base di semi di lino.

Ampi sforzi sono stati anche destinati al mantenimento del sottile tealio in acciaio delle porte. L'unica modifica percepibile, che tuttavia non ha sensibilmente alterato il *design* iniziale, ha consistito nell'installazione di un sistema di apertura automatica delle porte attraverso delle carte magnetiche. Il minuzioso lavoro realizzato da un fabbro artigiano competente e qualificato ha permesso minimi interventi di *restyling* e le porte sono state in ampia misura preservate.



Fig. 3: Dettaglio dell'originario serramento in legno ai livelli superiori.



Fig. 4: Dettaglio del serramento restaurato in legno *teak* al piano terra.

NUOVE FUNZIONI

L'operazione più difficile in seguito alla decisione di rifunzionalizzare l'edificio si è riscontrata in prima battuta trattando i serramenti i quali, se prima presentavano le stesse caratteristiche per tutto il fabbricato, in fase di progetto avrebbero invece dovuto rispondere a requisiti prestazionali diversi a seconda della funzione insediata. Per quanto, ad esempio, riguarda la facciata sud, non tutti gli ambienti, specularmente su ogni piano, presentavano la stessa destinazione d'uso. Le precedenti aule didattiche al primo piano dovevano infatti ospitare nuove sale riunioni, mentre le stanze ai superiori tre livelli erano trasformate in uffici.

Per prima cosa il *team* di progetto si interrogò su come adeguare l'aggancio delle nuove pareti divisorie interne ai sistemi vetrati esistenti. L'unica soluzione sembrava essere quella di realizzare in vetro la parte terminale delle partizioni, anche se questo avrebbe comportato un'alterazione sostanziale dei serramenti, dovendo rimuovere

una parte del battente ed installare nuove cerniere.

Secondariamente, per controllare il rumore esterno e garantire adeguati *standards* acustici per il corretto svolgimento delle attività negli uffici, il vetro collocato più esternamente in ciascun telaio è stato mantenuto, mentre si sono installate nella scanalatura più interna due nuove lastre dallo spessore di 3 e 4 mm.

Infine, per ridurre il guadagno di calore, sono stati progettati sistemi di schermatura esterna ed un impianto di raffreddamento meccanico è stato aggiunto nei locali maggiormente esposti alle alte temperature.

LUCE NATURALE E ISOLAMENTO ACUSTICO

Il progetto dell'ex *Sveaplan School*, ponendosi in linea con la filosofia di pensiero del 1936, ha considerato le condizioni di *comfort* e benessere *indoor* quali prerogative assolute attorno cui sviluppare l'intero intervento di riqualificazione.

Tutti gli uffici e gli ambienti di lavoro, nella prospettiva di risultare percettivamente più ampi, sono stati chiusi da partizioni il più possibile vetrate, prevedendo tuttavia anche porzioni opache in cui alloggiare scaffalature e mensole per libri e pc.

Dove i nuovi tramezzi incontrano il corridoio, è stato pensato di mantenere solo una fascia vetrata della struttura originaria, ad enfatizzare la linearità dello spazio e garantire la diffusione della luce tra gli ambienti.

Per quanto riguarda la schermatura solare è apparso necessario installare dispositivi che non compromettessero l'immagine complessiva della facciata, scegliendo una tonalità di colore che richiamasse il più possibile quella della copertura dell'edificio. Sono stati inoltre progettati anche i bulloni di rinforzo, per proteggere l'intero sistema dall'azione del vento nel caso in cui il controllo automatico del serramento risultasse fuori servizio.

Accanto al miglioramento delle condizioni termoigrometriche, un altro aspetto da considerare ha riguardato il controllo del rumore. Per una maggiore insonorizzazione, soprattutto per quanto riguarda la sala riunioni al primo piano, è stato installato un secondo infisso interno con telaio in acciaio e vetro stratificato dello spessore complessivo di 12 mm. L'impianto di climatizzazione, pensato per provvedere sia al raffrescamento che al riscaldamento, è stato collocato sotto i nuovi serramenti, in sostituzione ai precedenti radiatori.



Fig. 5: Dettaglio del secondo infisso interno nella sala riunioni.

CONCLUSIONI

L'obiettivo principale del recupero della *Sveaplan* di Stoccolma è stato quello di progettare un edificio migliorato che potesse portare sempre con sé i tratti distintivi ed i valori che da sempre hanno caratterizzato i suoi ambienti, regalandogli la possibilità di continuare a vivere nel tempo.

In questa ottica, fondamentale doveva apparire il mantenimento della struttura architettonica così come degli infissi originali. Il primo intervento ha consistito dunque nel recupero dei telai in legno, in quanto la loro sostituzione avrebbe provocato una perdita significativa di molte qualità del progetto originario. In secondo luogo, è stata perseguita la politica della conservazione e ripristino della luce naturale come fonte primaria di illuminazione, secondo la concezione del *design* originario dell'edificio, rivelandosi quale principio guida da adottare per qualsiasi intervento.

Sono state poi individuate soluzioni intelligenti per proteggere gli ambienti interni dal rumore, dall'inquinamento e dall'esposizione diretta al calore esterno, mantenendo inalterata la facciata ed intervenendo dall'interno, in modo tale che le modifiche non fossero immediatamente percepibili. La lastra di vetro esterna esistente è stata dunque preservata, mentre all'interno è stato aggiunto un secondo sistema di lastre *float glass*.

Il restauro dei serramenti ha giocato un ruolo chiave nel processo di salvaguardia, miglioramento e adeguamento dei valori del Movimento Moderno tramandati nell'architettura della *Sveaplan*: sono stati studiati dettagli e strategie in modo tale da causare il minor impatto visivo possibile, in un *design* contemporaneo che è rimasto vicino allo spirito originario dell'edificio.

Den Hvide Kødby, Copenhagen



Il *Den Hvide Kødby*, o Mercato della Carne, è stato costruito tra il 1932 e il 1934 nel cuore della città di Copenhagen per ospitare tutte le attività connesse alla trasformazione, lavorazione e vendita della carne. L'ampio edificio, a doppia altezza con una superficie complessiva di oltre 8.000 m², prevedeva una struttura portante in pilastri di cemento armato, su cui poggiava una copertura metallica a shed. All'interno si collocavano un'area per il macello, diverse celle frigorifere, un dipartimento di controlli veterinari ed un ampio spazio centrale per la vendita all'ingrosso, libero e continuo, su cui si affacciavano i negozi per i singoli macellai e i piccoli locali per la lavorazione della carne.

Dopo circa 60 anni di attività, il Mercato della Carne necessitava di alcuni interventi di restauro per rispondere alle nuove normative europee che imponevano un miglioramento delle *performance* di tali ambienti, in termini di controllo delle condizioni termoigrometriche, igieniche e di resistenza ai parassiti.

I SERRAMENTI ESISTENTI

L'originario sistema finestrato del *Den Hvide Kødby* è caratterizzato da ampie fasce vetrate dallo sviluppo orizzontale, realizzate con profili di acciaio laminato. I montanti verticali delle vetrine sono posizionati ad interasse costante di 1m e sagomati ad U per ospitare ad intervalli regolari l'aggancio delle pareti divisorie interne alla facciata esterna, assecondando l'idea progettuale secondo cui nell'edificio non dovevano esserci setti interni ma solo partizioni mobili, nella prospettiva di creare un'ampio spazio unitario e flessibile all'uso.

Le vetrine sono realizzate con semplici profili sagomati a L e a T e, poggiando su uno zoccolo in cemento armato, si collocano in posizione sopraelevata di 40 cm rispetto al piano stradale. La lastra vetrata è fissata tramite blocchetti di legno direttamente avvitati al profilo metallico. Intorno alle bucatore del piano terra è stata progettata una piccola nicchia per poter alloggiare tutte le porte d'ingresso in posizione lievemente arretrata, in modo che fossero sempre allineate alla facciata principale. Le porte sono realizzate con profili a sezione rettangolare e si compongono di due distinti pannelli: una piccola finestra sulla sommità, che si apre dall'interno, e permette all'utente di gestire manualmente il ricambio dell'aria; un sistema a grata all'esterno che, invece, ha la funzione di proteggere il serramento ed evitare dunque il furto con scasso.

MANTENERE O SOSTITUIRE

Durante una prima indagine conoscitiva del manufatto, tutti i serramenti come finestre, porte e vetrine, riversavano in un consistente stato di degrado e corrosione. In particolar modo, le vetrate al piano terra erano costituite sia da elementi metallici che da porzioni in legno e le nuove normative vigenti non permettevano l'uso di

materiale organico in tali tipologie di negozi.

Pertanto, una prima proposta, avanzata dal Dipartimento per l'Edilizia Storica della *Naturstyrelsen*¹, suggeriva il restauro dei serramenti originari e l'alloggiamento di un secondo infisso, più performante e isolante, sul filo interno della facciata. Dal momento che l'ipotesi è stata presto negata dagli agenti veterinari, nel timore che i macellai non si preoccupassero in futuro di una corretta manutenzione e pulizia dell'intercapedine tra i due infissi, si doveva ricercare una nuova strategia di intervento.

L'apparato finestrato riversava in condizioni così tragiche che risultava sempre più difficile efficientare l'edificio mantenendone gli infissi esistenti. Il Dipartimento ha cercato, anche a livello internazionale, di ottenere dei nuovi serramenti in acciaio, della stessa tipologia di quelli del *Meat Market*, senza tuttavia individuare alcun produttore che li importasse in Danimarca e ne desse una garanzia come richiesto dal Comune.

Dopo i numerosi sforzi senza risultato e dopo aver valutato a lungo, il Dipartimento di *Historic Building* danese ha acconsentito all'integrale sostituzione dei serramenti, a patto che si cercasse di riprodurre il più fedelmente possibile il *design* originario.

UNA SOSTITUZIONE MODERNA

Nella prospettiva di rispettare fedelmente i requisiti normativi, gli agenti veterinari suggerivano l'installazione di nuovi serramenti con telaio in PVC ed un sistema isolante a doppia lastra vetrata. La prima grande difficoltà ha consistito nel tentare di riprodurre quel delicato arrotondamento degli angoli, caratteristico dei precedenti telai in legno. Se l'idea iniziale di utilizzare un sistema *standard* in alluminio è stata presto abbandonata, si è però pensato di rivolgersi alla nota compagnia danese di serramenti in alluminio, la *H.S. Hansen*, nella speranza di trovare una soluzione efficace.

Una prima proposta consisteva nell'impiegare gli infissi *standard* dell'azienda installandoli dall'interno e non più dall'esterno. Questa soluzione non solo appariva inadeguata per una corretta manutenzione, ma conferiva anche un'aspetto troppo "piatto" alla facciata esterna dell'edificio, che invece risultava assai più dinamica quando gli angoli arrotondati dei precedenti serramenti creavano un motivo di bassorilievi ed enfatizzavano i contrasti tra pieno e vuoto.

Una seconda proposta, per dare dunque più enfasi al dettaglio angolare, ha elaborato un sistema di congiunzione tra i due telai adiacenti di dimensioni ampie e marcate: il sistema di assemblaggio è stato studiato per presentare all'esterno angoli convessi ma la costruzione interna dei profili angolari presentava ancora molte criticità.

La terza proposta prevedeva il montaggio dei serramenti dall'esterno, dividendo in due sistemi distinti l'installazione delle lastre di vetro. Il meccanismo di schermatura solare posto sulla sommità delle vetrine, impossibile da conservare dato l'accumulo di guano dei piccioni ed altri fenomeni di degrado avanzato, è stato sostituito con un sistema assai simile per aspetto e principio di funzionamento.

1. Agenzia del Ministero dell'Ambiente e dell'Alimentazione della Danimarca, che si occupa delle attività nelle foreste, nelle aree naturali e lungo le coste della Danimarca.

CONCLUSIONI

Tutte queste proposte hanno progressivamente dato origine ad una soluzione finale che riunisse, in maniera più articolata e progettata, tutte le esigenze già espresse nelle precedenti versioni. Le lastre di vetro sono state dunque installate dall'esterno e montate in maniera non più distinta ma organica, aumentando di spessore e dimensioni il telaio, in modo tale da caratterizzare maggiormente il dettaglio angolare e rendere più forte il gioco di rilievo in facciata.

Al termine del progetto l'ambiziosa sfida che consisteva nel dotare di nuovi pacchetti vetrati isolanti un edificio moderno a vocazione industriale, è stata vinta con successo, preservandone il più possibile l'aspetto originario nel suo complesso e garantendone l'adeguamento alle nuove normative sia in termini di efficienza energetica che in termini di requisiti igienico sanitari.

Oggi l'edificio rifunzionalizzato appare come un grande polo attrattivo vocato alla creatività e alla socialità, con gallerie, ristoranti, caffetterie e piccole imprese, nonché studi di architettura.

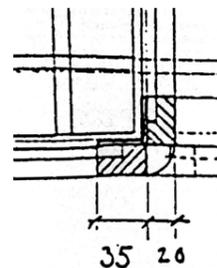


Fig. 6: Dettaglio del serramento esistente.

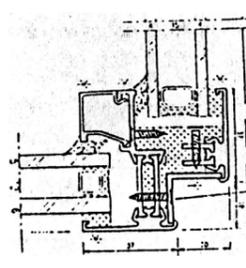


Fig. 7: Dettaglio della terza versione di progetto.

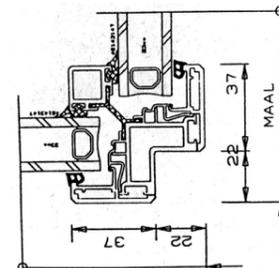


Fig. 8: Dettaglio dell'ultima versione di progetto.

1.2.4 Conclusioni

A partire dal XX secolo, parallelamente alla diffusione delle nuove industrie di acciaio e di cemento armato che consentono di costruire strutture sempre più snelle e leggere, anche le fabbriche di serramenti cominciano ad irrobustirsi, soprattutto grazie al contributo dei nuovi principi del Movimento Moderno, che hanno saputo dare nuovo valore e significato ai concetti di luminosità e trasparenza. Grandi lastre vetrate, perfino curve, modellate con sistemi differenti, vengono realizzate nelle industrie di questi anni sperimentando nuovi sistemi di produzione e nuovi metodi di lavorazione. L'affinamento delle conoscenze e della τέχνη procede inarrestabile fino agli anni Settanta, facendo sì che i nuovi sistemi di produzione si sostituiscano a quelli passati e che nuovi macchinari per la lavorazione vengano impiegati in fabbrica, con la conseguente dismissione di quelli precedenti. Nel corso del tempo, con l'introduzione di normative sempre più cogenti sulla sostenibilità ambientale, lo sviluppo di questo settore si è poi maggiormente orientato sul contenimento delle dispersioni termiche e pertanto, oggi, i serramenti tradizionali non sembrano più adatti a soddisfare gli attuali requisiti di prestazione energetica. Se per le nuove costruzioni, dunque, si provvede all'impiego dei serramenti più performanti e innovativi, nel caso delle riqualificazioni di edifici storici, l'attenzione dev'essere posta non soltanto all'efficienza energetica ma anche alla tutela e alla valorizzazione della preesistenza.

I serramenti storici sono stati progettati sulla base di precise proporzioni tra vetro e telaio, tra telaio e architettura, tra pieno e vuoto, tra luce ed ombra, tra interno ed esterno e la loro sostituzione potrebbe comportare una significativa perdita di sensibilità dell'espressione architettonica nel suo complesso.

Il tema delicato relativo alla loro conservazione in quanto preziose testimonianze culturali, viene tuttavia complicato da un lato, dalla consapevolezza che, in fase di restauro, si dovrebbe replicare un prodotto che prevede materiali, tecnologie nonché macchinari di produzione che oggi non sono più disponibili, e dall'altro, che ancora non vengono garantiti incentivi economici ai grandi produttori di vetro per realizzare i serramenti *ad hoc* richiesti nei diversi progetti di recupero.

Sta tuttavia nella scala del progetto, nella disponibilità delle persone e dei margini di intervento, nonché dal *budget* a disposizione, cercare di perseguire il miglior risultato in termini di benefici compiendo il minimo intervento di compromissione.

In fase di riqualificazione energetica, allora, gli interrogativi si fanno sempre più difficili: sarebbe meglio evitare alterazioni significative ai serramenti con il rischio di mantenere il problema dell'inefficienza termica, oppure inserire nuovi infissi con il rischio di perderne l'immagine storica? Sostituire il vetro singolo con un sistema a vetrocamera non compatibile con lo spessore originario del telaio, sicuramente più pesante e quindi più gravoso per le capacità di resistenza strutturale complessive, oppure prevedere l'inserimento di un secondo infisso interno, costituendo un'ampia intercapedine termica tra i due serramenti?

Se le domande da porsi sono molteplici, anche la soluzione da adottare rappresenta ancora oggi una questione aperta. L'importanza del serramento risiede nella sua possibilità, forse un po' romantica, di rappresentare un elemento di connessione tra l'ambiente esterno e quello interno, creando una continuità di spazio che sappia assicurare una percezione positiva e di comfort agli utenti. La forma, le dimensioni, i materiali così come il sistema di apertura di un serramento sono tutti aspetti unici ed

irripetibili, di cui oggi la conservazione non dovrebbe intendersi come mera attività di ricostruzione, quanto piuttosto come occasione per avvicinarsi all'idea progettuale del passato con soluzioni tecnologiche contemporanee.

In conclusione, se in letteratura la questione dei serramenti prescinde completamente dai costi dei consumi energetici e da qualsivoglia componente economica, in generale il tema del moderno, con le sue specifiche problematiche, viene affrontato in modo residuale, risultando ancora marginale nel dibattito o, perlomeno, non venendo ancora trattato con la dovuta attenzione.

Il restauro deve dunque riuscire a garantire la preservazione dei caratteri identitari del patrimonio moderno ed al contempo confrontarsi sia con il *comfort* che con gli aspetti economici e di sostenibilità ambientale, due aspetti questi tutt'altro che indifferenti e difficili da eludere.

1.3 La questione del riuso

1.3.1 Introduzione al tema

Ogni progetto di architettura viene formulato e pensato per poter rispondere ad esigenze funzionali precise. Ogni epoca storica, nell'utilizzare un bene, tende a fissarvi indelebilmente le proprie necessità, le proprie aspirazioni e i propri valori culturali, arricchendo l'opera architettonica di significati simbolici ed aspetti comunicativi ed interpretativi. Per tale ragione, un fabbricato che ha perso qualsiasi tipo di funzione ci appare vuoto ed è ormai prerogativa comune quella di restituirgli nuova vita in modo tale da trasmettere alle generazioni future la sua interpretazione come oggetto di valore.

Il primo principio della Conservazione, come si accennava, impone di tutelare ogni testimonianza storica ma questo, alle volte, condiziona ogni possibilità di riuso del manufatto. Infatti, se da un lato la consistenza materica viene salvaguardata, il forte limite imposto alla trasmissibilità ai posteri conduce il bene architettonico ad una "estraniazione culturale" ed ad un inevitabile abbandono. Il progetto di conservazione deve dunque proteggere e custodire l'intima essenza del manufatto ma al tempo stesso riproporlo alla collettività attraverso un riuso compatibile.

Il riuso adattivo consiste nel recupero di fabbricati o siti dismessi per convertirli a nuove funzioni ed utilizzi, differenti rispetto a quelli per cui sono stati progettati in relazione alla mutazione del contesto. Il tema, oggi molto vasto ed articolato, coinvolge tutte le tipologie edilizie anche se ultimamente sta progressivamente crescendo l'attenzione posta ai vuoti urbani degli ex complessi industriali, casi in numero sempre più frequente, che affondano le proprie radici storiche in quel fenomeno che ha principalmente caratterizzato i due secoli scorsi. Le città che in Italia, in Europa e più in generale nel mondo, hanno conosciuto un forte sviluppo industriale, sono state poi colpite da una crisi economico-produttiva che ha condotto alla dismissione di molti stabilimenti. Questi monumenti architettonici, da simboli di prosperità, progresso e innovazione, sono repentinamente diventati tracce tangibili di crisi economica e sociale.

Il dibattito internazionale attuale ruota attorno alla duplice possibilità di demolirli o di recuperarli. Se la scelta di liberare suolo e dare spazio a nuove costruzioni parrebbe la decisione più efficace, essa costituirebbe tuttavia un cospicuo dispendio di risorse ed energie, con un forte impatto ambientale, e si andrebbe a perdere un tassello importante della storia di un territorio e della sua popolazione. La scelta invece di riqualificare e rifunzionalizzare questi spazi, li renderebbe veri e propri *landmark* all'interno del tessuto urbano, non soltanto in quanto manifesto del passato ma anche come occasione di rinascita urbana nel futuro.

1.3.2 La nascita dell'archeologia industriale

In un periodo storico in cui il sistema economico sta cambiando e sempre più, a livello mondiale, si attestano funzioni legate al settore terziario che affiancano, e in un certo qual modo si sostituiscono al tradizionale sistema industriale, si riscontra in maniera ormai sempre più chiara l'inevitabile problema connesso alla dismissione degli stabilimenti e degli impianti industriali. Come si diceva, se da un lato si concretizza sempre più il desiderio di recuperare questi spazi, e quindi riattivarli, dall'altro comincia a riscontrarsi l'esigenza di rifunzionalizzarli per dare vita a nuove attività.

L'impatto dell'industria sulla crescita e sullo sviluppo urbanistico della città è stato fortissimo. Se in molti casi gli stabilimenti davano origine a fenomeni di degrado, sovraffollamento abitativo e condizioni igieniche precarie nelle periferie delle grandi città, si cominciava anche a diffondere una volontà di integrare il lavoro con la vita nella comunità, ben espressa nei cosiddetti villaggi operai. In molte zone, in effetti, il fenomeno di industrializzazione accompagnava anche quello di urbanizzazione proprio perché le fabbriche non solo offrivano nuovi posti di lavoro, ma spesso i loro imprenditori le dotavano di spazi attigui da destinare a residenza ed alcuni servizi, come mense, piccoli istituti sanitari, educativi o legati al culto, andando a costituire veri e propri insediamenti urbani.

I nuovi stabilimenti produttivi erano teatro di sperimentazioni tecnologiche e costruttive, in cui si progettavano nuovi sistemi strutturali in ferro e cemento armato che consentivano di installare superfici vetrate sempre più grandi e garantire un maggiore ingresso di luce all'interno dell'edificio. Le strutture erano più leggere e meno massive di quelle in laterizi e pietra, possedevano resistenza meccanica maggiore ed avevano buona resistenza al fuoco: la nascita della prefabbricazione e dei sistemi *curtain wall*, la composizione e l'assemblaggio delle diverse parti edilizie, lo stile pulito e lineare dei sistemi a travi e pilastri, nonché l'aspetto semplice e funzionalista di questi fabbricati ne definivano inequivocabilmente il tipico stile industriale.

Con la crisi economica-produttiva, che in momenti storici diversi ha colpito quasi tutti i Paesi a livello internazionale, ha portato al progressivo abbandono delle industrie con la conseguente formazione di ampi vuoti urbani caratterizzati da complesse problematiche sociali.

La forte attenzione che oggi viene destinata al patrimonio edilizio industriale viene alimentata dal desiderio sempre più forte di riqualificare queste aree dismesse per riattivare tutti i comparti urbani vacanti e valorizzare la storia e le tracce lasciate sul territorio. La Rivoluzione industriale ha significativamente trasformato il modo di vivere degli uomini, introducendone la concezione del tempo, il salario ed il tempo libero. L'interesse progressivo verso il fenomeno dell'industrializzazione e delle tracce lasciate sul territorio ha dato vita ad una nuova branca di studi chiamata archeologia industriale, attestata prima in Inghilterra intorno agli anni '50 del Novecento e poi nel resto del mondo.

L'etimologia della parola deriva dalla combinazione del termine greco ἀρχαιολογία e del latino industria.

Se il primo, composto da ἀρχαῖος, antico, e λόγος, studio, si può interpretare come studio dei reperti antichi, il secondo allude all'operosità intesa come "diligenza ingegnosa"¹

1. Vocabolario Treccani, definizione.

nell'operare, che in senso più generale si può intendere come l'insieme delle attività umane svolte allo scopo di produrre beni e servizi. L'archeologia industriale dunque, costituisce un ramo dell'archeologia che studia tutte le testimonianze rappresentanti la storia del lavoro e della cultura industriale, che siano esse materiali o immateriali. In Italia, tale patrimonio industriale è stato inserito tra i beni culturali da tutelare e preservare, come si legge all'articolo 10 del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio che recita:

"Sono altresì beni culturali, quando sia intervenuta la dichiarazione prevista dall'articolo 13:

*[...] le cose immobili e mobili, a chiunque appartenenti, che rivestono un interesse particolarmente importante a causa del loro riferimento con la storia politica, militare, della letteratura, dell'arte, della scienza, della tecnica, dell'industria e della cultura in genere, ovvero quali testimonianze dell'identità e della storia delle istituzioni pubbliche, collettive o religiose. Se le cose rivestono altresì un valore testimoniale o esprimono un collegamento identitario o civico di significato distintivo eccezionale, il provvedimento di cui all'articolo 13 può comprendere, anche su istanza di uno o più comuni o della regione, la dichiarazione di monumento nazionale."*¹

Sebbene siano state innumerevoli le definizioni date nel corso del tempo a questa nuova disciplina, quella forse più efficace è stata espressa da Buchanan, secondo cui *"l'archeologia industriale è un campo di studi che si occupa di indagare rilevare e registrare e, in alcuni casi conservare, i monumenti industriali"*. Il fine principe dell'archeologia industriale consiste allora in primo luogo nella conoscenza dei monumenti industriali per quanto concerne la storia, la struttura architettonica, nonché i valori tecnici, culturali e sociali che ne hanno accompagnato lo sviluppo nel tempo. In secondo luogo, lo scopo di tale disciplina risiede nella formulazione di ipotesi e proposte progettuali per la loro tutela e riuso, sempre nella prerogativa di salvaguardarne la memoria del lavoro e le antiche tradizioni in quanto testimonianze della civiltà industriale.

1.3.3 Il riuso del patrimonio industriale

Negli ultimi anni, un numero sempre più crescente di città a livello internazionale si sta interfacciando con il delicato tema del riuso di archeologia industriale, per riattivare porzioni urbane senza farle precipitare nel dimenticatoio. Sempre più spesso, nei programmi di sviluppo di *smart city*, si individuano anche i progetti di recupero degli ex stabilimenti industriali, nella prospettiva di una trasformazione della città sempre più sostenibile. È apparso infatti chiaro come il processo di demolizione, con tutte le fasi ad esso connesse, sia in realtà assai più dispendioso in termini economici e dannoso dal punto di vista ambientale, al contrario del recupero di un edificio esistente che invece presupporrebbe di mettere in campo risorse più contenute e localizzate. In Italia oggi il patrimonio industriale è davvero considerevole: il Paese è passato in pochi anni da una condizione di forte sviluppo economico e demografico ad una realtà di spazi vuoti, privi di destinazione d'uso e di utenti.

Il governo italiano da alcuni anni ormai ha cercato di mobilitarsi per trovare soluzioni al problema, operando tuttavia sempre con timidi tentativi, facendo sì che ancora oggi alcune leggi in materia non si possano attuare in quanto ancora ferme in stato

1. Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137, PARTE SECONDA - Beni culturali*, Art. 10, comma 3, lettera d).

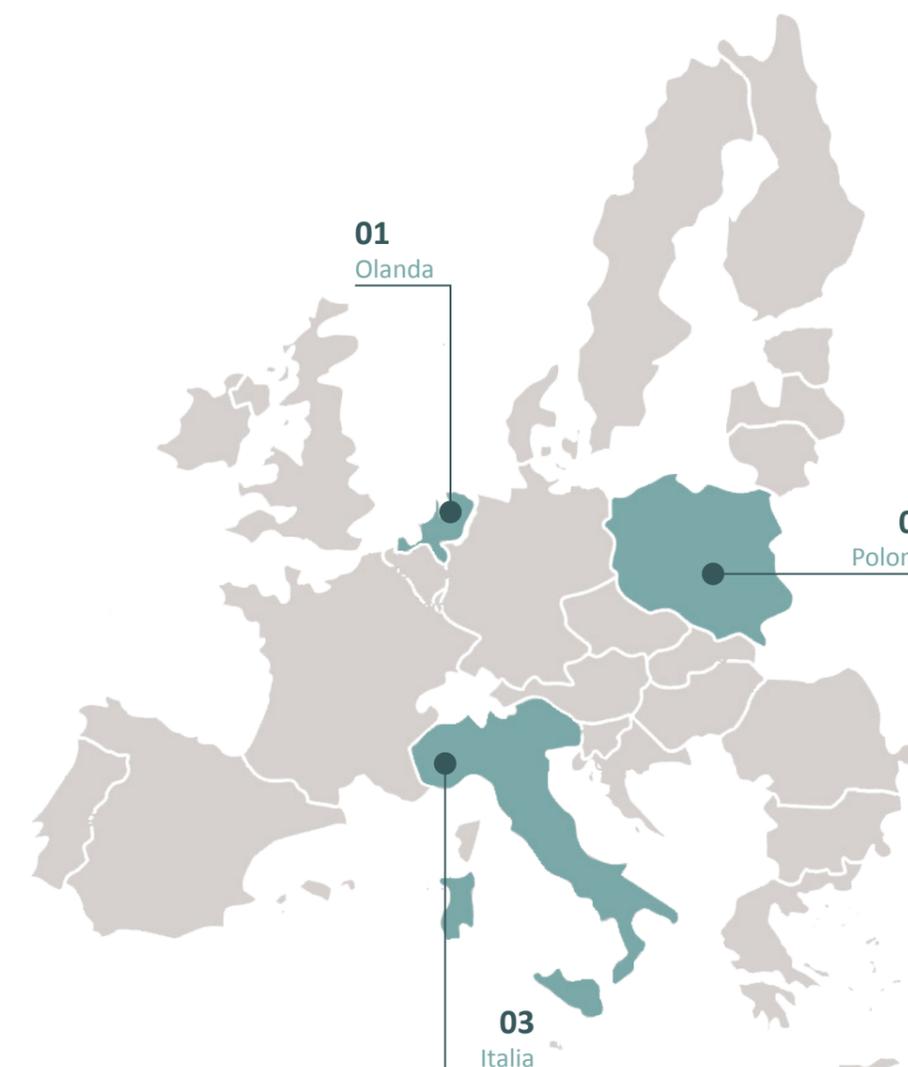
di esame, come dimostra il Disegno di Legge n. 164 contenente le “Disposizioni per l’arresto del consumo di suolo, di riuso del suolo edificato e per la tutela del paesaggio”. Per quanto invece riguarda la riqualificazione dell’ex aree industriali, nel Marzo del 2015 già era stato presentato al Senato il Disegno di Legge n.1836 sulle “Misure per favorire la riconversione e la riqualificazione delle aree industriali dismesse”. All’articolo 1 si era anche prevista l’istituzione, presso il Ministero dello sviluppo economico, di un Fondo di 150 milioni di euro per il triennio 2015-2017, che avrebbe provveduto al cofinanziamento di progetti di riconversione di tali aree. Il recupero di questi spazi è di fondamentale importanza in quanto può contrastare il fenomeno di degrado e peggioramento della qualità della vita derivanti dal progressivo abbandono degli ex quartieri industriali. Tali edifici presentano, per sistema strutturale e conformazione architettonica, vincenti caratteristiche di flessibilità ed adattabilità ad un vasto panorama di nuove destinazioni d’uso: proprio per il loro scheletro portante in travi e pilastri, gli ambienti interni raggiungono grandi dimensioni, sono aperti e continui, offrendo ampie possibilità di partizionare liberamente lo spazio in fase di nuovo progetto. La grande adattabilità di questi fabbricati risiede, di nuovo, nel sistema strutturale, all’epoca progettato per sopportare pesi e sollecitazioni non indifferenti e che vanta, oggi, una resistenza meccanica tale da sopportare anche alti valori di carico semipermanente e variabile. Le ampie superfici vetrate, che in questa tipologia di edifici hanno da sempre giocato un ruolo chiave nell’ottica di garantire agli operai le migliori condizioni di illuminazione naturale e ricambio dell’aria per migliorarne le prestazioni lavorative, oggi appaiono quanto mai attuali e facilitano la progettazione degli apporti gratuiti di ventilazione, soleggiamento e ombreggiamento.

Negli ultimi anni si è anche a lungo dibattuto sulla reale redditività di tali interventi di riuso: gli stabilimenti industriali presentano, per natura, dimensioni ingombranti, gli ambienti interni sono numericamente considerevoli e presentano ampie metrature, le superfici complessive nonché i volumi sfiorano misure esorbitanti. La difficile sfida consiste allora proprio nel cercare di rifunzionalizzare ogni spazio ed armonizzare le nuove destinazioni d’uso in un unico progetto unitario. Bisogna dunque possedere ampio sguardo d’insieme, supportato da un’approfondita analisi circa le esigenze della città nonché il bacino di utenza, per evitare il rischio di riattivare un comparto urbano che nel giro di pochi anni accusi una prematura battuta d’arresto. Nel rispetto della vocazione originaria del luogo si deve cercare di insediare nuove funzioni attrattive, che richiamino flussi d’utenza e che abbiano poi risonanza su ampia scala: solo in questo modo si potrà restituire monumentalità e simbolicità al luogo, riconferendogli lo spirito d’un tempo in chiave più contemporanea.

È bene però precisare che il riuso degli edifici industriali non è sempre scontato, in quanto il più delle volte debbono essere immesse nel mercato superfici da riutilizzare che non sono indifferenti da punto di vista della loro consistenza e che non sempre i mercati locali sono in grado di assorbire.

Il riuso adattivo diventa assai complicato in quei contesti territoriali impoveriti dalla deindustrializzazione, avendo abbassato le soglie di solvibilità dei cittadini residenti. Da questo punto di vista, nella rifunzionalizzazione, considerata la rischiosità degli interventi, la valutazione economica con i suoi fondamenti e i suoi strumenti operativi assume un peso rilevante ed è imprescindibile.

1.3.4 Casi internazionali



01
Olanda
- Van Nellefabriek, Rotterdam

02
Polonia
- Fabbrica tessile Poznański, Łódź

03
Italia
- Officine ICO, Ivrea

Van Nellefabriek, Rotterdam



La *Van Nellefabriek* costituisce uno dei più importanti stabilimenti produttivi dei Paesi Bassi, icona della cultura modernista e funzionalista del XX secolo e traccia tangibile di archeologia industriale. Lo stabilimento viene costruito agli inizi degli anni Venti sulle rive dello Schie, nella zona industriale di Spaanse Polder a nord-ovest di Rotterdam, per ospitare le attività di lavorazione di tè, caffè e tabacco. L'intero complesso, concepito come "fabbrica ideale", innovativa ed aperta al mondo esterno, si compone di diversi fabbricati, tutti sorretti da una struttura a telaio in cemento armato, chiusa da un sistema a facciata continua che favorisce il maggior ingresso possibile di luce diurna e ventilazione naturale.

Tutti gli edifici si attestano lungo un asse viario che funge da collegamento interno allo stabilimento industriale, e si collocano in prossimità di un canale, proprio per facilitare il trasporto ed il commercio via acqua dei beni appena prodotti.

Recuperando tecniche architettoniche da varie parti dell'Europa e del Nord America, la *Van Nellefabriek* esprime compiutamente i valori di chiarezza, fluidità e apertura dell'industria al mondo; di relazione tra spazio costruito ed ambiente esterno; di organizzazione razionale dei flussi di produzione.

Per consentire le migliori condizioni di lavoro e di benessere, all'interno dello stabilimento industriale erano stati progettati campi sportivi per i momenti di svago, un giardino per il pranzo all'aperto, e recenti strutture igienico-sanitarie per la cura del corpo. Per la prima volta, gli operai potevano fare docce quotidiane al lavoro invece di un bagno settimanale in una vasca di zinco.

L'insediamento produttivo è rimasto in funzione fino agli anni Novanta del secolo scorso quando, a seguito di una crisi economica, è stato dismesso. Avendone riconosciuto il valore storico e simbolico, nel 1985 l'edificio è stato dichiarato dai Paesi Bassi monumento nazionale e nel 2014 è stato inserito nella lista mondiale del Patrimonio UNESCO. Oggi gode di un grado di protezione tale che è stata istituita un'ampia zona cuscinetto a salvaguardia del sito e che ne garantisca un'immediata individuazione anche da una posizione più esterna e lontana.

Per non lasciare l'ex area industriale in uno stato di abbandono e riattivarla da un punto di vista economico e sociale, tra il 2000 ed il 2006 è stato formulato un progetto di recupero e di riconversione dell'intera proprietà.

Gli interventi di riqualificazione sono stati eseguiti secondo i criteri di massimo rispetto conservativo e di grande attenzione alla memoria storica del luogo. Sono state soddisfatte le condizioni di integrità ed autenticità, sia per quanto riguarda la tutela dell'organizzazione dello spazio e delle relazioni funzionali, sia per quanto concerne la consistenza materica dei fabbricati, come dimostra anche la volontà dei dipartimenti del Patrimonio della città di Rotterdam e dell'Agenzia per i Beni

Culturali dei Paesi Bassi di istituire una cooperazione per la conservazione dei valori architettonici, urbani e ambientali della fabbrica. Le pareti perimetrali sono state recuperate e re-intonacate mentre i serramenti sono stati sostituiti con nuovi pacchetti vetrati isolanti, simili nel *design* e nella forma, proprio per restituire alle facciate esterne il loro aspetto originario. All'interno, le ampie vetrate che ritmano i fronti della fabbrica consentono un ampio ingresso di luce non solo per garantire buone condizioni di *comfort indoor*, ma anche per illuminare e valorizzare le strutture e i materiali. I caratteristici pilastri fungiformi di sostegno sono stati restaurati e nuovamente intonacati di bianco, mentre per la pavimentazione si è scelto un sistema con un effetto microcemento proprio per ricordare gli originari pavimenti industriali in calcestruzzo.

Il complesso industriale è stato oggi interamente rilevato dal gruppo privato *Van Nelle Design Factory*, che ne amministra gli spazi e li ha trasformati in un polo innovativo e polivalente, che cattura l'energia e lo spirito della città.

All'interno sono presenti gli uffici di circa dieci piccole imprese e diversi studi di progettazione, mentre alcuni spazi dell'ex torrefazione sono stati rifunzionalizzati in sale di metrature differenti che possono essere prenotate per riunioni, conferenze ed eventi. È inoltre possibile affittare *work-stations*, scegliendo una sola postazione, un tavolo o l'intero spazio di lavoro. Al centro della fabbrica, dove anticamente si tostavano i chicchi di caffè, oggi si sviluppa un ristorante alla moda con una fantastica vista sulla centrale termica.

L'antico principio di relazione osmotica tra interno ed esterno, tra spazio costruito e spazio verde, che aveva originariamente regolato la progettazione di tutto il complesso industriale, viene oggi ripreso e valorizzato, con l'offerta di servizi all'aperto, come spazi per eventi, pranzi o esposizioni, ma anche di attività per la realizzazione di decorazioni floreali o di sensibilizzazione al tema della sostenibilità. La struttura, infatti, separa i rifiuti per il riciclaggio, utilizza bicchieri di carta compostabili, è dotato di un impianto di illuminazione a LED sostenibile ed utilizza un sistema di acque grigie ed energia verde. Nel 2018 ha ricevuto il riconoscimento internazionale di edificio *green* attestandosi il livello A del marchio di qualità *Green Key*.

È stato inoltre recentemente elaborato un progetto per inserire all'interno dell'ex struttura industriale un piccolo museo che ne illustri la storia e le vicende più salienti, i sistemi produttivi dell'epoca, dove si collocavano gli ambienti della fabbrica e com'era strutturata la giornata lavorativa degli operai, nella prospettiva di attirare sempre nuovo pubblico e non far precipitare nel dimenticatoio la memoria di questo luogo.



Fig. 9-10: Gli interni della fabbrica catturati in due fotografie, del 1930 e del

Fabbrica tessile Poznański, Łódź



L'imponente edificio in mattoni rossi di Łódź è stato voluto dal magnate Izrael Poznański nel 1872 per insediarvi la propria fabbrica tessile. Nel corso degli anni lo stabilimento non solo è diventato sempre più all'avanguardia tecnologicamente, come dimostra la presenza di 200 telai di fabbricazione inglese ad azionamento meccanico, ma è andato sempre più a costituire un vero e proprio "impero del cotone". Di anno in anno, la fabbrica è sempre più cresciuta: con un altro filatoio, aree per candeggiare i tessuti ed un impianto di finitura e di filatura, il quartiere è diventato sempre più autosufficiente e si è arricchito della residenza del proprietario, del complesso residenziale dei lavoratori, di una chiesa e di un ospedale.

Per accedere all'insediamento produttivo erano presenti su ciascun lato maestosi cancelli, incorniciati da architetture in laterizi a ripresa delle forme degli archi trionfali a tre fornic. Le facciate sono scandite dalla successione di ampie finestre a sesto acuto, con telai metallici ed una singola lastra di vetro. Gli interni prevedono una struttura in colonne di ghisa a sostegno dei cinque piani dell'edificio e della copertura a volta in mattoni rossi. Su ciascun livello sono presenti balaustre in ghisa e un'imponente rampa metallica di accesso riccamente decorata.

Il ruggito dei macchinari, delle voci degli operai e delle macchine a vapore in funzione permangono fino agli anni Ottanta del secolo scorso quando, dopo la morte di Poznański, l'azienda ha perso la sua stabilità finanziaria ed è stata chiusa.

Dopo che negli anni Novanta l'intera proprietà è stata venduta a nuovi acquirenti, si sono intrapresi i lavori di recupero dell'ex stabilimento industriale per insediarvi un nuovo centro di intrattenimento, cultura e commercio, il *Manufaktura* inaugurato nel 2006.

In fase di ristrutturazione sono stati preservati i muri perimetrali portanti e le antiche colonne interne in ghisa ed è stata completamente ristrutturata la centenaria scalinata recuperandone l'originaria bellezza. Sulla precedente copertura in muratura si sono realizzati alcuni pozzi di luce, chiusi da elementi vetrati che, insieme ai lucernari esistenti, assicurano la massima illuminazione naturale degli spazi interni.

L'ambizioso progetto ha richiesto la presenza di oltre 2.500 operai e i lavori di costruzione si sono protratti per più di tre anni. Complessivamente, sono stati recuperati 45.000 m² di laterizi, 12.500 m² di telai metallici dei serramenti originali ed una superficie di circa 90.000 m² di interni storici. Sia l'intervento di recupero che quello di riuso sono stati sviluppati nella massima compatibilità della preesistenza, richiedendo un investimento complessivo di circa 200 milioni di euro.

Al posto dell'antico ruggito dei macchinari, la fabbrica si è gremita di nuovo il brusio: le conversazioni al bar, la musica e le risate dei bambini. L'antico stabilimento tessile, attraverso una rifunzionalizzazione sapiente, compatibile e rispettosa della storia, è

diventato un luogo di incontri e di scambio, che unisce la modernità con la storia e l'identità della città. Purtroppo, il complesso è diventato in un qualche modo vittima del suo stesso successo. L'ex fabbrica Poznański ha presto assunto i caratteri tipici di un nuovo polo urbano, richiamando numerosi flussi di persone e di turisti, e dunque catalizzando in una nuova area le principali attività commerciali e di svago che prima si svolgevano nel centro storico. Nel tempo, però, la città di Łódź è riuscita a trovare un equilibrio tra la nuova realtà e la città storica, armonizzando i flussi e le attività. All'interno di *Manufaktura* oggi si possono individuare negozi ed un centro commerciale, ristoranti e caffetterie, un cinema, un hotel di lusso e un'enorme piazza pubblica, che ospita una fontana e numerosi eventi all'aperto. Le moderne facciate in mattoni rossi contrastano in modo interessante con il contemporaneo sistema *curtain wall* del centro commerciale e si affacciano sul nuovo spazio pubblico in cui si organizzano manifestazioni artistiche o sportive.

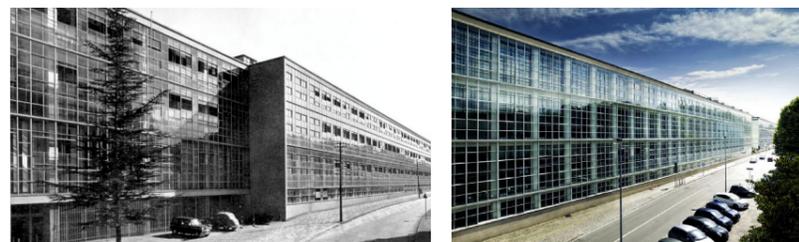
All'interno degli ex edifici della fabbrica si collocano oggi anche due musei: il *ms² Art Museum* ospita una collezione di arte contemporanea e cicli di mostre temporanee; il *Central Museum of the Textile Industry* invece raccoglie vecchi macchinari, foto e documenti, nonché filmati che narrano non solo la storia ma anche i sistemi produttivi, la vita ed il lavoro negli spazi della fabbrica.

La rivitalizzazione e la valorizzazione dell'ex stabilimento tessile ha dunque innescato un processo di riqualificazione, non solo architettonica ma anche sociale ed economica, di uno spazio urbano che altrimenti sarebbe presto stato svuotato e poi abbandonato.



Figg. 11-12: Fotografie della fabbrica prima e dopo l'intervento di recupero.

Officine ICO, Ivrea



Come esemplificazione del ruolo della valutazione economica e del rapporto tra riqualificazione energetica e riuso in contesti gracili, il caso Olivetti è estremamente esemplificativo.

L'Olivetti viene costituita nel 1908 come "prima fabbrica nazionale di macchine per scrivere" e fin dal principio si caratterizza per la grande attenzione alla tecnologia e all'innovazione, alla cura del design, all'apertura internazionale e alla sensibilità verso gli aspetti sociali del lavoro. Le due grandi figure imprenditoriali di Camillo Olivetti e del figlio Adriano hanno saputo trasformare "la piccola impresa familiare in un grande gruppo internazionale capace di conquistare in diversi campi e in diversi momenti storici posizioni di assoluta eccellenza a livello mondiale."¹

Alla costruzione del complesso industriale hanno partecipato tantissimi architetti e progettisti e tutto il sistema è stato studiato per essere a misura d'uomo. "Piani urbanistici, quartieri residenziali, biblioteche, servizi sociali, colonie, mense, asili nido, pensati e costruiti per fare di un'area industriale un territorio dove la vita dell'uomo non sia sacrificata solo agli scopi della produzione, ma rispetti anche le esigenze delle persone e della società."²

L'aspetto centrale del progetto è il luogo della fabbrica: tutti gli edifici sono stati pensati per garantire le migliori condizioni di lavoro ai dipendenti, ritenendo che se si fosse massimizzato il benessere interno si sarebbe massimizzata anche la produttività. Così è stato: la fabbrica Olivetti, in cantiere per circa sessant'anni per via dei continui ampliamenti, ha progressivamente esteso il proprio raggio d'azione, non limitandosi più alla sola città di Ivrea ma aprendo numerose altre sedi operative in tutto il territorio italiano.

Il cuore pulsante del progetto si sviluppa lungo Via Jervis, la strada principale che attraversa l'intero complesso industriale. Il primo edificio in affaccio sul corso coincide anche con il primo stabilimento realizzato (1898) ed attesta materiali costruttivi ed un aspetto delle facciate assai diversi dal resto dei successivi ampliamenti, che costituiscono invece vere e proprie icone di Architettura Moderna.

L'edificio "Mattoni Rossi" così chiamato per le caratteristiche facciate in laterizi faccia vista, è un volume di due piani fuori terra con struttura portante in cemento armato e tamponamenti in mattoni. Le facciate sono ritmate da ampie aperture ad arco ribassato in cui sono alloggiati i caratteristici serramenti Ferro Finestra dipinti con vernice di colore bianco.

Dagli anni '30 fino agli anni '60 del Novecento vengono intrapresi i lavori per la costruzione degli ampliamenti della fabbrica, che si caratterizzano per le forme

1. www.storiaolivetti.it
2. *ibidem*

lineari e le facciate prive di ornamenti, con ampie vetrate continue, i cui telai vengono "appoggiati al filo orizzontale dei solai e corrono davanti ai pilastri della struttura, dando così la percezione di una parete appesa continua."¹ Questo espediente, non consentiva soltanto il massimo ingresso di luce diurna e di ventilazione naturale ma secondo Adriano Olivetti costituiva anche l'occasione per gli operai di vedere sempre il sole durante tutto il servizio lavorativo: secondo questa prospettiva, non si garantivano soltanto ottimali condizioni di *comfort* termo-igrometrico ma si trasmetteva anche positività e piacevolezza allo stato d'animo delle persone.

La produzione Olivetti prosegue inarrestabile fino agli anni '90 del Novecento, quando l'evoluzione della tecnologia ed il mutamento delle esigenze di mercato fanno sì che i prodotti Olivetti siano sempre meno richiesti. Se da un lato l'azienda incomincia ad orientarsi verso un nuovo settore, quello della telefonia, molti stabilimenti purtroppo vengono inevitabilmente dismessi. Affinchè il grande patrimonio industriale della città di Ivrea non si trasformi in un documento muto, si decide di valorizzarlo istituendo il MAM, ossia un vasto museo a cielo aperto che racconta e testimonia l'architettura Moderna industriale ed il passato storico-culturale di quel luogo.

Sebbene molti edifici non siano stati immediatamente recuperati e rifunzionalizzati, altri fabbricati invece sono stati convertiti ad altre destinazioni d'uso legate al terziario, alla cultura e alla ricerca.

Tra tutti gli edifici del complesso Olivettiano, quello che meglio riassume i caratteri e le istanze della modernità, nonché l'idea di comunità promossa da Adriano Olivetti è sicuramente il Terzo ampliamento, anche detto ICO Centrale.

Nel recupero dell'immobile, i sistemi schermanti, i colori e i rivestimenti originali sono stati ripristinati e valorizzati e si è cercato di intervenire nel massimo rispetto conservativo, con la volontà di alterare il meno possibile le facciate in modo che potessero continuare a raccontare la propria identità, immagine e organizzazione.

A fronte di un degrado avanzato delle superfici, innanzitutto sono stati restituiti i connotati materici e cromatici originali alle strutture opache; per quanto riguarda i serramenti, sebbene la soluzione più semplice per costi e impegno di manodopera sarebbe stata la sostituzione con nuovi profili simili agli originali ma più performanti, si è optato per un restauro conservativo. L'immagine originale della facciata è stata mantenuta ma all'interno è stata realizzata una seconda pelle con profili a taglio termico in alluminio e vetrate isolanti di sicurezza con trattamento basso emissivo.

Per valorizzare il patrimonio costruito non si è intervenuti soltanto con operazioni di restauro conservativo ma anche con una rifunzionalizzazione compatibile all'originaria vocazione dell'edificio, cercando di ripensare gli spazi con grande attenzione alla filosofia progettuale dell'epoca. All'interno della struttura sono stati realizzati ambienti di lavoro, uffici e *open spaces* flessibili e reversibili attraverso l'uso di partizioni mobili, riservando inoltre ampia cura agli aspetti legati alla socializzazione e al benessere dei dipendenti. Tutti gli elementi architettonici e di arredo sono stati pensati per garantire spazi informali, rilassanti e piacevoli per l'utente e persino i nuovi interventi impiantistici non aggrediscono la preesistenza ma cercano di rispettare l'originaria articolazione spaziale. Il progetto di recupero e rifunzionalizzazione è stato estremamente efficace in quanto ha donato nuova vita all'edificio senza comprometterne l'immagine, la vocazione e quindi la memoria storica ed il valore culturale.

1. www.ivrecittaindustriale.it

1.3.5 Conclusioni

Gli approfondimenti proposti in queste pagine vorrebbero aiutare a comprendere come, seppur secondo casistiche differenti, un comparto urbano che inizialmente aveva contribuito alla riattivazione in termini economici e produttivi di una città, incidendo anche sul suo sviluppo urbanistico, architettonico e di relazioni sociali, in seguito alla sua dismissione è diventato un frammento vuoto, causando notevoli problematiche al nuovo tessuto urbano consolidato. Il progressivo abbandono di tali siti industriali ha causato sempre più fenomeni di degrado e perdita di sicurezza nei quartieri vicini, con un inevitabile abbassamento della qualità della vita. Se tali aree vengono svalutate anche gli stessi investitori non nutrono più alcun interesse ad acquisire questi spazi. Inoltre, la conseguenza forse più grave è quella per cui lentamente sfioriscano spazi ricchi di storia e di significati simbolici, di tracce tangibili di un'epoca fiorente, dell'organizzazione del lavoro e della vita degli operai, dei sistemi produttivi e delle sperimentazioni tecnologiche.

Per tutelare queste aree, la strategia migliore appare allora quella del riuso adattivo, ossia una rifunzionalizzazione che non si limiti soltanto al recupero strutturale ma che provveda a ripristinare un legame tra il fabbricato, l'ambiente urbano e la comunità, restando tuttavia compatibile alla vocazione originaria del luogo e non ne alteri i significati.

La riconversione di un ex edificio industriale, proprio per le sue caratteristiche strutturali e architettoniche, apre le porte ad innumerevoli possibilità di nuove destinazioni d'uso, come luoghi per l'arte e la cultura, attività legate al settore terziario, spazi commerciali e nuove unità residenziali. Si tratta di edifici che non solo caratterizzano un paesaggio ma ne implementano anche l'architettura della città, conferendo loro un nuovo e moderno impulso vitale.

La difficoltà resta sempre quella, tuttavia, di evitare un intervento "sbagliato", che non sappia valorizzare pienamente la struttura e che si riveli in futuro fallimentare. Soprattutto nel caso di grandi strutture inserite in grandi città, il bacino di utenza e di esigenze è molto più vario ed articolato. Molto spesso gli ex complessi industriali si trasformano infatti proprio in centri polivalenti, che accolgono un mix di servizi, commercio, uffici e residenze proprio per rispondere ad un'ampia gamma di necessità. Ultimamente ci si è chiesti più volte se le operazioni di riuso adattivo abbiano davvero potenzialità e redditività. Di sicuro appaiono più sostenibili e meno dispendiose di un progetto *ex novo*, dato il vantaggio di poter riutilizzare materiali o parti di strutture esistenti, con un conseguente impiego ridotto di risorse ed energie.

Quando si valuta in termini di ritorno economico il recupero di un'archeologia industriale, è necessario considerare la posizione del sito in quanto, al crescere della vicinanza ai centri abitati dove esiste un maggiore bacino di utenza, crescerà anche la redditività dell'investimento.

Inoltre, il valore di mercato del bene non tiene semplicemente conto della qualità effettiva del manufatto ma si arricchisce anche di parametri legati alla monumentalità ed alla simbolicità del sito.

Come appare ovvio, i costi di trasformazione sono differenti da progetto a progetto, in base alla complessità, allo stato conservativo, alla destinazione d'uso e all'idea progettuale. Spesso però, a fronte di un investimento considerevole, il risultato finale può compensare alle ingenti risorse iniziali, soprattutto come nei casi analizzati in queste pagine, quando ad una porzione di città viene donata nuova vita e un nuovo

futuro.

Gli interventi di riuso adattivo, però, non devono essere affrontati con un approccio olistico, ben semplificato dal *Whole Building Design*, che tiene in conto di una pluralità di aspetti lungo l'intero ciclo di vita del progetto. Per un efficace intervento di rifunzionalizzazione possono assumere un ruolo chiave anche l'analisi del *Life Cycle Cost* e quella dei Costi-Ricavi, che consentono di individuare le soluzioni di progetto più convenienti economicamente, che consentano in futuro i maggiori profitti, quindi un rientro più breve delle spese inizialmente sostenute.

I casi di Rotterdam, di Łódź e di Ivrea, costituiscono solo una piccola parte delle felici riuscite di progetti ambiziosi.

L'aspetto che rende ancora più efficace questi interventi risiede proprio nella capacità di aver compreso l'intima essenza di questi luoghi, il loro carattere già innovativo e pionieristico per l'epoca e la volontà di insediare negli spazi riconvertiti nuove funzioni che rispondano alle esigenze degli utenti ma che si inseriscano in un settore di avanguardia. Ne sono l'esempio gli spazi di *coworking*, le cui postazioni possono essere prenotate e affittate, gli incubatori di impresa, i laboratori per la ricerca e lo sviluppo di nuove *start up*, e più in generale la caratteristica di completa flessibilità e interfunzionalità degli ambienti che trasforma i luoghi dell'industria in nuovi poli di assoluta avanguardia.

2.1 Introduzione all'efficienza energetica

2.1.1 Analisi storica del quadro legislativo di riferimento

A fronte di cambiamenti climatici sempre più distruttivi ed irreversibili, il concetto di sostenibilità ambientale ha progressivamente modificato e ampliato il quadro legislativo normalmente assunto con gli interventi di restauro e riuso. L'edilizia esistente, infatti, rappresenta la fonte più grande di dispendio di energia, ed essendo un settore in progressiva crescita, in futuro determinerà sempre più consumi energetici e gravi impatti ambientali.

Un recente studio condotto dalla Direzione Generale della Commissione Europea in materia di energia¹, ha evidenziato come, a livello globale, sia proprio il settore edilizio il principale responsabile dei consumi di energia, seguito dal settore dell'industria e quello dei trasporti. Il tema della sostenibilità ambientale sta diventando sempre più cogente, poiché la sfida non è solo energetica o edilizia ma coinvolge anche la sfera sociale, politica ed economica dal momento che il contenimento dei costi permette grandi risparmi sia per i consumatori che per i bilanci pubblici.

È questo il motivo per cui, attualmente, vengono emanate sempre più Direttive Europee che, in un'ottica di risparmio energetico, impongono requisiti prestazionali sempre più restrittivi sia per gli edifici di nuova costruzione che per quelli soggetti ad un progetto di recupero.

Nel corso degli anni, tuttavia, non tutti i Paesi Membri hanno adottato lo stesso programma politico. L'Italia, ad esempio, ha tardato a mettere in campo le Direttive Europee, a tal punto da mantenersi ancora al primo posto nella classifica europea per le emissioni medie di CO₂ da edifici².

Altri Governi, invece, hanno individuato strategie di edilizia sostenibile, introducendo anche agevolazioni fiscali per incoraggiarla e, con uno sguardo più lungimirante, hanno iniziato a promuovere programmi di *Smart Cities*, il cui sviluppo urbanistico è fondato sull'utilizzo di tecnologie volte a ridurre l'impatto ambientale, nella prospettiva di diventare città economicamente sostenibili ed energeticamente autosufficienti.

Negli ultimi anni la questione è stata così dibattuta che oggi nessun Paese può più sottrarsi al rispetto dell'ambiente ed al contenimento dei costi e dei consumi.

Gli interventi, pertanto, non riguardano più soltanto l'involucro edilizio ed il sistema impiantistico, ma sperimentano anche diverse innovazioni tecnologiche, come l'adozione dell'illuminazione a LED in sostituzione di quella tradizionale ormai troppo energivora e l'automazione delle funzioni dell'edificio. La Domotica per gli edifici residenziali e il *Building Automation* per quelli del settore terziario, costituiscono due sistemi all'avanguardia per ottimizzare i consumi di energia e dunque i costi, prevedendo un controllo centralizzato automatico della termoregolazione, dell'illuminazione e delle altre funzioni dell'edificio.

Per quanto riguarda l'edilizia esistente, il tema dell'efficientamento energetico è ormai di primaria importanza, perché permette a tutti quegli edifici costruiti in assenza di una legge in materia energetica di rispettare i nuovi requisiti prestazionali. Gli interventi sul patrimonio esistente, però, richiedono una sensibilità maggiore in quanto non solo si devono rispettare e valorizzare le qualità estetiche e materiche

1. Fonte: DG ENER, 2012. Si tratta della Direzione Generale che elabora ed attua le politiche della Commissione UE in materia di energia.

2. Associazione Save The Planet onlus, che si occupa di tematiche per la salvaguardia ambientale

dei fabbricati, ma devono anche prediligere soluzioni compatibili e reversibili.

SISTEMA LEGISLATIVO EUROPEO

Per molti anni, ancor prima della costituzione della Comunità Europea nel 1957, non sono esistite direttive comuni in ambito energetico e i singoli Paesi regolavano le proprie leggi interne in maniera assolutamente indipendente gli uni dagli altri. Negli anni Settanta del Novecento si assistette all'introduzione sul mercato dei primi pannelli solari ma l'attenzione rivolta a sistemi di accumulo e produzione di energia da fonti rinnovabili non nasceva da necessità di rispetto ambientale, quanto più da un metodo alternativo per risolvere la carenza di materia prima dovuta al blocco delle esportazioni petrolifere.

Con il tempo però, si sono acquisiti dati sempre più allarmanti sulle conseguenze negative delle politiche poco attente dei Governi, apprendendo come la concentrazione sempre maggiore dei gas serra nell'atmosfera sia la principale responsabile del surriscaldamento globale. Nell'ottica di conferire all'Europa un carattere a basso impatto ambientale, sono pertanto state varate normative con lo scopo di dettare le linee guida che ogni Paese Membro avrebbe dovuto poi adeguare al proprio programma nazionale.

Per prima cosa si è sentita la necessità urgente di liberalizzare il mercato di energia della Comunità Europea, approvando tra il 1996 e il 2003, due pacchetti normativi aventi lo scopo di far accedere i fornitori di gas ed elettricità ai mercati interni e di dare la possibilità ai consumatori di scegliere liberamente da chi rifornirsi. Nel 2009 è stato poi approvato il terzo pacchetto "Clima-Energia 20 20 20", avente l'ambizioso obiettivo di ottenere entro il 2020 una riduzione del 20% delle emissioni di gas serra, una riduzione del 20% dei consumi energetici ed una copertura del 20% del fabbisogno energetico europeo tramite l'uso di fonti rinnovabili. Questo insieme di misure è stato pensato per entrare in vigore nel 2013, ovvero nel periodo successivo al Protocollo di Kyoto, stipulato nel 1997 per contrastare il cambiamento climatico con scadenza al termine del 2012. Proprio il protocollo di Kyoto stabiliva, inoltre, l'imposizione agli Stati Membri UE di una tassa sul carbone, la cosiddetta *Carbon Tax*, secondo la quale ciascun governo avrebbe dovuto multare ogni tonnellata di CO₂ inquinante emessa dai combustibili fossili.

Nel settore energetico sono stati adottati diversi Provvedimenti a livello europeo, anche se la Direttiva comunitaria più importante è stata la 2002/91/CE, conosciuta anche come *Energy Performance of Building Directive* (EPBD), che definisce le misure per il contenimento dei consumi dell'energia primaria, soprattutto in edilizia, e cerca di ridurre le differenze tra gli Stati Membri attraverso l'adozione della stessa metodologia per il calcolo dell'efficienza energetica e dei requisiti minimi di prestazione sia per gli edifici di nuova costruzione che per quelli soggetti a restauro. La Direttiva introduce inoltre la certificazione energetica, che stabilisce quanta energia nell'arco di un anno serve per soddisfare le esigenze legate ad un utilizzo dell'edificio cosiddetto *standard* e che quindi richiede climatizzazione invernale, estiva, illuminazione e produzione di ACS.

Con la presa di coscienza della forte inadempienza a livello europeo nel rispetto degli obiettivi prefissati per la riduzione dei consumi energetici, la Direttiva è stata modificata e sostituita dalla 2010/31/UE, anche conosciuta come *EPBD Recast*, che impone requisiti e misure più restrittivi in ambito di prestazione energetica in edilizia.

In particolar modo, stabilisce che i requisiti minimi debbano essere sottoposti a revisione periodica anche a fronte dei continui progressi tecnologici, diversificando i parametri a seconda della tipologia del fabbricato così come della sua destinazione d'uso.

Anche l'edilizia storica, ad eccezione di quella protetta da vincoli di tutela, soggetta ad interventi di rinnovo o sostituzione di alcuni suoi elementi, deve sottostare a precisi requisiti minimi di prestazione energetica. Allo stesso tempo, la normativa introduce un altro nuovo concetto, strettamente legato alla conservazione del carattere originario e della qualità del manufatto, che garantisce dunque un sistema di tutela contro eventuali interventi di efficientamento energetico poco compatibili che possono, in un qualche modo, compromettere l'immagine o il valore storico dell'edificio.

La direttiva si prefigge l'obiettivo di rispettare le previsioni di riduzione fissate per il 2020 e di rendere l'edilizia di nuova realizzazione sempre più NZEB¹, ossia con consumi energetici sempre minori, quasi nulli. Inoltre, si impone agli Stati Membri di declinare in un programma nazionale le linee guida impartite dalla Direttiva Europea, stabilendo criteri comuni per il calcolo della prestazione energetica e l'obbligo di produrre un attestato comprendente l'indice di prestazione energetica, espresso in kWh/m² per anno, che venga assolutamente e sempre esposto, sia in caso di locazione che di vendita dell'immobile.

La grande novità apportata in questi anni consiste nell'introduzione del concetto di ciclo di vita economico dell'edificio, su cui si deve basare un'analisi accurata di tutti i costi da sostenere nelle diverse fasi vitali del fabbricato, dalla sua progettazione fino alla sua dismissione, in modo da valutarne sulla base di un rapporto costi-benefici la sostenibilità economica dell'investimento. La stima dell'intervento di efficientamento energetico, pertanto, non viene più calcolata solo ed esclusivamente sulla base di vantaggi tecnologici, ma valutando anche una convenienza economica calcolata sulla base dell'intero ciclo di vita dell'edificio. Molti interventi di efficientamento energetico, in effetti, possono risultare molto costosi, ma possono essere accettati se in un'analisi costi-benefici riescono ad apportare vantaggi consistenti.

I cambiamenti climatici, l'urgenza di contenere le emissioni di gas serra, così come quella di ridurre la domanda di energia, hanno costretto l'Unione Europea ad indirizzare sempre di più i propri Paesi Membri al risparmio energetico.

La Direttiva 2009/125/CE viene adottata per incentivare l'utilizzo di fonti rinnovabili nella progettazione ecocompatibile, con la volontà, dunque, di rendere sempre più autosufficienti gli edifici dal punto di vista energetico.

La Direttiva 2012/27/UE, invece, ha modificato le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abrogato le precedenti direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE e, rimarcando il ruolo strategico dell'efficienza energetica nel settore civile e chiede agli Stati Membri di ottenere un risparmio sui consumi energetici, prefissando a livello europeo un obiettivo di circa 50 miliardi all'anno. Introduce l'obbligo per le grandi aziende di sottoporre i propri stabilimenti ad un *audit* energetico ogni quattro anni, proponendo di estenderlo anche per le PMI. Invita, inoltre, i Paesi Membri a mettere a punto *“strumenti di finanziamento per favorire le misure di efficienza energetica e che vengano messi a disposizione adeguati programmi di formazione e sistemi di certificazione per le nuove figure professionali e che venga svolta una adeguata*

1. Acronimo per *Nearly Zero Energy Building*.

*attività di informazione.”*¹

Il 30 Maggio 2018 è stata approvata la direttiva 2018/844/UE, che modifica le precedenti direttive 2010/31/UE e 2012/27/UE e che dev'essere recepita dai Paesi dell'Unione entro il 20 Marzo 2020. L'obiettivo di tale norma è quello di ridurre le emissioni di gas serra di almeno il 40% entro il 2030 e di promuovere lo sviluppo di un sistema energetico sostenibile. A tale scopo, la Direttiva impone l'obbligo di migliorare la *performance* energetica, sia per le nuove costruzioni che per l'edilizia esistente, e sollecita gli Stati Membri a sviluppare strategie di ristrutturazione e nuovi indicatori d'intelligenza.²

SISTEMA LEGISLATIVO NAZIONALE

Il quadro legislativo italiano in materia energetica appare un po' frammentato e soprattutto di attuazione più recente rispetto ad altri Paesi dell'Unione, proprio perché la Penisola ha recepito molto tardi le Direttive Europee in ambito energetico. La prima norma italiana in materia risale al 1976 (Legge n. 373/1976), quando si stabiliscono le *“Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici”* negli edifici, nate in un clima di pesante crisi economica in cui il blocco per le esportazioni di petrolio stava costringendo la società a ripensare ai propri standard di consumo.

La normativa si concentra sulla prestazione degli impianti per il riscaldamento e la produzione di ACS e allo stesso tempo introduce la necessità di un isolamento dell'involucro edilizio non solo per le nuove costruzioni ma anche nelle ristrutturazioni, dove sia possibile intervenire.

Gli anni Ottanta hanno costituito, per così dire, un periodo di riflessione teorico-metodologica, in cui sono state approvate la Legge 308/1982 *“sul contenimento dei consumi energetici, lo sviluppo delle fonti rinnovabili di energia e l'esercizio di centrali elettriche alimentate con combustibili diversi dagli idrocarburi”* e il Decreto ministeriale del 1986 sull'*“Aggiornamento dei coefficienti di dispersione termica degli edifici”*.

All'inizio degli anni Novanta, con la Legge 10/1991, si sono predisposte le misure per l'attuazione di un programma energetico nazionale volto, da un lato, ad un uso razionale dell'energia; dall'altro, all'introduzione di uno strumento specifico per la valutazione del soddisfacimento dell'edificio dei requisiti imposti dalle normative sul risparmio energetico, ossia la pratica edilizia, relazione di calcolo da produrre al momento della richiesta di un titolo abilitativo.

Tale legge, inoltre, assieme a norme successive quali il DPR 412/93, introduce l'obbligo di suddividere la Penisola Italiana in sei zone climatiche in base ai Gradi Giorno, cioè l'unità di misura stabilita per definire, in un arco temporale di una stagione di riscaldamento la differenza cumulata tra la temperatura interna di progetto e quella esterna, utilizzata per stimare il fabbisogno di energia per il riscaldamento.

Questo meccanismo è servito per poter meglio controllare sia le dispersioni termiche che la potenza dei generatori di impianto installati in ciascun edificio in rapporto alla zona di appartenenza.

1. *Il quadro normativo che regola la politica energetica italiana: Le direttive europee*, sezione online del sito di ENEA, Agenzia Nazionale Efficienza Energetica.

2. Esso consente di valutare la facoltà degli edifici di adeguare il consumo energetico alle effettive esigenze degli utenti, ottimizzando la propria operatività ed interazione con la rete. La nuova Direttiva incoraggia non solo l'automazione dell'edilizia ma anche il monitoraggio elettronico di tutti i sistemi tecnici presenti nel fabbricato.

Il processo di recepimento e di attuazione della prima versione della EPBD da parte dell'Italia è stato piuttosto lento. L'obiettivo principale della Direttiva Europea era quello di sollecitare i vari Paesi a recepirla con propri provvedimenti nazionali entro il 2006, ma quando l'Italia approva il Decreto Lgs. 192/2005, ormai in prossimità della scadenza prefissata, il testo appare decisamente lacunoso. L'anno successivo viene infatti sostituito ed integrato con il D.Lgs. 311/2006, a fronte della presa di coscienza che alcuni temi non erano stati espressamente chiariti. Si può concludere, infatti, che le due importanti novità della EPBD del 2002, ossia l'attenzione per l'efficienza energetica anche del patrimonio esistente e l'introduzione della certificazione energetica, vengono sviluppate molti anni dopo nella normativa nazionale.

Per la riqualificazione energetica, infatti, soltanto nel 2007 con il "Decreto Edifici" si dispongono le prime misure per le detrazioni fiscali da attuarsi sulle spese per gli interventi di retrofit sull'edilizia storica. In materia, invece, di certificazione energetica, si deve aspettare fino al 26 Giugno 2009 per la pubblicazione delle linee guida nazionali per la disposizione dell'obbligatorietà del suo rilascio da parte di un nuovo anno, di esibire sugli annunci di vendita e locazione l'indice di prestazione energetica e di prevedere una clausola con cui l'acquirente o il conduttore conferma di aver ricevuto l'attestato di certificazione energetica.

Per quanto riguarda, infine, il recepimento dell'altra importante Direttiva Europea, la cosiddetta *EPBD Recast*, l'Italia adotta solo tre anni più tardi il Decreto Legge 63/2013, che modifica il D.Lgs 192/2005 e con cui si definiscono le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche. L'ACE, divenuto APE¹, viene imposto obbligatoriamente su tutto il territorio nazionale come mezzo di conoscenza della prestazione energetica dell'immobile. In questo senso, a seconda di quanta energia nell'arco di un anno sia necessaria per l'utilizzo dell'edificio, viene redatta una classe di appartenenza, definita classe energetica. Esistono otto classi energetiche che partono da A+ per l'edilizia più prestante fino a G, quella meno efficiente.

Allo stesso anno, risalgono anche i due Decreti del Presidente della Repubblica, il DPR 74/2013 che detta le regole in materia di esercizio, conduzione e controllo degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva, e il DPR 75/2013 che completa il quadro della normativa nazionale in materia di certificazione energetica degli edifici e definisce la figura del certificatore energetico.

Il D.Lgs. 102/2014, con il quale l'Italia ha recepito la Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, rende obbligatoria la diagnosi energetica per le grandi imprese e per quelle ad alto consumo di energia elettrica.

Il DM 26/06/2015 sviluppa tre Decreti Attuativi, che concludono il recepimento della *EPBD Recast* iniziato con il Decreto Legge 63/2013 e convertito in Legge con la Legge 90/2013, che riguardano la ridefinizione delle nuove modalità di calcolo della prestazione energetica e i nuovi requisiti minimi di efficienza, le nuove regole per la redazione dell'APE e i nuovi modelli di Relazione Tecnica per le diverse tipologie di opere: nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti, riqualificazioni energetiche. Dal 2016 fino ai giorni nostri passi avanti ne sono stati fatti, in quanto, anno dopo anno, le nuove Leggi di Bilancio dello Stato si sono sempre più orientate verso l'agevolazione degli interventi di riqualificazione e risparmio energetico in edilizia attraverso detrazioni fiscali, i cosiddetti *bonus*, sempre più consistenti.

1. ACE è l'acronimo di attestato di certificazione energetica, mentre l'APE è quello di attestato di prestazione energetica.

Senza più entrare troppo nello specifico, si può tuttavia percepire come, nel corso degli anni, il panorama legislativo italiano si sia sempre contraddistinto per il suo carattere particolarmente lacunoso e confuso, come dimostra la spaventosa quantità di normative approvate, modificate, sostituite, abrogate che non ha mai saputo indicare una direzione chiara ma sempre delle operazioni poco organiche e poco in dialogo tra loro.

2.1.2 L'efficienza energetica nella valutazione economica

Il Certificato di Prestazione Energetica APE, che costituisce oggi la "patente" di qualità di un edificio, sta sempre più rappresentando, per gli acquirenti, un valido ed efficace strumento per valutare quale acquisto o locazione sia economicamente più conveniente in relazione ai consumi energetici dell'edificio: gli immobili caratterizzati da consumi energetici bassi, infatti, riportano un valore di mercato più competitivo, garantendo al proprietario un maggior guadagno al momento della vendita o della locazione e, all'acquirente, un risparmio nel lungo periodo sui costi di gestione. Questo meccanismo, allora, sta andando a costituire in misura progressivamente maggiore un valido incentivo sia alla costruzione di edifici ad alto rendimento energetico sia alle riqualificazioni che consentono evidenti riduzioni emissive.

Il recepimento sul territorio nazionale della *EPBD Recast*, che rendeva l'APE obbligatorio, ha consentito al mercato immobiliare e al panorama edilizio italiano un vero e proprio cambio di paradigma: nella valutazione economica, oggi, l'indice di prestazione energetica costituisce dunque una delle tante variabili esplicative che contribuiscono alla determinazione del prezzo di mercato di un edificio. Insieme dunque alla zona, alla vetustà, all'orientamento e allo stato di conservazione, anche la classe energetica influirà sempre di più sulla valutazione dell'immobile, dal momento che migliore sarà la *performance* energetica, maggiore sarà il valore di mercato del bene.

La classe energetica in cui rientra l'edificio, nonché il più preciso Indice di Prestazione Energetica, che ne attesta il consumo annuale di energia, non permettono soltanto di valutare la convenienza d'acquisto in base ai futuri costi di manutenzione, ma consentono anche di fare una previsione sui probabili costi di un utilizzo per così dire standardizzato¹ dell'edificio. Definire, nonché esibire, la prestazione energetica di ciascun edificio consente *in primis* di rendere più trasparente il mercato immobiliare, dando informazioni oggettive sulle caratteristiche e spese energetiche; secondariamente, permette di capire come migliorare il valore dell'edificio attraverso interventi di efficientamento energetico più o meno consistenti. "L'APE, tramite l'attribuzione agli immobili di specifiche classi prestazionali e di specifiche raccomandazioni per la riqualificazione energetica, è uno strumento di orientamento del mercato verso edifici a migliore qualità energetica. Un attestato correttamente compilato, consente agli utenti finali di valutare e comparare le prestazioni dell'edificio di interesse e di confrontarle con i valori tecnicamente raggiungibili in un corretto rapporto tra i costi di investimento e i benefici che ne derivano."²

1. Si dice uso *standard* di un edificio quando si soddisfano, in regime normale, i bisogni connessi a climatizzazione, illuminazione e produzione di acqua calda sanitaria.

2. Decreto interministeriale 26 giugno 2015, *Linee guida per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici*, Allegato 1, Paragrafo 5, p.7.

La necessità, tuttavia, di disporre di un patrimonio edilizio sempre più efficiente energeticamente ha fatto sì che progettisti, committenti ed imprese si mettessero alla ricerca di soluzioni progettuali e tecnologiche sempre più virtuose, che tuttavia hanno spesso richiesto un costo di investimento davvero considerevole.

Dal momento che questa tendenza stava cominciando ad apparire troppo dispendiosa, nel 2010 la *EPBD Recast* ha introdotto il concetto di rapporto costi-benefici, orientando quindi gli Stati Membri all'individuazione di soluzioni "equilibrate", che non per forza fossero anche quelle più efficaci in termini di miglioramento della prestazione energetica.

L'obiettivo era quello di definire, a livello nazionale o regionale, i requisiti minimi di prestazione energetica in edilizia per poter raggiungere il "livello ottimale di costo" nel ciclo di vita economico stimato e prescrivere misure per l'ottimizzazione della performance energetica degli edifici esistenti e di nuova costruzione, vantaggiose anche dal punto di vista dei costi.

In altri termini, la Direttiva ha chiesto¹ agli Stati Membri di valutare non soltanto i risparmi ottenibili nei consumi energetici dell'edificio, ma anche la fattibilità economica dell'investimento durante un ciclo di vita stimato.

A fronte, tuttavia, di una difficoltà nel calcolare il livello ottimale per tutti gli edifici del patrimonio edilizio, a ciascun Paese è stata chiesta l'individuazione di una serie di edifici di riferimento, definiti a livello europeo come *reference buildings*, che fossero rappresentativi di precise categorie edilizie sul proprio territorio nazionale, a cui poi applicare le strategie di efficientamento per calcolare il livello ottimale della prestazione energetica in funzione dei costi. Per poter, allora, calcolare i requisiti minimi che gli edifici dovranno rispettare, a seconda che siano nuove costruzioni o ristrutturazioni, basta mettere a confronto l'edificio di progetto con quello di riferimento, previa verifica che siano il più possibile simili per geometria, orientamento, collocazione geografica e destinazione d'uso.

Il costo ottimale di un intervento su un edificio è l'azione o l'insieme delle azioni che massimizzano il Valore Attuale Netto VAN, date dalla combinazione di scenari in grado di individuare diversi livelli di efficienza energetica e dunque diversi costi ritenuti efficaci.

Tale costo viene calcolato secondo la norma UNI EN 15459 che valuta tutti i flussi di cassa durante il ciclo di vita dell'edificio.

Il VAN è una metodologia molto impiegata per la valutazione finanziaria di progetti a medio/lungo termine, attraverso cui si può effettuare una previsione del valore del bene, attualizzando tutti i futuri flussi di cassa generati dal progetto, al netto dell'investimento iniziale ed attesi in un arco temporale stabilito, secondo un tasso di attualizzazione adeguato.

Questo meccanismo consente pertanto di prevedere anche le possibili mancate entrate derivanti dall'uso alternativo delle risorse, valutando sia i possibili guadagni che le possibili spese future per capire quanto rimarrà del valore iniziale.

Per la valutazione finanziaria di un investimento, oltre al VAN, si individua il TIR, o Tasso Interno di Rendimento. In casi in cui il tasso di attualizzazione dei flussi non è noto oppure è soggetto ad incertezza, si predilige la metodologia del TIR, che fornisce maggiori informazioni su un investimento rispetto a quella del VAN, la quale invece fornisce una misura assoluta del valore di un progetto.

1. Regolamento delegato (UE) 244/2012, 16 Gennaio 2012.

Il TIR rappresenta quel tasso di attualizzazione dei flussi di cassa secondo cui il valore attuale dei flussi in ingresso è uguale al valore attuale dei flussi in uscita. In altre parole, il TIR è quel tasso di attualizzazione che rende nullo il VAN di un investimento. Un altro parametro fondamentale da considerare nella valutazione economica di un progetto è il *Payback Period*, o Tempo di Ritorno, che esprime il numero di anni necessario per rientrare delle spese d'investimento.

Per concludere, dunque, quando si valuta il costo globale di un investimento non va soltanto considerato il costo iniziale di acquisto ma anche tutte le spese relative alla gestione, alla manutenzione nonché allo smaltimento finale delle componenti edilizie.

Con la valutazione del costo globale di un investimento è dunque possibile individuare quale tra i diversi scenari di riqualificazione quello che, in un arco temporale stabilito solitamente di 20 o 30 anni, garantisce il costo minore a seguito di una diminuzione del fabbisogno di energia. Gli interventi di *retrofit* migliori in funzione dei costi sono quindi quelli capaci di migliorare l'efficienza energetica dell'edificio, riducendone allo stesso tempo il costo complessivo di gestione.

La soluzione di efficienza energetica "ottimale" non è necessariamente quella che garantisce la *performance* energetica migliore in termini assoluti, dal momento che si potrebbe incorrere ad un elevato costo dell'investimento iniziale. Il "livello ottimale di costo" deve essere determinato considerando le spese contratte durante tutto il ciclo di vita utile di un edificio, individuando quello che è il punto di equilibrio tra l'investimento finanziario iniziale e il suo ammortamento nel ciclo di vita utile dell'edificio.

2.1.3 I Fondi europei e nazionali

Per incoraggiare gli Stati membri ad adottare soluzioni sostenibili in fase di progettazione o riqualificazione degli immobili, l'Unione Europea ha promosso dei sistemi di finanziamento a fondo perduto, i cosiddetti Fondi Europei, elargiti sotto forma di cofinanziamenti. Si tratta di contributi alle spese da sostenere che non coprono interamente la cifra ma che normalmente corrispondono ad un valore compreso tra il 50% e l'80% del totale, anche se, in taluni casi, possono costituire anche il 100%. Le spese rimanenti possono essere coperte sia dai fondi propri del beneficiario, sia da sovvenzioni e sponsorizzazioni da parte di altri enti.

La gestione dei suddetti fondi, che prende avvio con la formulazione delle linee programmatiche ed operative per arrivare alla concessione dei contributi, è di tipo indiretto, nel senso che non è di competenza dell'organo europeo centralizzato ma di Autorità di Gestione operanti a livello nazionale e regionale. Il Fondo a cui fa principalmente riferimento la politica di coesione è rappresentato dal Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR), che ha lo scopo, per l'appunto, di consolidare la coesione economica e sociale dell'Unione riducendo gli squilibri fra le diverse regioni.

La concentrazione degli stanziamenti del FESR, pur variando da regione a regione, riguarda principalmente il settore della ricerca, dello sviluppo tecnologico e dell'innovazione e, subito dopo, quello della sostenibilità e dell'economia a basse emissioni di carbonio. Coinvolti sono anche i settori delle tecnologie ICT e delle piccole medie imprese.

Proprio perché il *trend* di domanda di energia negli Stati Membri sta crescendo sempre più rapidamente, nel 2011 è stato istituito *ex novo* il Fondo *European Energy Efficiency Fund (EEEF)*, con un budget iniziale di 265 milioni di euro, con lo specifico obiettivo di sostenere e finanziare progetti esclusivamente vocati all'efficienza energetica e all'utilizzo sapiente delle energie rinnovabili.

Nel panorama italiano, si individua un altro fondo rivolto esclusivamente alla realizzazione di interventi per raggiungere gli obiettivi nazionali in materia di efficienza energetica, ossia il Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica FNEE. La gestione del fondo viene affidata ad Invitalia, cioè l'Agenzia Nazionale per l'attrazione degli investimenti e lo sviluppo d'impresa, che gestisce tutti gli incentivi nazionali per la nascita di nuove imprese e startup e finanzia i progetti nei settori innovativi e ad alto valore aggiunto. Tutti gli enti che intendono beneficiare di finanziamenti a tasso agevolato, principalmente le imprese, le ESCO e la Pubblica Amministrazione, possono presentare la propria domanda di agevolazione presso la nuova piattaforma on-line, attivata il 20 Maggio 2019.

I progetti, per essere finanziati, debbono prevedere interventi di efficientamento energetico su immobili, servizi e infrastrutture pubbliche, impianti e processi produttivi.

In generale, per concludere, ogni progetto che vuole beneficiare dei fondi europei deve dimostrare che senza questo finanziamento l'attività non si potrebbe realizzare, oppure che, nel caso in cui si dovesse fare affidamento ai soli fondi locali, il progetto raggiungerebbe risultati assai inferiori rispetto a quelli stabiliti dalle direttive europee. Come anticipato nel paragrafo introduttivo, il finanziamento erogato dal fondo non copre interamente, salvo alcuni rari casi, il totale delle spese sostenute per il progetto, ma si occupa di contribuirvi in quanto riconosce a tale attività un impatto reale e positivo sugli obiettivi definiti dalle strategie politiche.

Le modalità di spesa dei contributi dei Fondi strutturali vengono definite in appositi piani dettagliati, i cosiddetti Programmi Operativi (PO), stabilite da ciascun Paese per il periodo di programmazione in corso. Questi possono avere valenza sia a livello nazionale (PON) che in ambito regionale (POR). I PON, elaborati dalle Direzioni Generali dei Ministeri competenti, e i POR, formulati dalle Direzioni Regionali competenti, vengono presentati alla Commissione europea per analisi e successiva approvazione.

2.2 La riqualificazione energetica degli edifici storici

2.2.1 Introduzione al tema

Il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio storico, contrariamente a quanto accade per i progetti di nuova costruzione, si articola in un processo più complesso, in quanto non deve solo rispondere ai requisiti prestazionali alla base delle nuove direttive ecosostenibili, ma deve saper coniugare gli interventi di *retrofit* con il processo di restauro, garantendo una rispettosa ed attenta conservazione del bene, senza provocare alterazioni significative alla struttura, alla forma e all'idea progettuale che ne sta alla base.

La cultura della conservazione e quella della sostenibilità ambientale, prima della recente comparsa dei rigidi criteri di efficienza energetica e di *comfort* ambientale, sono sempre state accomunate dalla stessa volontà di indagare e tutelare il patrimonio culturale, inteso come un'importante "risorsa non rinnovabile" da valorizzare con operazioni compatibili al suo valore storico. Oggi, tuttavia, il miglioramento energetico degli edifici esistenti, soprattutto per quanto riguarda quelli riconosciuti come beni del patrimonio culturale, deve sempre fare i conti con la rischiosa eventualità di una diminuzione del valore materiale e immateriale del manufatto a seguito della sua riqualificazione.

A rendere più complesso il rapporto tra conservazione dei valori materici e identitari ed il *retrofit* energetico sta il fatto che il restauro deve confrontarsi non più, ad esempio, con le attese di redditività degli investitori, ossia con la massimizzazione dei profitti, ma con obiettivi di natura ambientale che riguardano comunque benefici di cui si avvantaggia la collettività.

Gli edifici costruiti in epoca storica hanno, del resto, un comportamento energetico molto diverso da quelli contemporanei, dal momento che l'assenza degli impianti di climatizzazione e di illuminazione ha richiesto un sistema tecnologico e costruttivo assolutamente particolare: *"in linea generale, l'edificio antico sfrutta l'inerzia termica delle murature, è costruito con materiali che trattengono un'alta percentuale di umidità, è concepito per essere traspirante al vapore e si avvale della ventilazione naturale per smaltire aria viziata e raffrescare"*.¹ Con lo sviluppo dell'era industriale ed il progresso tecnologico, però, si sono scoperti metodi alternativi e più efficaci rispetto a quelli fino ad allora impiegati ed il benessere microclimatico è stato assicurato da nuovi impianti di climatizzazione e da sistemi di isolamento termico e di impermeabilizzazione. Per tale motivo, le attuali soluzioni di miglioramento energetico potrebbero rivelarsi incompatibili e dannose per il patrimonio edilizio storico ed è oggi pertanto necessario individuare il metodo più adatto e compatibile possibile per intervenire senza compromettere l'immagine e la matericità dei fabbricati esistenti.

Prima di riqualificare un edificio è necessario dunque condurre un'attenta analisi delle caratteristiche artistiche, storiche, materiche ed energetiche *"al fine di restituire una visione complessiva dello stato di conservazione dell'immobile anche per quanto concerne gli aspetti legati al degrado, alle prestazioni in essere [...] nell'ottica di definire gli interventi di riqualificazione energetica, ambientale, spaziale più opportuni"*.²

1. *Edifici storici. Recupero energetico*, «Modulo», 392, Novembre Dicembre 2014, p. 573

2. *Edifici storici. Recupero energetico*, «Modulo», 392, Novembre Dicembre 2014, p. 576

Sia a livello comunitario che nei singoli Paesi, sono stati pertanto approvati pacchetti di misure, come le linee guida volte ad aiutare operativamente i progettisti in campo, i suggerimenti di *best practises* a cui ogni utente dovrebbe attenersi e le indicazioni in merito alle più idonee prassi di conservazione e di approccio al patrimonio costruito.

2.2.2 Normative e linee guida attuative

Attualmente, il tema così complesso della riqualificazione energetica sul patrimonio esistente viene affrontato in maniera differente nel sistema legislativo comunitario e in quello nazionale.

NORMATIVA EUROPEA

Le tre principali direttive europee che vertono sull'efficienza energetica degli edifici (2002/91/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE) propongono soltanto dei principi-guida in merito agli interventi sugli immobili storici, lasciando poi autonomia a ciascun Paese di redigere *politiche coerenti con le culture nazionali sul restauro architettonico*.¹ La necessità di migliorare il rendimento energetico del patrimonio edilizio esistente non deve tuttavia provocare un'applicazione indifferenziata e acritica dei requisiti normativi, ma deve sempre essere riferita al caso studio.

Le direttive comunitarie, infatti, individuano due macro-categorie di edifici: "i beni culturali" o "edilizia di tipo monumentale" e tutti gli "altri edifici", anche detti "edilizia di tipo diffuso". Nel primo gruppo rientrano, per l'appunto, gli edifici monumentali, i luoghi di culto e i manufatti protetti da vincolo di tutela, per i quali non è strettamente obbligatorio rispettare i requisiti di efficienza energetica dal momento che tali misure possono alterare il carattere complessivo e l'immagine dell'edificio.

Tutti gli altri edifici non coperti da vincolo, invece, devono raggiungere *standards* prestazionali molto simili a quelli che vengono richiesti alle costruzioni *ex novo*, ottenendo, a seconda dei casi, anche consistenti sgravi fiscali per incoraggiare e sostenere gli interventi di efficientamento.

NORMATIVA NAZIONALE

In territorio italiano, gli indirizzi europei sono stati recepiti in ritardo e sono stati sottoposti a continue revisioni e modifiche, contribuendo al delinarsi di un sistema normativo disomogeneo e con scarsa capacità di interconnettere i diversi ambiti giuridici. Quando per esempio si deve intervenire su edifici vincolati, la legislazione sull'efficienza energetica, che dovrebbe essere in condizione di interdipendenza e a volte di subalternità rispetto alle norme di tutela del patrimonio culturale, ne risulta al contrario slegata, favorendo il più delle volte il ricorso alla facoltà di deroga in mancanza di un progetto consapevolmente elaborato sulla base di interventi compatibili e idonei.

Per quanto riguarda le due categorie edilizie stabilite a livello europeo, l'Italia riprende tali disposizioni e divide gli immobili in "beni tutelati" ed "altri edifici".

Se per la prima classe edilizia viene concessa maggiore libertà d'azione, per il secondo gruppo di edifici invece diventa prerogativa fondamentale la riduzione delle dispersioni per trasmissione o del fabbisogno totale di energia, a seconda che si

1. *Edifici storici. Recupero energetico*, «Modulo», 392, Novembre Dicembre 2014, p. 576

intervenga rispettivamente su un solo elemento oppure sull'intero involucro edilizio. A seconda delle dimensioni dell'edificio sono richieste, poi, misure prestazionali differenti (Tabella Fig.14).

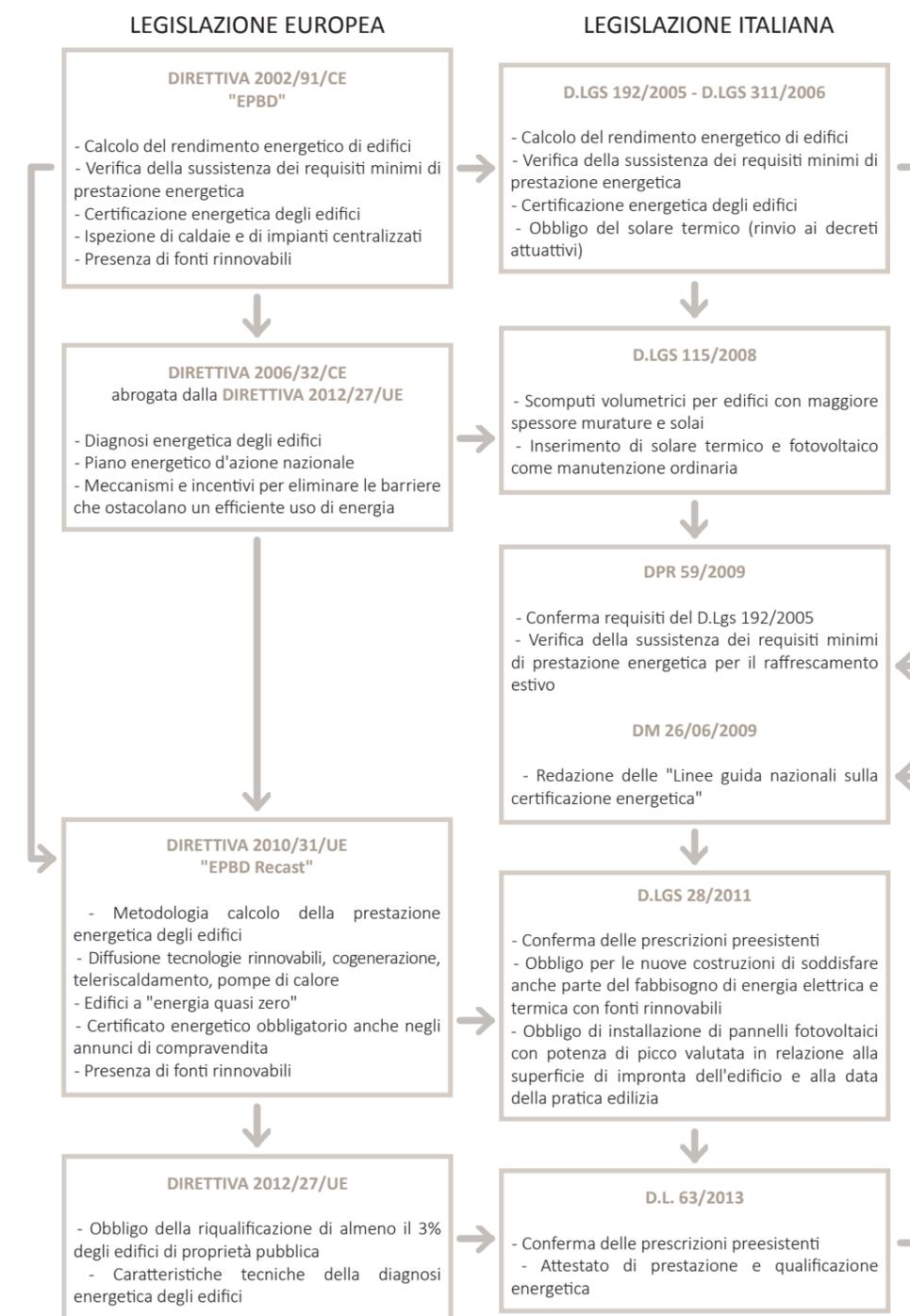


Fig. 13: Dati tratti e rielaborati da: *Edifici storici. Recupero energetico*, «Modulo», 392, Novembre Dicembre 2014, p. 574.

Sintesi delle principali verifiche da eseguire negli interventi sul patrimonio esistente secondo il D.Lgs. 192/2005 e s.m.i.:

TIPO DI INTERVENTO	VERIFICHE DA EFFETTUARE
Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti; Ristrutturazione integrale involucro edilizio (sup. utile > 1 000 m ²); Ampliamento volumetrico (> 20% volume)	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (Epi<Epi,lim) ¹ ; Indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva dell'involucro edilizio (Epe invol ≤ Epe invol,lim-ite); Valori minimi di trasmittanza termica per i muri divisorii; Assenza di condensa nelle pareti; Controllo della climatizzazione estiva con misure bioclimatiche; Regolazione termica interna; opere per favorire il teleriscaldamento; Inerzia termica dell'involucro opaco (residenze).
Ristrutturazione totale o parziale; Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria dell'involucro (sup. utile ≤ 1 000 m ²)	Controllo della climatizzazione estiva con misure bioclimatiche; Valori minimi di trasmittanza termica per gli elementi di involucro e per muri divisorii; Assenza di condensa nelle pareti; Inerzia termica dell'involucro opaco, solo per le residenze.

Tabella Fig. 14: Dati tratti e rielaborati da: E. Lucchi, V. Pracchi, *Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2013.

LINEE GUIDA

In ambito nazionale ed internazionale sono state formulate delle linee di indirizzo nella prospettiva di guidare il progettista all'ottemperanza delle disposizioni normative. Dal momento che il tema dell'efficientamento energetico in rapporto alla conservazione degli edifici storici è ancora poco indagato, in questi anni si è ritenuto necessario condurre degli studi di ricerca approfonditi per definire i giusti procedimenti operativi e le scelte progettuali più opportune per il patrimonio esistente.

Un primo ambizioso progetto è stato sviluppato a scala europea da scienziati e parti interessate, come le PMI nei settori di diagnostica, conservazione, fisica delle costruzioni, sostenibilità, architettura e illuminazione per il periodo Ottobre 2010- Marzo 2014. Il *3ENCULT*, acronimo di *Efficient Energy for EU Cultural Heritage*, individua e definisce i migliori interventi di efficientamento energetico per gli edifici storici e del Movimento Moderno. L'obiettivo è quello di colmare il divario tra conservazione degli edifici storici e protezione del clima, suggerendo soluzioni ad alta efficienza energetica adeguate

1. La Epi indica il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, ovvero la prestazione energetica del sistema edificio-impianto per il solo riscaldamento, mentre la sigla Epi,lim indica il limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale imposto per legge sulle nuove costruzioni o per le ristrutturazioni importanti di edifici non soggetti a vincolo.

alle caratteristiche tecniche, costruttive, fisiche, materiche e storico-artistiche di quelle precise architetture. I risultati ottenuti sono stati elaborati sotto forma di linee guida e divulgati alla comunità scientifica e pubblica. Sono stati anche pubblicati documenti di sintesi per dettare eventuali integrazioni, tra cui anche la valutazione dell'impatto ambientale, alla legislazione vigente per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici storici nelle aree urbane.

Nei Paesi anglosassoni sono attivi l'*English Heritage* e l'*Historic Scotland* per la tutela e la valorizzazione dei propri edifici storici, monumenti e siti culturali. Essi s'impegnano alla promozione di linee guida per la conservazione e la gestione del patrimonio ed alla pubblicazione delle *best practises* e dei più idonei interventi di *retrofit* energetico per il costruito esistente.

Nel contesto italiano, delle linee di indirizzo che promuovono la buona prassi per gli interventi sull'edilizia storica sono state elaborate nel 2010 dalla Regione Veneto congiuntamente ai Metadistretti Veneti dei Beni Culturali e della Bioedilizia. Il progetto vuole coinvolgere anche i nuovi aspetti legati alla sostenibilità ambientale, prefiggendosi l'obiettivo "*del miglioramento delle prestazioni energetico-ambientali tenendo conto sia dei criteri del restauro (quali il rispetto dell'autenticità della materia, il minimo intervento, la reversibilità ecc.) che dei criteri della bioedilizia.*"¹

In collaborazione con il MiBACT, nel 2014, l'Associazione Italiana AICARR si è dedicata alla redazione di un volume in cui raccogliere indirizzi operativi rivolti sia alla Soprintendenza che ai progettisti. La Guida sull' "Efficienza Energetica negli Edifici Storici" definisce, nella prima parte, i principi generali del risparmio energetico rivolgendosi principalmente alle Soprintendenze, che devono poi verificare il rispetto dei vincoli insistenti sul manufatto. Nella seconda parte, dedicata maggiormente ai progettisti, suggerisce i criteri di diagnosi e miglioramento energetico degli edifici storici.

Un altro importante traguardo è stato raggiunto nello stesso anno dall'Associazione *GBC Green Building Council Italia*, che ha sviluppato il protocollo di certificazione *GBC Historic Building* con il principale scopo di "*far dialogare i criteri di sostenibilità dello standard LEED® e il vasto patrimonio di conoscenze proprie del mondo del restauro nel quale l'Italia ricopre ruoli di eccellenza. [...] GBC Historic Building si applica agli edifici storici che costituiscono testimonianza materiale avente valore di civiltà. Ai fini dell'applicazione del protocollo GBC HB, l'edificio deve essere stato costruito prima del 1945 per una porzione ad almeno il 50% degli elementi tecnici esistenti.*"²

Esistono già alcuni casi sul territorio nazionale di edifici certificati *GBC HB* e diversi registrati. Lo scopo principale di questo lavoro consente di diffondere la conoscenza di nuove pratiche di intervento sugli edifici storici al fine di rendere i siti e gli edifici in armonia con l'ambiente, salubri e che migliorano la qualità della vita.

Nel 2015, sono state stilate da parte del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT) le "Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale", ossia un documento contenente indicazioni per il miglioramento della *performance* energetica del patrimonio culturale tutelato italiano, nel rispetto della legislazione vigente sull'efficienza energetica in edilizia.

1. Metadistretto Veneto della Bioedilizia - Metadistretto Veneto dei Beni Culturali, *A.T.T.E.S.S. Edilizia Storica e Sostenibilità Ambientale. Linee guida: la qualità delle prestazioni energetico-ambientali nella manutenzione dell'architettura storica*, Venezia, 2010, p.3.

2. www.gbctalia.org/historic-building

L'obiettivo non è quello di definire un unico *modus operandi* ma suggerire approcci consapevoli e soprattutto adeguati alle specifiche caratteristiche del patrimonio culturale, tenendo in considerazione la naturale evoluzione nel tempo di tecnologie e requisiti normativi. Le Linee Guida costituiscono per il progettista un valido strumento per valutare il comportamento energetico dell'edificio storico e forniscono i criteri tecnici per l'elaborazione di possibili soluzioni progettuali di *retrofit* energetico.

Attualmente, alla continua ed incessante attenzione a nuove normative che impongono requisiti minimi energetici sempre più restrittivi nel rispetto della sostenibilità ambientale, soprattutto per il nuovo costruito, non si assiste alla stessa rapida evoluzione di direttive sul corretto approccio da tenere nei confronti degli edifici esistenti.

Le Linee Guida, di cui progressivamente i diversi Paesi si stanno dotando, favoriscono la diffusione di una maggior sensibilità nei confronti degli interventi su un edificio storico, perché aiutano i progettisti ad elaborare soluzioni che non tengano conto solamente dei nuovi requisiti energetici, ma anche della fruibilità dei valori culturali del fabbricato e degli aspetti legati all'uso, alla durata nel tempo, alla sicurezza e all'accessibilità.

2.2.3 Edifici storici, moderni, tutelati. Le problematiche da affrontare

In Europa, circa il 38% del patrimonio edilizio esistente è stato costruito prima del 1960. La forte presenza di edifici storici sul territorio nazionale ed europeo non rappresenta soltanto un'importante risorsa culturale ma anche un "bene pubblico" da tutelare e valorizzare in quanto portatore dei valori storici locali.

Salvaguardare il patrimonio, però, non significa soltanto adottare misure di tutela nei confronti della consistenza materica, ma anche di operare interventi di riqualificazione energetica, intesa anch'essa come una forma di protezione degli edifici. Il *retrofit*, infatti, consente sia di migliorare le prestazioni energetiche dei fabbricati sia di conservarne la struttura e l'aspetto, per renderli fruibili nel tempo, promuovendo "la cultura e la storia di una città" ed agendo "come incentivo per il turismo del patrimonio e l'economia correlata."¹

A fronte di una crisi del settore delle costruzioni e della necessità sempre più stringente di diminuire gli impatti ambientali, il ruolo della riqualificazione del patrimonio diventa allora sempre più fondamentale, soprattutto se si vogliono raggiungere gli obiettivi di risparmio energetico previsti dall'UE. A fronte di un investimento più contenuto rispetto ad una nuova costruzione, gli interventi di *retrofit* possono conferire un'alta *performance* energetica anche a fabbricati molto datati, contribuendo così ad abbattere il valore di emissioni climalteranti nell'aria.

Tuttavia, prima ancora che efficaci energeticamente, le operazioni di riqualificazione sull'esistente devono rispettare i criteri di "non invasività" e "compatibilità". "Quando parliamo di non invasività ci riferiamo a minimizzare l'impatto visivo, estetico e spaziale dell'intervento rispetto all'immobile storico, mentre il criterio di compatibilità implica la valutazione degli effetti fisici e chimici indotti dalle modifiche sulla materia

1. I. M. Lisitano, *La riqualificazione energetica degli edifici storici. Quali le problematiche, quali le soluzioni?*, «Ingenio», p.2

storica. Il processo di *retrofit* potrebbe riportare in vita l'edificio storico, ma non è facile e tale progettazione richiede un know-how specifico ed ogni intervento di restauro deve considerare l'ultima trasformazione dell'edificio stesso."¹

Quando si interviene su un edificio di epoca storica, il principale problema da affrontare riguarda i limiti agli interventi sull'involucro esterno, che non deve in alcun modo essere compromesso per il suo valore storico ed artistico.

Per quanto riguarda le facciate, allora, gli interventi sono limitati alle sole operazioni indispensabili e soprattutto sono vincolati al parere della Soprintendenza. È necessario quindi prestare particolare attenzione ai serramenti, che sono componenti fortemente caratterizzanti l'aspetto architettonico complessivo e testimoniano sia i sistemi tecnologici di un'epoca passata sia le teorizzazioni alla base dei diversi tipi architettonici. Negli edifici storici, per consentire buon isolamento termico, le finestre sono di piccole dimensioni e si inseriscono in murature di grandi spessori, negli antichi palazzi nobili i telai lignei caratterizzano lo sviluppo delle facciate, nel '900 invece, con i nuovi principi del Movimento Moderno, l'involucro si caratterizza per strutture esili e ampie superfici trasparenti. "La finestra - come scrive Gio Ponti - non è più un serramento ma una parte integrante ed espressiva dell'architettura" e il vetro "non è più parte di un serramento ma finalmente un elemento dell'architettura stessa, un'estensione trasparente del muro stesso". Prima di elaborare delle proposte di intervento diviene pertanto fondamentale sviluppare un'analisi critica che sappia coniugare le necessità di contenimento energetico e gli aspetti storici ed artistici del caso studio, tenendo sempre in considerazione che ogni alterazione al componente originale comporta una perdita di valore materiale e immateriale e che ogni rimozione dev'essere giustificata da validi motivi storici, tecnologici, costruttivi ed estetici.

Dal momento che gli interventi sulle superfici esterne appaiono il più delle volte più problematici da realizzare, i progettisti orientano le proprie scelte sul lato interno dell'involucro edilizio. Le principali difficoltà riguardano la compatibilità fisiche e chimiche degli interventi contemporanei sui materiali storici: l'inserimento di nuovi sistemi isolanti sulle superfici esistenti comporta, da un punto di vista geometrico, variazioni delle proporzioni originali degli ambienti, mentre da un punto di vista chimico-fisico, possibili minacce all'integrità complessiva dell'edificio. È bene sapere, infatti, che il principale rischio causato dagli interventi successivi in ambienti esistenti può corrispondere alla compromissione dell'equilibrio tra le condizioni termoigrometriche interne, come ambiente termico, qualità dell'aria e livello di umidità. "I materiali non traspiranti, o quasi impermeabilizzanti come polistirene o poliuretano, veicolano la condensa all'interno dei componenti della fabbrica rovinando l'intera struttura, mentre quelli traspiranti, come lane minerali o fibre di legno, senza particolari accorgimenti assorbono l'acqua e in alcuni casi potrebbero imbibire la parete."²

Alla luce di tali considerazioni, gli interventi di riqualificazione energetica devono assicurare un miglioramento delle prestazioni globali della struttura senza variarne sensibilmente i livelli di umidità interna, per non influenzare negativamente né la salute degli utenti né la conservazione dell'immobile. È dunque di primaria

1. I. M. Lisitano, *La riqualificazione energetica degli edifici storici. Quali le problematiche, quali le soluzioni?*, «Ingenio», p.2

2. I. M. Lisitano, *La riqualificazione energetica degli edifici storici. Quali le problematiche, quali le soluzioni?*, «Ingenio», p.4

importanza scegliere materiali adatti sia al tipo di intervento che alle caratteristiche del fabbricato, affinché non interagiscano negativamente con le superfici storiche e non provochino un peggioramento delle prestazioni dell'edificio, anziché un miglioramento.

Nei confronti dell'esistente, ed in particolar modo di edifici culturali e di memorie storiche, la riqualificazione energetica dev'essere volta ad interventi sostenibili che consentano di migliorarli dal punto di vista delle prestazioni energetiche ma di conservarne l'immagine storica, le proporzioni geometriche, l'integrità fisico-chimica ed il valore artistico.

2.2.4 La corretta progettazione degli interventi

L'intervento di riqualificazione, rispetto ad un progetto *ex novo*, presuppone un grado di sensibilità maggiore nei confronti dell'edificio. Dovendosi confrontare con tecnologie e sistemi edilizi di altra epoca, e quindi con caratteristiche meccaniche, termo fisiche ed energetiche diverse da quelle dei fabbricati dei giorni nostri, è fondamentale istituire prima di qualsiasi intervento una fase preliminare di conoscenza del manufatto al fine di elaborare gli scenari progettuali più idonei e compatibili al Bene oggetto di studio.

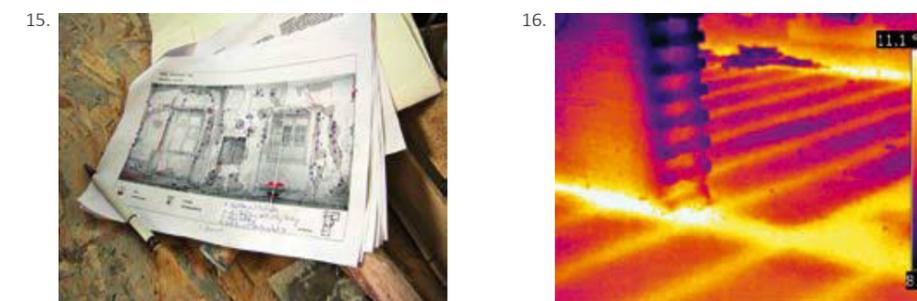
PROGETTO DI CONOSCENZA

Per prima cosa è necessario reperire la documentazione tecnica, i disegni originali e le relazioni di progetto al fine di individuare le principali caratteristiche dell'involucro e del sistema impiantistico, ove presente. Parallelamente, diventa di fondamentale importanza anche il rilievo geometrico, al fine di individuare i dettagli strutturali e gli eventuali ammaloramenti, degradi e disomogeneità del fabbricato.

È necessaria anche un'indagine storica circa l'evoluzione dell'edificio, dall'epoca di costruzione ai giorni nostri, indagando tutti gli interventi che si sono succeduti nel corso del tempo, per conoscere quali tecnologie e quali materiali sono originali e quali successivi.

Per conoscere meglio le caratteristiche termo-fisiche dell'edificio, si possono anche condurre indagini non distruttive come ad esempio la termografia ad infrarossi, la tecnica del termoflussimetro, il *BlowerDoor Test*, il *Penetrant Test*, l'analisi sonora ed il monitoraggio energetico e ambientale.

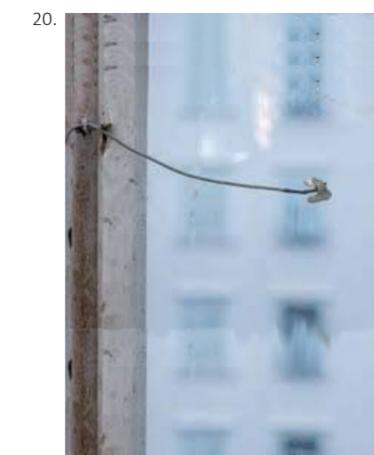
Tali prove strumentali affiancano il tradizionale esame visivo e consentono di caratterizzare meglio il fabbricato, soprattutto nella condizione in cui non si è riusciti a raccogliere sufficiente documentazione, data ad esempio la vetustà dell'edificio. Molto spesso, tuttavia, nonostante si sia in possesso di tutto il materiale tecnico necessario, i valori riportati nelle relazioni di progetto potrebbero non descrivere più così fedelmente le *performances* attuali: il tempo e l'usura dei componenti edilizi sono infatti i due principali responsabili della perdita delle prestazioni globali delle strutture ed è per tale motivo che sarebbe auspicabile svolgere ugualmente le indagini strumentali in campo, per verificare ed eventualmente misurare l'entità dello scostamento dai valori originali.



15. Rilievo geometrico e conservativo dell'edificio, Credit: Elena Lucchi; 16. Termografia a raggi infrarossi per individuare la conformazione e i materiali utilizzati in una soletta storica, Credit: Elena Lucchi.



17. *Blower Door Test* per quantificare le infiltrazioni d'aria dell'edificio, Credit: Dagmar Exner; 18. *Penetrant Test* per localizzare discontinuità, cricche, porosità e ripiegature Credit: Francesca Roberti.



19. Termoflussimetria per misurare la trasmittanza termica delle pareti, Credit: Elena Lucchi; 20. Monitoraggio della temperatura superficiale di un vetro, Credit: Florian Berger/EURAC.

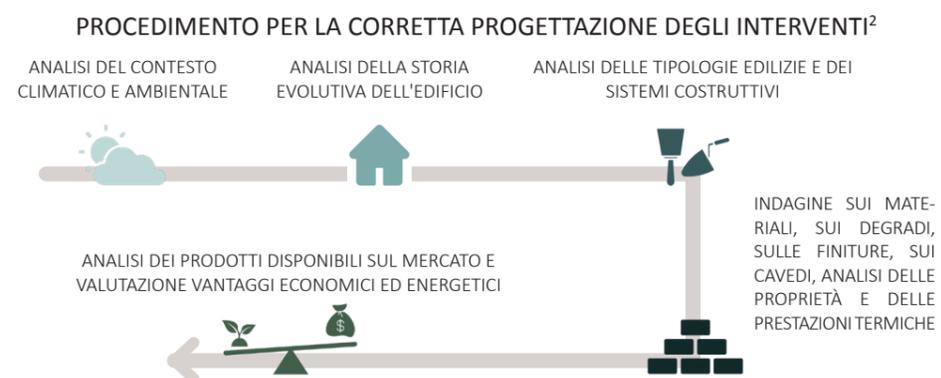
Fonte immagini e didascalie: E. Lucchi, *Diagnosi energetica strumentale dell'edilizia storica*, «CasaClima» 61, Giugno 2016, pp. 38-45

Dopo aver raccolto i dati necessari, si passa alla fase di modellazione dell'edificio su *Software* specializzati al fine di analizzarne il comportamento energetico. Esistono due differenti metodi di calcolo:

- calcolo in regime stazionario, sviluppato su base mensile o stagionale, le cui procedure e banche dati sono definite dalla norma tecnica UNI TS 11300. A seconda delle condizioni di calcolo imposte¹, viene impiegato quando si vuole certificare la prestazione energetica dell'edificio e si vuole conoscere la classe energetica di appartenenza anche se la sua affidabilità, in questi casi, è limitata in quanto le strutture edilizie e i materiali contenuti nel *database* si riferiscono ad una condizione di perfetto stato di conservazione e non tengono ad esempio conto delle forme di degrado a cui un edificio esistente è sicuramente suscettibile.

- calcolo in regime dinamico (cfr. UNI EN ISO 52016:2018), modello più evoluto e di recente introduzione nel sistema di analisi energetiche, che considera intervalli di tempo brevi per rendere le condizioni di calcolo più simili a quelle reali e simulare un comportamento energetico dell'edificio sempre più fedele alla realtà. Le modellazioni dinamiche, che richiedono tempi lunghi ed investimenti onerosi, sono meno approssimative di quelle stazionarie, essendo basate "su un approccio integrato volto a valutare l'intero sistema edificio-impianto dal punto di vista costruttivo e gestionale in quanto analizzano simultaneamente i flussi termici, elettrici, luminosi, acustici, ventilativi, il comportamento e le modalità di utilizzo degli occupanti".² Nonostante tutti questi aspetti positivi, nemmeno il calcolo dinamico appare efficace *tout-court* nell'analisi energetica degli edifici esistenti, in quanto tale sistema necessita di una conoscenza approfondita di numerosi aspetti, quali dati climatici, termofisici, geometrici e gestionali che spesso sono impossibili da reperire per questa tipologia edilizia.

Alla luce di tali considerazioni si potrebbe dunque concludere che sebbene siano stati fatti progressi nella ricerca e nella definizione delle tecniche e dei procedimenti per l'analisi energetica degli edifici esistenti, in fase di simulazione del comportamento dell'edificio è sempre bene tenere in conto le variabili di tempo e di usura che invece non sono previste nelle banche dati dei *Software* di modellazione. Un'analisi critica consente di formulare ipotesi che possono variare le condizioni di progetto ottimistiche di allora, cercando piuttosto di proporre una fotografia della realtà di fatti ad oggi.



1. Prospetto 2, UNI/TS 11300-1:2014, p. 3

2. *Edifici storici. Recupero energetico*, «Modulo», 392, Novembre Dicembre 2014, p. 579-580

2. Dati tratti e rielaborati da I. M. Lisitano, *La riqualificazione energetica degli edifici storici. Quali le problematiche, quali le soluzioni?*, «Ingenio», p.3

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Riqualificare energeticamente un edificio esistente significa intervenire su due aspetti: agire sull'involucro edilizio, riducendo le dispersioni per trasmissione e ventilazione verso l'esterno e verso i locali non riscaldati; agire sul sistema impiantistico sia termico che elettrico dell'impianto di distribuzione e di regolazione. È infine possibile ed auspicabile sfruttare le fonti rinnovabili per rendere l'edificio sempre più autonomo energeticamente.

Isolamento delle strutture opache

Per ridurre il valore di trasmittanza termica delle strutture opache, e quindi migliorarne la *performance* energetica, si può intervenire con un isolamento sia interno che esterno. Per quanto riguarda gli edifici costruiti in epoca storica, magari anche soggetti a vincolo di Tutela, l'applicazione di un cappotto esterno sulle chiusure verticali risulta di difficile attuazione. Sebbene sia un'operazione più efficace in termini di riduzione dei ponti termici, è però fortemente invasiva, perchè modifica sia l'immagine che la matericità delle facciate esterne. In certi casi, allora, diviene più opportuno intervenire all'interno, prediligendo isolanti di spessore ridotto per non sottrarre superficie utile agli ambienti e non alterare visibilmente la struttura originaria. Per quanto riguarda gli edifici storici, è preferibile scegliere materiali ad alte prestazioni termiche e di trasmissione al vapore, "come ad esempio i materiali a capillarità attiva, l'aerogel, le malte e le vernici nano polimeriche".¹

Per quanto invece concerne gli edifici costruiti in epoca Moderna, che si contraddistinguono per la bassa inerzia termica e l'esiguo spessore delle proprie chiusure opache, è meglio impiegare materiali ad alta capacità termica come il legno o i materiali a cambiamento di fase, cosiddetti PCM (*Phase Change Materials*). Si tratta di materiali termoregolanti, capaci di immagazzinare grandi quantità di calore durante le ore diurne per rilasciarle poi in quelle notturne, mantenendo una temperatura costante.

Per quanto riguarda la coibentazione degli orizzontamenti, si può intervenire sia all'estradosso che all'intradosso con l'applicazione di strati isolanti oppure con sistemi di controsoffittatura. Per quanto riguarda le coperture, il procedimento è il medesimo, prediligendo materiali con buone capacità di trasmissione al vapore per evitare il verificarsi di fenomeni di umidità, condensa e muffe.

Miglioramento delle prestazioni delle strutture trasparenti

Le superfici trasparenti, soprattutto se poco performanti, sono generalmente le principali responsabili delle dispersioni di calore globali dell'edificio. Alcune indagini hanno dimostrato che negli edifici Moderni le dispersioni dell'involucro trasparente raggiungono il 40%, mentre per quanto riguarda gli edifici storici, che presentano in facciata aperture più piccole, si attestano intorno al 20%. Queste cifre fanno riflettere e impongono, in fase di riqualificazione, strategie di intervento che consentano livelli di isolamento termico più alti.

"Le finestre, generalmente, hanno una durata inferiore rispetto all'edificio poiché sono esposte quotidianamente a condizioni ambientali che ne provocano il graduale deterioramento. La velocità di degrado dipende da moltissimi fattori quali posizione geometrica, dettagli di fabbricazione, composizione, porosità e attaccamento da parte di sostanze corrosive, inquinamento ambientale, umidità ambientale, esposizione

1. *Edifici storici. Recupero energetico*, «Modulo», 392, Novembre Dicembre 2014, p. 581

al sole e alle variazioni termiche, modalità d'uso e di manutenzione."¹ Intervenire sulle strutture trasparenti significa migliorarne la resistenza meccanica, le capacità termo fisiche, la permeabilità all'aria, la tenuta all'acqua e la schermatura dai raggi solari. Nella valutazione delle prestazioni dei serramenti non si considera soltanto il valore di trasmittanza termica [W/m²K], ma bisogna anche tenere in conto del fattore di guadagno solare e il fattore di trasmissione luminosa. Sebbene la soluzione più efficace dal punto di vista dell'abbattimento delle dispersioni termiche sembri quella di sostituire integralmente il sistema dei serramenti originali con tecnologie più performanti, in sede di progetto bisogna sempre considerare che questa operazione potrebbe comportare rischi legati alla perdita del valore storico, artistico e culturale del manufatto.

È possibile, tuttavia, sostituire gli infissi storici ma è necessario individuare nuovi prodotti che sappiano riprodurre il *design* originale e rievocare l'immagine dell'epoca. Oggi sono preferibili sistemi a taglio termico perchè, grazie all'isolante nel profilo del telaio, interrompono il flusso termico e limitano gli scambi termici.

Una soluzione più complessa, ma preferibile dal punto di vista del rispetto e della salvaguardia del Bene, è quella di sostituire soltanto la lastra originale con un nuovo pacchetto vetrato, mantenendo il telaio storico. L'operazione, che mira alla conservazione e alla valorizzazione del componente originale, si effettua principalmente in presenza dei telai lignei degli edifici nobili e consiste in una piccola modifica strutturale e nel successivo alloggiamento di sistemi vetrati più performanti nel *frame* restaurato. Un altro intervento che non comporta grosse modifiche all'aspetto complessivo delle facciate è l'applicazione di pellicole basso emissive sui vetri originari, anche se dal punto di vista energetico presenta un'efficacia notevolmente minore.

Nel caso in cui le facciate dell'edificio siano poi soggette a particolari vincoli estetici, si può intervenire inserendo sul filo interno delle pareti un secondo serramento o un contro-vetro, assicurando sia gli adeguati parametri di isolamento termico, acustico e contrasto all'infiltrazione d'aria, sia il mantenimento della percezione dall'esterno dell'edificio culturale.

Anche i sistemi di schermatura solare costituiscono una valida opzione per ottenere benefici energetici. Installare, ad esempio, tende interne o esterne consente di limitare le dispersioni per trasmissione fino al 50%; le tecnologie più evolute come le veneziane riflettenti o i sistemi di schermatura interna assicurano una riduzione di circa il 50-60%. L'inserimento delle schermature esterne, invece, sebbene assicuri una diminuzione delle dispersioni termiche oltre il 60%, è poco compatibile con l'edificio storico e ne compromette l'aspetto complessivo.

Sostituzione degli impianti

Un'altra forma di *retrofit* consiste nella sostituzione o nella progettazione *ex novo* degli impianti di climatizzazione. Proprio come gli interventi sull'involucro, così anche i nuovi sistemi impiantistici devono risultare poco invasivi per potersi integrare perfettamente negli spazi esistenti senza comprometterne né la conservazione né la morfologia. Questo tipo di intervento non è finalizzato solo al raggiungimento di risparmi energetici ma consente inoltre di garantire le giuste condizioni di *comfort* agli utenti e di mantenere il controllo delle condizioni microclimatiche per una buona

1. I. M. Lisitano, *La riqualificazione dell'involucro trasparente. Criteri progettuali e benefici di risparmio energetico*, «Ingenio», p.2

conservazione delle superfici, delle finiture e dei manufatti interni.

Una problematica molto comune che si deve fronteggiare nel caso in cui si debbano installare gli impianti di climatizzazione negli edifici storici, riguarda l'assenza di spazi adeguati per la realizzazione del sistema impiantistico. Molto spesso, poi, data la natura successiva dell'intervento, la necessità è anche quella di limitare l'impatto che una soluzione contemporanea potrebbe creare negli ambienti storici, cercando quindi di non rendere troppo manifesto l'intervento.

Per tali ragioni, è necessario sfruttare la struttura architettonica e l'organizzazione spaziale dell'edificio. Per prima cosa si deve individuare un vano tecnico per inserirvi il sistema di produzione dell'energia termica, utilizzare poi i vuoti nelle murature o le antiche canne fumarie dei camini per il passaggio delle nuove tubazioni, magari ritrovando gli antichi tracciati e riutilizzarli per funzioni simili, ed infine collocare le unità impiantistiche esterne in zone riparate e poco visibili. Per quanto riguarda la scelta dei terminali scaldanti, valide soluzioni possono essere i sistemi radianti a pavimento o a parete, che contrariamente ai più diffusi radiatori e ventilconvettori, sono meno invasivi dal momento che sono nascosti nell'involucro edilizio, sono più performanti e soprattutto consentono di bilanciare le esigenze di *comfort* e di conservazione. In presenza di superfici di pregio, bisogna tuttavia operare altre scelte: si possono impiegare sistemi con caldaia a condensazione con recupero di calore, il cui generatore è molto simile per dimensione ad una caldaia normale ma è più performante e soprattutto ben si adatta ad una vasta gamma di materiali, anche a quelli più problematici come il legno. Si possono anche installare sistemi basati su pompa di calore, che consentono di produrre energia sia per riscaldamento che per raffrescamento tramite un unico generatore.

Per quanto invece riguarda gli impianti ad aria, appare assai più complesso mascherarli, viste le grandi dimensioni delle canalizzazioni. Si predispongono allora controsoffitti, aperti o chiusi a seconda della scelta progettuale di manifestare l'intervento oppure nascondere.

Fonti rinnovabili

In un progetto di riqualificazione è sempre più auspicabile inserire anche le fonti energetiche rinnovabili. Uno degli aspetti da considerare consiste, di nuovo, nella perfetta integrazione architettonica e tecnologica degli impianti, perseguendo i principi riguardanti *"la planarità, il rispetto delle linee, la forma regolare e ordinata, il ridotto impatto estetico e cromatico e la precisione nell'installazione."*¹

1. *Edifici storici. Recupero energetico*, «Modulo», 392, Novembre Dicembre 2014, p. 583

2.2.5 I vantaggi della riqualificazione. Detrazioni ed incentivi

La necessità di ridurre la dipendenza energetica dai carburanti fossili e di contenere le emissioni inquinanti attraverso un uso più efficiente dell'energia, non è legata a vantaggi esclusivamente di tipo ambientale e di *comfort* abitativo interno ma anche di tipo economico. Un edificio con minor fabbisogno energetico non solo riduce il suo impatto ambientale ma consente agli utenti di risparmiare sui costi di gestione, acquisendo maggior valore patrimoniale e più appetibilità sul mercato immobiliare. I vantaggi della riqualificazione si possono valutare sia sul confronto delle prestazioni energetiche dell'edificio prima e dopo l'intervento, sia sulla valutazione in termini economici di tale risparmio, considerando i valori di *PayBack Period* e del VAN.



Per incoraggiare queste pratiche, sia livello europeo sia nei singoli Stati sono stati promossi incentivi e agevolazioni fiscali per chi intraprende interventi di riqualificazione. Come del resto afferma la direttiva 2018/844/UE, o *EPBD 2nd Recast*, "i meccanismi finanziari, gli incentivi e la mobilitazione delle istituzioni finanziarie per ristrutturazioni destinati a migliorare l'efficienza energetica degli edifici dovrebbero avere un ruolo centrale nelle strategie nazionali di ristrutturazione a lungo termine ed essere attivamente promossi dagli Stati membri". Tuttavia, la difficoltà più grande non è tanto non avere strumenti finanziari di supporto, quanto piuttosto scegliere quelli più opportuni e capire come abbinarli in modo tale da massimizzare il risultato finale anche dal punto di vista economico.

Dopo avere verificato la fattibilità tecnica degli scenari progettuali, bisogna capire se sono sostenibili anche dal punto di vista economico. Nell'analisi delle spese, a seconda del tipo di intervento da svolgere sull'immobile e a seconda delle casistiche, si potranno pertanto ottenere degli incentivi statali o degli sgravi fiscali che consentiranno all'investitore di risparmiare sul costo complessivo dei lavori.

La principale differenza tra incentivo e detrazione è dettata dal fatto che il primo è una "agevolazione di carattere tributario che si sostanzia nell'esenzione dal pagamento di determinati tributi o nella riduzione del loro ammontare"¹; la seconda invece è una detrazione d'imposta, o meglio "somma che il contribuente può sottrarre per legge dall'imposta lorda, calcolata in base alle risultanze della propria dichiarazione dei redditi, al fine di ottenere l'ammontare netto dell'imposta dovuta all'erario."²

Per quanto riguarda, allora, la riqualificazione dell'edilizia esistente, le detrazioni fiscali sono dette *bonus energia* e ne possono beneficiare sia persone fisiche (per gli interventi svolti nelle residenze) che persone giuridiche (per lavori eseguiti nei fabbricati strumentali). Le persone fisiche possono essere i proprietari dell'abitazione, o coloro che la ricevono in comodato d'uso, gli inquilini e i condomini. Per persone giuridiche invece s'intendono le imprese e le società.

Accanto a queste agevolazioni, si individuano poi gli incentivi, promossi dal Gestore dei Servizi Energetici GSE, che è una società per azioni italiana controllata dal Ministero dell'Economia e delle Finanze, e quindi dallo Stato, che si occupa di "supportare i cittadini, le imprese, gli enti locali e le istituzioni a promuovere tecnologie in grado di offrire una maggiore efficienza e un maggior rendimento energetico."³

Tra i principali servizi del GSE legati all'efficienza energetica si individuano il Conto Termico 2.0 e i Titoli di Efficienza Energetica TEE.

DETRAZIONI FISCALI

Le agevolazioni *bonus energia* costituiscono una valida iniziativa per promuovere gli interventi di riqualificazione e valorizzazione del patrimonio edilizio esistente. Vengono introdotte per la prima volta in Italia con la Legge Finanziaria 2007, che ha concesso detrazioni fino al 55% sulle spese sostenute per la riqualificazione energetica e, dal 2008 fino ad arrivare ai giorni nostri, la percentuale ha positivamente subito una progressiva crescita, confermando la volontà da parte delle Autorità di sostenere pratiche sempre più sostenibili e vocate al risparmio sui consumi.

Per ottenere tali aiuti finanziari il soggetto, fisico o giuridico, deve dimostrare di sostenere una o più spese orientate a:

- riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento
- miglioramento termico dell'involucro dell'edificio (isolamento chiusure opache orizzontali e verticali, sostituzione o restauro dei serramenti)
- installazione di pannelli solari
- sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale
- sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di apparecchi ibridi
- schermature solari
- acquisto, installazione e messa in opera di dispositivi multimediali per il controllo a distanza degli impianti di riscaldamento, produzione di acqua calda o climatizzazione

1. Definizione del termine da Dizionario Giuridico- Edizioni Simone.

2. Definizione del termine da Dizionario Treccani.

3. www.gse.it

delle unità abitative, finalizzati a garantire un funzionamento più efficiente degli impianti

- acquisto e posa in opera di micro-cogeneratori in sostituzione di impianti esistenti
- acquisto e posa in opera di generatori d'aria calda a condensazione.

Ogni tipologia di intervento ha un limite massimo agevolabile, che viene meglio espresso dalla seguente tabella:

Intervento volto al risparmio energetico	Detrazione massima
Riqualificazione energetica dell'edificio	100 mila €
miglioramento termico dell'involucro dell'edificio: pareti, serramenti, tetti e pavimenti	60 mila €
Installazione di pannelli solari termici per l'acqua calda	60 mila €
Sostituzione degli impianti di riscaldamento con impianti a caldaie a condensazione ad aria/acqua o pompe di calore ad alta efficienza	30 mila €
Installazione di pompe di calore ad alta efficienza o impianti geotermici a bassa entalpia	30 mila €
Installazione di micro-cogeneratori (con un risparmio di energia primaria pari almeno al 20%) o generatori ibridi, costituiti da pompa di calore integrata con caldaia a condensazione, o generatori d'aria calda a condensazione	100 mila €
Installazione di dispositivi multimediali per il controllo da remoto degli impianti di riscaldamento, climatizzazione e ACS (domotica, building automation)	-
Acquisto e posa in opera impianti climatizzazione invernale a generatori di calore alimentati da biomasse combustili	30 mila €
Acquisto e posa in opera di schermature solari	60 mila €
Sostituzione degli impianti di riscaldamento con caldaie alimentate a biomassa	30 mila €

Quando si compiono lavori di ristrutturazione e riqualificazione degli edifici esistenti, i bonus a cui riferirsi sono molteplici: la scelta si orienta dunque sulla base della natura giuridica del contraente e sulla base del tipo di intervento.

Per poter poi usufruire dell'agevolazione fiscale è indispensabile presentare l'attestato di certificazione energetica dell'edificio, che riporta i dati circa la sua prestazione energetica, la scheda informativa che riporta tutti gli interventi eseguiti, nonché il documento che attesta la corrispondenza dell'intervento ai requisiti indicati dalla legge.

LE TIPOLOGIE DI DETRAZIONI FISCALI PER RISTRUTTURAZIONI E RIQUALIFICAZIONI



BONUS RISTRUTTURAZIONE
interventi di restauro, risanamento conservativo e ristrutturazione edilizia
DETRAZIONI 50%
10 ANNI
BENEFICIARI: PERSONE FISICHE



ECOBONUS
interventi di efficientamento energetico e risparmio sui consumi
DETRAZIONI 50% - 65%
10 ANNI
PERSONE FISICHE E GIURIDICHE



SISMABONUS
messa in sicurezza e consolidamento strutturale per la prevenzione antisismica
50% - 70% - 75% - 80% - 85%
5 ANNI
PERSONE FISICHE E GIURIDICHE



BONUS VERDE
riqualificazione e sistemazione a verde di terrazzi, balconi e giardini (privati e condomini)
DETRAZIONI 36%
10 ANNI
BENEFICIARI: PERSONE FISICHE



ECO-SISMA-BONUS
adeguamento sismico e riqualificazione energetica su parti di edifici condominiali
DETRAZIONI 75% - 85%
10 ANNI
BENEFICIARI: PERSONE FISICHE



BONUS MOBILI ED ELETTRODOMESTICI
acquisto di mobili e grandi elettrodomestici per il risparmio energetico
DETRAZIONI 50%
BENEFICIARI: PERSONE FISICHE



BONUS FACCIATE
restauro e recupero delle facciate esterne degli edifici in zona A e B
DETRAZIONI 90%
10 ANNI
BENEFICIARI: PERSONE FISICHE



SUPERBONUS 110%
Ecobonus, Sismabonus e Bonus Fotovoltaico agevolati al 110%
DETRAZIONI 110%
5 ANNI
PERSONE FISICHE E GIURIDICHE

GLI INCENTIVI

Il GSE mette a disposizione due sistemi di finanziamento che, attraverso modalità differenti, consentono al contraente di recuperare una parte delle spese per l'intervento di riqualificazione. Per accedere a questi servizi è necessario presentare un'ampia documentazione, seguire un iter burocratico piuttosto lungo e risultare idonei *in toto*, dimostrando che il progetto ha assicurato un evidente risparmio sui consumi energetici. Questi sistemi sono il Conto Termico 2.0 e i Certificati Bianchi.

Il Conto Termico 2.0, che costituisce l'aggiornamento della prima versione del 2012, è uno strumento finanziario gestito dal Gestore Servizi Energetici GSE, volto ad incentivare la produzione di energia termica da fonti rinnovabili e gli interventi mirati ad una maggiore efficienza energetica. In questo senso, è possibile efficientare l'edilizia esistente recuperando in breve periodo una parte della spesa sostenuta.

Nella versione aggiornata del 2019 si sono ampliate le modalità di accesso così come la tipologia dei soggetti beneficiari, e cioè Pubbliche Amministrazioni, imprese e privati, che potranno accedere a fondi per 900 milioni di euro all'anno, di cui 200 destinati solo alle PA.

Gli interventi che beneficiano dei contributi del fondo comprendono:

- il miglioramento della coibentazione dell'involucro edilizio
- la sostituzione degli infissi con altri più prestanti
- l'introduzione di schermature e/ombreggiamento
- la sostituzione dei precedenti sistemi di illuminazione con i LED
- la sostituzione dei sistemi per la climatizzazione con tecnologie ad alta efficienza
- la produzione di energia termica da fonti rinnovabili
- l'introduzione di sistemi di *building automation*.

Inoltre, per la trasformazione di edifici esistenti in edifici a energia quasi zero (nZeb), il contributo arriva al 65% anche per eventuali spese di demolizione e adeguamento sismico. Il meccanismo copre in ogni caso il 100% dei costi della Diagnosi Energetica effettuata per determinare gli interventi da eseguire ed è cumulabile con altri finanziamenti pubblici (anche statali), a patto che la somma dei contributi pubblici non superi il 100% del costo degli interventi.

Il Conto Termico finanzia fino al 65% delle spese sostenute per gli interventi di manutenzione sull'involucro e sugli impianti degli edifici che ne incrementano l'efficienza energetica.

Per l'erogazione del contributo è necessario presentare al GSE una documentazione che contenga la Diagnosi Energetica dell'edificio e l'attestato di avvenuto intervento con i risultati raggiunti che confermino un risparmio sui consumi energetici.

Gli incentivi verranno poi erogati dal GSE sotto forma di rate annuali per un periodo di tempo da 2 a 5 anni, a seconda del tipo di intervento e della sua dimensione, oppure in un'unica rata se il valore da corrispondere è inferiore 5.000 euro.

Se si compiono interventi di riqualificazione in cui si registra un sostanziale risparmio sui consumi finali di energia, si possono ottenere i cosiddetti i Certificati Bianchi, o Titoli di Efficienza Energetica TEE, cioè titoli trasformabili in denaro. L'unità di misura del risparmio è il TEP (Tonnellate Equivalenti di Petrolio): per ogni TEP risparmiato il GSE riconosce un Certificato Bianco.

Per ottenere un Certificato Bianco bisogna presentare al GSE tutta la documentazione di progetto e il calcolo dei consumi *ex ante* ed *ex post* dell'intervento, in modo tale che il GSE possa quantificare i risparmi ottenuti ed eventualmente autorizzare l'erogazione di un TEE.

Questa forma di incentivo è rivolta principalmente alle società di distribuzione dell'energia e del gas, ma possono accedervi anche le ESCO (Energy Service Company), i soggetti pubblici e privati che hanno nominato un Esperto in Gestione dell'Energia o in possesso di un Sistema di Gestione dell'Energia.

BONUS PER INTERVENTI SUI BENI VINCOLATI

Nel caso di edifici di proprietà privata che costituiscono patrimonio storico culturale, le forme di contributo economico e di agevolazione fiscale sono differenti.

È necessario premettere che in fase d'intervento, proprio per il regime di tutela che salvaguarda i Beni, molto spesso ci si affida allo strumento di deroga per sollevare tali edifici dall'obbligo di rispetto dei requisiti minimi di legge, in quanto molto spesso l'invasività delle operazioni volte *tout-court* al miglioramento dell'efficienza energetica potrebbe compromettere il valore dell'immobile.

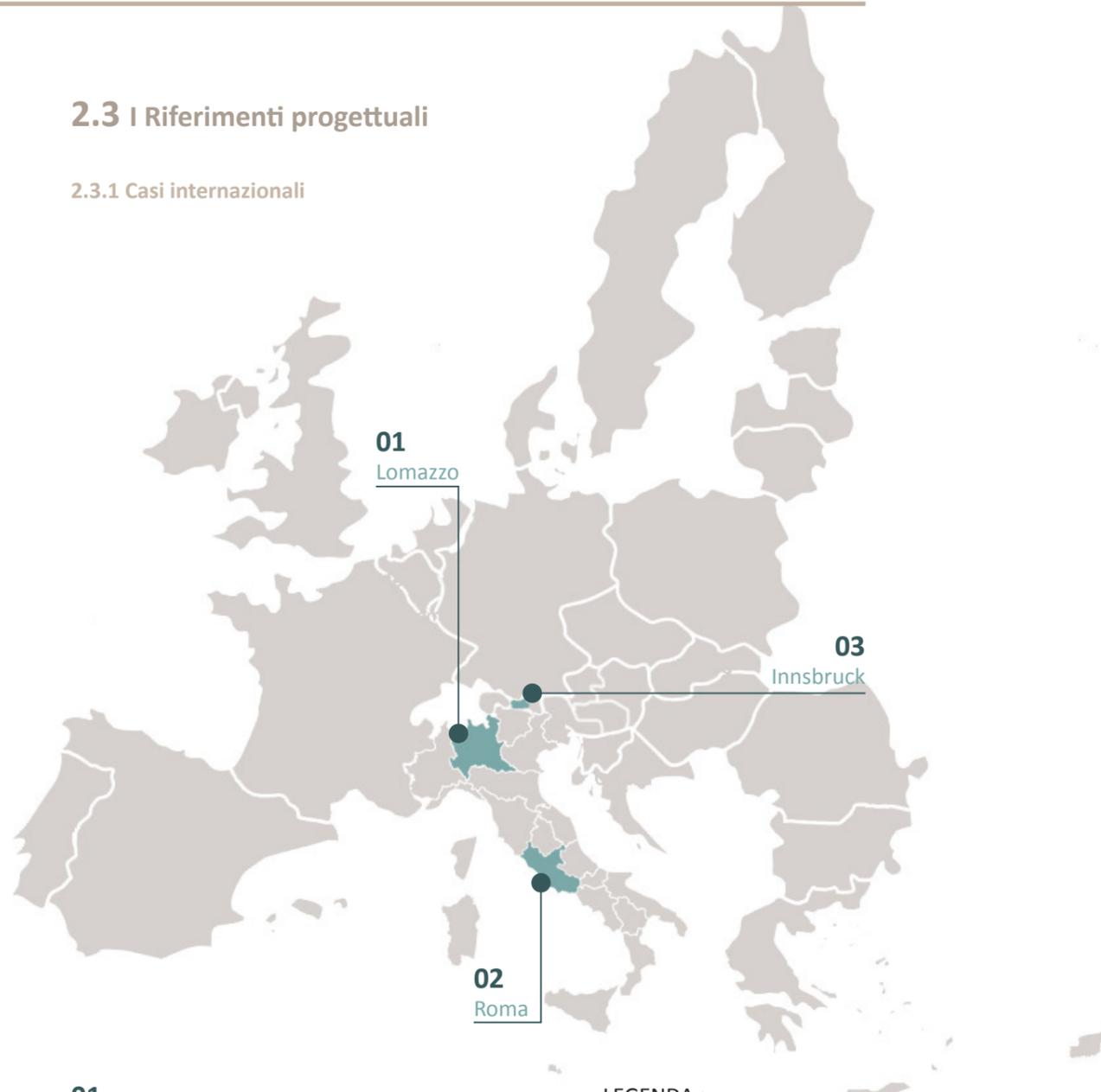
Quando si vuole recuperare ed efficientare un edificio privato tutelato, ritenuti idonei gli interventi sull'immobile, si può beneficiare di due strumenti finanziari statali: i contributi diretti sotto forma di elargizioni in denaro e i contributi indiretti in forma di detrazioni fiscali.

Per quanto riguarda i contributi diretti, il sistema prevede sia contributi in conto capitale, e quindi erogati al termine dei lavori; sia contributi in conto interessi, per cercare di ridurre la quota di interessi che il contraente dovrebbe corrispondere alla banca per estinguere il mutuo acceso.

Per quanto invece riguarda le agevolazioni fiscali, vengono autorizzate detrazioni del 19% per i proprietari degli immobili che sostengono spese di manutenzione, di protezione o di restauro. Questa detrazione inoltre, ridotta del 50%, può essere cumulabile con altre agevolazioni previste dai bonus energia o bonus ristrutturazioni.

2.3 I Riferimenti progettuali

2.3.1 Casi internazionali



01
Italia
- Ex Cottonificio Somaini,
Lomazzo (CO)

02
Italia
- Ex Mattatoio del Testaccio,
Roma (Roma)

03
Austria
- Scuola primaria di Hötting,
Innsbruck (I)

LEGENDA :

 ISOLAMENTO INTERNO	 SOSTITUZIONE INTEGRALE DEI SERRAMENTI	 NUOVI IMPIANTI
 RESTAURO E CONSOLIDAMENTO	 SOSTITUZIONE DEI SOLI VETRI	 ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI
 DOPPI SERRAMENTI	 SCHERMATURE SOLARI	 ILLUMINAZIONE LED

Ex Cottonificio Somaini, Lomazzo



Località	Lomazzo (Como), Italia
Anno costruzione	1893
Anno intervento	2010
Tipologia intervento	Restauro e consolidamenti, installazione nuovi impianti, produzione di energia da fonti rinnovabili, sostituzione degli infissi, schermature solari
Committenza	Como NEXt Spa
Progettista	Ado Franchini, Studio ADM

Il Cottonificio Somaini viene fondato da Francesco Somaini nel 1893 a Lomazzo, in provincia di Como, a pochi metri dalla stazione ferroviaria. La scelta pionieristica di localizzare una fabbrica non più lungo un corso d'acqua ma vicino ai binari del treno, non solo denunciava il cambio di paradigma nel sistema produttivo e di trasporto di quell'epoca, ma faceva già emergere con chiarezza il grande spirito innovativo dello stabilimento. L'intero processo di lavorazione del cotone avveniva, infatti, prima sfruttando l'energia del vapore e poi l'energia elettrica, senza più servirsi quindi della tradizionale energia idraulica. Il Cottonificio si compone di due edifici più ampi, collocati a nord e a sud, e due più piccoli, ossia la centrale elettrica e lo scalo ferroviario. Gli edifici principali presentano ciascuno tre piani fuori terra e le facciate, in mattoni rossi lasciati a vista, sono spoglie di qualsiasi dettaglio decorativo, venendo piuttosto ritmate dalla successione di ampie porzioni trasparenti, con telaio in ferro ed una singola lastra vetrata. La struttura architettonica che si percepisce dall'esterno viene completamente smentita all'interno, dove un esile sistema di pilastri in ghisa con capitelli assorbe e trasferisce a terra i carichi della struttura e consente di coprire ampie luci, lasciando il più possibile libero lo spazio per i macchinari ed il regolare svolgimento delle attività lavorative. I solai e i pavimenti, infine, sono realizzati in calcestruzzo proprio per poter sopportare sollecitazioni di ogni tipo, pratica molto comune negli stabilimenti industriali e nei laboratori artigianali di quell'epoca. Nel corso degli anni, il Cottonificio si è completato di un quartiere di alloggi e servizi, andando a costituire un vero e proprio villaggio operaio che conta più di mille dipendenti. Si individua una mensa comune, un convitto femminile per le operaie, un asilo nido ed una scuola materna, nonché dei servizi igienici pubblici. Dopo oltre ottant'anni di attività, lo stabilimento ha registrato una forte battuta d'arresto e nel 1974 è stato pertanto dismesso. Il forte carattere architettonico e

costruttivo, tipico dello stile industriale, nonché il significato simbolico, storico e sociale dell'antico cotonificio, hanno tuttavia impedito che tale patrimonio cadesse nell'anonimato e hanno permesso la nascita di un ambizioso progetto di recupero e riuso che trasformasse l'antico spazio industriale in una nuova fabbrica di idee.

GLI IMPIANTI ESISTENTI

Lo spazio interno dello stabilimento non era stato progettato per ospitare impianti di climatizzazione ma soltanto macchinari per la produzione e la lavorazione del cotone. Ampi serramenti industriali, dotati di griglia metallica esterna, garantivano in larga misura l'ingresso di luce diurna e di ventilazione naturale, in modo tale da assicurare le migliori condizioni di lavoro ai dipendenti della fabbrica.

IL CONCEPT DEL PROGETTO

Nel 2006 la Camera di commercio di Como insieme alla Fondazione Cariplo ha deciso di finanziare il progetto di recupero dell'ex cotonificio per donargli nuova vita e nuove prospettive. Ripristinando lo storico carattere innovativo che da sempre aveva contraddistinto la fabbrica, si è pensato ad un nuovo progetto che sovvertisse le tradizionali modalità di "fare fabbrica" e che favorisse lo sviluppo di una nuova imprenditoria su ampia scala. L'acronimo *ComoNExT* sta per "Como- Nuove Energie x il Territorio" e si attesta come un Parco Scientifico Tecnologico in cui "dietro ai mattoni rossi ottocenteschi, oggi lavorano 105 imprese in continuo sviluppo" e "al posto degli operai che filano il cotone bianco ci sono gli ingegneri e i luminari dell'innovazione", come afferma il nuovo direttore generale Stefano Soliano. Si tratta di un incubatore di aziende e *startup*, certificato dal MiSE, che ha come primo obiettivo quello di richiamare imprese innovative, permettere loro di irrobustirsi e poi diffondere il modello di trasferimento tecnologico e digitale a livello internazionale. Il fine ultimo sembrerebbe essere quello di mettere a disposizione delle imprese in cerca di cambiamento laboratori esperienziali per arricchirle e favorirne una crescita in chiave innovativa. Tutti gli ambienti dovrebbero essere fisicamente e telematicamente collegati con altri poli sul territorio nazionale nella prospettiva di comporre, insieme, una vera e propria Fabbrica Diffusa.

Il progetto viene suddiviso in 3 lotti distinti: un 30% dell'intero complesso a destinazione d'uso residenziale, la cui attuazione viene portata avanti da un'iniziativa privata, ed un 70% con funzione di laboratori e servizi all'impresa.

GLI INTERVENTI DI PROGETTO

Il primo intervento di recupero ha coinvolto l'edificio a Sud, poi l'ex centrale di trasformazione elettrica con la progettazione di un nuovo spazio ristoro come luogo di incontro e di socializzazione per tutti i dipendenti, ed infine gli ultimi due edifici: il fabbricato a Nord, con l'insediamento di nuovi laboratori e lo scalo ferroviario, con gli uffici di incubatore di impresa.

All'inaugurazione dei lavori, l'ex cotonificio presentava una muratura perimetrale in buono stato di conservazione, la quale è stata pertanto oggetto di semplice pulitura e operazioni di "scuci-cuci" ove necessario. I serramenti originali, in buona misura rotti e fortemente danneggiati, sono stati interamente sostituiti con nuovi infissi

termici in alluminio. Per il vincolo imposto dalla Soprintendenza, si è cercato il più possibile di riprodurre il *design* originario, applicando una griglia esterna analoga a quella dei serramenti storici.

Sistemi di schermatura solare, quali tende frangisole avvolgibili, sono stati installati sui fronti maggiormente esposti alle radiazioni solari per evitare un eccessivo accumulo termico.

Le nuove norme antisismiche hanno richiesto la progettazione di nuovi controventi, e quindi anche nuovi corpi scala e vani ascensori in cemento armato.

All'interno, l'esile struttura in pilastri di ghisa è stata restaurata e mantenuta a vista e l'ampio spazio, libero e continuo, è stato suddiviso in diversi ambienti tramite partizioni vetrate nella prospettiva di far percepire lo spazio permeabile e garantire un buon livello di illuminazione. Al centro sono state collocate alcune sale riunioni, le uniche a disporre di pareti opache in cartongesso curvato e colorato, mentre in posizione perimetrale i diversi laboratori. Per la pavimentazione è stato scelto il sistema epossidico multistrato *IPM Stratos* con effetto monocromatico e finitura antiscivolo dallo spessore compreso tra 1 e 2,5 mm. I vantaggi principali risiedono nella buona resistenza ad usura e abrasione, che potrebbe essere causata proprio dai solventi impiegati in questi ambienti, ed è inoltre facilmente lavabile e sanificabile. Per quanto invece riguarda le aree comuni, gli uffici e le sale riunioni, è stato impiegato il sistema di pavimentazione *IPM Fabrika*, che con il suo caratteristico effetto microcemento ricorda gli originari pavimenti industriali in calcestruzzo. È resistente all'usura, al calpestio e all'abrasione.

Con l'obiettivo di recuperare nel *design* e nei materiali l'antico stile industriale, si è fatto largo uso di materiali naturali a vista come cemento armato, lamiera di ferro e pareti vetrate sui fronti dei laboratori, dotate di pannelli di legno multistrato fresato per la chiusura degli spazi e l'insonorizzazione dei corridoi.

Gli spazi di lavoro presentano metrature differenti. L'altezza di 5.20 m degli interpiani originari ha tuttavia consentito di agganciare ai pilastri in ghisa un soppalco con struttura metallica a vista e pavimentazione in pannelli di legno ignifugo certificato. La pensilina preesistente in cemento armato esposta sul lato sud è stata infine chiusa per creare l'atrio di ingresso e la sala esposizioni. È stato installato un telaio portante in acciaio, con lastre di vetro termico e pannelli colorati apribili per garantire un corretto ricambio d'aria e sistema di ventilazione naturale.

Per quanto invece riguarda la riqualificazione degli edifici dello scalo ferroviario, con i loro atipici solai in voltini di mattoni e putrelle, si è intervenuti controventando la struttura con tralicci concavi proprio per enfatizzare il caratteristico ed originario andamento curvo degli ambienti interni, quasi a ricordare le pareti della scialuppa di una nave.

In generale si può affermare che il recupero dell'archeologia industriale è stato fortemente rispettoso della memoria del luogo e delle caratteristiche originali: proprio per tutelarne l'aspetto originario si sono salvaguardate le facciate esterne e l'antica ciminiera per rendere immediatamente percepibile l'intima essenza del vecchio stabilimento industriale. All'interno, invece, sono stati rimodulati gli spazi per ospitare nuove funzioni, pur facendo sempre sapiente uso di materiali e tecnologie costruttive capaci di mantenere inalterato il forte carattere industriale del luogo.

I NUOVI IMPIANTI

Il precedente sistema di illuminazione, assai energivoro, è stato integralmente sostituito con nuove sorgenti a LED. Inoltre, allo scopo di illuminare in profondità gli ambienti interni ubicati in posizione più centrale, sono stati realizzati in prossimità delle zone di distribuzione ampi pozzi di luce per consentire l'ingresso zenitale di luce naturale.

È stato poi installato un impianto di ricircolo dell'aria primaria e "ogni laboratorio ha una sua centrale di raffrescamento, che permette una contabilizzazione indipendente dei consumi energetici."¹

Sulle coperture di tutti gli edifici, la cui superficie complessiva ammonta circa a 2.000 m², è stato installato un sistema di pannelli fotovoltaici in grado di generare circa la metà del fabbisogno energetico e un impianto di collettori solari per la produzione di acqua sanitaria.

I COSTI

Superficie lorda pavimento: 22.000 m²

Costo totale retrofit: 15.000.000 €

Costo di esecuzione: 700€/m²

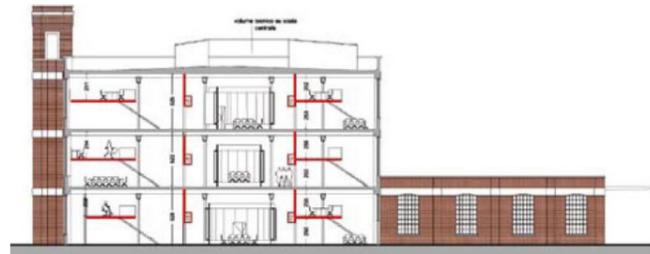


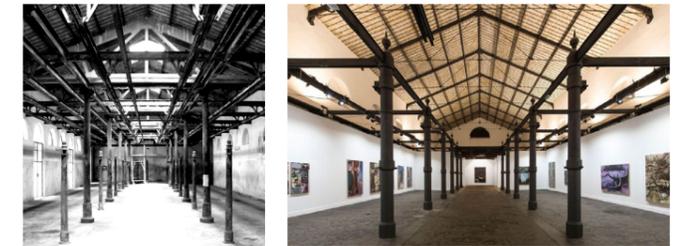
Fig. 21: Sezione dell'edificio che evidenzia l'aggiunta di strutture soppalcate negli ambienti di lavoro e nei laboratori.



Figg. 22-23: Dettaglio interno e vista complessiva con pensilina in cemento e vetro.

1. *Da spazio industriale a fabbrica di idee*, «IoArch Costruzioni e Impianti», 37, p.19

Ex Mattatoio del Testaccio, Roma



Località	Roma, Italia
Anno costruzione	1888-1891
Anno intervento	2000
Tipologia intervento	Consolidamento, isolamento interno, sostituzione dei vetri nei serramenti, schermature solari e nuovi terminali di impianto
Committenza	Università degli studi <i>Roma Tre</i>
Progettista	<i>Insula architettura e ingegneria s.r.l.</i>

Al Testaccio, rione popolare a sud del centro storico di Roma, viene costruito tra il 1888 e il 1891 il Mattatoio, complesso industriale destinato al macello del bestiame che resta in funzione per circa un secolo, fino a quando nel 1975 viene dismesso. L'intero impianto si caratterizza per la disposizione razionale di capannoni a pianta regolare realizzati con tecnologia mista in laterizi, pietra e ferro e dotati di copertura a doppia falda, la cui organizzazione spaziale in serie è stata studiata per rispondere a determinati criteri igienici richiesti dalle attività di macellazione dell'epoca. Dopo la sua conversione negli anni 2000, il complesso ospita oggi spazi per la facoltà di Architettura "Roma Tre", l'Accademia di Belle Arti, la Scuola popolare di musica ed il museo di arte contemporanea. Il Dipartimento di Architettura occupa una superficie di circa 1200 m² e rappresenta la prima istituzione pubblica ad essersi insediata nel Mattatoio dopo la sua dismissione. Le ampie dimensioni del complesso si parcellizzano nei vari padiglioni e più nello specifico: nei padiglioni 6 e 7 aule per laboratori e un'aula magna da 260 posti, nel padiglione 2B sei aule per seminari e nei restanti 15 A, 15 B, 15 C, uffici dipartimentali e laboratori dell'Università.

IMPIANTI ESISTENTI:

La climatizzazione dell'edificio individua come generatore due pompe di calore, ciascuna con una potenza di 60kW. Il sistema di ventilazione prevede due estrattori da 3300 m³/h per aula, mentre l'illuminazione è ancora di tipo tradizionale e dunque piuttosto energivora.

IL PROGETTO:

L'intero progetto è stato studiato affinché potesse preservare al meglio il carattere dell'architettura industriale: per l'involucro dei padiglioni si sono soltanto svolti interventi di ripristino, con consolidamento delle fondazioni e delle strutture murarie, avendo queste ultime caratteristiche di grande massività e non necessitando dunque di particolari interventi di isolamento. Per quanto invece riguarda la copertura, si sono mantenute le antiche capriate in cemento armato, così come i lucernari sul colmo del tetto, sostituendo l'originario vetro singolo con un doppio vetro in policarbonato. Il concept è stato anche quello di sfruttare il più possibile l'illuminazione naturale ma, per meglio controllare l'ingresso di luce diurna e per ridurre il rischio di surriscaldamento, è stato installato un sistema di schermature solari regolabili sopra i lucernari. Nell'intradosso del tetto, infine, sono stati inseriti pannelli in fibre di legno Celenit dallo spessore 4 cm sia per migliorarne la trasmittanza termica che il comfort acustico.

Per quanto riguarda invece gli interventi sugli impianti:

- l'illuminazione tradizionale è stata interamente sostituita con nuovi impianti a LED a basso consumo
- sono state installate due nuove pompe di calore aria-aria che prevedono come terminali d'impianto pannelli radianti a pavimento sia per il riscaldamento che per il raffrescamento
- la ventilazione è ibrida ed accosta al tradizionale sistema di ventilazione naturale uno meccanico composto da due estrattori a bassa pressione presenti in ogni stanza con bocchettoni in copertura per la fuoriuscita dell'aria.



Figg. 24-25: Prospetto laterale e Sezione trasversale di uno dei padiglioni in seguito all'intervento di riqualificazione.

RISPARMI ENERGETICI:

Proprio in quanto edificio recuperato e rifunzionalizzato, non è possibile effettuare un confronto tra una situazione pre e post retrofit. Tuttavia, a seguito di un periodo di monitoraggio di due anni, si sono potuti raccogliere buoni risultati.

Fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento: $\leq 40 \text{ kWh/m}^2$

Fabbisogno energetico annuo per l'illuminazione: 10 kWh/m^2

COSTI:

Interventi strutture murarie, isolamento copertura:	80.000 €
Installazione pannelli radianti a pavimento:	102.000 €
Nuovi serramenti:	240.000 €
Dispositivi di ombreggiamento:	110.000 €
Installazione di due nuove pompe di calore, tubi e valvole:	15.500 €
Nuovo impianto elettrico, illuminazione e due estrattori per aula:	16.500 €
Costo totale retrofit:	564.000 €



Figg. 26-27:
A sinistra: Vista interna della copertura di un padiglione prima dell'intervento.
Sopra: Vista interna della copertura di un padiglione dopo l'intervento.



Fig. 28:
Sezione prospettica del Padiglione 15A, uffici.

Scuola primaria di Hötting, Innsbruck



Località	Innsbruck, Austria
Anno costruzione	1930
Anno intervento	2011
Tipologia intervento	Isolamento interno, sostituzione dei vetri nei serramenti, sistemi di schermatura solare, illuminazione LED, ventilazione meccanica dell'aria
Committenza	Scuola primaria di Hötting
Progettista	3ENCLUT, Architekt DI Gerald Gaigg

Nel 1928 i comuni di Hötting e Innsbruck bandiscono un concorso per la realizzazione della nuova scuola primaria. Gli architetti vincitori sono Franz Baumann e Theodor Prachensky, che propongono un progetto fortemente influenzato dai caratteri architettonici degli edifici di Peter Behrens e della Bauhaus. L'edificio diviene presto icona dell'architettura Moderna per i materiali costruttivi e la geometria.

Il volume si compone di 6 piani fuori terra e raggiunge un'altezza complessiva di 20 m. Non presenta aggetti né motivi ornamentali proprio per rimanere in linea con le facciate razionaliste di quegli anni. Il telaio portante dell'edificio è realizzato in cemento armato, con pilastri dotati di una sezione al piede di 75 cm che si assottiglia ai piani superiori per alleggerire i carichi sulla struttura; gli elementi di tamponamento sono in mattoni intonacati e lo spessore complessivo è di 60 cm. I solai sono costituiti da solette in cemento e travi in acciaio mentre la copertura è in legno a doppia falda. Nel corso del tempo l'edificio non ha subito particolari modifiche, ad eccezione dell'ampliamento *ex novo* sul lato destro dopo la seconda guerra mondiale. Sono stati svolti alcuni interventi sugli impianti e si sono installati doppi serramenti interni per migliorare le prestazioni energetiche senza compromettere l'immagine originaria né la pelle dell'edificio.

Proprio per via del fatto che l'edificio ha mantenuto inalterato il proprio involucro senza essere mai sottoposto a profondi interventi di riqualificazione energetica, oggi, si registrano forti problematiche dal punto di vista energetico:

- Innanzitutto si riscontra un'elevata richiesta di energia per il riscaldamento, di circa 130 kWh/m² all'anno.

- A causa delle ampie superfici vetrate non schermate si registrano gravi problemi di

surriscaldamento.

- Si individuano poi problemi di qualità dell'aria e basso comfort termico.

Il progetto di riqualificazione della scuola di Hötting, se da un lato dove adattare le prestazioni energetiche ai rinnovati requisiti normativi, dall'altro doveva garantire il rispetto e la tutela della consistenza materiche e delle caratteristiche proprie di un'architettura degli anni '30. L'isolamento con cappotto esterno delle chiusure opache verticali era, per esempio, inaccettabile.

GLI IMPIANTI ESISTENTI:

L'impianto di riscaldamento dell'edificio è centralizzato e i radiatori originali nelle aule e nei corridoi consistono in collettori a tubo. Il sistema funziona a gas e la caldaia è collocata nel locale tecnico al terzo piano dello stabile.

La domanda di riscaldamento misurata *in situ* risulta superiore di circa il 25% di quella stimata tramite *Software* di calcolo. Questo perché la temperatura del fluido di mandata ai radiatori è molto elevata, circa 85° C, e le termostati sono difficilmente regolabili e sono puntate al massimo. Questo fa sì che negli ambienti, in prossimità dei terminali d'impianto si percepisca molto caldo e si aprano dunque gli infissi: questo genera non solo dispersioni energetiche ma provoca anche una sensazione di discomfort agli utenti che sostano vicino alla linea di finestra.

Date le ampie superfici vetrate e i carenti sistemi di schermatura solare, nel periodo estivo si registrano altissimi guadagni solari, soprattutto lungo le facciate esposte ad ovest, con conseguente surriscaldamento degli ambienti.

Nell'edificio non è presente nessun sistema di ventilazione meccanica dell'aria. Solo alcuni locali con uso speciale, come cucina e alcuni ambienti nel seminterrato, sono dotati di impianti ad estrazione d'aria, ma per il resto dell'edificio il ricambio d'aria avviene in modo naturale tramite l'apertura dei serramenti che provoca, in inverno, grosse scambi di calore.

L'impianto elettrico originale è stato mantenuto ed implementato con nuove installazioni di luce artificiale. La maggior parte delle aule presenta quattro apparecchi con due tubi fluorescenti ciascuno mentre nei corridoi, nelle sale conferenza e nella biblioteca sono installati sistemi di illuminazione più recenti e più efficienti.

L'impianto elettrico esistente, tuttavia, non è risultato conforme agli *standards* tecnici vigenti e le condizioni di illuminazione nelle aule sono insufficienti perché non rispettano i requisiti minimi di legge.

IL CONCEPT DI PROGETTO

La grande sfida nel progetto di riqualificazione della scuola primaria di Hötting ha consistito nel cercare di migliorare l'efficienza energetica della struttura nel costante rispetto verso la conservazione e valorizzazione del patrimonio.

Far dialogare gli *standards* normativi e la tutela dei valori storico-artistici non è stato semplice ed ha portato a soluzioni di compromesso che potessero coniugare due aspetti apparentemente agli antipodi.

Gli scenari di intervento proposti dal 3ENCULT hanno riguardato solo due aule dell'edificio, individuate come prototipi su cui misurare prima di tutto gli effettivi risparmi energetici e l'effettiva efficacia del progetto, per poi estendere gli interventi con buona riuscita a tutto il resto dell'edificio.

Le chiusure verticali opache sono risultate responsabili di circa il 40% delle dispersioni per trasmissioni. Ai fini dell'efficientamento energetico è stato dunque necessario ridurre il valore di trasmittanza termica delle pareti, risolvibile con isolamento interno

o esterno. La scelta non è stata facile: se da un lato il cappotto esterno avrebbe sensibilmente risolto le problematiche di ponti termici e i fenomeni di condensa e umidità sulle pareti interne, avrebbe però compromesso la geometria e le proporzioni complessive delle facciate esterne.

Si è dunque adottato un sistema di isolamento interno, monitorando continuamente i parametri di temperatura, umidità e flusso di calore sui componenti edilizi. Sono state testate due soluzioni progettuali differenti per le due aule prototipo:

AULA 1 : pannello *Remmers IQ-Therm 80* in schiuma PUR e silicato di calcio attivo che consente di convogliare l'umidità dall'interno del muro verso il lato interno caldo.

È stato individuato un sistema facilmente removibile, proprio per rispettare uno dei principi fondamentali della conservazione, ossia la reversibilità degli interventi.

AULA 2: pannello in legno riempito con fibra di cellulosa ed intonacato superficialmente, fissato non direttamente sul muro esistente ma tramite strisce di morbida fibra di legno dello spessore di 2,8 cm.

Tuttavia, se da un lato si sono migliorate le prestazioni termiche delle pareti esterne, avendone abbattuto il valore di trasmittanza U, l'intervento di isolamento interno non ha permesso di risolvere tutti i ponti termici né il rischio di condensa all'interno della struttura. L'operazione ha inoltre comportato una perdita di superficie e di volume sensibili e costi elevati per rimuovere tutti i terminali d'impianto presenti sui muri e consentire l'operazione di coibentazione.

Serramenti

Per quanto riguarda i serramenti la scelta progettuale è ricaduta, nel rispetto della conservazione del patrimonio esistente, nel recupero dei telai originali e nella sola sostituzione delle lastre vetrate. Tuttavia, dato il loro pessimo stato di conservazione, lo sforzo ed il costo per ripristinarli sono stati decisamente più alti che sostituirli integralmente. Dopo aver smontato i serramenti e averli restaurati, si sono adeguati i telai originali allo spessore dei nuovi doppi vetri più performanti e sono state poi rialloggiati nelle bucaure dei muri con l'aggiunta di guarnizioni per la tenuta all'aria, all'acqua e, più in generale, alle dispersioni termiche.

I precedenti sistemi di schermatura solare a rullo esterno sono stati sostituiti con nuove veneziane regolabili dal lato interno per evitare sia l'abbagliamento degli utenti che il surriscaldamento degli ambienti.

Impianti di riscaldamento e di raffrescamento

Per ridurre la domanda di energia termica per il riscaldamento, per prima cosa si è creato un circuito di distribuzione secondario rispetto alla linea principale. Sono stati inseriti uno scambiatore di calore e una pompa di circolazione tra il circuito di distribuzione principale e quello separato, al fine di simulare una temperatura di mandata inferiore. La temperatura del fluido termovettore è stata portata a 45° nell'AULA 1 e a 55° nell'AULA 2. I radiatori sono stati restaurati per mantenere inalterato l'aspetto originario, ritenuto elemento caratterizzante del *design* della struttura.

Per quanto riguarda la ventilazione, è stato installato ex novo un sistema con recupero di calore, ritenuto necessario per motivi di qualità dell'aria e per evitare contemporaneamente danni causati dall'umidità. Sebbene l'aspetto complessivo degli interni dell'edificio sia stato in parte compromesso dal nuovo impianto, si sono potute assicurare buone condizioni termo-igrometriche e quindi fornire un ambiente ottimale per l'apprendimento ad alunni ed insegnanti.

In entrambe le aule sono stati installati ventilatori con silenziosi integrati e tubi in tessuto per la distribuzione dell'aria all'interno dei locali.

Illuminazione

AULA 1: Sostituzione delle precedenti sorgenti con nuovi sistemi LED.

AULA 2: Illuminazione a sospensione che sfrutta tubi fluorescenti ad alta efficienza energetica di ultima generazione

RISPARMI ENERGETICI:

Fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento PRE intervento: 126.365 kWh/ m²a

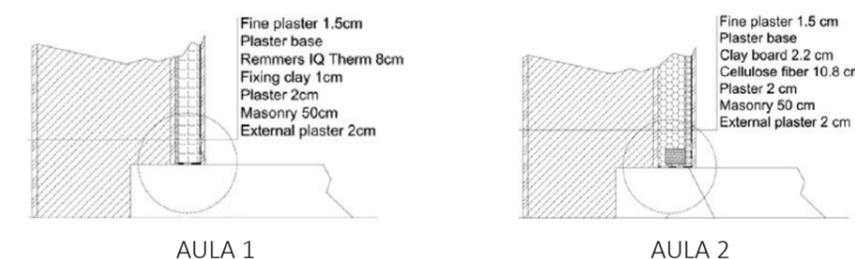
Fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento POST intervento: 38.545 kWh/ m²a

Fabbisogno energetico annuo per la ventilazione PRE intervento: - (assente)

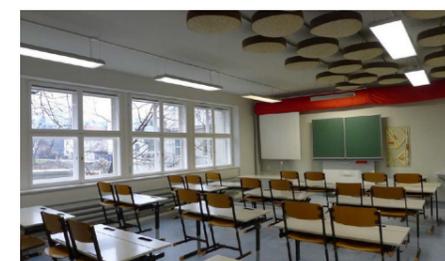
Fabbisogno energetico annuo per la ventilazione POST intervento: 2.545 kWh/ m²a

Fabbisogno energetico totale annuo PRE intervento: 142.420 kWh/ m²a

Fabbisogno energetico totale annuo POST intervento: 55.835 kWh/ m²a



PARETI	isolamento interno in pannelli <i>Remmers IQ-Therm</i>	isolamento interno in fibra di cellulosa
SERRAMENTI	telai originali restaurati + nuovi doppi vetri e guarnizioni di tenuta. Sistema di schermatura solare con veneziane interne	telai originali restaurati + nuovi doppi vetri e guarnizioni di tenuta. Sistema di schermatura solare con tende a rullo interne
ILLUMINAZIONE	illuminazione LED con Tc adattabile +regolazione automatica della luminosità	illuminazione a sospensione con tubi fluorescenti ad alta efficienza energetica
CLIMATIZZAZIONE E VENTILAZIONE	Temperatura del fluido termovettore ridotta a 45°C + ventilazione dell'aria a recupero di calore	Temperatura del fluido termovettore ridotta a 55°C + ventilazione dell'aria a recupero di calore



Ex Centrale ENEL, Genova



Località	Genova, Italia
Anno costruzione	1929
Anno progetto	2014
Tipologia intervento	Consolidamento, isolamento interno, doppi serramenti, nuovi impianti e integrazione di impianti per la produzione di energia rinnovabile
Committenza	-
Progettista (Studio)	Università degli Studi di Genova

Negli anni Trenta del secolo scorso, la città di Genova è stata caratterizzata da una forte espansione territoriale, regolata da un articolato progetto di pianificazione urbanistica che prevedeva l'aggregazione dei 19 comuni limitrofi allo scopo di promuovere e sostenere lo sviluppo delle principali attività produttive della città, basate sull'industria e sul porto.

Proprio per tale motivo è apparso necessario dotare la città di una nuova centrale termoelettrica, che sarebbe andata ad implementare l'offerta di energia già garantita dalle due centrali di via Canevari e Sampierdarena.

La centrale di via delle Fabbriche, costruita nel 1929 dalla Società Anonima *Consorzio Centrali Termiche*, è stata progettata in un punto strategico della città per suggerire immediatamente un'immagine di progresso tecnologico che potesse avvicinare la città antica e quella industriale al futuro.

La nuova centrale sorge in un territorio che dal punto di vista orografico e morfologico appare piuttosto complesso, che presenta diversi dislivelli e costringe la fabbrica ad inserirsi tra colline, torrente e costa. Il contesto, assai distante dal classico immaginario di periferia industriale, viene innanzitutto dettato dalla tipica morfologia del paesaggio ligure e, sicuramente, anche dalla volontà di inserire la fabbrica all'interno di un luogo verde, piacevole e soprattutto ben visibile da chi vi giungeva via acqua.

Il complesso industriale si compone di edifici affiancati di altezze variabili, con struttura portante a telaio in cemento armato, muri di tamponamento in laterizi ed ampie vetrate con telaio in ferro e singola lastra vetrata. Nel corso degli anni ha subito alcuni interventi di ampliamento, proprio per rispondere alle nuove necessità di una città in rapida crescita, come la costruzione nel 1951 di un nuovo volume per uffici e servizi. Pur mantenendo gli impianti esistenti, si è prevista nel corso del

tempo l'installazione di nuovi gruppi più performanti e più adeguati alle esigenze di sostenibilità ambientale dettate dalle nuove normative. La questione degli impianti ha permesso di seguire quel filo narrativo che mette in evidenza l'evoluzione non solo della produzione energetica ma anche dei macchinari impiegati, rendendo lo stabilimento industriale un vero e proprio museo di interesse didattico prima ancora che scientifico.

L'impianto, prima rilevato da Edison nel 1934, poi da Enel con la nazionalizzazione del 1962, è rimasto in funzione fino al 2016, quando poi è stato definitivamente dismesso. La volontà di conservare e valorizzare la centrale termoelettrica del porto di Genova anche dopo il suo abbandono è stata supportata dal grande valore storico, architettonico ed impiantistico della fabbrica ed ha permesso di avviare una serie di progetti per il suo recupero e riuso, il più possibile compatibili e rispettosi della consistenza materica e della vocazione originaria.

IL CONCEPT DEL PROGETTO

Prima di elaborare una proposta progettuale sono state avviate diverse indagini per la conoscenza preliminare del sito, che hanno riguardato aspetti urbanistici, di accessibilità, di condizioni climatiche, di caratteristiche idrogeologiche, di analisi dello stato di fatto del manufatto nonché dei vincoli architettonici presenti.

Tutti i dati raccolti hanno veicolato le decisioni progettuali, come quella di sopraelevare il piano terra di 50 cm per evitare possibili inondazioni, oppure la scelta di adottare un sistema eolico per la produzione di energia rinnovabile, data l'intensa ventosità del sito, ed infine la collocazione della zona residenziale nella porzione di edificio più protetta e più lontana dall'uscita dell'autostrada.

Proprio per la tipologia di funzioni previste e dato il valore storico-simbolico dell'edificio atto ad accoglierle, le ipotesi di intervento si sono fondate su principi di rispetto e valorizzazione dei caratteri architettonici esistenti, di flessibilità nell'utilizzo dello spazio e di orientamento verso tecniche costruttive afferenti al ramo della bioedilizia.

Il progetto di rifunzionalizzazione prevede l'inserimento di nuove attività professionali, artigianali, commerciali e per la didattica al fine di creare una *community* che interagisce e collabora a formare un piccolo distretto della *green economy*. Sono stati studiati ampi *open space* per lavori di gruppo o convegni, box chiusi e privati per le attività di *coworking*, ed infine una modesta zona residenziale per ospitare i lavoratori, gli studenti e i ricercatori che operano nella struttura.

GLI INTERVENTI DI PROGETTO

Per quanto riguarda il primo aspetto, si è cercato di salvaguardare e recuperare gli elementi architettonici caratteristici delle facciate, come paraste, bugnato e le ampie bucatore. Nuovi serramenti sono stati collocati sul filo interno dei muri perimetrali, in posizione retrostante rispetto agli infissi originari, per migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio senza alterarne la percezione della facciata. I nuovi volumi, ospitanti le nuove funzioni, sono stati volutamente collocati sulla copertura e lateralmente alla fabbrica, in modo tale da non alterarne la facciata storica e sono stati progettati con tecnologie leggere a secco proprio per essere eventualmente rimossi. Essi appaiono distinguibili nella forma e nel sistema tecnologico costruttivo, proprio per qualificarsi apertamente come aggiunte contemporanee alla moderna struttura degli anni '30.

Per quanto invece riguarda la flessibilità dell'uso dello spazio, si è previsto di non agganciarsi alla struttura portante ma di realizzare strutture autoportanti con elementi assemblati a secco, eventualmente suscettibili di riposizionamento. Grazie alle ampie altezze dello spazio interno è stato inoltre possibile ricavare strutture su due piani. Per mantenere continuo ed aperto l'ambiente interno non è stata quindi preventivata la costruzione di nuove partizioni verticali.

Riguardo al terzo ed ultimo punto, infine, proprio perchè l'edificio rifunzionalizzato deve riverberare all'esterno le attività che si svolgono all'interno, è stato progettato con soluzioni tecnologiche eco-compatibili e che sfruttano la produzione di energia da fonti rinnovabili. Nell'ottica di contenere al massimo i consumi energetici è stata poi prevista una zonizzazione degli ambienti interni, individuando locali con necessità di climatizzazione continua ed altri che invece, non richiedendo una presenza continuativa degli utenti, possono avere diverse condizioni termoigrometriche.

Per i box di lavoro allora si è pensato ad una soluzione di iper isolamento termico, mentre le aree comuni e di distribuzione sono state individuate come zone cuscinetto tra l'ambiente esterno all'edificio e quello interno degli spazi di *coworking*.

I box prevedono pareti composte da due pannelli di rivestimento, interno ed esterno, in legno al cui interno sono disposti 60mm di pannelli in lana di roccia, 20mm di pannelli in legno grezzo e 80mm di fibra di cellulosa e chiudono ambienti con temperatura di progetto di 20° C. Le zone di *open space* invece prevedono l'inserimento di un cappotto interno e richiedono una temperatura di 16° C.

Grazie alla considerevole altezza di interpiano è stato possibile pensare a nuove solette leggere che potessero implementare la superficie utile, sostenute da un sistema di travi in legno ed acciaio agganciate ai pilastri esistenti che consente un rapido smontaggio ed un facile recupero del materiale a fine ciclo di vita.

Per quanto concerne gli interventi "di aggiunta", in copertura si prevede di realizzare un tetto giardino praticabile, che possa essere principalmente sfruttato come zona verde pertinenziale per le residenze ma anche come strumento per evitare l'eccessivo surriscaldamento dei livelli sottostanti.

Nell'intercapedine tra i precedenti infissi e quelli nuovi è stato pensato un sistema di schermatura solare che nella stagione estiva impedisce l'ingresso di radiazione solare diretta, mentre in inverno sfrutta gli apporti solari anche per il riscaldamento interno.

I NUOVI IMPIANTI

L'intervento sugli impianti si è maggiormente concentrato sull'installazione di sistemi che potessero garantire una produzione di energia rinnovabile ed ha riguardato la progettazione di un impianto fotovoltaico, di uno eolico e di un solare termico.

Fotovoltaico

La collocazione dei pannelli è stata prevista in copertura e nel blocco verticale posto lateralmente alla struttura. I primi 80 moduli, con un'inclinazione di 33° in direzione Sud, saranno alloggiati nella pensilina sopra al tetto giardino, mentre i restanti 75 si collegheranno lungo la struttura verticale, con un'inclinazione di 45° in direzione Sud-Est, al fine di limitare le ombre portate di un modulo sull'altro, specialmente nelle stagioni estive. Tutto l'impianto genererà un fabbisogno energetico di 22.000 kWh/anno.

Eolico

Data la ventosità del sito ma in assenza di un monitoraggio della ventilazione attuale, sono state fatte delle stime prendendo a riferimento la media annuale della regione Liguria pari a 4m/s: è stato pertanto dimensionato un sistema di quattro aerogeneratori ciascuno della potenza di 5 kW, capaci di produrre complessivamente 25.200 kWh/anno.

Solare termico

Ipotizzando un consumo complessivo dell'edificio di circa 1.000 litri al giorno, si è pensato di installare nella parte esterna del parapetto sud-ovest della copertura dei pannelli sottovuoto con l'inclinazione dell'assorbitore solare regolabile. Il posizionamento verticale e l'inclinazione tra i 30° e 60° dei collettori aiutano a contenere il surriscaldamento nei mesi estivi mentre lo sfruttamento dell'irraggiamento solare in quelli invernali. L'impianto è stato dimensionato sulla base delle nuove prescrizioni normative che impongono una produzione del 50% di energia per l'ACS tramite fonti rinnovabili.

Per quanto riguarda la climatizzazione, l'esigenza di mantenere gli ambienti interni a diverse temperature a seconda della destinazione d'uso che ricoprono, ha permesso di sviluppare due sistemi di riscaldamento: un impianto di pannelli radianti a pavimento nelle zone di filtro, in cui il *comfort* ambientale viene assicurato per irraggiamento e grazie alla buona inerzia termica del calcestruzzo armato della struttura, mentre un impianto ad aria nei box e nelle residenze dove il volume da riscaldare è più modesto e gli scambi termici sono meno sensibili. Il sistema ha per generatore una pompa di calore con accumulo e sfrutta anche il contributo dei collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria e delle sonde geotermiche per l'approvvigionamento di fonte fredda in estate e fonte calda in inverno.

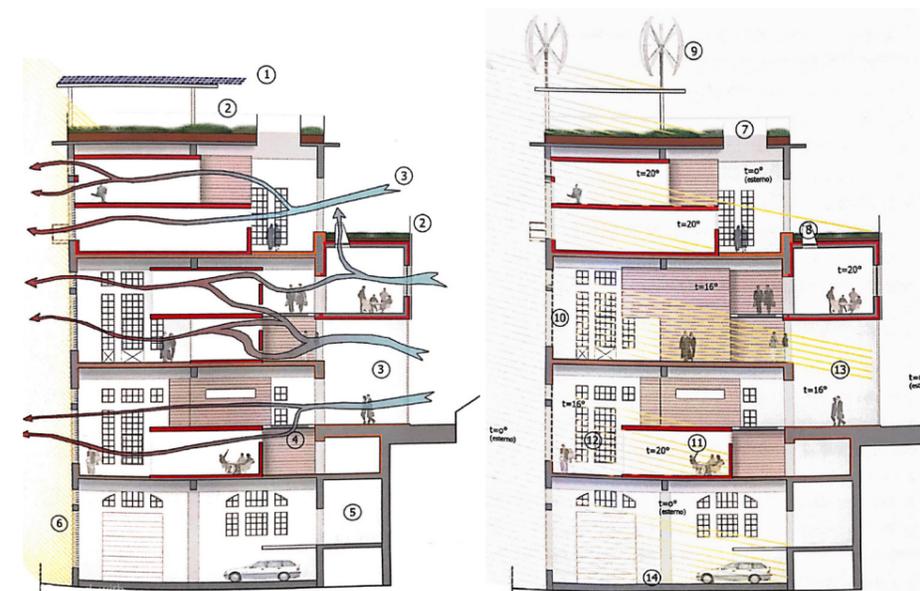


Fig. 29: Funzionamento bioclimatico: 1_impianto fotovoltaico policristallino, 2_copertura verde, 3_ventilazione naturale, 4_passerelle permeabili all'aria, 5_locale tecnico, 6_brise soleil, 7_aperture nella copertura esistente, 8_pozzo di luce, 9_impianto eolico, 10_nuovi infissi a taglio termico basso emissivi, 11_box iper isolati, 12_zona espositiva a temperatura intermedia, 13_doppia altezza per illuminazione e aerazione area retrostante, 14_livello +0.5m su livello strada per il pericolo di inondazione

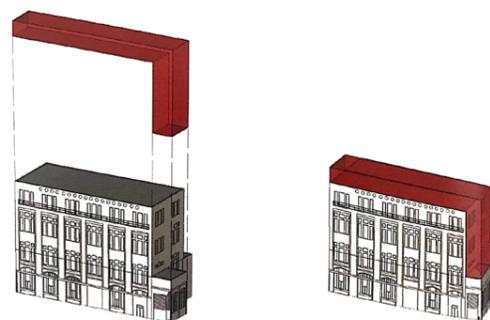


Fig. 30: Idea di progetto per l'integrazione dei nuovi impianti.

I RISULTATI

Valori di trasmittanza allo stato di fatto:

a_ chiusura opaca verticale: pilastro $U= 1,859 \text{ W/m}^2\text{K}$, cassa vuota $U= 1,425 \text{ W/m}^2\text{K}$

b_ chiusure trasparenti $U= 5,772 \text{ W/m}^2\text{K}$

c_ solai e coperture $U= 3,319 \text{ W/m}^2\text{K}$

Valori di trasmittanza di progetto:

a_ chiusure opache verticali $U= 0,343 \text{ W/m}^2\text{K}$

b_ chiusure trasparenti verticali $U= 1,593 \text{ W/m}^2\text{K}$

c_ solaio interno-esterno a 16° $U= 0,305 \text{ W/m}^2\text{K}$

solaio interno-esterno a 20° $U= 0,251 \text{ W/m}^2\text{K}$

copertura verde uffici $U= 0,222 \text{ W/m}^2\text{K}$

Il caso analizzato, in quanto semplice proposta progettuale e non relazione di un'opera realizzata, non riporta i valori di costo sostenuti durante l'intervento, ma fornisce possibili soluzioni di miglioramento prestazionale dell'edificio, che unite alla produzione rinnovabile di energia, possono aumentare di molto la *performance* energetica dell'edificio ed abbattere notevolmente costi e consumi.

Dati ed immagini tratti da: A. Magliocco, A. Giacchetta, G. Cassinelli, *Nuovi luoghi del lavoro: la riqualificazione di un edificio industriale*, «azero – progettare e costruire edifici a energia quasi zero», 11, 2014, pp. 46-53

2.3.2 Conclusioni

I quattro casi studio permettono di svolgere una serie di importanti considerazioni. L'ex Cottonificio Somaini rappresenta un virtuoso intervento di recupero ed efficientamento energetico in un contesto complesso, dal momento che si tratta di un edificio esistente, appartenente all'archeologia industriale e soggetto a vincolo di tutela. Le operazioni sull'involucro e sul sistema impiantistico hanno permesso di comprendere come si possano migliorare le prestazioni energetiche di un edificio senza sottrargli i suoi caratteri storici ed identitari.

Il caso dell'Università di Roma, poi, appare in un certo senso assimilabile al caso della sede del Politecnico di Torino, per epoca di costruzione e vicende storiche, nonché per l'originaria destinazione d'uso. L'ex Mattatoio del Testaccio, in quanto traccia di archeologia industriale, porta con sé non solo l'immagine storica ma anche i simbolismi e i valori, la metafora del lavoro e del sistema produttivo della fine dell'Ottocento e dei primi del Novecento. Il progetto di recupero di questo caso studio permette di comprendere come, anche nell'ambito dell'efficientamento energetico, non si debba mai perdere di vista l'approccio conservativo al fabbricato, soprattutto se quest'ultimo costituisce testimonianza storica o un bene da tutelare. Efficace è stata dunque la scelta di mantenere il più possibile la struttura e i materiali originari, intervenendo con piccoli interventi che soltanto in misura ridotta avrebbero alterato l'architettura. Si è scelto di mantenere i telai originali dei lucernai così come degli infissi, non solo per rispettarne l'immagine dal sapore industriale ma anche per dimostrare come si potesse migliorare la trasmittanza termica dei serramenti senza la necessità di sostituirli interamente, ma semplicemente adattando nello spessore del telaio esistente un doppio vetro in luogo della semplice lastra singola precedente. Anche la Scuola primaria di Innsbruck ricorda la sede del Lingotto di Torino per i materiali impiegati e le tecnologie costruttive. L'edificio, con struttura portante in calcestruzzo armato e facciate ritmate da ampie vetrate si attesta tra gli edifici-simbolo del Movimento Moderno ed in quanto tale è protetto da un vincolo di tutela. Accanto ad un'alta domanda di energia per la climatizzazione, la scuola registra anche elevati consumi elettrici, principalmente dettati da un impianto di illuminazione ancora di tipo tradizionale e quindi particolarmente energivoro. Questo esempio progettuale è stato quindi utile a capire come migliorare notevolmente anche il fabbisogno di energia elettrica intervenendo con una sostituzione integrale delle sorgenti luminose con nuovi e performanti prodotti LED, abbinata ad una progettazione delle schermature solari.

Oltre a ridurre la domanda di energia elettrica, tali soluzioni agiscono direttamente anche sul sistema di climatizzazione, riducendo gli apporti gratuiti interni e solari, e quindi la possibilità di surriscaldamento degli ambienti soprattutto durante la stagione estiva.

Per quanto riguarda invece l'Ex Centrale ENEL di Genova, l'efficacia del progetto deriva prevalentemente dalla proposta di un sistema di produzione energetica che sfrutta le fonti rinnovabili e che consente all'edificio di essere sempre più energeticamente autosufficiente, riducendo notevolmente il suo fabbisogno annuo di energia termica ed elettrica.

Tale esempio dimostra in modo efficace come si possa raggiungere una considerevole diminuzione dei consumi energetici anche avendo a disposizione un *budget* contenuto. Infatti, se abbinata alle più tradizionali e consuete misure di *retrofit*, tra cui l'intervento sull'involucro trasparente ed il miglioramento dell'efficienza degli impianti, la produzione sostenibile di energia consente di coprire un'alta percentuale

del fabbisogno energetico di un edificio, con conseguenti risparmi in termini economici, ambientali, così come di benessere degli utenti. In fase di installazione dell'impianto, tuttavia, bisogna assicurarsi di avere buona disponibilità di spazio, in quanto una scarsa superficie di copertura limita la potenza installabile, e dunque a fronte di un alto investimento finanziario ed una bassa efficacia energetica, i tempi di *payback* non sono vantaggiosi.

3.1 Introduzione al caso studio

Nel 1925 Le Corbusier visita per la prima volta il nuovo stabilimento Fiat di Torino. Il rigido funzionalismo della fabbrica, le geometrie del disegno, il singolare circuito di prova in copertura, gli suscitano un sentimento di profonda ammirazione, non soltanto per il linguaggio architettonico espresso, ma anche perchè la fusione di questi elementi gli restituiscono l'intima essenza di quel luogo, fatto di persone oltre che di forme. *"La chiarezza dell'impianto, la sincerità della maglia strutturale"*¹ non sono solo felice esempio di architettura razionale del Movimento Moderno, ma regolano con le loro proporzioni l'organizzazione spaziale e l'organizzazione del lavoro. L'insistente ripetizione dei tre elementi in cemento armato, *trave-pilastro-solaio*, non definisce solamente uno stile architettonico, ma pone le basi per lo sviluppo di un sistema produttivo innovativo basato sulla verticalità. Il Lingotto di Torino si afferma come icona dell'architettura industriale moderna perchè dietro a quelle linee apparentemente rigide ed austere si disvela un'essenza più intima, fatta di uomini, lavoratori, salari che possano garantire un futuro migliore, rapporti tra le persone, attenzione alle condizioni di lavoro che lo rendono lo stabilimento per la produzione in serie di automobili più grande e rinomato d'Europa.

"Cinquecento metri di facciata dove, su cinque piani, si moltiplicano, come in una griglia, finestre da non poterle numerare. Il coronamento è come una nave da guerra a curva tesa sopraelevata alle estremità, con ponti, fumaioli, corti e passerelle. Il tutto d'un bianco luminosissimo nell'atmosfera. Certamente uno degli spettacoli più impressionanti forniti dall'industria. È la fabbrica Esprit Nouveau, utile nella precisione e nella chiarezza, nell'eleganza e nell'economia più stretta."

- Le Corbusier, 1925

La scelta, pertanto, di approfondire in questo percorso di tesi il complesso del Lingotto affonda le radici *in primis* nel profondo interesse nei confronti dell'architettura delle industrie dei primi del Novecento e, in secondo luogo, nella ormai matura inclinazione e forte interesse verso i temi del recupero delle testimonianze di archeologia industriale. Restituire identità ad un luogo che nel tempo l'ha persa è molto più che "fare un progetto architettonico". Significa indagarne la storia, l'evoluzione culturale, le persone che vi hanno vissuto, arricchirsi del passato per elaborare scenari futuri capaci di rivitalizzare compartimenti urbani destinati altrimenti all'abbandono.

La poetica sin qui detta, tuttavia rischia di farsi prosa quando la cultura del riuso e della conservazione necessariamente incontra i sempre nuovi requisiti normativi sulle prestazioni energetiche in edilizia ed appare sempre più complesso articolare un progetto unitario ed integrato.

Fino all'anno 2005², in Italia, gli interventi di riqualificazione venivano svolti con il principale fine di recuperare l'originale matericità e vocazione dell'immobile, senza prestare troppa attenzione alla sua *performance* energetica. Recentemente, a causa di problematiche ambientali via via meno trascurabili e normative sempre più restrittive, non si può più prescindere in fase di ristrutturazione dal controllo energetico dell'edificio e dall'impatto che questo comporta sull'ambiente.

1. E. Fratelli, 1928

2. Nel 2002 viene emanata la Direttiva Europea 2002/91/CE, con l'obiettivo di migliorare le *performances* energetiche dell'edilizia civile per tentare di contrastare emissioni climalteranti sempre più incontrollate. L'Italia recepisce la normativa solo nel 2005 con il D.Lgs. 192/2005, che impone i requisiti energetici minimi per le nuove costruzioni e le ristrutturazioni sull'esistente.

È proprio questo il caso specifico del Lingotto. La sua ristrutturazione, avvenuta a partire dai primi anni '90 del secolo scorso, è stata sicuramente svolta prestando grande attenzione alla conservazione del fabbricato e della sua immagine storica ma con uno sguardo lungimirante all'efficienza energetica, adottando quindi soluzioni tecnologiche volte ad un generale risparmio sui consumi.

Sebbene le scelte progettuali dell'epoca prevedessero la messa in campo di tecnologie d'avanguardia e assolutamente performanti, la naturale evoluzione tecnica lascia oggi emergere che i sistemi di allora non soddisfino i requisiti minimi di legge attuali. L'interesse appassionato nei confronti di questo tema ha permesso di sviluppare una riflessione innanzitutto sulla modalità di recupero e riattivazione di un'ex stabilimento industriale che per anni ha rappresentato un punto di riferimento sia a livello locale che in ambito internazionale e, successivamente, sulla possibilità di elaborare nuovi scenari progettuali attraverso gli strumenti attualmente disponibili, per riportare l'edificio all'avanguardia anche dal punto di vista energetico.

In questa sezione verrà riportata solo una piccola parte della documentazione fotografica ed iconografica. Pertanto, per una migliore comprensione è necessario consultare l'apposito II Volume che raccoglie tutti gli allegati.

3.2 Inquadramento storico

3.2.1 Contesto della Torino post capitale

Dopo che la capitale d'Italia rimase per tre anni nella città di Torino, si decise nel 1864 di trasferirla in posizione geografica più centrale, e quindi più strategica dal punto di vista del controllo e del coordinamento dell'intero Paese, designando prima Firenze e poi Roma.

Dopo il 1864 Torino dovette affrontare i problemi di riconversione della sua economia, conseguente alla perdita delle funzioni di capitale politica. Cominciarono pertanto a svilupparsi il settore produttivo e dell'industria, in particolar modo quella automobilistica, che rese Torino un centro industriale specializzato che non aveva eguali in Europa.

Nel 1899 venne fondata la Fiat e fu proprio grazie al contributo di uno dei suoi fondatori, Giovanni Agnelli, che cominciò a registrarsi una rapida ascesa della fabbrica e una produzione travolgente e sempre più specializzata, anche a seguito della scoperta da parte di Agnelli della produzione in serie già adottata da Ford negli Stati Uniti.

Proprio a seguito della dismissione nel 1912 della cinta daziaria, fu possibile a Torino urbanizzare ed insediare fabbriche anche in quartieri come Nizza Millefonti e Lingotto, prima di allora quasi privi di servizi. Il settore automobilistico appariva sempre più promettente, le industrie aumentavano la propria dimensione aziendale e la Fiat inaugurava nuovi impianti di produzione in contesto non solo locale ma anche globale.

3.2.2 Dalla Costruzione al dibattito internazionale

Lo stabilimento del Lingotto è stato progettato nel 1915 dall'ingegnere Giacomo Mattè Trucco dopo che la Fiat ebbe acquistato a sud-est di Torino una superficie fondiaria di 378 000 m² in prossimità dello scalo ferroviario, posizione, quella in adiacenza alle ferrovie, considerata strategica poichè garantiva ai poli industriali di spedire rapidamente sul mercato le merci prodotte e allo stesso tempo rifornirsi comodamente delle materie prime necessarie alla produzione.

L'ambizioso ed innovativo progetto dell'ingegnere si articolava sulla costante riproposizione di soli tre elementi strutturali, ovvero trave, pilastro e soletta in cemento armato, ed era regolato in pianta da una rigida maglia strutturale di 6x6 metri. Il disegno dell'ingegnere prevedeva quindi una struttura trilitica realizzata secondo il nuovo sistema *Hennebique*¹, costituita da pilastri con sezione al piede di 70 cm e da travi principali e secondarie che, seppur con diversi spessori d'anima, raggiungevano la stessa altezza di 65 cm e sostenevano i 15 cm di solaio.

Le travi principali seguivano lo sviluppo longitudinale del fabbricato, poste tra loro ad interasse regolare di 6 m. Le travi secondarie, invece, venivano poste ai terzi della luce ed in posizione trasversale proprio per costituire insieme alle prime un sistema a nervature solidali.

Le ampie superfici vetrate perimetrali garantivano, poi, le migliori condizioni di illuminazione e ventilazione all'interno degli ambienti. Questo sistema costruttivo,

1. Il sistema edilizio del cemento armato, brevettato in Francia nel 1892 da François Hennebique, venne diffuso in Italia due anni più tardi grazie al lavoro di Giovanni Antonio Porcheddu che, insieme alla sua impresa, realizzò più di 2.600 progetti su tutto il territorio peninsulare.

ormai largamente diffuso ed impiegato nelle fabbriche mondiali più d'avanguardia, si basava su una forte attenzione al lavoratore e sul concetto illuminato per cui più uno spazio di lavoro era ospitale tanto più poteva garantire il benessere degli operai aumentandone la loro produttività.

Gli unici altri elementi di tamponamento erano i sottofinestra, anch'essi elementi in cemento armato che con la loro superficie scalfita, creavano un delicato motivo decorativo lungo le facciate austere della fabbrica.

L'intero stabilimento, a cinque piani fuori terra, raggiungeva 507,30 m di lunghezza e 27 m di altezza, esclusa la pista di collaudo delle automobili posta in copertura. La presenza insolita di quest'ultimo elemento era dettata dalla necessità di concludere un ciclo produttivo che si sviluppava, contrariamente a quanto comunemente accadeva, in direzione verticale. Ad ogni piano dell'edificio era infatti prevista un'attività di lavorazione diversa, con un livello di complessità crescente e sempre più articolato fino ad arrivare alla fase di montaggio e finitura dell'autovettura prevista al quinto piano (Fig.31).

Concluso ed approvato il progetto, venne concesso il via ai lavori. La fabbrica Fiat non è stata costruita integralmente nello stesso periodo ma a più riprese, dal momento che, accrescendo nel corso del tempo la propria attività produttiva, necessitava di sempre maggiore spazio per le attrezzature.

Lo stabilimento venne inaugurato nel 1923, presentando inizialmente soltanto il lungo tronco centrale composto da due volumi paralleli, le Officine, collegati tra loro attraverso quattro corpi trasversali che ospitavano il sistema dei collegamenti verticali, con scale, montacarichi, ascensori e servizi igienici. L'edificio antistante la fabbrica, ossia la Palazzina Uffici, ospitava invece gli uffici per la direzione generale della Fiat. Sul finire degli anni '20 si decise di realizzare due ampie rampe elicoidali, che avrebbero consentito il trasporto delle automobili dal piano terreno fino in copertura. Queste strutture, tra gli esempi più felici di ingegneria strutturale, venivano poste agli estremi meridionali e settentrionali del blocco Officine, prendendo pertanto il nome di Rampa Sud e Rampa Nord. Con il loro andamento sinuoso e spiralitico si ponevano in condizione di forte contrasto con il resto della fabbrica, contraddistinta da un carattere rigido e razionalista.

Nel 1932 terminò anche il cantiere per il centro presse, un cubo di cemento armato e vetro collocato a sud delle Officine. In ultima fase venne realizzata la cosiddetta Testata Nord, ossia la manica a nord del complesso, tra il ramo del passante ferroviario e via Nizza che, all'epoca, presentava dimensioni molto più sensibili rispetto ad oggi.¹ La fabbrica nel suo complesso si presentava allora come un vero e proprio monumento del lavoro e dell'industria. La Fiat non solo riuscì ad offrire molti posti di lavoro ad operai disoccupati, ma divenne il motore propulsivo per lo sviluppo di un'intera area urbana, traducendosi, nel tempo, in un'occasione di progresso per tutta quanta la città di Torino a livello internazionale.

Dal punto di vista strutturale però, il grande fabbricato presentava alcune debolezze. Il sistema di produzione, sviluppato in verticale, comportava sempre più problemi nel trasporto delle automobili, così come la fitta pilastratura, limitava notevolmente la mobilità interna. Con l'invecchiamento dell'edificio da un lato, e il rapido sviluppo di nuove tecnologie dall'altro, il Lingotto appariva sempre meno

1. Durante la ristrutturazione degli anni '90 del secolo scorso, una grande sfida è stata quella di ricostruire gran parte della Testata Nord, danneggiata duramente dai bombardamenti aerei della Seconda Guerra Mondiale. Ciò che resta del grande edificio è soltanto l'attuale sede del Politecnico, mentre la struttura che oggi ospita funzioni commerciali e Foresteria è stato integralmente ricostruito con sistemi prefabbricati in falso antico.

adatto a questo tipo di produzione. Sebbene l'attività abbia proceduto senza sosta per circa sessant'anni, intorno agli anni '80 del Novecento ha dovuto assistere ad una battuta d'arresto. Lo stabilimento venne così dismesso e la produzione trasferita nel complesso di Mirafiori di più recente costruzione. Le conseguenze di tale scelta furono così negative da creare una profonda cicatrice, non soltanto sul suolo urbano ma anche alla sfera sociale. Del resto, non solo veniva svuotato un polo industriale attrattivo e propulsivo all'interno del tessuto urbano ma si era anche pesantemente tagliato il tasso di occupazione. Più di 20.000 dipendenti rimasero senza lavoro e dovettero fare ricorso alla cassa integrazione mentre la Fiat, per incoraggiare gli operai a licenziarsi spontaneamente, corrispondeva loro una buona uscita.

La notizia della dismissione del Lingotto di Torino, che da sempre aveva accompagnato la crescita urbana e industriale della città, unita all'idea che all'interno del patrimonio urbano restasse soltanto la memoria di una delle prime testimonianze di archeologia industriale, fece accendere la volontà di intervenire per riqualificare l'intero complesso e dargli nuova vita. Il Lingotto veniva individuato come punto di partenza per un processo di rinnovo urbano e rilancio della città non solo a livello locale ma anche globale, a tal punto che, come esito finale del processo di trasformazione, è stato proprio grazie al recupero di quest'area che Torino si è potuto aggiudicare la vittoria tra le città candidate e quindi ospitare proprio qui le Olimpiadi Invernali del 2006.

Per il futuro del Lingotto si svilupparono due diverse linee di pensiero: c'era chi auspicava ad un recupero strutturale ma anche funzionale della struttura e c'era chi proponeva la sua demolizione, per svuotare il grande compartimento urbano e riprogettare lo spazio. Per quanto riguarda la prima ipotesi, lo stabilimento appariva troppo grande per avere una sola destinazione d'uso, comportando notevoli problemi in fase di dimensionamento delle funzioni per la complessità e moltitudine degli spazi presenti. Inoltre, al momento della chiusura della fabbrica veniva liberata una superficie di quasi 600 000 m², la cui trasformazione avrebbe certamente avuto importanti ricadute anche sul tessuto urbano circostante e avrebbe profondamente influenzato le future scelte urbanistiche nella città.

L'idea della demolizione del complesso, invece, ebbe per fortuna minore eco, poiché nell'immaginario collettivo si sarebbe prodotta una cesura troppo netta con il passato e, in senso più ampio, con tutto ciò che costituiva lo scenario industriale dei primi del Novecento, ossia i luoghi del lavoro, l'imprenditore, gli operai, i sindacati.

Adottata dunque l'idea del riuso Lingotto, nel 1982 la Fiat decise di indire un bando a livello internazionale a cui parteciparono 20 architetti di prestigio, presentando il proprio progetto per il recupero dello stabilimento industriale. Proprio perché si ricercavano nuove opportunità e prospettive di sviluppo per la città, si concesse agli architetti la facoltà di proporre scenari alternativi per l'area, nonostante il Piano Regolatore vigente stabilisse solo una destinazione d'uso industriale per quel luogo. La grande libertà all'estro e all'immaginazione diede vita a progetti grandiosi, anche se alcuni risultarono però troppo poco in linea con la memoria del passato.

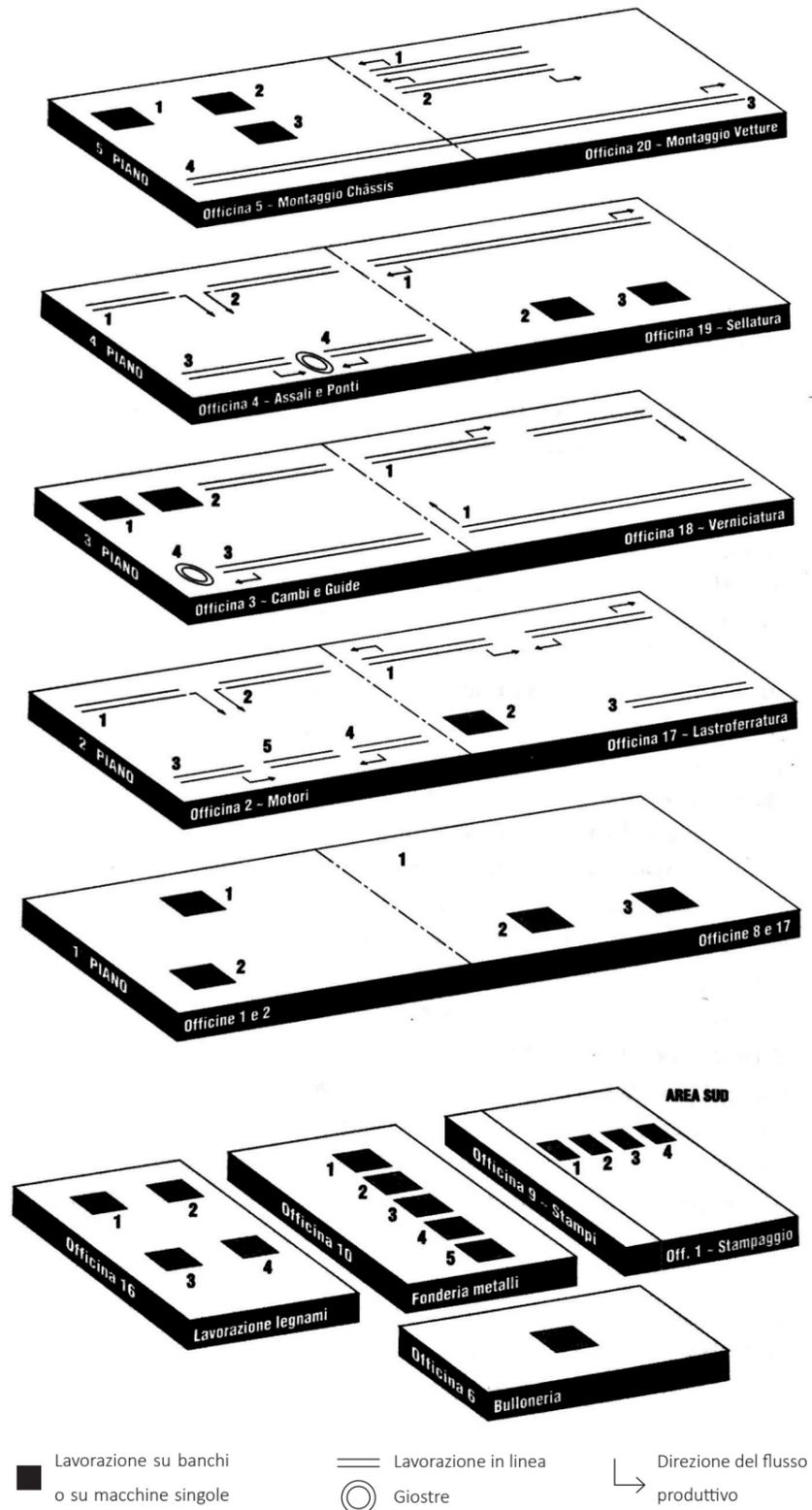
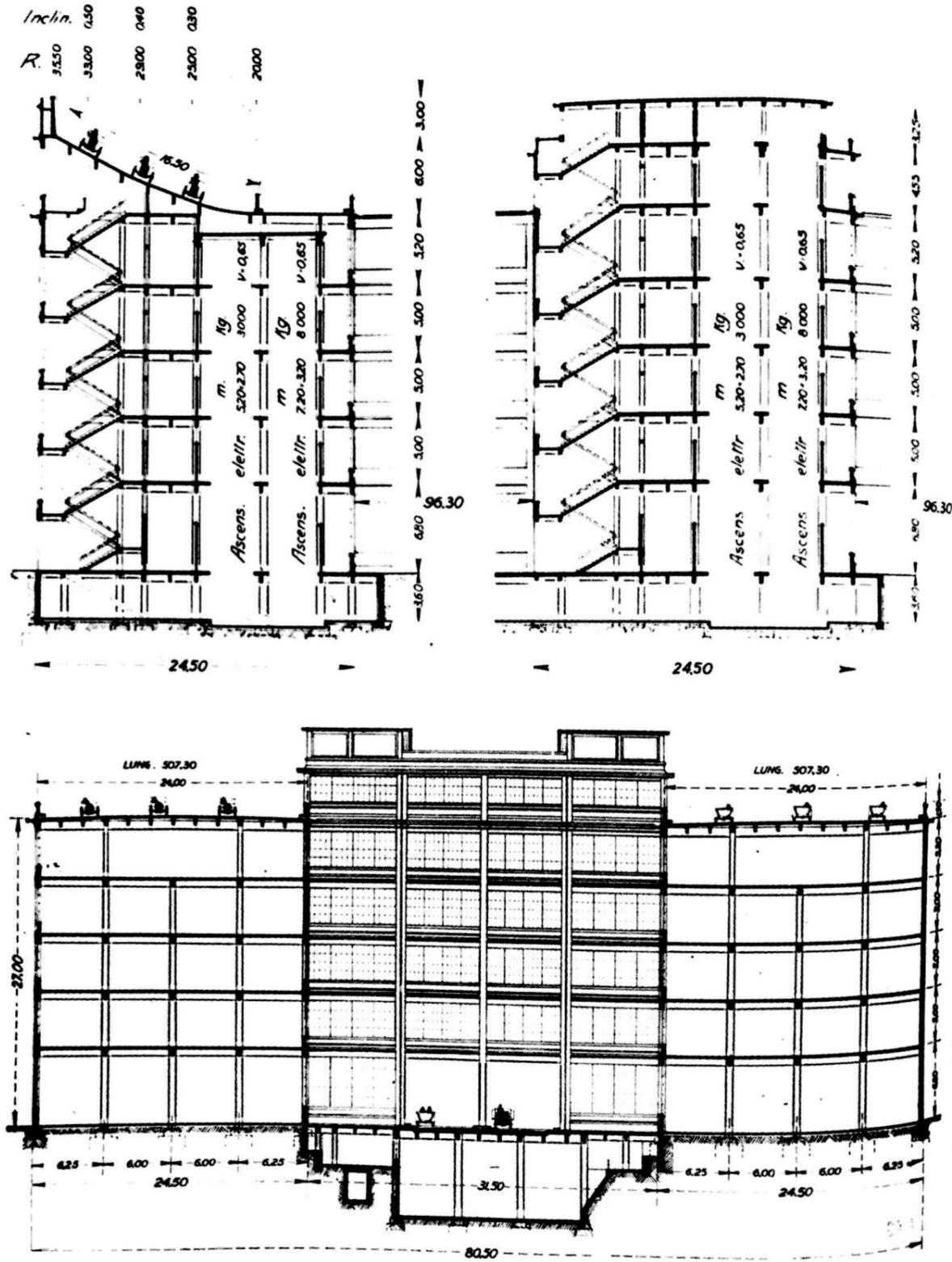


Fig. 31: RICOSTRUZIONE DEL CICLO PRODUTTIVO DELL'AUTO AL LINGOTTO NEL 1932. Fonte: C. Olmo, // *Lingotto : 1915-1939 : l'architettura, l'immagine, il lavoro*, U. Allemandi Editore, Torino, 1994

- | | | |
|-----------------------------------|--|---|
| | 5° PIANO | |
| OFFICINA 5 - Montaggio châssis | 1. Radiatori
2. Pulitrici
3. Processi galvanici
4. Preparazione telai e montaggio châssis | OFFICINA 20 - Montaggio vetture
1. Verniciatura ruote
2. Finizione e preparazione scocche
3. Finizione, collaudo e revisione vetture |
| | 4° PIANO | |
| OFFICINA 4 - Assali e Ponti | 1. Lavorazione freni
2. Lavorazione e montaggio assali
3. Lavorazione gruppi differenziali
4. Lavorazione e montaggio ponti | OFFICINA 19 - Sellatura
1. Sellatura
2. Preparazione selleria
3. Ebanisteria |
| | 3° PIANO | |
| OFFICINA 3 - Cambi e guide | 1. Lavorazione ingranaggi
2. Apparecchi elettrici
3. Lavorazione cambi e guide
4. Montaggio cambi e guide | OFFICINA 18 - Verniciatura
1. Verniciatura scocche |
| | 2° PIANO | |
| OFFICINA 2 - Motori | 1. Lavorazione alberi a gomito
2. Lavorazione alberi a camme, valvole, carburatori, ecc.
3. Lavorazione bielle, pistoni, ecc.
4. Montaggio motori | OFFICINA 17 - Lastroferratura
1. Lastroferratura
2. Lavorazioni meccaniche di carrozzeria
3. Lastroferratura di piccola serie |
| | 1° PIANO | |
| OFFICINE 1 e 2 | 1. Sbozzatura
2. Prova motori | OFFICINE 8 e 17
1. Magazzino generale
2. Utensileria e calibri
3. Preparazione lastratura |
| | AREA SUD | |
| OFFICINA 1 - Stampaggio | 1. Grandi presse
2. Lavorazione telai e ruote
3. Fucine
4. Trattamenti termici | OFFICINA 10 - Fonderia metalli
1. Animisti
2. Fusioni bronzo terra
3. Fusioni alluminio terra
4. Fusioni alluminio in conchiglia
5. Fusioni sottopressione |
| OFFICINA 16 - Lavorazione legnami | 1. Modellatori
2. Montaggio scocche
3. Lavorazione macchine
4. Costruzione imballaggi | OFFICINA 6 - Bulloneria |

SEZIONI E PARTICOLARI DEL PROGETTO ORIGINARIO



Figg. 32-33:
 In alto: Sezioni sui bracci trasversali. In basso: Sezione trasversale dello stabilimento.
 Fonte: M. Pozzetto, *La Fiat-Lingotto, un'architettura torinese d'avanguardia*, Centro Studi Piemontesi, 1970.

SEZIONE TRASVERSALE.. SCALA 1:100.

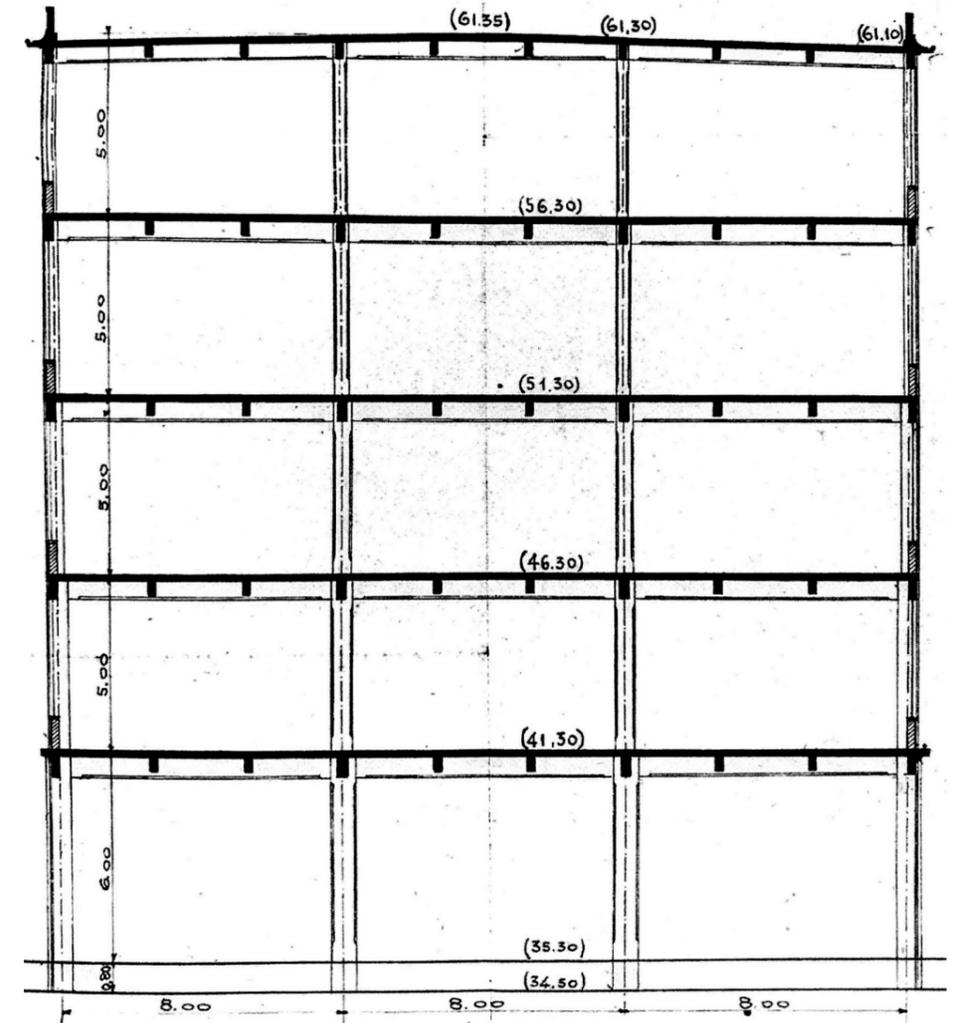


Fig. 34: Sezione trasversale 1:100. Fonte: C. Olmo, *Il Lingotto : 1915-1939 : l'architettura, l'immagine, il lavoro*, U. Allemandi Editore, Torino, 1994.

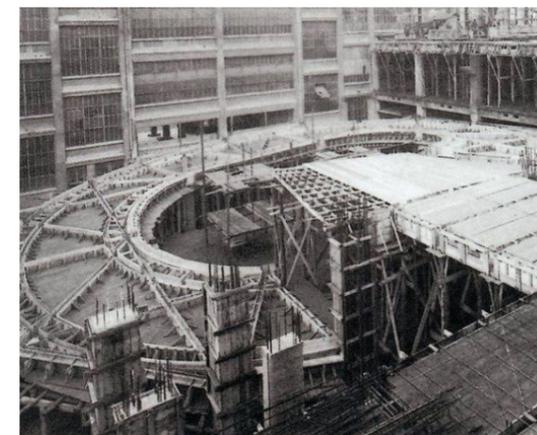
RICOSTRUZIONE STORICA ATTRAVERSO GLI AVVENIMENTI PIÙ SALIENTI



1923. Collaudo delle automobili sulla pista di prova sopraelevata dello stabilimento.



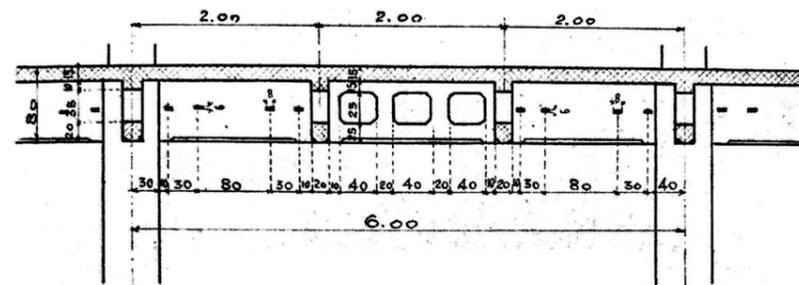
1924. Montaggio della Fiat 501 nelle officine dello stabilimento.



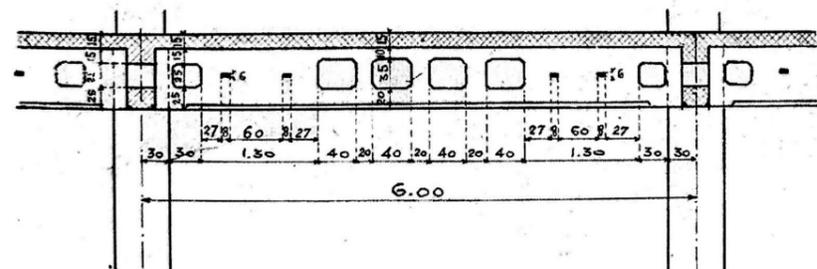
1925. Costruzione di una delle due rampe elicoidali dello Stabilimento Fiat.

2695

TRAVI PRINCIPALI



TRAVI SECONDARIE

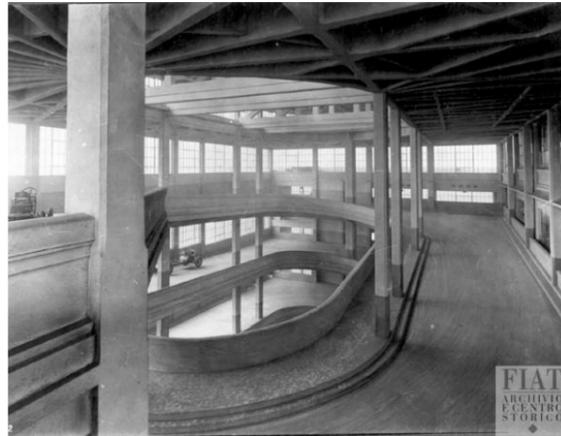


SCALA 1:50.

TORINO 21 SETTEMBRE 1916

Ing. Mario Curcio Casassa

Fig. 35: Travi principali e travi secondarie in scala 1:50. C. Olmo, *Il Lingotto: 1915-1939: l'architettura, l'immagine, il lavoro*, U. Allemandi Editore, Torino, 1994.



1926. Rampa elicoidale dello Stabilimento Fiat Lingotto.



1931. Uscita degli operai dalla fabbrica Fiat al termine dell'attività lavorativa.



1934. Giovanni Agnelli, con Henry Ford, visita le industrie americane.



1940. Gruppo di giornalisti e militari davanti alla fabbrica Fiat Lingotto.



1944. Bombardamenti aerei alla Fabbrica del Lingotto durante la II Guerra Mondiale.



1946. Inizio dei lavori per la ricostruzione delle porzioni danneggiate dai bombardamenti.



1982. Con la dismissione della fabbrica si indice un bando internazionale per la sua rifunzionalizzazione.



1992. Iniziano i lavori del progetto vincitore per riconvertire la fabbrica in un ampio centro polivalente.



2020. L'ex stabilimento Fiat come si presenta oggi.

3.2.3 Il progetto vincitore

Il vincitore del concorso internazionale fu Renzo Piano, proprio perchè seppe cogliere l'intima essenza del luogo, elaborando una proposta rispettosa della memoria della fabbrica e del significato sociale ed economico che da sempre aveva avuto per la città di Torino. Nel convegno internazionale del 1982 l'Architetto apriva il suo intervento con una questione: *"Rispettare o non rispettare?"*. L'intero dibattito sul recupero del Lingotto infatti verteva proprio su questo, sulla complessità di approcciarsi ad un monumento di archeologia industriale, donargli nuova vita senza alterarne l'aspetto ed il valore storico. Renzo Piano fu l'unico che riuscì ad interpretare al meglio questo concetto, sostenendo che *"l'esistente non si distrugge: l'esistente è un gigantesco patrimonio per tutti noi, quindi sull'esistente si lavora"*¹ aggiungendo che *"la cultura per Torino e per il Lingotto è la cultura del fare, la cultura dell'essere creativi, artigianalmente creativi, inventori, e credo che ci sia spazio anche all'interno della polifunzionalità nel mondo del lavoro, affinché quest'ultimo continui ad essere proprio il protagonista: continuità sociale oltre che fisica nel Lingotto. [...] Proprio perchè il rispetto alla fine è anche questo, è anche il non dimenticare che l'edificio è fatto a metà di pietre, ma l'altra metà è fatta di uomini e di memorie e di cultura generale dei luoghi."*²

Seguendo questa linea di pensiero, allora, lo studio di Piano proponeva un progetto per cui all'esterno si sarebbe mantenuto il carattere originario della struttura, valorizzandolo come monumento industriale, mentre, all'interno, le nuove tecnologie costruttive sarebbero solo andate a plasmare gli spazi, trasformando lo storico emblema del progresso, della tecnica e dell'ingegneria in nuovo simbolo del terziario avanzato e di sfida verso il futuro, occasione di crescita e sviluppo, che avrebbe accolto una molteplicità di destinazioni d'uso pubbliche e private, sempre più aperte ad un pubblico ampio, eterogeneo ed internazionale.

Lo studio di fattibilità del progetto venne affidato dall'Amministrazione Torinese all'architetto Renzo Piano, all'economista Giuseppe de Rita e al sociologo Roberto Guiducci.

Il Gruppo di esperti, in prima fase, si occupò di analizzare il contesto socio-economico, produttivo e demografico-occupazionale della città per poter formulare una proposta di riuso degli spazi che fosse rispondente alle esigenze dei cittadini; in seguito cercò di verificare la sostenibilità economica del progetto con un'analisi costi-benefici e una stima dei possibili supporti gestionali e organizzativi, nonché dei tempi di realizzazione. Le prime indagini hanno evidenziato un'incongruenza tra il numero piuttosto scarso di attività terziarie insediate in città e il ruolo di spicco che invece Torino si attestava nelle alte tecnologie a livello nazionale, in quanto polo accentratore del *know-how* tecnologico italiano soprattutto per la robotica. Allo stesso tempo, strettamente legato al settore dell'innovazione tecnologica c'era anche quello dell'istruzione e della formazione, proprio perchè in un contesto di lavoro così fertile c'era sempre più necessità di professionisti qualificati. Si è dunque giunti alla conclusione che non solo il settore terziario ma anche quello dell'istruzione si dovevano potenziare ed incentivare. Il Lingotto doveva diventare un moltiplicatore di iniziative e di imprese, con l'obiettivo di diffondere i suoi effetti positivi in tutta la trama sociale e produttiva, sia dentro che fuori il contesto urbano, per diventare un ponte verso l'Europa.

1. *Venti progetti per il futuro del Lingotto* : [Torino, 19 maggio - 1 luglio 1984], ETAS, Milano, 1984, p.74
 2. *Venti progetti per il futuro del Lingotto* : [Torino, 19 maggio - 1 luglio 1984], ETAS, Milano, 1984, p.75

3.2.4 Un complesso Polivalente

Il progetto di recupero si prefiggeva l'obiettivo di riqualificare lo spazio, prima ancora di riqualificare l'edificio, perchè si fondava sulla convinzione che le scelte architettoniche sarebbero state profondamente influenzate dal tipo di scenario urbano e sociale che si voleva restituire alla città. Una semplice riqualificazione che non si fosse messa in ascolto delle necessità e delle esigenze della comunità, non sarebbe stata vincente e si sarebbe presto rivelata peggiore del progressivo abbandono del quartiere.

"Il progetto di riconversione di un sistema edilizio così grande, complesso e articolato come è il Lingotto, non è finalizzato unicamente al recupero di un insieme di manufatti che hanno cessato di essere luogo di produzione, ma tende al superamento della sua monofunzionalità ed estraneità dal contesto urbano con valenze che certamente investono non solo l'immediato suo intorno ma un più vasto ambito. [...] L'ambizione del progetto è quindi quella di non farne un monumento, avulso dal contesto, ma un pezzo di città con una memoria ed un carattere che l'approccio compositivo vuole salvare ed innovare".¹

La grande sfida progettuale diventò allora quella di ricreare una città nella città, ridefinire il baricentro urbano e riportare anche nell'antica fabbrica un frammento del centro di Torino. Per questo motivo il piano principale per la circolazione pubblica doveva essere porticato ed ospitare bar, caffetterie e negozi, quasi a rievocare la centrale e mondana via Roma. I lunghi *passages* furono ottenuti sottraendo al fino esterno dell'edificio le strutture di tamponamento, facendo sì che il telaio portante e i solai a sbalzo definissero nuove gallerie coperte in cui passeggiare e dare vita ad occasioni d'incontro.

Questo luogo non avrebbe sostituito il centro cittadino, ma ne avrebbe costituito una succursale in un quartiere periferico, contraddistinguendosi per il suo carattere decisamente più innovativo e tecnologico. Il *concept* era proprio quello, infatti, di insediare all'interno del Lingotto un Parco Scientifico e Tecnologico, che potesse diventare un luogo nevralgico per la città e che si potesse inserire all'interno di un panorama più vasto a livello internazionale.

Per prima cosa divenne dunque necessario insediare un polo direzionale, detto Consorzio o punto di coordinamento, per massimizzare i servizi così come i benefici per tutti all'interno della struttura. Infatti, a seguito delle esperienze pervenute da altri Paesi, le spese di gestione di suddetti Parchi Scientifici e Tecnologici risultavano troppo onerose e altamente superiori agli investimenti necessari per inserire la funzione. Pertanto, era fondamentale istituire un centro unificato di coordinamento in modo tale che potesse controllare ed essere sempre aggiornato su tutti i processi che avvenivano all'interno della struttura. In secondo luogo, si cercò di inserire un Centro Innovazione, che coinvolgesse anche le Università di Torino, un Centro di Formazione Professionale di alto profilo, composto da enti fortemente specializzati e preparati, un Centro di Ricerca così come un Incubator, ossia uno spazio che avrebbe accolto piccole aziende emergenti che si sarebbero qui irrobustite prima di assumere i caratteri di piccole e medie imprese sufficientemente autonome.

1. Comune di Torino, *Piano Particolareggiato Lingotto, Progetto generale di massima (art. 25 N.U.E.A.) 1° Aggiornamento, Relazione Illustrativa Sintesi delle varianti progettuali*, Torino, 1991.

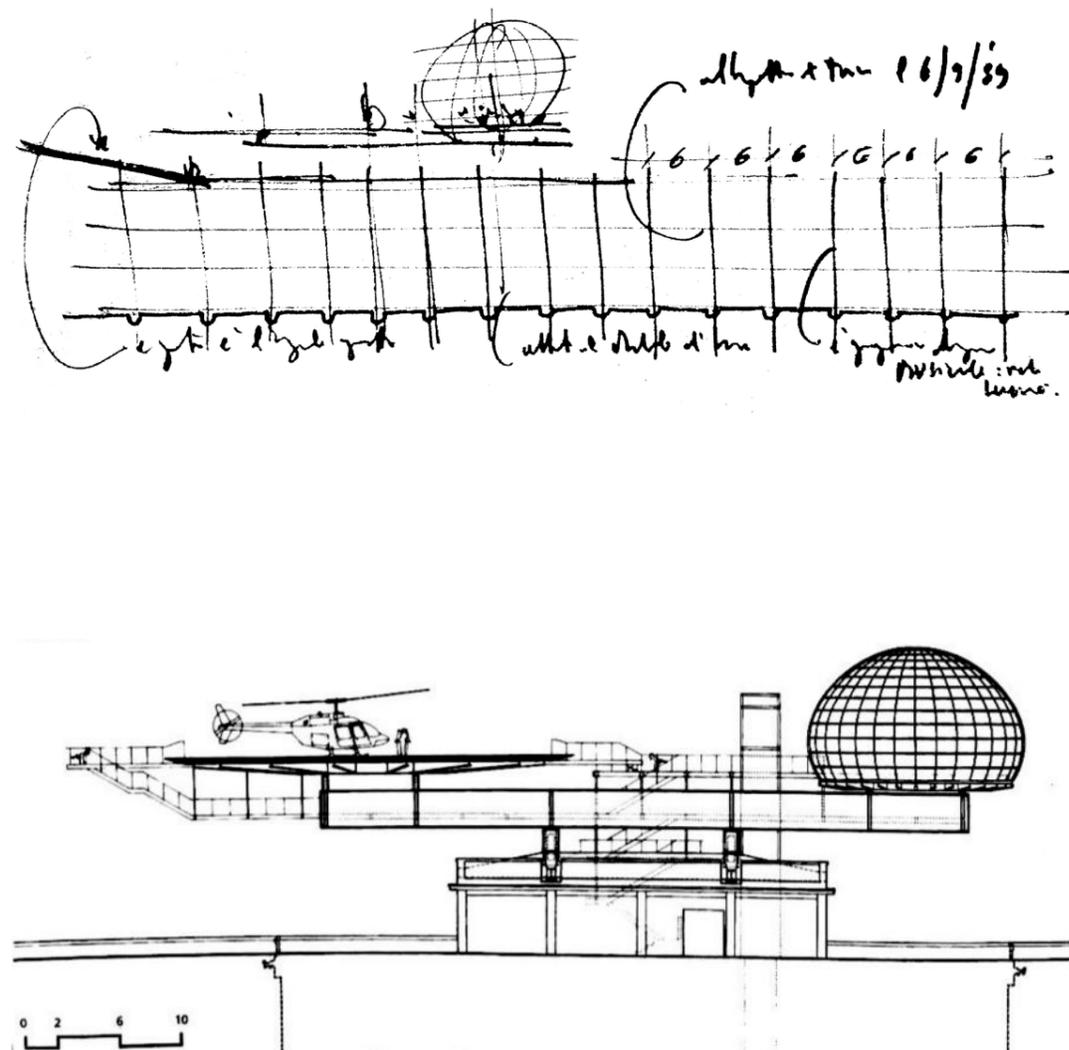


Fig. 36-37:
In alto: Schizzo di studio. In basso: Torre sud, sezione.
Fonte: F. Castagneto, *Fiat- Lingotto a Torino: Renzo Piano, Allinea, Firenze, 1999*.

Più nello specifico, l'ex Centro Presse, che all'interno dello stabilimento aveva sempre rappresentato il nucleo creativo in quanto destinato alla lavorazione vera e propria del materiale grezzo, venne designato come spazio per l'organizzazione di eventi, manifestazioni culturali ed esposizioni che avrebbero dovuto richiamare un grande pubblico.

Nel complesso delle ex Officine, invece, si inserivano a sud il Centro Congressi, in adiacenza alla rampa elicoidale, mentre a nord l'Incubator, i laboratori e i centri di ricerca. Con la caratterizzazione degli estremi dell'asse principale di sviluppo del Lingotto, si voleva nuovamente rimarcare quella contiguità fisica ed ideologica di questi due poli, costituiti da innovazione e impresa da un lato e formazione e ricerca dall'altro, che costituiva il *concept* fondante per la riqualificazione del nuovo Centro Polivalente.

Se il primo piano delle Officine avrebbe dovuto costituire un percorso pedonale coperto e rialzato rispetto al livello stradale, funzionale all'accesso alle attività terziarie, il secondo, terzo e quarto piano avrebbero invece costituito il cuore pulsante dell'intero complesso, accogliendo le aule per la didattica, stanze di albergo e le indispensabili attività direzionali.

All'interno del complesso vennero anche introdotte funzioni più ludiche, come cinema, ristoranti, bar, supermercati e un'ampia galleria commerciale. La copertura, che ospitava la Pista di Prova delle automobili, da sempre considerata un attributo identitario dello stabilimento, nonché grande traguardo della progettazione ingegneristica, venne mantenuta e valorizzata, collocandovi un piccolo eliporto, la collezione della Pinacoteca Agnelli ed una sala riunioni panoramica.

Questi nuovi volumi, insieme all'Aula Magna, all'Auditorium e al Giardino delle Meraviglie, vennero tutti realizzati con sistemi costruttivi, materiali e tecnologie profondamente distanti dalla preesistenza, quasi a volersi denunciare chiaramente come interventi successivi.

La Pinacoteca, proprio come uno "scrigno", e la sala riunioni, proprio come una "bolla", andarono a definire nuovi spazi, ma la trasparenza delle loro superfici lasciava intravedere il cielo e l'originale *skyline* dell'edificio.

Tutta la realizzazione del progetto fu formulata in modo tale che procedesse per fasi indipendenti tra loro, eseguendo i lavori secondo una logica verticale, dal piano terra per arrivare in copertura. Questo sistema che permetteva alle singole porzioni della struttura di entrare subito a regime a mano a mano che venivano concluse, si è dimostrato vincente a fronte di un progetto così ampio ed articolato. Il lungo processo di trasformazione del Lingotto, che ha coperto un arco temporale di quasi un ventennio, comprendendo anche una prima lunga fase dedicata a studi preliminari e di sostenibilità economica, evidenziò proprio la complessità di un lavoro che doveva continuamente confrontarsi con la rigida struttura architettonica, con i vincoli storici e di tutela, così come con le ampie dimensioni, caratterizzando il Lingotto come una struttura in continuo cantiere. Per poter affrontare questo progetto di trasformazione, pertanto, era innanzitutto indispensabile individuare un promotore dell'intervento, ossia uno o al massimo pochi soggetti che fossero interessati all'investimento e che avrebbero, inoltre, dovuto occuparsi della gestione dei lavori e della manutenzione successiva.

Pertanto, nel 1987 si costituiva la *Lingotto s.r.l.*, una società mista composta da Fiat e Comune di Torino che acquistò l'immobile a 45 000 000 000 lire. In secondo luogo, serviva ricercare un gruppo di *partners* interessati alla ristrutturazione,

ossia: l'Amministrazione Comunale, Regionale, lo Stato, le Università, varie Società e Imprese, Centri di Studi e di Ricerca nonché Fondazioni o istituzioni scientifiche o culturali. Tuttavia, in assenza di un mercato concorrenziale, fatto di grandi aree industriali dismesse o in cui fossero presenti le stesse condizioni economiche ed urbanistiche, non fu possibile stabilire con precisione il valore dell'immobile, dovendo così stimare per il Lingotto un valore convenzionale, basato sul rapporto economico tra quantità degli spazi, destinazioni d'uso pubbliche/private e indici di edificazione.

Queste spese si sarebbero però dovute bilanciare con entrate che potevano derivare sia dall'affidamento di alcuni spazi in locazione, o in concessione, ad altri enti oppure addirittura dalla vendita degli stessi.

In generale, sebbene le enormi dimensioni della fabbrica, la pianificazione dei lavori, la gestione degli spazi, così come la molteplicità degli attori coinvolti, complicarono di molto quel progetto che di fatto appariva già molto ambizioso, al termine della ristrutturazione quell'"effetto città" fatto di persone e di funzioni venne rispettato e valorizzato, senza tuttavia alterare la struttura ed il ricordo di quell'architettura unica nel suo genere.

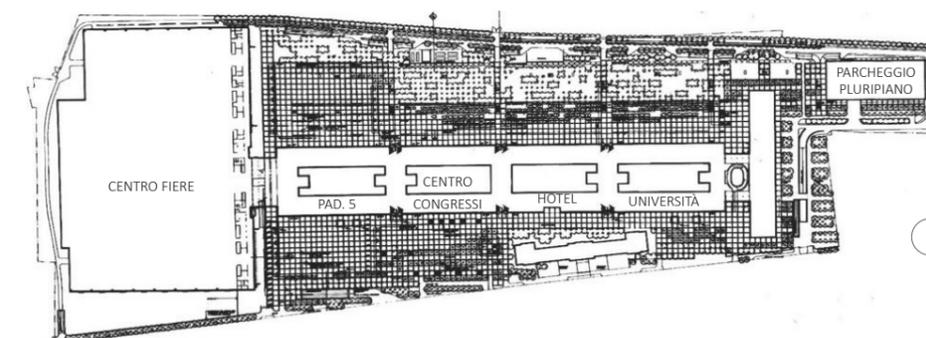
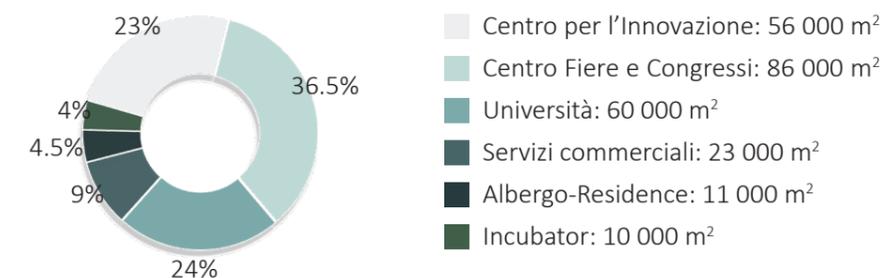


Fig. 38: Planimetria generale - Piano primo. Fonte: F. Castagneto, *Fiat- Lingotto a Torino: Renzo Piano, Allinea, Firenze, 1999*

DESTINAZIONI D'USO



3.2.5 Le Fasi del cantiere

Il processo di trasformazione del Lingotto venne suddiviso in tre fasi, stabilendo così una gerarchia da seguire per la realizzazione delle diverse destinazioni d'uso.

Nel biennio 1991-1992 si sarebbe dovuto concludere il Centro Congressi, proprio perché si era stimato che questo potesse garantire grosse entrate, a tal punto da contribuire nell'ultimo periodo di ristrutturazione non solo ad autofinanziare i lavori ma anche ad alimentare lo sviluppo delle altre funzioni.

In una seconda fase, compresa tra il 1993 e il 1999, si terminò il Centro Congressi e si avviarono i lavori per gli Uffici e gli spazi per le funzioni ricettive, turistiche e commerciali.

Nella terza ed ultima fase (2000-2003), si sarebbero ultimate le attività turistiche e commerciali della seconda fase e si sarebbe intrapresa la realizzazione degli spazi destinati alle università. In particolar modo, l'Università di Torino avrebbe dovuto acquistare una superficie di circa 60 000 m² ancora da ristrutturare ma negli anni seguenti, non essendo in grado di inserire questo progetto nel piano edilizio universitario del Ministero, fu sull'orlo di rinunciare. Per permettere all'ateneo di finanziare la realizzazione, la Fiat insieme a Comune, Regione e Provincia, fece in modo di inserire l'iniziativa all'interno del programma del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale e con i fondi del FESR, i contributi del CIPE, della Compagnia di San Paolo, Fondazione CRT e Società Lingotto, l'università riuscì a coprire i costi e ad insediare le sue Facoltà del settore dentario e facciale.

In occasione del centenario della sua fondazione, la Fiat decise inoltre di sigillare un accordo con il Politecnico di Torino, per il quale l'Ateneo avrebbe assicurato un corso di laurea nel settore dell'Ingegneria dell'Autoveicolo e la Fiat si sarebbe occupata delle spese di ristrutturazione dell'immobile non coperte dai fondi del FESR. Quasi 13 000 m² di superficie vennero pertanto destinati ad aule e moderni laboratori, ambienti per lo studio e la didattica.

L'intero intervento di recupero si pose fin dal principio nella prospettiva di grande rispetto nei confronti degli aspetti storici e culturali, proponendo soluzioni d'intervento compatibili e soprattutto reversibili, al fine di non alterare in maniera troppo incisiva la struttura originaria della fabbrica. Inoltre, data la grande superficie destinata ad ambienti altamente informatizzati, la scelta di impiegare pavimenti sopraelevati avrebbe costituito la risposta tecnologica ai problemi legati al passaggio di cavi elettrici e canalizzazioni d'intralcio alla libera circolazione degli utenti.

Allo stesso modo, l'utilizzo di controsoffitti aperti avrebbe permesso di nascondere gli impianti termici e di ricambio dell'aria, garantendone completa ispezionabilità.

Per gli apparecchi di illuminazione si scelsero sistemi dotati di bracci di sospensione, in modo tale da ruotare a seconda delle necessità i corpi illuminanti. Nello specifico, gli apparecchi luminosi, in alluminio prefuso, potevano essere proiettati verso il controsoffitto per generare luce diffusa oppure verso il basso per una luce di servizio. Le sorgenti luminose impiegate, tutte a scarica nei gas, si distinguevano in fluorescenti compatte e fluorescenti lineari (tubi al neon) per l'ambiente interno e a ioduri metallici per gli spazi esterni.

Il tema delicato dei serramenti è stato affrontato con una sensibilità particolare. Non essendo possibile mantenere i telai originari, troppo danneggiati dalla corrosione e dall'usura, si cercò un sistema di infissi che potesse mantenere inalterate le facciate esistenti. Per quanto riguarda le finestre dei piani superiori, il nuovo pacchetto

vetrato con intercapedine d'aria si installava su un telaio in alluminio costituito da più componenti: se all'interno gli elementi presentavano spessore maggiore, all'esterno sfoggiavano profili di dimensioni assai più esigue proprio per recuperare l'immagine delle antiche intelaiature in ferro impiegate in epoca di costruzione (Figg.34-35).

Per quanto invece riguarda le vetrate strutturali del piano terra e piano primo, veniva scelto un sistema a cellule con silicone strutturale che all'esterno appariva esile e leggero, mentre all'interno disponeva di costoloni d'acciaio di sostegno a cui le vetrate potevano agganciarsi.

Tutto il progetto è stato dunque pensato affinché impiegasse *"elementi nuovi e ricorrenti, che permettessero il rispetto di una coerenza formale nonostante la realizzazione per fasi."*

*Il serramento, caratterizzante per la sua ripetitività e per la sua presenza forte, in questa logica sarà, ad esempio, sempre in vetro strutturale con gli elementi di supporto in alluminio e le specchiature trasparenti. Sarà, come già detto, modulato sulla grana esistente, ampliata ed adattata alle diverse esigenze funzionali (sistemi di apertura, ventilazione, pulizia, ...), dimensionato per potersi collocare all'interno della maglia originaria."*¹



Figg. 39-40: A lato: Confronto tra i serramenti originali e quelli nuovi. In alto: Sezione della parte superiore della finestra.

1. Comune di Torino, *Piano Particolareggiato Lingotto, Progetto generale di massima (art. 25 N.U.E.A.) l'Aggiornamento, Relazione Illustrativa Sintesi delle varianti progettuali*, Torino, 1991, p.24.

L'aspetto davvero interessante di questo progetto di riqualificazione è risieduto nella grande capacità di conciliare la conservazione del patrimonio e le nuove tecnologie. Il Lingotto di Torino, infatti, al termine dei lavori presentava già tutti i presupposti per affermarsi come straordinario esempio di *intelligent building* a livello europeo.

Tutti i servizi dell'edificio venivano monitorati da specifici sensori comunicanti con un sistema centrale computerizzato che regolava automaticamente il loro funzionamento. Il PC permetteva di controllare anche la sicurezza, la gestione dei parcheggi e tutti gli accessi alla struttura. All'interno di un edificio così ampio e complesso, l'obiettivo voleva proprio essere quello di abbattere le distanze, il confine tra interno ed esterno e soprattutto gli sprechi sui consumi energetici, realizzando un organismo centrale che potesse interconnettere rapidamente tutti gli utenti dell'edificio.

Al termine dei lavori, il grande complesso conservava ancora la sua identità, una collocazione urbana difficile con la memoria di un passato glorioso. Il Lingotto venne presto riconosciuto come *"veicolo pubblicitario della filosofia dell'azienda"*¹ e per tale motivo la Soprintendenza notificò un vincolo di tutela a protezione di quel monumento culturale. Il primo provvedimento risaliva, per la verità, al 1986, poco dopo la chiusura della fabbrica. Il documento dichiarava l'immobile di *"interesse particolarmente importante ai sensi della citata legge 1° Giugno 1939 n. 1089"*² e pertanto lo riconosceva come Bene Culturale. L'anno successivo il testo venne modificato, precisando che il vincolo di tutela doveva più specificatamente riguardare *"il corpo centrale della Palazzina-Uffici, le due rampe di accesso alla pista di prova, la pista di prova, la traversa centrale e la maglia strutturale di facciata dello stabilimento Lingotto Carrozzeria in via Nizza 250"*³ in quanto *"costituiscono importanti testimonianze, tra loro correlate, della metodologia costruttiva dell'epoca nell'architettura al servizio dell'industria. Elementi eccezionali e rappresentativi nell'architettura ideata da Giacomo Mattè Trucco, la cui opera è nel suo insieme caratterizzata da aspetti di mediazione tra produzione industriale e indirizzi della nascente architettura industriale, essi chiudono e definiscono l'imposta a due rettangoli e una croce greca assemblato in pianta secondo linee fondamentali tali da suggerire una crescita all'infinito, risultano emblematici nella duttilità della cultura architettonica italiana di quel periodo fino ad assumere aspetto simbolico e venendo altresì a costituire testimonianza eccezionale delle vicende storiche e sociali della vita italiana e torinese nel periodo tra gli anni 1916 - 1924."*⁴

Nel 1994 venne nuovamente modificato il provvedimento, *"includendo tutte quelle parti che per il divenire costruttivo del complesso e/o per esserne parte, se pur di cornice, ma essenziale, devono essere mantenute per coerenza storica, architettonica e d'ambiente."*⁵

Vennero allora inclusi anche gli arredi, i manufatti e gli spazi "di cornice", come la recinzione su via Nizza ed i relativi tre accessi con portineria, il logo dell'azienda, l'area circostante la Palazzina Uffici con spazi verdi ed aiuole, i saloni d'ingresso ammobiliati.

1. Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici del Piemonte, *Relazione storico-artistica*, 17 Maggio 1986.

2. Ibidem.

3. Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici del Piemonte, *Provvedimento di tutela*, 5 Gennaio 1987.

4. Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici del Piemonte, *Motivazioni storico-artistiche*, 5 Gennaio 1987.

5. Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici del Piemonte, *Provvedimento di tutela*, 30 Settembre 1994.

Sul finire dell'anno 1994, pertanto, tutta l'area di pertinenza dell'ex fabbrica Fiat veniva protetta da un vincolo di tutela, sia in forma diretta che indiretta: questo fatto non fu soltanto di straordinaria importanza perchè la qualificava come Bene Culturale, riconoscendone il valore storico, artistico e culturale, ma anche perchè sottopose tutti i progettisti in sede di riqualificazione al rispetto delle prescrizioni e delle condizioni poste dalla Soprintendenza.

3.2.6 Il recupero della Testata Nord

Nel corso delle ristrutturazioni della terza ed ultima fase, si cercarono di terminare i lavori nel fabbricato delle ex Officine e di intraprendere quelli nella Testata Nord, ossia quella manica con orientamento Nord-Ovest che costituiva il secondo importante accesso alla Pista in copertura. In questa fase progettuale non ci furono soltanto interventi di conservazione e ripristino degli elementi edilizi ma vere e proprie opere di ricostruzione *ex novo*. Il progetto si presentava come un insieme di operazioni "a togliere" *"e questo non per assumere un atteggiamento progettuale passivo, ma per avviare una operazione che esalti gli elementi e le soluzioni funzionali che fanno di Lingotto un edificio unico"*¹.

Le Rampe Elicoidali, ad esempio, costituivano vere e proprie singolarità all'interno dello stabilimento, poichè con il loro andamento sinuoso rompevano le rigide linee delle facciate della fabbrica, attestandosi come veri e propri monumenti del genio ingegneristico. Nella prospettiva di valorizzarle, il progetto prevedeva dunque di *"rendere leggibile il loro esistere, isolandole dal corpo di fabbrica centrale con la demolizione di alcune delle maglie annesse alla struttura elicoidale, sui fronti est e ovest. L'arretramento delle facciate, conseguente alle demolizioni, lo svuotamento degli elementi di occlusione, contribuiscono a creare trasparenza ed a farne veri e propri elementi di mediazione - di cerniera - tra l'imponenza del corpo officine e i due nuovi corpi di testata (nord e sud), enfatizzandone ancora più la sua dimensione fuori scala."*² L'edificio originario, in adiacenza alla Rampa Nord, venne quindi in parte demolito in modo tale da creare un nuovo fabbricato che potesse, nella sua forma più "snella", non costituire più un ostacolo visivo all'elemento di collegamento verticale. In sede successiva tuttavia, date le numerose funzioni da insediare e la superficie insufficiente, si pensò di replicare il nuovo volume ottenuto per sottrazione con una struttura prefabbricata che riproponesse in falso antico le facciate della fabbrica. Negli spazi riconvertiti si sarebbero dovute insediare le nuove funzioni pubbliche, come il Centro di Eccellenza, la Foresteria e il Politecnico, e funzioni private, come il Cinema Multisala e alcuni spazi del Centro Commerciale.

Se inizialmente il "Centro di Eccellenza per la ricerca, formazione e sostegno nell'attività economica e di servizio nel settore dentario e facciale" (abbreviato in Centro di Eccellenza) doveva collocarsi nei primi piani della Testata Nord, in corso d'opera ci si rese conto che la funzione avrebbe necessitato di maggiore spazio e di una posizione più baricentrica rispetto alle funzioni già insediate in Seconda Fase. Venne pertanto ricollocata nel fabbricato delle ex Officine, tra l'Hotel *Le Meridien* e la Rampa Nord. Quest'ultima, poi, sarebbe diventata il nuovo nucleo

1. Comune di Torino, *Piano Particolareggiato Lingotto, Progetto generale di massima (art. 25 N.U.E.A.) I° Aggiornamento, Relazione Illustrativa Sintesi delle varianti progettuali*, Torino, 1991, p.4.

2. Comune di Torino, *Piano Particolareggiato Lingotto, Progetto generale di massima (art. 25 N.U.E.A.) I° Aggiornamento, Relazione Illustrativa Sintesi delle varianti progettuali*, Torino, 1991, p.5.

comune alle varie funzioni, punto di accesso immediato ai diversi spazi, pubblici e privati, nella prospettiva di garantire un uso polivalente delle diverse strutture.

La "Foresteria per lo scambio culturale e universitario a livello comunitario ed internazionale", inizialmente collocata al quarto piano delle ex Officine, è stata poi trasferita agli ultimi quattro livelli dell'ampliamento di nuova costruzione. I primi due piani di tale edificio, invece, sarebbero stati adibiti alla vendita per instaurare così una connessione fisica e funzionale con il resto degli spazi della Galleria Commerciale.

L'altro volume della Testata Nord invece, che disponeva di un accesso indipendente ed una configurazione architettonica che consentiva un uso organico e strutturato per livelli, avrebbe ospitato la nuova sede del corso di Ingegneria dell'Autoveicolo del Politecnico. Il programma didattico si articolava su lezioni frontali e studio teorico, da svolgersi nelle aule collocate perimetralmente, e su momenti di scambio e confronto localizzati negli atri centrali. *"Il tipo di attività fortemente innovativo ha suggerito il progetto di uno spazio didattico non convenzionale caratterizzato da laboratori dedicati alla produzione e spazi destinati alla esposizione, la sua stessa configurazione dovrà suggerire una concezione della attività didattica basata non su forme di apprendimento passivo ma sulla produzione e circolazione delle idee. [...] Tutti i piani del Politecnico si affacciano sul vuoto centrale, la sezione longitudinale di questo grande spazio assume una configurazione a gradoni che facilita la penetrazione della luce sino ai livelli più bassi ed offre grandi superfici libere, ad ogni piano, destinate all'esposizione."*¹

Tutti gli elementi architettonici inoltre dovevano rievocare le forme e le componenti automobilistiche: se i parapetti delle scale erano immagine rievocativa delle portiere delle auto, gli ascensori panoramici si presentavano come pistoni in movimento alternato nello spazio e l'Aula Magna veniva inizialmente pensata come "un pezzo di carrozzeria". Il primo progetto per la sala, infatti, prevedeva un corpo autonomo rispetto alla struttura esistente, dotato di involucro convesso metallico che, aprendosi proprio come il cofano di una macchina, lasciava intravedere una pelle vetrata a chiusura dell'ambiente. L'idea venne tuttavia abbandonata e si scelse di realizzare un locale dalle geometrie molto più regolari: accanto al *foyer* d'ingresso del Politecnico si stagliava così un cilindro interamente trasparente illuminato naturalmente con facciate continue e con la possibilità di essere schermato attraverso un sistema automatizzato di *brise soleil* in legno di ciliegio. Affinchè non vi fossero ostacoli fisici e visivi all'interno dell'Aula, si intervenì demolendo i tre pilastri in cemento armato originari e consolidando quelli limitrofi per garantire lo stesso comportamento meccanico della struttura (Fig.x).

Il progetto per la nuova sede del Politecnico, prevedeva inoltre, all'ultimo piano dell'edificio, la presenza di terrazze coperte panoramiche di pertinenza del ristorante che si sarebbe dovuto insediare all'interno ma che non venne mai realizzato.²

Nel complesso, salvo alcuni interventi più profondi come la costruzione *ex novo* di nuovi corpi scala, vani ascensori e l'eliminazione di alcuni pilastri per la realizzazione di nuovi spazi architettonici, tutti i lavori di recupero vennero svolti con grande attenzione al mantenimento dell'immagine originaria dell'edificio ed in stretta analogia a quanto già realizzato nelle fasi precedenti.

1. Renzo Piano Building Workshop, *Relazione tecnico descrittiva generale*, Torino, 1999, pp. 23-24.

2. Dopo aver acquisito la manica della Testata Nord, il Politecnico lasciò gli ultimi due piani dell'edificio in concessione alle Autorità dei Trasporti di Torino, che insediarono in quegli spazi i propri uffici.

STRUTTURA PORTANTE E FONDAZIONI

A seguito delle operazioni cosiddette "di sottrazione", la struttura dell'edificio ristrutturato sarebbe apparsa troppo labile. Si decise così di intervenire in fase di lavori all'incamiciatura dei pilastri per aumentarne la resistenza a flessione e a taglio, la rigidità e per raggiungere l'adeguamento sismico. Il progetto stabilì inoltre un intervento di rinforzo delle fondazioni con l'obiettivo di accrescerne la capacità portante.

FACCIATE ESTERNE

Tutte le porzioni esterne danneggiate o ammalorate vennero rimosse e ricostruite attraverso idonee tecniche di restauro conservativo e successivamente rintonacate cercando di recuperare il colore e la *texture* originari, operando in tal senso attraverso velature successive.

PAVIMENTAZIONI

Tutto il sistema di pavimenti è stato pensato per essere flottante e garantire così lo spazio tecnico per il passaggio dei cavi impiantistici. I rivestimenti delle pavimentazioni nei diversi locali, a seconda della destinazione d'uso, furono previsti in legno per le sale riunioni, in PVC/Linoleum nelle aule e nei laboratori e in granito negli spazi comuni. Per i servizi igienici si pensò ad un rivestimento in piastrelle di ceramica.

PARETI INTERNE

Le partizioni interne dovevano essere realizzate in blocchi di calcestruzzo armato nel caso di vani scala/ascensori o locali tecnici particolari; in blocchi forati intonacati per cavedi, magazzini e servizi igienici. Per quanto riguarda le divisioni interne tra le aule, gli uffici o i laboratori, il progetto prevedeva pareti vetrate eventualmente schermate da tenda interna per la regolazione della riservatezza e dell'illuminazione degli ambienti, oppure partizioni in cartongesso.

CONTROSOFFITTI

Perseguendo il principale obiettivo di lasciare a vista la struttura esistente, si è optato per un sistema di controsoffittature aperte, installate a sospensione nell'intradosso dei solai. Si trattava di pannelli in lamiera microforata bianca altamente fonoassorbenti grazie alla presenza di un materassino interno per l'isolamento acustico.

IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE

Il progetto impiantistico per la climatizzazione del Politecnico prevedeva:

- impianto a tutt'aria per l'Aula Magna e per i corridoi sul vuoto centrale
- impianto ad aria primaria + radiatori per le aule
- impianto ad aria primaria + *fancoils* per gli uffici
- impianto a pannelli radianti per l'atrio del piano terra e del primo piano
- impianto di ventilazione meccanica per i corridoi delle aule ed uffici¹

I generatori vennero collocati nella Centrale Termica di "Terza Fase", da cui geograficamente dipendeva la Testata Nord, posta nell'edificio sommerso. Per quanto invece riguarda le centrali di trattamento aria, quelle per il Politecnico vennero posizionate in copertura, mentre quelle per l'Aula Magna nel piano interrato, immediatamente al di sotto della sala.

1. Renzo Piano Building Workshop, *Relazione tecnico descrittiva generale*, Torino, 1999, p. 85.

Si potrebbe dunque concludere che al termine di tutti i lavori, la Testata Nord è risultata certamente il nucleo edilizio più sottoposto ad interventi profondi, essendo stata fin da subito considerata *“un ampliamento successivo fisicamente distinto dal corpo di fabbrica principale.”*¹

Il progetto per la nuova sede del Politecnico s’inserisce, allora, all’interno di un insieme di operazioni volte al rispetto ed alla valorizzazione di elementi unici e peculiari dell’ex fabbrica Fiat. La Rampa Nord costituiva del resto una delle preesistenze più monumentali dell’antico stabilimento ed era dunque necessario, in fase di recupero, creare una fascia di rispetto accanto all’opera architettonica, ottenendola tramite l’eliminazione di tutti quegli elementi che potessero in qualche modo creare ostruzione all’immagine complessiva.

3.2.7 Confronto tra stima e valore reale dell’investimento

Al termine del processo di trasformazione del Lingotto, tuttavia, l’ammontare del costo totale dell’investimento appariva davvero consistente. Analizzando dunque i dati, ossia il prospetto contenuto nello Studio di Fattibilità del 1986 e il costo totale effettivamente sostenuto, ci si accorge di una forte sottostima, sia per quanto riguarda i costi di costruzione che quelli di ristrutturazione: se in fase preliminare veniva previsto un costo complessivo pari a 590.666.000.000 Lire, nella realtà dei fatti si è speso quasi il doppio dell’importo, cioè 819.585.665.268 Lire.

Di certo in corso d’opera sono state eseguite varianti e non tutte le funzioni previste sono state inserite, anche a causa delle limitazioni imposte dal Piano Regolatore, tuttavia nel CME mancano voci essenziali, ad esempio quella di ristrutturazione della Pista di Prova in copertura. In aggiunta, se la previsione redatta dal Gruppo di esperti nel 1986 sui costi per l’acquisizione dei terreni risulta sovrastimata, quella per i costi di urbanizzazione e concessione appare assai inferiore rispetto a quella effettivamente poi sostenuta poiché il progetto si era concluso con un’ipotesi di intervento limitata solo al Lingotto e pochi terreni attigui, non tenendo conto di quel sistema infrastrutturale e di collegamento alla città, che invece è stato successivamente realizzato e che ha permesso al complesso di apparire ben servito ed inserito nella maglia urbana.

Lo Studio di Fattibilità redatto dal Gruppo di esperti, ha seguito un processo sviluppato su tre fasi: per prima cosa si sono stabiliti il costo di costruzione ed il costo totale delle funzioni insediate, successivamente si è valutata la fattibilità economica ed infine si è cercato di stimare sia gli indotti finanziari che l’affluenza. Proprio nella seconda fase, che ha coperto un periodo di durata maggiore, per ogni funzione si sono prefigurati più scenari riguardo alle possibilità di vendita e di locazione, così come i valori di mercato e i redditi annui.

COSTI DI COSTRUZIONE PREVISTI ED EFFETTIVAMENTE SOSTENUTI PER LA RICOSTRUZIONE DEL COMPRESORIO LINGOTTO (2002)

	Analisi economico finanziaria	Ristrutturazione Centro Polifunzionale	Differenza %
Terreno e Fabbricato	84.330.000.000 Lire	71.364.500.000 Lire	-15.37
Funzioni Insediate	440.885.000.000 Lire	528.316.611.584 Lire	19.83
Quota Parti Comuni (opere a scomputo), Oneri Concessori, Oneri di Urbanizzazione	65.451.324.000 Lire	219.904.543.684 Lire	235
TOTALE	590.666.000.000 Lire	819.585.665.268 Lire	38

Fig. 41 : Fonte: Antonio Talarico, *Gli Studi di Fattibilità nella valutazione dei grandi progetti: il caso dello stabilimento Fiat-Lingotto a Torino*, Rel. Marina Bravi. Politecnico di Torino, Corso di laurea in Architettura, 2004

1. Renzo Piano Building Workshop, *Relazione tecnico descrittiva generale*, Torino, 1999, p. 22.

Tab. 3					
Superfici complessive, superfici in offerta, valori unitari di mercato, redditi annui unitari e saggi di capitalizzazione per alcune delle destinazioni previste per il Lingotto (L. × 1000).					
Destinazione	Sup. compl. mq	Sup. in off. mq	Valore mercato L./mq	Redd. annui L./mq	Saggio di capital. %
Centro innov.	37.000	33.300	1500-1800	160	10,7-8,9
Incubator	17.000	16.560	1500	108	7,2
Università	59.000	53.820	1300-1500	150	11,4-10,0
Serv. e comm.	9.000	8.100	1700-2100	160	9,4-7,6
Residenze	15.200	13.680	1500-1800	150	10,0-8,3
Parcheeggi	105.400	105.400		160	

Fonte: Elaborazione su dati Comune di Torino, Studio avanzato di fattibilità..., op. cit.

Fig. 42: Fonte: R. Curto, G. Mondini, F. Zorzi, *La valutazione del Lingotto*, in Genio Rurale, n.1, 1991

L'analisi costi-benefici è stata sviluppata attraverso criteri quali il VAN, o Valore di Attualizzazione Netto, il SRI, Saggio Interno di Rendimento e il PP, PayBack period; è stata redatta su un arco temporale di vent'anni ed è stata rivolta esclusivamente al promotore dell'investimento senza contemplare, ad esempio, i vantaggi e gli svantaggi alla città e agli utenti. Secondo questo studio, con un PayPack period di soli pochi anni si sarebbe potuti rientrare dell'investimento, grazie, appunto, ai ricavi derivati dall'entrata a regime delle funzioni immobiliari e soprattutto del Centro Fiere, guadagni alti che in quella misura mai si sono registrati e, anzi, hanno di poco superato il valore dei costi, a tal punto che la società di gestione si è vista costretta a vendere molte delle preesistenze immobiliari ancora prima di ristrutturarle proprio per ottenere flussi di cassa in entrata e ristabilire così l'equilibrio finanziario.

Tab. 2				
VAN (lire × 1.000.000), SRI (%) e payback period (anni) per il progetto Lingotto nelle ipotesi liberatorie e gestionali.				
	Ipotesi lib./alta	Ipotesi lib./bassa	Ipotesi gest./alta	Ipotesi gest./bassa
VAN	206.828,2	114.903,2	232.566,1	143.938,5
SRI	21,8	15,6	20,7	15,7
PP	9	10	10	11

Fonte: Elaborazione su dati Comune di Torino, Studio avanzato di fattibilità..., op. cit.

Fig. 43: Fonte: R. Curto, G. Mondini, F. Zorzi, *La valutazione del Lingotto*, in Genio Rurale, n.1, 1991

COSTI E RICAVI DELL'INVESTIMENTO IMMOBILIARE (2002)

	Costi	Ricavi	Differenza %
Costi ristrutturazione Centro Polifunzionale	819.585.665.268 Lire	-	
Ricavi vendite Palazzina Uffici, Centro Fiere e Congressi, preesistenze Testata Nord, Galleria commerciale 8Gallery	-	722.988.532.000 Lire	
Valore residuo stimato al 31/12/2002 *	-	197.224.216.000 Lire	
TOTALE	819.585.665.268 Lire	920.212.748.000 Lire	12.27

Fig. 44: Fonte: Antonio Talarico, *Gli Studi di Fattibilità nella valutazione dei grandi progetti: il caso dello stabilimento Fiat-Lingotto a Torino*, Rel. Marina Bravi. Politecnico di Torino, Corso di laurea in Architettura, 2004

* Riferito alla stima per la capitalizzazione dei redditi per Uffici, Catering, Magazzini, Hotel 140 camere, Parcheeggi pubblici, Eliporto e Bolla.

La vicenda del recupero del Lingotto di Torino è diventata emblematica ed è tutt'ora molto dibattuta. Se da un lato il progetto iniziale muoveva da intenzioni profonde di rilancio urbano e di trasformazione di un contesto sociale complesso, allo stato dei fatti l'investimento è risultato più faticoso del previsto, anche perché i margini di redditività stimati per questo intervento non si sono mai verificati.

La sfida più audace di questo progetto risiedeva proprio nella capacità di insediare nella città consolidata una nuova realtà urbana e di adattare all'interno di un complesso esistente, con dichiarata vocazione industriale, una pluralità di funzioni che per la maggior parte si discostavano dalla storica destinazione d'uso. I numerosi studi e ricerche svolti negli anni preliminari al cantiere sono serviti proprio per individuare tutte quelle funzioni che meglio attendessero le esigenze della città e che rendessero vivibile e fruibile quello spazio così grande.

Ma, come spesso è accaduto nel caso di grandi strutture, tutti questi aspetti sono risultati di difficile previsione, soprattutto se valutati nel lungo periodo. Questo tipo di multifunzionalità non è risultata del tutto vincente anche perché, forse, il promotore dell'investimento avrebbe dovuto valutare in modo più accurato chi davvero usufruisse di questi spazi e quale fosse davvero il valore di uso sociale di questa struttura, tenendo sempre presente certamente l'aspetto monetario ma anche i benefici rivolti ad un'utenza che potesse essere anche indiretta o potenziale.

Il progetto di recupero dell'area ha raggiunto un costo così alto e lontano da quello prospettato forse anche a causa della scarsa capacità da parte della Società di gestione di dirigere le fasi di trasformazioni e poi di gestire le funzioni insediate, che è stata del resto anche scoraggiata dall'Amministrazione Torinese che ha preteso oneri di urbanizzazione molto elevati che hanno fatto vacillare la fragile struttura finanziaria interna della Lingotto S.r.l. In generale lo Studio di Fattibilità poco ha contemplato la componente dell'incertezza concentrandosi molto sulla realizzazione di un documento che analizzava dati troppo teorici, risultati a posteriori essere troppo lontani dalla realtà. Lo strumento sarebbe dovuto essere più flessibile e dinamico, prendendo anche in considerazione aspetti più diversificati e non riconducibili esclusivamente ad una sola dimensione economica.

L'intervento avrebbe pertanto dovuto valutare flussi di cassa anche in condizioni più peggiorative, così come, in sintesi, le ricadute finanziarie, quelle sulla collettività e tutte le possibili opzioni che avrebbero potuto alterare o comunque influenzare la redditività dell'intervento.

3.2.8 Interventi successivi

A seguito della profonda riqualificazione degli anni Novanta-Duemila, sono stati effettuati nel corso degli anni altri interventi sul nuovo complesso del Lingotto, tutti principalmente rivolti alla manutenzione impiantistica. Nel 2011 è stata svolta una diagnosi energetica al fine di conoscere il fabbisogno dei carichi termici e frigoriferi e rintracciare i possibili punti deboli nel sistema edificio-impianto. Le principali problematiche hanno principalmente riguardato, infatti, il rendimento degli impianti ed in particolar modo i sottosistemi di produzione, regolazione, distribuzione ed emissione.

Per quanto riguarda il sottosistema di produzione di energia termica, non sono state riscontrate grosse patologie, ma data l'ampia superficie disperdente di ogni generatore, risultava sensibile la percentuale di perdite di calore. Una possibile strategia risolutiva avrebbe comportato l'isolamento di ciascuno scambiatore a piastra, compresi i tubi di mandata alle stazioni di pompaggio del fluido termovettore. Per quanto invece concerne la produzione dei carichi per il raffrescamento, l'*audit* energetico ha evidenziato come le centrali frigorifere lavorassero tutte quante a pieno regime con un rendimento prossimo a 1. Questo aspetto, che comunemente parrebbe sintomo di *grande performance*, nel caso specifico di questi generatori contribuiva invece più rapidamente al processo di usura, dal momento che il funzionamento ottimale era previsto a carichi parziali. In tal senso, le macchine non avrebbero dovuto funzionare al pieno delle loro capacità, quanto piuttosto nel *range* compreso tra il 30% ed il 60%, grazie all'impiego di specifici dispositivi (*Inverter*).

In tutto il sottosistema di regolazione non è stato rilevato, poi, un meccanismo di regolamentazione automatico delle temperature di mandata il quale, essendo stato affidato alla sola calibrazione iniziale da parte del gestore impiantistico, non si poteva modulare automaticamente sulla base delle richieste e dei profili d'uso. Passare ad una regolazione automatizzata delle temperature dei fluidi nei tubi di mandata avrebbe di sicuro costituito un'efficace risposta al problema.

Per quanto riguarda il sottosistema di distribuzione, non sono state individuate

problematiche consistenti ma, data la sua estensione, è risultato conveniente coibentare anche la rete delle tubazioni per arginare le perdite di calore.

I terminali di emissione, infine, costituivano un ruolo importante nei consumi globali dell'edificio. Le U.T.A., dotate di recuperatore a flusso incrociato, presentavano un rendimento medio (circa 50%) e si sarebbero pertanto potute sostituire con recuperatori entalpici, di dimensioni volumetriche maggiori ma con rendimenti più alti, dotati di scambiatori più performanti dal punto di vista dei sistemi di recupero termico. I radiatori invece, sebbene garantissero il riscaldamento dei locali, non assicuravano il *comfort* agli utenti: la costante percezione di freddo comportava la regolazione delle termovalvole al massimo, incrementando esponenzialmente i consumi energetici. Nel caso specifico della Testata Nord, ad esempio, la richiesta di maggiore *comfort* da parte delle Autorità dei Trasporti è stata risolta attraverso l'incremento dei terminali d'impianto con l'aggiunta di *fancoils* negli uffici.

Durante la fase della diagnosi energetica, sono state inoltre sollevate questioni legate all'impianto di illuminazione e al sistema vetrato. In effetti, il fatto che ancora non si sfruttasse la più performante tecnologia LED per illuminare degli ambienti, unitamente all'ampia estensione delle superfici trasparenti, costituiva, insieme agli impianti di climatizzazione il principale fattore di dispersioni termiche ed energetiche dell'edificio.

Una prima soluzione è stata quella di un *relamping* integrale, proponendo l'impiego di sorgenti LED dimmerabili attraverso sensori di presenza, ipotizzando un risparmio del 40% sui consumi complessivi di illuminazione.

Una seconda strategia d'intervento, avendo escluso la possibilità di una sostituzione integrale dei serramenti, riguardava l'applicazione di pellicole bassoemissive sui vetri dei locali esposti maggiormente all'irraggiamento solare. Questi sistemi schermanti, che non avrebbero alterato l'estetica complessiva delle facciate, avrebbero riflesso e respinto circa l'80% delle radiazioni solari, diminuendo notevolmente il carico degli apporti gratuiti e quindi il fabbisogno di energia per il raffrescamento durante la stagione estiva.

Accanto ad interventi puntuali operati sul sistema impiantistico e sull'involucro edilizio, si era poi ipotizzato di installare sulla copertura delle passerelle del Lingotto un impianto fotovoltaico per rendere la struttura sempre più autosufficiente dal punto di vista energetico.

Sebbene al termine delle indagini non sia seguito un intervento ad ampio raggio per la riqualificazione energetica dell'immobile, alcune di queste proposte sono state messe in pratica, come la sostituzione dei generatori del freddo, la manutenzione delle valvole dei circuiti di distribuzione, una sostituzione parziale delle sorgenti di illuminazione e l'applicazione in alcune porzioni dell'edificio delle pellicole a controllo solare.

Accanto alle indagini volte a conoscere il comportamento energetico del Lingotto, nel corso degli anni sono stati eseguiti degli studi mirati alla comprensione dello stato di conservazione dell'immobile. Relativamente alla Testata Nord, è stata svolta nel Marzo 2018 un'importante campagna conoscitiva durante la quale, attraverso l'uso della termocamera, si sono potute sviluppare delle considerazioni sul livello di conservazione dell'intonaco esterno e valutare, eventualmente, un possibile ripristino strutturale. Dalla lettura dei risultati è emerso come gran parte delle facciate presentassero ampie porzioni ammalorate con un evidente distacco dell'intonaco, rintracciabile nei termogrammi da macchie di colore giallo-

arancione. Non avendo riscontrato ulteriori problematiche si è pertanto provveduto alla semplice ritinteggiatura delle facciate esterne dell'immobile.

In conclusione, si può affermare che sul complesso del Lingotto non sono stati svolti interventi significativi di miglioramento energetico dopo la grande ristrutturazione del secolo scorso, avvenuta, tra l'altro, in un momento storico in cui ancora non venivano richiesti particolari requisiti energetici per gli edifici. La presenza di un importante vincolo di tutela, inoltre, ha contribuito inevitabilmente a condizionare i possibili scenari d'intervento sull'involucro edilizio. L'aspetto forse più problematico ha però riguardato la cattiva gestione degli impianti e quelle che Docomomo¹ definirebbe "bad practices" degli utenti. Gli impianti, infatti, vengono programmati per rispondere più agli *standards* di benessere soggettivi che alle esigenze reali delle persone. Assicurando una temperatura interna dei locali eccessivamente alta fa sì che, dove non è possibile regolare manualmente i terminali d'impianto, gli utenti aprano i serramenti per permettere all'aria più fresca di entrare, comportando però scambi di calore con l'esterno e dunque dispersioni energetiche. La cattiva gestione impiantistica ed i conseguenti cattivi comportamenti delle persone che vivono quegli spazi fanno risultare l'ampio complesso del Lingotto molto energivoro, con consumi e parametri energetici troppo alti.

3.2.9 Considerazioni conclusive

Il carattere estremamente innovativo del grande complesso del Lingotto non è soltanto legato agli aspetti compositivi, ma anche e soprattutto alla razionalità e all'originalità dell'organizzazione strutturale. Il suo articolato e singolare schema funzionale, fondato su uno sviluppo verticale della produzione, acquista un carattere così forte, così identitario, così vincente da trasformare la piccola officina in un vero e proprio stabilimento industriale.

Quando la fabbrica viene dismessa, allora, si sente la comune necessità, intima e profonda, di restituirla nuova vita, per non renderla soltanto un lontano luogo di memoria.

È proprio per tale motivo che quando il Comune di Torino indice la consultazione internazionale per il recupero del Lingotto, non intende tale operazione finalizzata esclusivamente ad un recupero del patrimonio architettonico, ma soprattutto ad un rilancio di quel frammento urbano altrimenti abbandonato, ragionando su un nuovo sviluppo qualitativo dell'area in una prospettiva nazionale ed internazionale.

Il progetto di Renzo Piano si attesta vincitore del concorso per la proposta rispettosa e in naturale continuità con la preesistenza. La forza di tale progetto risiede nella capacità dell'architetto di aver immediatamente individuato e colto la caratteristica identitaria del Lingotto ed averla riproposta in chiave attualizzata.

L'edificio del Lingotto si è sempre contraddistinto per la sua dimensione fuori scala, fuori misura, costruito per asservire ad una sola gigantesca funzione, all'epoca importantissima, della produzione industriale. L'architetto, resosi conto che tale monofunzionalità sarebbe stata irripetibile in tempi storici successivi, non esistendo più una funzione altrettanto importante che riuscisse ad occupare quegli spazi enormi, ha ricercato una possibilità di continuità ed unicità funzionale articolando

1. Associazione internazionale per la documentazione e la conservazione degli edifici e dei complessi urbani moderni.

tale monofunzione in maniera più complessa. La nuova destinazione d'uso sarebbe stata sempre legata al mondo della produzione, intesa però come lo *scambio* della produzione, delle idee, della cultura, del *know-how*, delle esperienze. Il progetto, allora, proprio come un "gigantesco transatlantico", avrebbe ospitato al suo interno un frammento di città, abbandonando la monofunzionalità della produzione di automobili per diventare uno "strumento multiplo", polifunzionale, perché "una città, quando funziona, è un insieme di funzioni."¹

La riqualificazione operata da Renzo Piano ha permesso di mantenere viva l'opera, mantenerla realtà, un fatto fisico, un'esperienza concreta che altrimenti sarebbe stata presto perduta e dimenticata.

Sebbene in una valutazione complessiva l'intervento di recupero degli anni Novanta e Duemila sia stato esemplare, da un punto di vista della Tutela e della conservazione dell'esistente, le operazioni non sono state eseguite, forse, con la stessa sensibilità di oggi. Nel corso degli ultimi anni, infatti, l'approccio alla tutela del patrimonio industriale è cambiato enormemente, avendo maturato una consapevolezza maggiore rispetto a tutti quei comparti urbani che hanno rivestito un ruolo fondamentale nell'identificazione sociale di un'epoca storica. Tuttavia, è bene precisare che tale identificazione sociale non è sempre stata solo positiva, dal momento che nel cuore e negli animi delle persone l'industria ha vissuto anche forti contrasti. Si è soliti leggere documenti di storici e di studiosi che si avvicinano al tema con una certa sensibilità, mentre tante persone, gli operai, che hanno vissuto in prima persona l'esperienza dell'industria forse non hanno mai dimostrato tutta quella grande affezione all'edificio. Il simbolo, allora, non è solo un riferimento sociale positivo ma in larga misura assume anche connotati negativi; è tuttavia indiscusso che, dal punto di vista culturale, questi edifici hanno rappresentato un'identità forte e sono stati responsabili di profonde trasformazioni urbanistiche, sociali ed economiche delle città, ed è per questo che oggi meritano di essere salvaguardati e valorizzati.

1. Archivio Nazionale Cinema d'Impresa, *Verso il nuovo Lingotto*, Intervista a Renzo Piano, 1989

3.3 Il Politecnico oggi e la sua politica edilizia

3.3.1 Il Piano Strategico

In un contesto delicato, in cui da anni i diversi Paesi a livello globale si interrogano su quale sia davvero il ruolo dell'Università all'interno di una società moderna che cambia, e come deve dunque mutare la sua funzione sociale affinché possa essere un motore propulsore di sviluppo, ricerca ed innovazione, nonché crescita scientifica e culturale, anche il Politecnico di Torino ha cercato di allinearsi alle migliori Università a livello internazionale, aggiornando il proprio Piano Strategico e rendendolo sempre più innovativo e sostenibile. Il numero di iniziative, di progetti e di attività virtuose promosse dal Politecnico è progressivamente cresciuto nella prospettiva di potersi sempre più attestare come "piattaforma" di interazioni e non più soltanto come "fabbrica" di laureati.¹ All'interno di questo ambizioso programma, hanno assunto un ruolo centrale i concetti di sostenibilità e di pianificazione urbanistica, con la speranza di dare vita a progetti di forte impatto su scala locale e nazionale.

Il *PoliTo4Impact* costituisce il nuovo Piano Strategico di Ateneo per il periodo 2018-2024 ed ha come primo obiettivo quello di conseguire un impatto forte sulla società dando maggiore eco al Politecnico sia a livello locale che internazionale, con iniziative d'innovazione didattica, la promozione di una ricerca a carattere sempre più globale ed il trasferimento tecnologico, inteso come divulgazione di conoscenza ed esperienze.

In quest'ottica, l'Ateneo intende inaugurare un processo che condurrà ad incrementare il numero dei propri studenti iscritti, dai 34 000 attuali fino a 40 000, fenomeno che dovrà essere supportato dalla dotazione da parte del Politecnico di nuovi spazi. Ed è proprio in questo nuovo scenario che s'inserisce il Masterplan di Ateneo, progettato da un gruppo di ricerca composto da docenti e studenti del Politecnico, che propone di migliorare la qualità degli spazi esistenti e di progettare nuove soluzioni edilizie per ospitare le nuove funzioni a fronte di una stagione di sviluppo e di apertura all'internazionalizzazione.

Sempre per accrescere la consapevolezza del proprio ruolo sociale, a partire dal 2015 con l'istituzione del *Green Team*², il Politecnico ha anche promosso in misura sempre maggiore iniziative ed azioni di educazione civico-sociale per minimizzare l'impatto ambientale, cercando sempre più di allinearsi ai recenti obiettivi europei di *Horizon 2020* e configurarsi come un *campus* sostenibile.

I campi d'indagine sono complessi e sfaccettati e possono riguardare, ad esempio, la sostenibilità della mobilità da e verso l'Ateneo, la riduzione dei consumi energetici negli edifici, la predisposizione di sistemi di raccolta differenziata così come l'incentivo all'acquisto di materiale che sia il più possibile ecologico.

Molte di queste sfide sono già state vinte ed il Politecnico non ha soltanto dimostrato grande abilità nell'affrontare i nuovi temi di qualità della vita, ma si è inserito anche all'interno di una rete a livello internazionale che consente lo scambio di misure e strategie di *best practises* per realizzare, nei *campus* che aderiscono al sistema, interventi eco-compatibili ed integrare la sostenibilità nella ricerca e nell'insegnamento.

1. Presentazione del Piano Strategico 2018-2024 da parte del Rettore Guido Saracco, in apertura dell'inaugurazione dell'A.A. 2018-2019 del Politecnico.

2. Gruppo interno all'Ateneo, composto da professori, studenti, personale amministrativo e ricercatori che si occupa di sostenere e guidare il Politecnico verso l'ambiziosa missione di sostenibilità universitaria.

Anche a fronte delle ultime sperimentazioni effettuate nei *campus* dell'Ateneo sul monitoraggio attivo della struttura, sulla progettazione di sistemi di *energy saving*, nonché della previsione per il prossimo futuro di un utilizzo sempre più massiccio di energie rinnovabili, appare evidente come, nell'ipotesi di una riqualificazione della sede del Lingotto, il contesto in cui si andrebbe ad inserire il progetto appaia ormai molto fertile: il Politecnico sta dimostrando la volontà sempre più crescente non solo di rendersi un polo di riferimento per la propria comunità accademica e per la propria città, ma anche un modello internazionale sia dal punto di vista del metodo della didattica che dal punto di vista del giusto approccio sostenibile da perseguire.

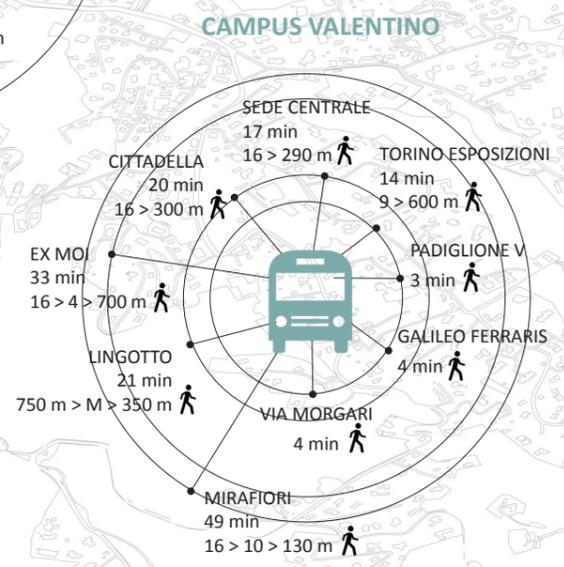
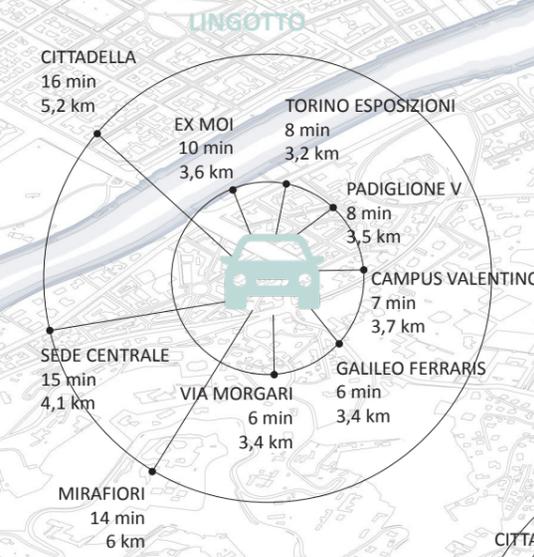
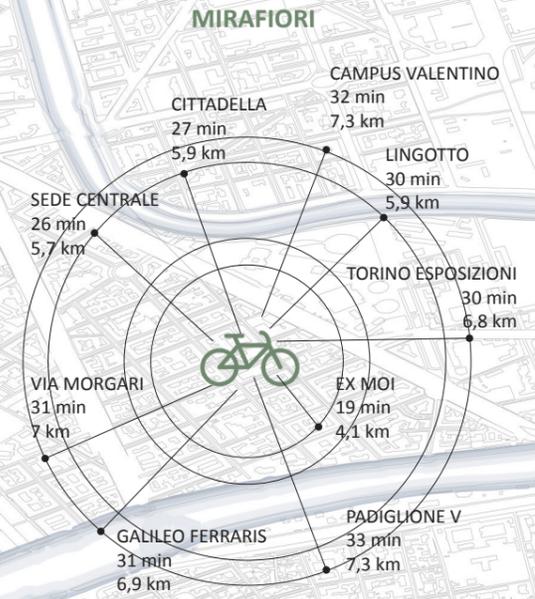
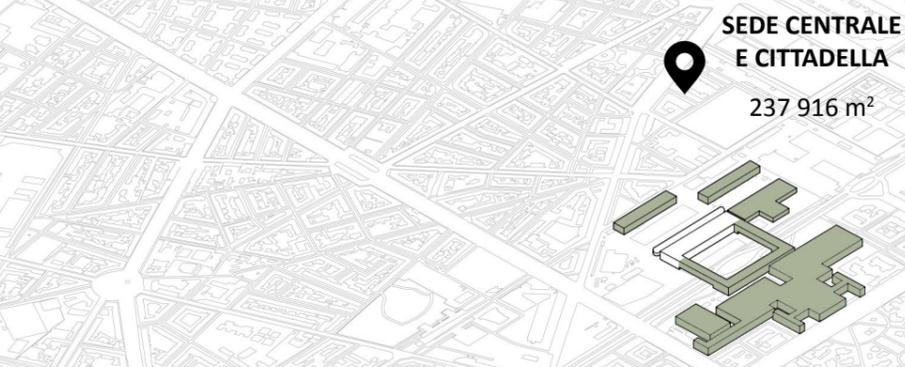
3.3.2 Il Masterplan di Ateneo

Il Masterplan di Ateneo prevede una serie di interventi localizzati in diversi punti della città ma interessa principalmente i due *campus* del Politecnico. La sede storica di Ingegneria in Corso Duca degli Abruzzi, già sottoposta nel 2002 al progetto del cosiddetto "Raddoppio" sull'area delle ex-OGR, viene nuovamente coinvolta in un progetto di incremento degli spazi e degli edifici per ampie aule studio, attività di ricerca e didattica sperimentale, la cui posizione, nella compagine urbana, permette di definire in maniera chiara un asse dal carattere tecnologico-culturale.

Per quanto riguarda invece il *campus* del Valentino, si cercherà di trasformarlo in un vero e proprio insediamento metropolitano, mantenendone come fulcro la sede storica del Castello ed implementando gli spazi attualmente già presenti nell'Istituto Galileo Ferraris e quello in Via Morgari, con nuovi ambienti ottenuti dalla riconversione dei padiglioni di Torino Esposizioni. Il *concept*, infatti, prevede la pedonalizzazione dell'area compresa tra il Castello ed il complesso fieristico, rendendo più facile sia la mobilità che il collegamento tra gli spazi. Il padiglione 3B potrà ospitare i laboratori e le aule attualmente utilizzate nella sede di Mirafiori, Lingotto e Cittadella Politecnica. Il padiglione 5, per la sua struttura a grandi luci, ospiterà invece ampie aule per la didattica e per lo studio individuale, prima presenti in Cittadella Politecnica. Il nuovo ed articolato *campus* di Architettura andrà ad insistere e rafforzare quello che in città ha da sempre rappresentato l'asse del *loisir*, lungo il Parco del Valentino e in affaccio sul fiume Po.

Il trasferimento di alcuni servizi nei nuovi poli didattici, così come l'implementazione di spazi nelle aree già consolidate, contribuiscono all'evoluzione delle sedi in nuovi centri di fruizione del sapere più aperti ed interdisciplinari, vocati all'innovazione e alla sostenibilità.

MOBILITÀ E PERCORSI TRA LE SEDI

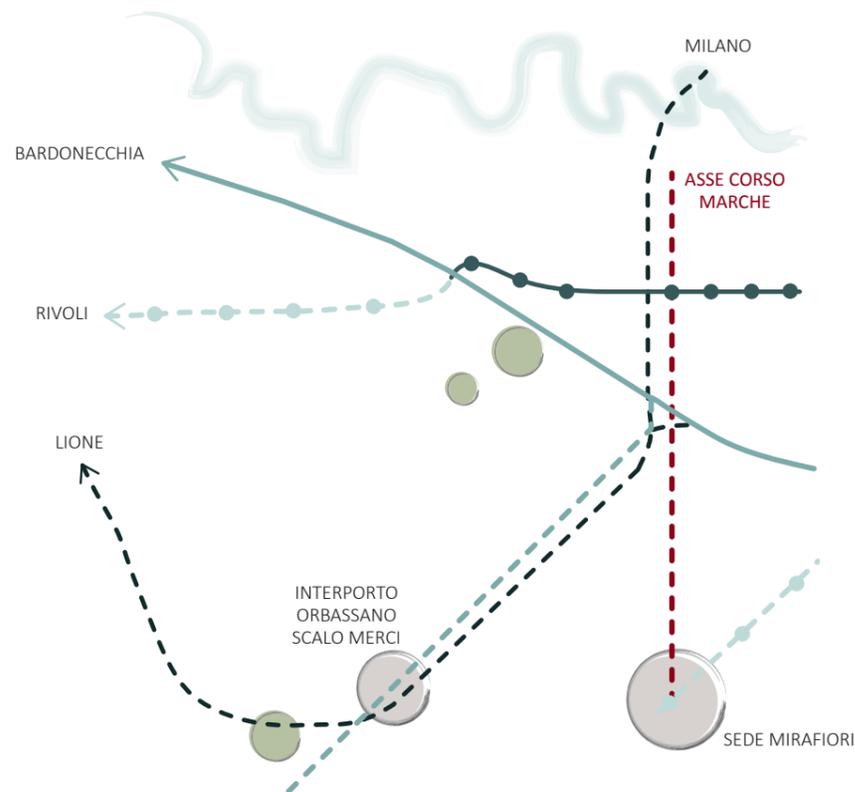


3.3.3 L'organizzazione delle sedi

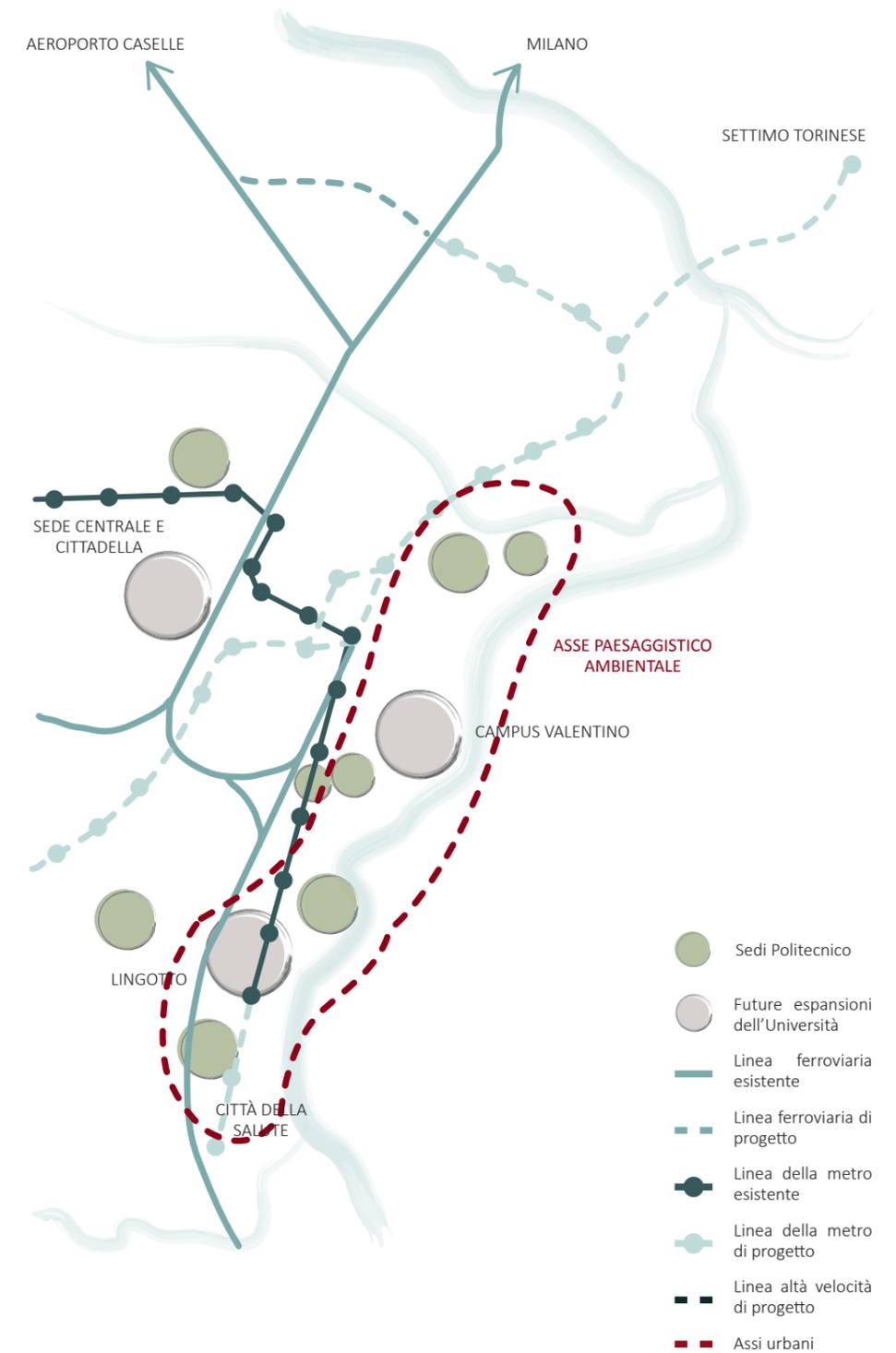
Il Piano Strategico ha l'obiettivo, anche sul piano urbanistico, di rilanciare Torino rendendola sempre più territorio fertile di opportunità che incorragino la conoscenza e l'innovazione, proponendo scenari urbani e riorganizzazioni spaziali in cui l'Università acquisti sempre più una funzione urbana strategica e centrale nella città. Attualmente, le quattro principali sedi dell'Ateneo, ossia Sede Centrale/Cittadella, Valentino/Via Morgari, Lingotto e Mirafiori, già ben si inseriscono all'interno del tessuto urbano, attestandosi su quei tre Assi Strutturali pianificati dal PRG nel 1995. Il primo asse, su cui si affacciano la sede Centrale e la Cittadella Politecnica, è quello della Spina Centrale, che si sviluppa da Corso Rosselli in direzione nord-est fino al tessuto rurale extraurbano e si presenta come un grande *boulevard* vocato principalmente al terziario, con una fitta trama di filari e nuovi spazi verdi, nato dalla riconversione di spazi industriali.

L'Asse del Po, che comprende la sede storica del Castello del Valentino, le aule di Via Morgari e dell'Istituto Galileo Ferraris, presenta carattere paesaggistico-ambientale e costeggia il fiume lungo tutta la direzione di Corso Massimo D'Azeglio fino alla Città della Salute, a sud-ovest.

L'asse di ultima realizzazione, su cui insiste la sede di Mirafiori, è quello di Corso Marche, che idealmente collega il Parco di Venaria con quello di Stupinigi. Viene identificato come una fascia di territorio multi-livello, con insediamenti vocati alla nuova economia, al *design*, all'alta formazione e a tutti quei settori in cui Torino eccelle, come l'automobile, l'automazione, l'aerospaziale e l'elettronica.



All'interno di un sistema di forti assi urbani e di fuochi strategici, nonché di un ambizioso programma di ridefinizione degli spazi dell'Università, forse soltanto il Lingotto potrebbe ancora apparire un polo satellite, meno inserito all'interno di questo clima di cambiamento e di nuovo sviluppo urbanistico dell'Ateneo.



- Sedi Politecnico
- Future espansioni dell'Università
- Linea ferroviaria esistente
- - - Linea ferroviaria di progetto
- Linea della metro esistente
- Linea della metro di progetto
- Linea alta velocità di progetto
- - - Assi urbani

3.3.4 La sede del Lingotto. Spazi aperti e rapporto con la città

La sede del Lingotto, forse ad un primo sguardo poco coinvolta nel progetto di rigenerazione urbana proposto dal Piano Strategico di Ateneo, si rivela tuttavia già parte di un primo tentativo di rilancio urbano avviato durante gli anni della riqualificazione dell'ex stabilimento Fiat.

La sua collocazione fisica, profondamente integrata all'interno dell'ampio complesso polivalente, costituisce del resto il secondo dei due poli più importanti del Centro, insieme agli spazi della Dental School e dei laboratori per la ricerca.

Già nei primi anni Duemila, il *concept* avanguardieristico del RPBW metteva in luce quella necessità forte di riconnettere l'università al tessuto urbano, che oggi sembra costituire fondamentale prerogativa per un'efficace rigenerazione urbana e sociale. Fin dal passato, il decentramento dell'università rispetto ad un centro cittadino in rapido sviluppo simboleggiava la volontà di mantenere distinte le due realtà, basandosi sulla convinzione che senza dialogo e distrazioni non si sarebbe potuta ledere la vocazione di quel polo allo studio e alla ricerca.

Nel corso degli anni, tuttavia, si è sempre più compreso come, contrariamente a quanto si pensasse, la stretta relazione città-università avrebbe favorito il rilancio del tessuto economico ed imprenditoriale urbano. La città ha bisogno dell'università, della cultura, motore trainante per l'innovazione ed allo stesso tempo l'università, a carattere sempre più internazionale, ha bisogno di un solido tessuto urbano in cui radicarsi, di grandi infrastrutture e di moderni servizi che la mettano in rapido collegamento e connessione con l'esterno, per essere accessibile e fruibile al più vasto bacino di utenza.

L'università acquista allora un ruolo sempre più strategico e centrale nella trama urbana, capace di richiamare ed essere contenitore di flussi di idee, persone, culture per poi rilanciarli in contesto internazionale, arricchendo e migliorando l'immagine e il carattere della città stessa.

La struttura del campus si delinea allora come perfetta e ormai inevitabile soluzione per integrare due realtà ormai in costante dialogo. In molte realtà nazionali ed internazionali, come si diceva, questo processo è stato già avviato e i modelli costruttivi, le scelte progettuali e le filosofie dietro ogni cantiere, sia nel caso di recupero che nel caso di costruzione *ex novo*, svelano la volontà di creare spazi fluidi, osmotici alla città e ai suoi abitanti. Il *trend* progettuale prevede ampi spazi verdi per la collettività, liberi e permeabili, che dall'esterno possono proseguire all'interno degli edifici per diventare vivaci piazze coperte. Il concetto di *ágorá*, come luogo d'incontro e di condivisione, diventa il perno di una nuova spazialità. *“La necessità di moltiplicare le occasioni di confronto tra studenti, ricercatori, docenti e visitatori, influenza la progettazione. Così, proliferano luoghi informali per riunirsi, incontrarsi o studiare, al chiuso o all'aperto, o per lavorare in team.”*¹

*“C'è tutto un mondo di scambi che è importantissimo. Per questo gli impianti tipologici monofunzionali, specializzatissimi, [...] non sono oggi all'avanguardia, tutt'altro. Hanno grande valore, invece, gli spazi intermedi, i luoghi di incontro e di confronto non programmati, che sono un po' la prosecuzione (all'interno dell'università) dello spazio della città.”*²

1. M. Barletta, “Ecco le nuove Università dove si incontrano ricerca, professione e didattica.”, *Il sole 24ore*, 22 Marzo 2017.

2. F. R. Prodi, docente della facoltà di Architettura di Firenze.

Negli edifici, infatti, gli spazi sono fluidi, privi di rigide separazioni, caratterizzati da locali a doppia o tripla altezza e da un piano terra “bucato” affinché lo spazio pubblico della città esterna possa immediatamente relazionarsi con l'interno dell'università. I nuovi *campus* si presentano quindi come sovrapposizione e giustapposizione di pieni e vuoti, di volumi chiusi all'interno di spazi aperti.

Alla luce di queste considerazioni, si potrebbe pertanto affermare che la sede del Politecnico, con la propria articolazione spaziale interna, sia già molto più innovativa e all'avanguardia di quanto si potrebbe pensare. Se all'esterno l'edificio mantiene invariato l'aspetto rigido ed austero dell'antica fabbrica, all'interno lo spazio viene plasmato quasi a simulare, metaforicamente parlando, un'arena per l'apprendimento. I numerosi ballatoi di distribuzione, infatti, si affacciano direttamente sull'ampio camino centrale che dal piano terra fino in copertura attraversa la struttura e mette in collegamento fisico e visivo tutti gli ambienti. I percorsi tra i locali sono liberi, aperti ed aprendosi in piccoli atri favoriscono le occasioni di scambio e d'incontro tra gli utenti. Gli spazi più privati degli uffici, dei servizi e delle aule, invece, sono volumi chiusi e si attestano sul perimetro dell'edificio anche se, grazie alla trasparenza delle partizioni divisorie, la continuità visiva con il resto dell'edificio viene mantenuta.

L'edificio, inoltre, prevede spazi antistanti aperti e verdi, che proseguono fino all'interno della struttura grazie all'arretramento delle facciate dei piani terra e primo, andandosi ad attestare come vere piazze coperte al servizio degli utenti.

Nonostante ancora la prestazione energetica dell'edificio non sia molto performante, date soprattutto la cattiva gestione impiantistica e le *bad practises* degli utenti, la sede del Politecnico sembrerebbe tuttavia presentare già tutti i presupposti per allinearsi al campus di nuova progettazione. Elaborando quindi qualche scenario di *retrofit* sulla struttura, se ne potrebbe migliorare il comportamento energetico e farla dunque competere con i nuovi *campus* internazionali.

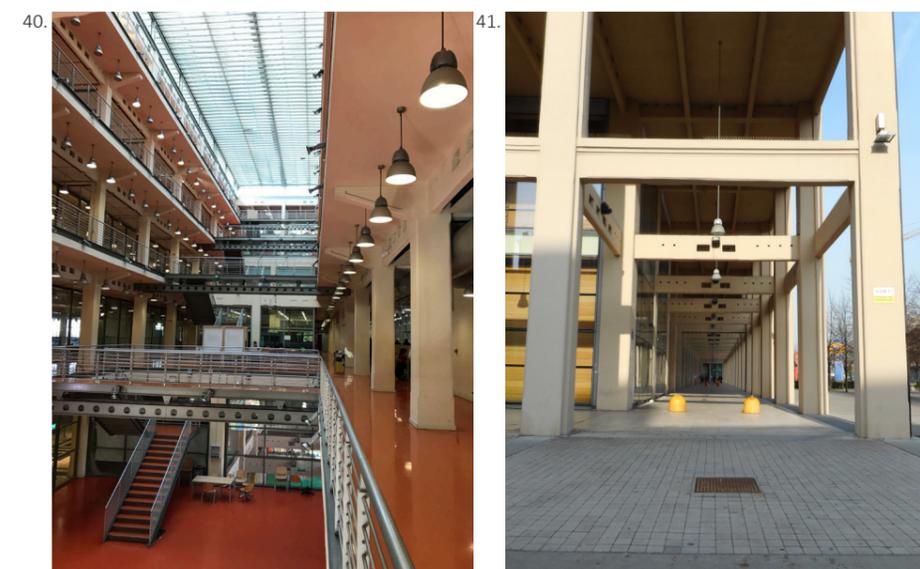


Fig. 45: La fluidità degli spazi interni (fotografia); fig. 46: La permeabilità degli spazi esterni (fotografia).

CAMPAGNA FOTOGRAFICA: LA SEDE DEL POLITECNICO OGGI



Fig. 47: Vista del prospetto sud dell'edificio.



Fig. 48: Maglia strutturale in calcestruzzo armato.

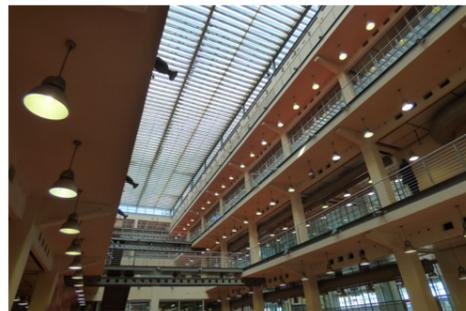


Fig. 49: L'ampio camino centrale e la copertura vetrata dell'edificio.

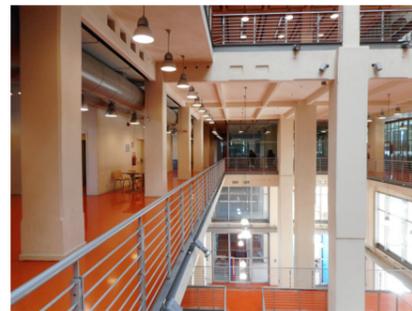


Fig. 50: Corridoi e ballatoi in affaccio sul vuoto centrale.



Fig. 51: L'Aula Magna.



Fig. 52: Aula tipo.



Fig. 53-54: Il sistema delle terrazze coperte all'ultimo piano dell'edificio.



Fig. 55: L'ex pista di prova in copertura.

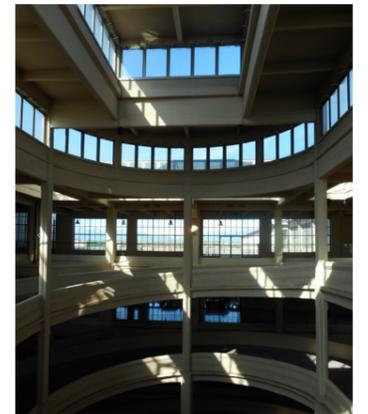


Fig. 56: La Rampa Nord.



Fig. 57: La copertura piana della sede del Politecnico.

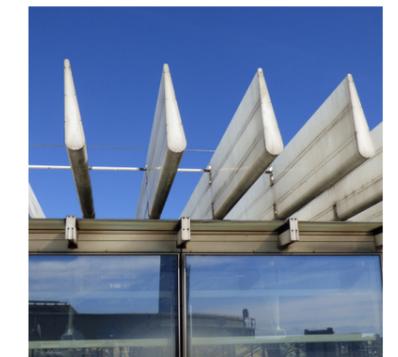


Fig. 58: Il sistema dei frangisole sul lucernario in copertura.

3.4 Analisi dello stato di fatto

3.4.1 Il rilievo dell'esistente

La Testata Nord del Lingotto, sede del Politecnico, si compone di un livello interrato e di cinque piani fuori terra, di cui i primi 3 ospitano la sede universitaria, mentre i successivi 2 sono stati concessi in locazione alle Autorità Regolazione dei Trasporti.

L'ingresso all'edificio è collocato a quota +1.88 m rispetto al piano stradale, poiché per sopperire al dislivello del terreno, la struttura è stata costruita in posizione sopraelevata e resa accessibile pedonalmente attraverso una rampa di 12 gradini.

Al piano terreno si trova una portineria e segreteria, un piccolo punto ristoro costituito da due distributori automatici e i servizi igienici. Ai livelli superiori si contano in tutto 25 aule per la didattica, 4 aule studio, 1 laboratorio informatico e 48 uffici, oltre ai servizi igienici e locali tecnici.

La maglia strutturale 6x6 m che regola lo sviluppo planimetrico dell'edificio si riverbera anche in alzato, seppur con qualche differenza: se l'altezza lorda del piano terra si attesta a 6 m, quella degli altri piani si riduce necessariamente a 5 m nel rispetto dei limiti edilizi imposti dal Piano Regolatore Generale. Complessivamente, la sede del Lingotto si sviluppa per un totale di 31,20 m di altezza e presenta una copertura piana, accessibile ma non praticabile, che attualmente ospita le unità esterne degli impianti dell'edificio.

Il sistema distributivo è costituito da due impianti di sollevamento verticale vetrati, posti ad est dell'ingresso principale e due rampe di scale: una antincendio, collocata nel retro della portineria con un vano scala portante in cemento armato; l'altra, con struttura metallica e mancorrenti in acciaio verniciato, posizionata nella zona centrale degli atri che si collega ad un sistema di ballatoi e permette di raggiungere i vari ambienti dell'edificio.

Durante la fase di ristrutturazione dell'immobile degli anni 2000, si sono eseguiti consistenti interventi di adeguamento strutturale, che hanno principalmente riguardato il controventamento del fabbricato mediante la costruzione di setti portanti e nuclei scale in cemento armato, nonché un intervento di rinforzo delle fondazioni per aumentarne la capacità portante.

Un altro intervento notevole ha riguardato la progettazione e costruzione di una sala riunioni interamente vetrata collocata sulla punta meridionale della Testata Nord, oggi utilizzata non solo per conferenze importanti ma anche per alcuni corsi universitari. L'Aula Magna, con una capienza di 128 posti a sedere ed una superficie di circa 160 m², si integra perfettamente con il resto della struttura del Lingotto, a cui risulta collegata tramite un corridoio trasparente che ne costituisce una zona di filtro nonché l'unico punto di accesso. La scelta di realizzare *ex novo* un volume interamente vetrato non è dettata solamente dalla volontà di dichiarare esplicitamente la natura successiva dell'intervento, ma anche di interpretare in maniera forte, quasi esasperata, quel modulo rigido e vetrato che regola tutto il complesso edilizio. L'Aula Magna pertanto, unica nel suo genere, non solo presenta un sistema costruttivo differente ma risulta anche essere l'unico locale a doppia altezza dell'intero complesso.

Nei primi anni Duemila viene inoltre aggiornato il provvedimento di tutela che dal 1986 insiste su gran parte delle strutture edilizie del complesso: l'importanza di tale vincolo non si traduce solo nel riconoscimento del Bene da un punto di vista storico-artistico, ma impone al progettista, nell'eventualità in cui vi sia necessità

di riqualificazione o ristrutturazione dell'edificio, il rispetto delle prescrizioni e condizioni poste dalla Soprintendenza.

3.4.2 L'orientamento

Come suggerisce il nome, la Testata Nord di proprietà del Politecnico costituisce il fabbricato più settentrionale dell'intero Comprensorio del Lingotto. Proprio per la sua collocazione urbanistica, le facciate a nord e ad est sono libere, la facciata ad ovest si interfaccia direttamente con l'altra manica della Testata, mentre la facciata meridionale confina con la Rampa Nord, ossia ciò che oggi costituisce l'ingresso monumentale alla Galleria Commerciale, alla Clinica Odontostomatologica dell'Università di Torino e alla Foresteria.

L'edificio sorge in zona climatica E, vale a dire in un territorio dal clima rigido, in cui il periodo consentito per l'accensione degli impianti di riscaldamento è decisamente lungo.¹ Per questo motivo, proprio perché la durata del periodo per la climatizzazione invernale è nettamente maggiore di quello per la climatizzazione estiva, l'orientamento ottimale sarebbe stato quello Nord-Sud, in modo tale da favorire il maggiore sviluppo delle pareti esterne con esposizione Est ed Ovest e massimizzare dunque i guadagni solari gratuiti per ridurre i consumi energetici per il riscaldamento.

Questa logica, nel caso della sede del Politecnico, viene solo in parte rispettata in quanto il fabbricato appare ruotato di 22° rispetto all'asse Nord-Sud, non consentendo il pieno sfruttamento dello sviluppo orientale e occidentale del fabbricato.

Inoltre, a causa della configurazione architettonica e strutturale, nonché dei vincoli dettati dalla presenza di altri edifici nell'intorno, la prevalenza degli ambienti interni si affaccia proprio a Nord, contrastando con il criterio progettuale secondo cui, in tali condizioni, è preferibile collocare a nord locali di servizio o locali in cui non si prevede permanenza continuativa degli utenti mentre a sud gli ambienti in cui è prevista un'occupazione stabile delle persone.

Un altro fattore da non trascurare riguarda l'esposizione ai venti. L'edificio si colloca in Zona 1², secondo la quale i venti, senza possedere una velocità media troppo elevata³, spirano in direzione Nord-Est, facendo sì che proprio quegli ambienti del Politecnico con l'esposizione a nord, siano anche gli stessi maggiormente investiti da venti freddi.

3.4.3 Il sistema edificio – impianto

In fase di ristrutturazione dell'immobile, avvenuta ancora in assenza di una legislazione precisa e cogente⁴ in materia di risparmio energetico, gli interventi di efficientamento si sono ridotti solo a poche operazioni, di cui la sostituzione integrale dei serramenti è stata sicuramente quella più rilevante. Nonostante nel corso degli anni siano stati svolti alcuni interventi migliorativi principalmente sugli impianti,

1. Zona climatica: E, Periodo di accensione impianti: 15 Ottobre-15 Aprile, Numero di ore giornaliere consentite per l'accensione: 14.

2. Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*, paragrafo 3.3, p.26.

3. Velocità media del Vento in Zona 1: 0,8 m/s.

4. L'obbligatorietà di rispettare determinati requisiti di prestazione energetica è stata introdotta in Italia solo nel 2005, con l'attuazione del Decreto Legislativo n. 192.

come la sostituzione dei generatori del freddo e la manutenzione delle valvole dei circuiti di distribuzione che per vetustà trafilevano originando perdite, oggi la struttura continua ad imporre alti consumi energetici ed elevati costi di gestione. Come noto, l'involucro di un edificio si dice disperdente quando sulle superfici delle strutture edilizie delimitanti il volume interno riscaldato verso l'esterno o verso ambienti non riscaldati si verificano scambi termici, quindi perdite di calore.

Le chiusure verticali della sede del Politecnico confinano tutte con l'esterno, ad eccezione della porzione meridionale confinante con la Rampa Nord, rilevata come un locale non riscaldato. La chiusura orizzontale inferiore confina con un locale interrato non riscaldato: sebbene il solaio sia stato isolato, gli scambi termici per trasmissione risultano ugualmente consistenti perchè in fase di ristrutturazione, per non alterare la stratigrafia complessiva dell'elemento e per non sottrarre altezza utile al piano, si era intervenuti con un sottile strato isolante, semplicemente funzionale alla posa del pavimento radiante.

La chiusura orizzontale superiore confina con l'esterno ed è stata isolata in epoca successiva alla costruzione.

Al fine di ottenere una panoramica dell'edificio chiara e puntuale, qui di seguito si analizzeranno nel dettaglio tutte le componenti edilizie disperdenti, individuandone i ponti termici, valutando gli eventuali sistemi di schermature solari nonché le ostruzioni che generano ombreggiamenti ed infine descrivendo il sistema impiantistico.

STRUTTURA PORTANTE

L'edificio Politecnico, come del resto tutto il Comprensorio, presenta un'ossatura portante in cemento armato, costituita da una maglia di pilastri 6x6 m con una sezione al piede di 70x70 cm, la cui dimensione si assottiglia progressivamente nei livelli superiori per alleggerire il carico strutturale, raggiungendo a partire dal terzo piano la sezione di 50x50 cm. Le travi, principali e secondarie, hanno tutte la medesima altezza di 65 cm: le travi principali sono disposte seguendo lo sviluppo longitudinale del fabbricato, mentre le travi secondarie sono poste ad interasse di 2 m per una luce di 6 m. Il sistema degli orizzontamenti è dunque garantito da travi fuori spessore che sorreggono solette in cemento armato con 15 cm di spessore.

Poichè l'intero sistema, così com'era stato progettato nel 1916 dall'Ingegnere Mattè Trucco, non disponeva di elementi di controventamento e le uniche resistenze alle sollecitazioni orizzontali erano affidate al solo telaio strutturale, nella riqualificazione degli anni Duemila si è provveduto alla realizzazione di setti in blocchi di calcestruzzo che definivano i nuovi nuclei scale e vani ascensore.

CHIUSURE OPACHE

Le chiusure verticali opache sono costituite da pareti di tamponamento in blocchi semipieni di laterizio, intonacate internamente ed esternamente, con uno spessore complessivo di 30 cm.

La chiusura inferiore del Politecnico si compone di un solaio debolmente isolato in cemento armato su cui è posto un massetto autolivellante di tonalità arancione che ospita un sistema di pannelli radianti.

La chiusura inferiore dell'Aula Magna, invece, non presenta nessun isolamento e prevede una pavimentazione in listelli di ciliegio.

La chiusura superiore del Politecnico è una copertura piana non praticabile costituita da porzioni opache e porzioni trasparenti. La porzione opaca prevede un solaio in

cemento armato, coibentato nell'estradosso e rifinito con una pavimentazione esterna in piastrelle di cemento 40x40 cm.

CHIUSURE TRASPARENTI E SERRAMENTI

Il piano terra ed il primo piano presentano vetrate a cellule strutturali con sistema di aggancio a costole in acciaio poste internamente all'edificio. Le vetrate presentano un telaio in alluminio e una doppia lastra di vetro temperato separata da intercapedine riempita di aria.

Per quanto riguarda i livelli superiori, le facciate vengono ritmate dalla successione di ampi serramenti con telaio in alluminio preverniciato e vetrocamera ultra chiara riempita d'aria. Ciascuna porzione vetrata si compone di sei moduli, quattro fissi e due apribili. In affaccio sulla Rampa Nord si individuano vetrate a montanti e trasversi con telaio in alluminio e singola lastra di vetro temperato.

La caratteristica trasparenza dell'ambiente dell'Aula Magna, come si diceva, è garantita da facciate a cellule con silicone strutturale e telaio in alluminio, perimetrali a tutto lo spazio sviluppato su doppia altezza.

Per quanto riguarda le chiusure orizzontali, in corrispondenza dell'ampio camino centrale interno all'edificio, si attesta una struttura metallica per il sostegno di doppie lastre floatglass stratificato separate da un'intercapedine ventilata riempita di aria.

SISTEMI DI SCHERMATURA SOLARE

Tutte le superfici trasparenti della sede del Politecnico, prevedono un sistema di schermatura solare. Per quanto riguarda i serramenti delle chiusure verticali, sono state installate sia sul lato interno che su quello esterno tende avvolgibili in tessuto con tonalità di colore che riprende quella dell'intonaco dell'edificio.

Per quanto invece concerne la chiusura orizzontale, il sistema di ombreggiamento consiste in dispositivi frangisole metallici fissi, verniciati di bianco e con sezione a goccia, installati tramite un'intelaiatura di acciaio all'esterno e ortogonalmente alla superficie vetrata.

Infine, le tre vetrate dell'Aula Magna esposte a nord, a est e a sud, sono dotate di dispositivi frangisole orientabili costituiti da lamelle orizzontali in legno di ciliegio, installate su struttura di sostegno in acciaio interna all'ambiente. Sebbene il progetto originario prevedesse un'installazione mobile e quindi regolabile a seconda delle esigenze, in fase di realizzazione, si sono riscontrati problemi strutturali legati a calcoli errati e pertanto il sistema schermante è oggi, inevitabilmente, fisso.

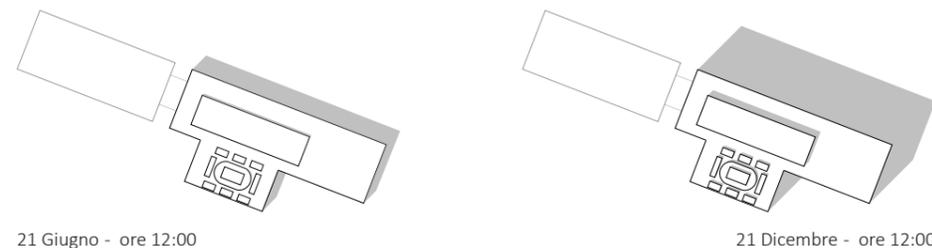
OSTRUZIONI E OMBREGGIAMENTO

Le facciate della sede del Politecnico sono modulate da una sequenza costante di serramenti installati a filo esterno del muro. Non prevedono alcun tipo di aggetto, né verticale né orizzontale, proprio per permettere una più facile lettura del ritmo e della geometria che caratterizzano il linguaggio architettonico dell'edificio. Questo sistema consente inoltre di evitare la generazione di ombre riportate che possono dunque rappresentare un'ostruzione al regolare ingresso di luce naturale attraverso le componenti vetrate.

La presenza "ingombrante" della Rampa Nord che connette la Testata con le Ex Officine, alta 30,20 m proprio come il resto dello stabilimento, genera sulla sede del Politecnico un'ombra considerevole, a tal punto da mantenere la facciata adiacente al buio per gran parte delle ore diurne.

Il piano terra, il primo livello e l'Aula Magna del Politecnico, inoltre, sono stati progettati in leggera rientranza rispetto al perimetro esterno del resto dell'edificio e per tale motivo questi ambienti, protetti da un porticato e dall'aggetto del solaio del piano superiore, risultano prevalentemente in ombra.

SCHEMI DI STUDIO SOLARE



PONTI TERMICI

La struttura portante a travi e pilastri, che ha una conducibilità termica assai diversa rispetto agli elementi di riempimento, fa sì che si verifichino ponti termici in corrispondenza del reticolo della travatura. Non potendo intervenire all'esterno per via dei vincoli di tutela a cui sono soggette le facciate, si è cercato di attenuare il problema dall'interno, realizzando una controparete, che impedisce la generazione di un ponte diretto ed è volta a migliorare le condizioni climatiche-ambientali interne. Le facciate presentano, inoltre, ampie porzioni vetrate. Nel caso del piano terra e del primo livello, le vetrate strutturali comunicano direttamente con lo scheletro portante in quanto vengono agganciate alle travi e ai pilastri, e generano ponti termici di struttura proprio in corrispondenza delle giunzioni tra i diversi elementi edilizi. Per quanto riguarda i serramenti ai livelli superiori, si possono individuare altri ponti termici di struttura tra telaio e muro esterno in cui vengono alloggiati.

Ponti termici di forma, invece, si riscontrano nelle giunzioni tra:

- pareti perimetrali e ossatura portante
- pareti perimetrali e solai
- pareti perimetrali e solaio a sbalzo, nello specifico in corrispondenza del secondo e del quarto piano
- angoli sporgenti ed angoli rientranti delle pareti, con e senza pilastro.

L'edificio, tuttavia, nel suo complesso si presenta in ottimo stato di conservazione pertanto, in fase di rilievo, non sono state individuate tracce di umidità, di muffa o distacchi di intonaco in corrispondenza dei ponti termici.

IMPIANTI

L'intero Complesso del Lingotto fa riferimento a tre Centrali Tecnologiche, tutte interconnesse ed intercambiabili fra loro, progettate per servire i tre macro lotti in cui, in fase di ristrutturazione, era stato suddiviso il Comprensorio:

-Centrale Tecnologica "Fase 1", la più vetusta e meno performante, dunque spesso inattiva, progettata per servire il blocco della zona Fiere e oggi collegata alla Centrale

di "Fase 2"

-Centrale Tecnologica "Fase 2", collocata nel cosiddetto Edificio Sommerso a quota -6,85 m. rispetto al piano stradale e progettata per servire il tronco delle Ex Officine e la Palazzina degli Uffici.

-Centrale Tecnologica "Fase 3", da cui geograficamente dipende la Testata Nord, anch'essa collegata alla Centrale Tecnologica "Fase 2" e collocata a quota -5.80 m nel locale interrato.

All'interno di quest'ultima centrale sono installati 4 scambiatori a piastra acqua surriscaldata-acqua calda, dal rendimento quasi massimo, con una potenza singola di 3 MW e dunque una potenza globale di 12 MW, che prevedono una temperatura dell'acqua in ingresso dai 75° ai 115° e in uscita tra i 70° e gli 80°. Tutto il sistema impiantistico per la climatizzazione invernale è centralizzato e collegato alla rete di teleriscaldamento che proviene dalla centrale di cogenerazione di Moncalieri.

Per la climatizzazione estiva sono stati installati 3 generatori a pompa di calore con condensatore, raffreddati tramite torri evaporative, con una potenza nominale di 3 MW ed una complessiva di 9 MW. Le torri vengono collocate sul lato parcheggio, all'interno dello spazio ad esse destinato. L'acqua refrigerata ha una temperatura che oscilla tra i 7° e il 12°.

All'interno della Centrale Tecnologica "Fase 3" si rileva anche un gruppo di pompe che regolano la circolazione del fluido termovettore a cui recentemente il Consorzio, al fine di contenere gli sprechi, ha deciso di installare inverter per meglio regolare il flusso del fluido stesso.

A partire dalle tre centrali tecnologiche si irradiano le tubazioni a servizio delle utenze che, percorrendo i cavedi sotterranei, raggiungono i diversi locali dei fabbricati.

Per quanto riguarda i terminali di emissione degli impianti si possono individuare, a seconda delle zone da climatizzare, tipologie differenti.

- Spazi comuni: C.T.A. con recuperatore a flusso incrociato di livello medio, cioè sistemi a tutt'aria che garantiscono un recupero di calore corrispondente a circa al 50%.

- Aule per la didattica: C.T.A. + radiatori a piastra con termovalvole ubicati nel sottofinestra, che sfruttano i circuiti acqua-acqua calda.

- Uffici delle Autorità: C.T.A. + fan-coils, alimentati anch'essi dai circuiti acqua-acqua calda.

Il piano terra, oltre a prevedere l'impianto di Trattamento Aria, presenta nel solaio contro il piano interrato anche un sistema di riscaldamento a pannelli radianti, che sfruttano, proprio come radiatori e fan-coils, i circuiti acqua-acqua calda.

Le due sottocentrali del Politecnico per il pompaggio dei circuiti fan-coils, radiatori e pannelli radianti si collocano alla base dei cavedi montanti, insieme agli «scambiatori di calore a piastre per la produzione locale dell'acqua calda sanitaria, con relative elettropompe di ricircolo, e gli addolcitori per l'umidificazione delle C.T.A.»¹

L'impianto per la fornitura di energia elettrica è collocato, anch'esso, all'interno dell'edificio Sommerso a quota -5.80 m, insieme ai relativi contatori. Il consumo di tutto il Comprensorio per la distribuzione della forza motrice tecnologica e della luce è stato stimato a circa 2.160 kW. L'illuminazione della sede del Politecnico è ancora per la maggior parte di tipo tradizionale, con prevalenza di sorgenti a scarica nei gas e neon. Le lampade alogene, assai energivore, sono state di recente sostituite con

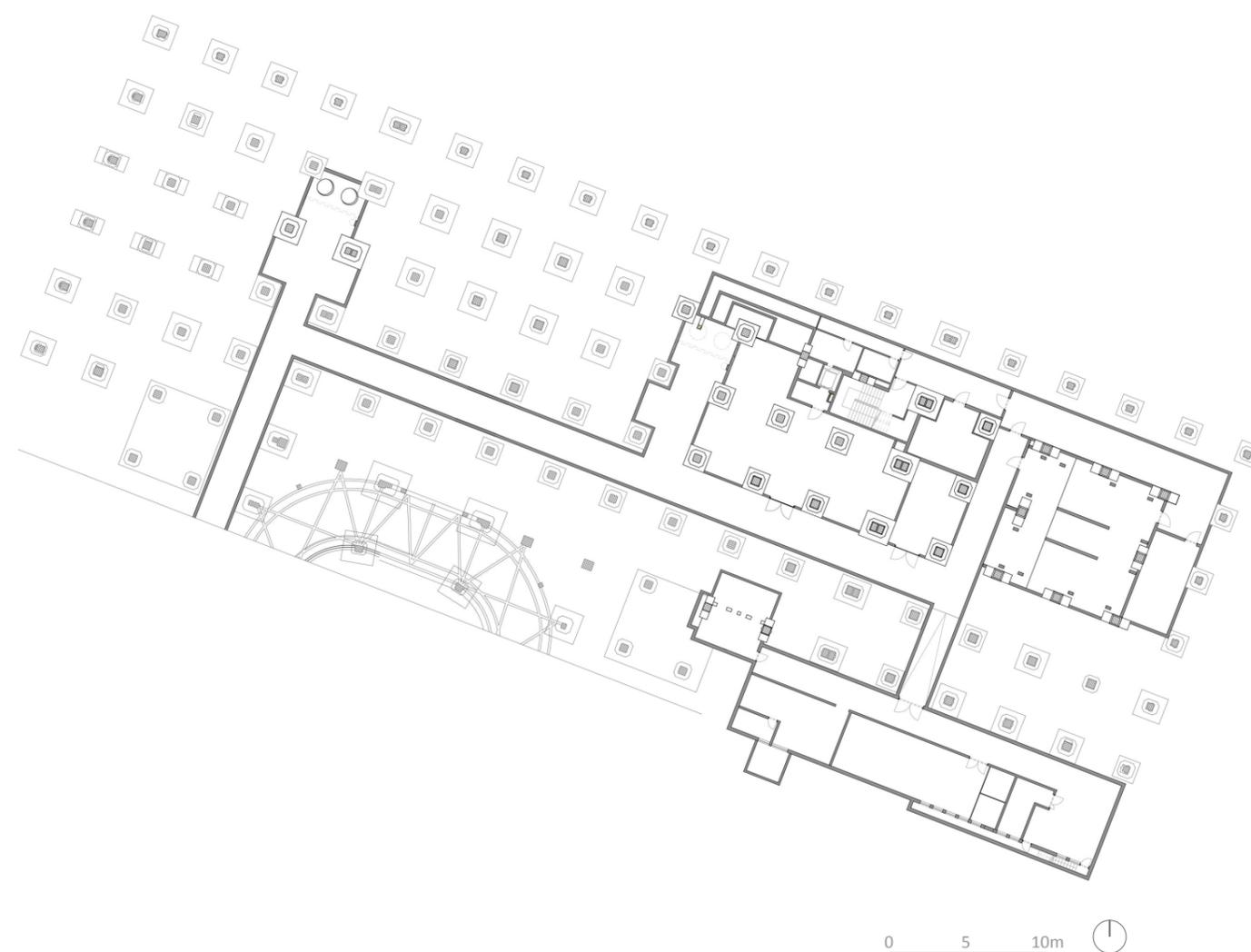
1. Comune di Torino, *Scheda tecnico-patrimoniale del Lingotto*, Allegato 1, Settembre 2018, p. 23

nuove sorgenti LED ma ancora manca un intervento ad ampio raggio che converta tutto l'attuale sistema di illuminazione alle nuove e più performanti tecnologie LED. Per quanto riguarda il sistema di telegestione degli impianti, oggi rilevato assente, era invece già stato ideato da Renzo Piano in fase di ristrutturazione del Complesso, quando, per un semplice motivo estetico, l'architetto aveva progettato tutto quanto l'edificio a comando domotico «per evitare di avere gli interruttori vicino alle porte». Nei locali erano stati previsti sensori di presenza, dialoganti con un pc collocato in portineria, attraverso il quale si poteva programmare l'accensione e lo spegnimento degli impianti in base all'orario delle lezioni. Il sistema è stato tuttavia rimosso perché poco compatibile con le abitudini dell'epoca, per le quali ad esempio gli utenti regolavano manualmente e autonomamente, senza grande rispetto per il risparmio energetico, l'illuminazione al proprio ingresso in aula. Sebbene oggi quel sistema appaia impossibile da recuperare, proprio nell'ottica di un miglioramento nella gestione dei consumi, sarebbe auspicabile dotare l'edificio di un rinnovato ed attuale complesso di controllo automatizzato degli impianti.

La contabilizzazione dei suddetti consumi avviene, infatti, sulla base della lettura dei contocalorie, contafrigorie e contatori di acqua potabile: ciascun utente del condominio Lingotto paga ciò che consuma nell'edificio di sua proprietà e contribuisce alle spese sulle parti comuni del Complesso. Se, pertanto, il 30/40% dei consumi complessivi del Politecnico è relativo agli ambienti comuni, attraverso la lettura di contocalorie e contafrigorie viene ripartita in proporzione la bolletta complessiva, che comprende anche il costo delle quote di conduzione, trasporto e perdite di rete.

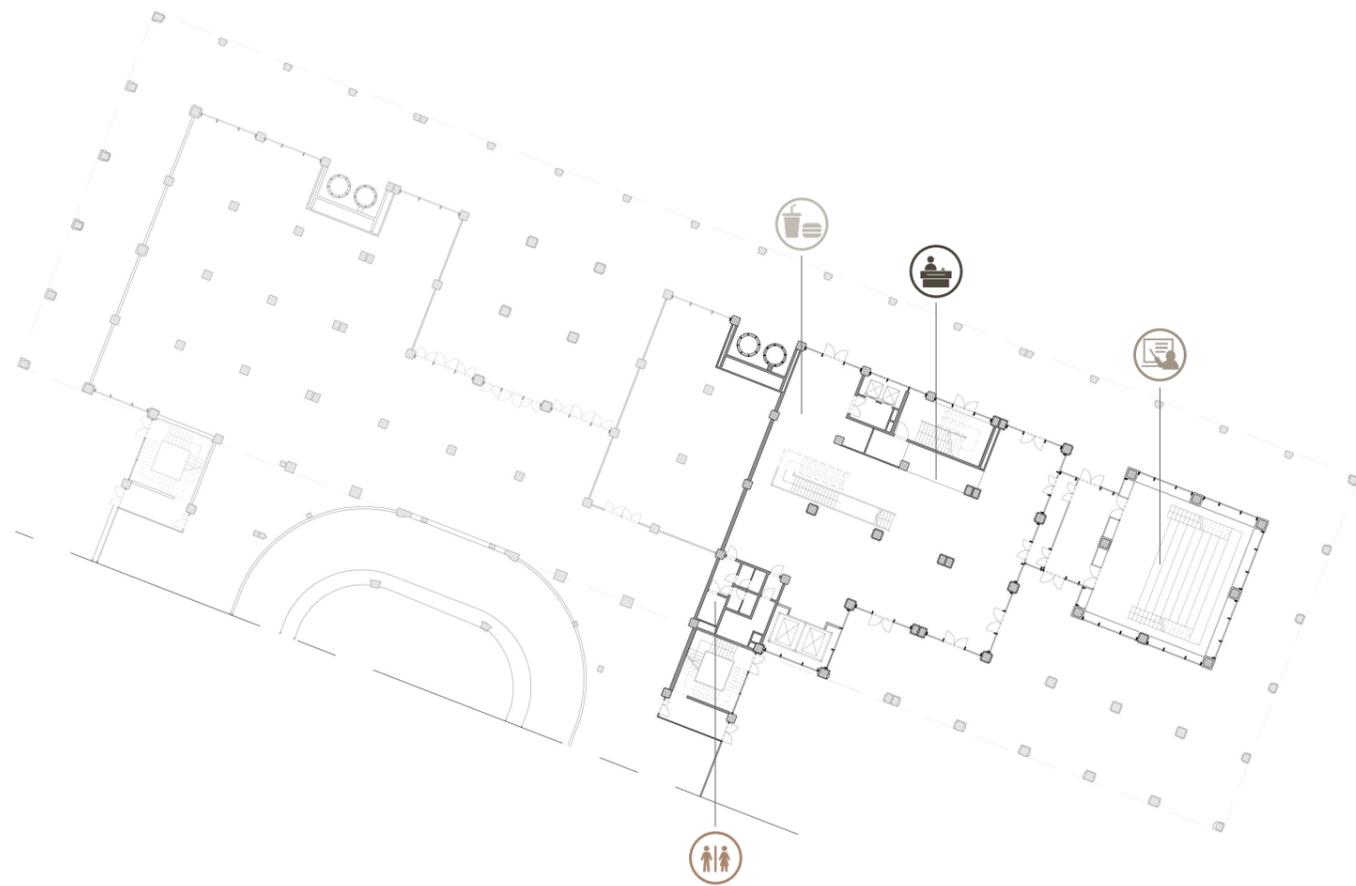
Piano interrato

Locali tecnici 



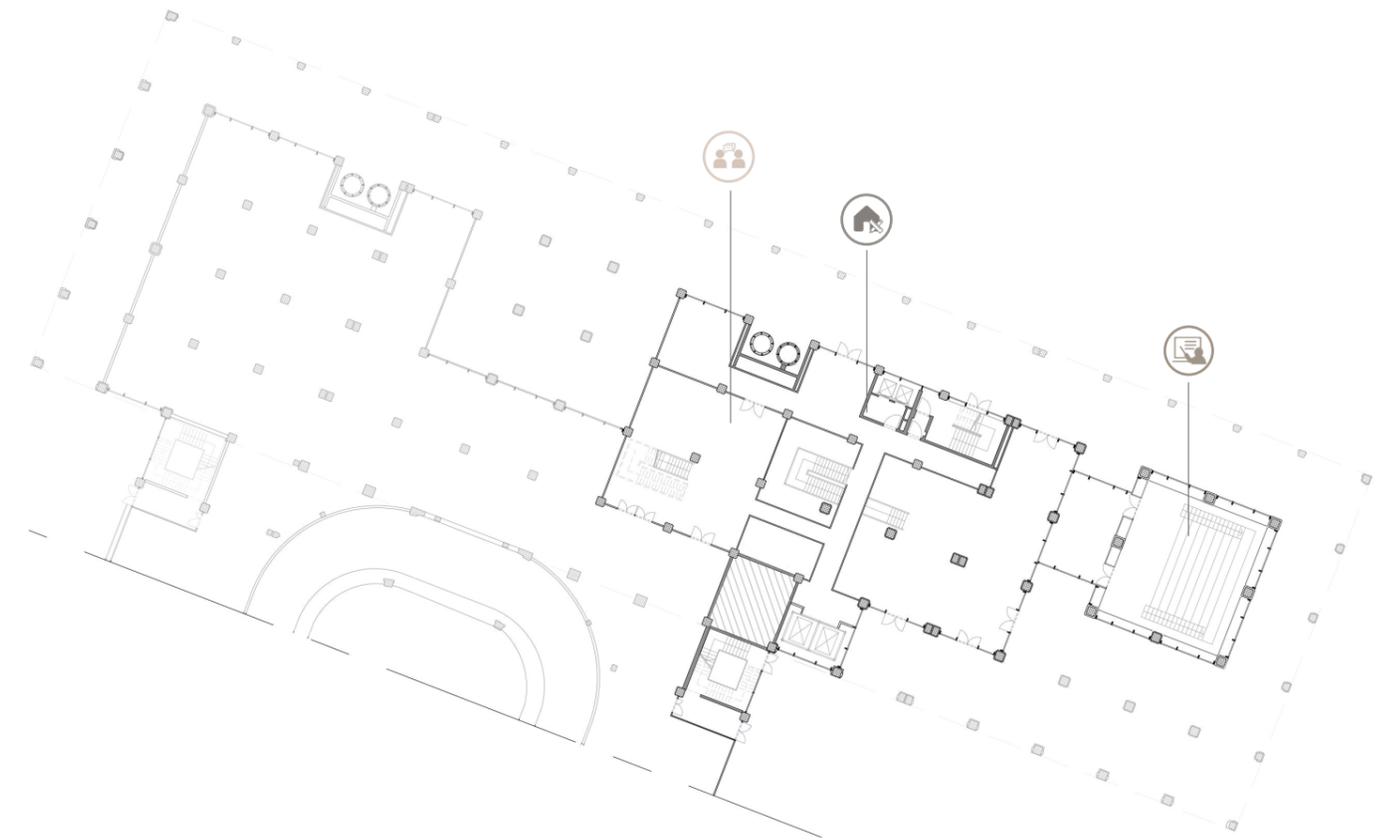
Piano terra

-  Servizi igienici
-  Portineria
-  Aule didattica
-  Piccolo punto ristoro



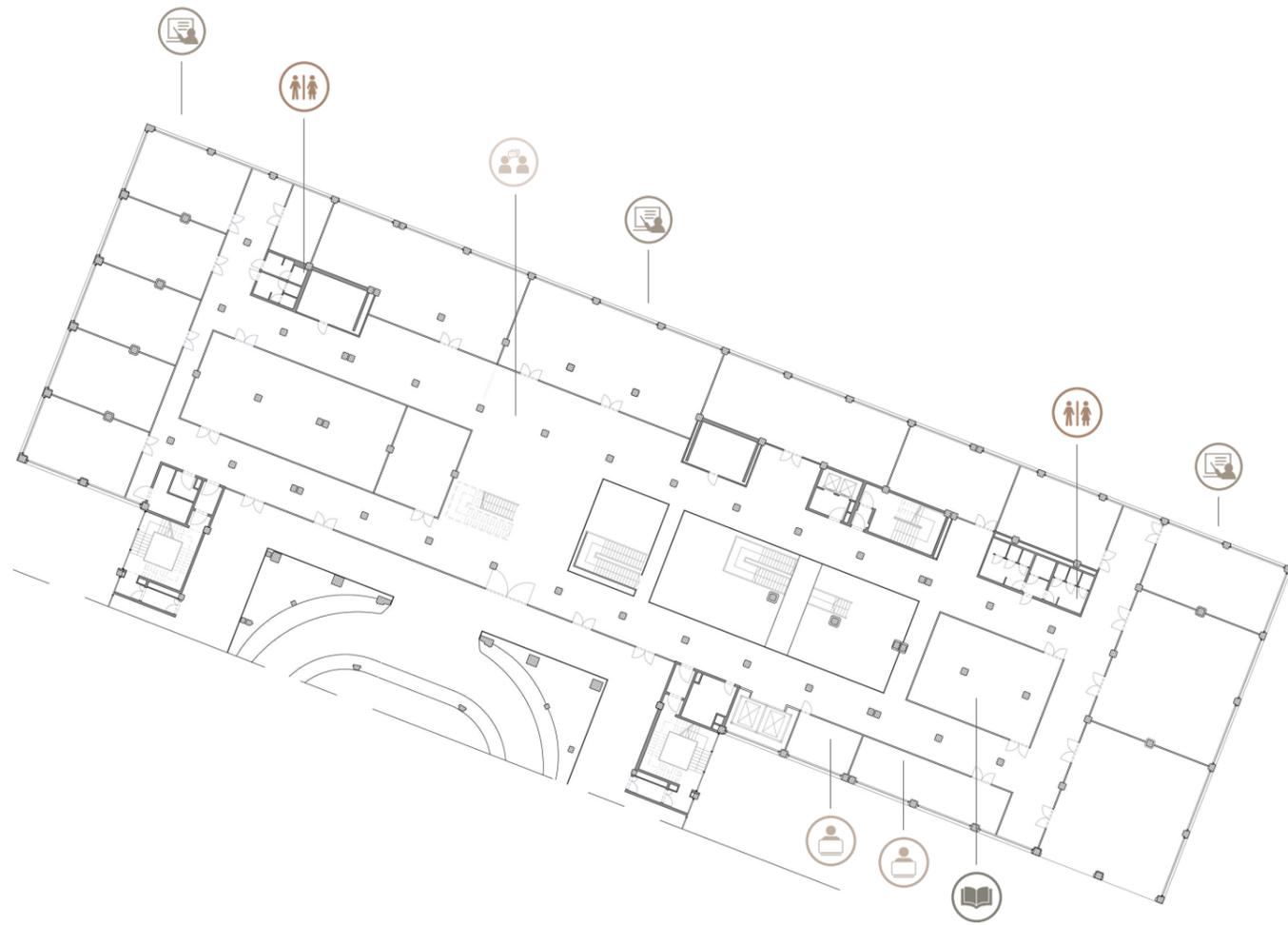
Piano primo

- Archivio materiali 
- Aule didattica 
- Aree comuni 



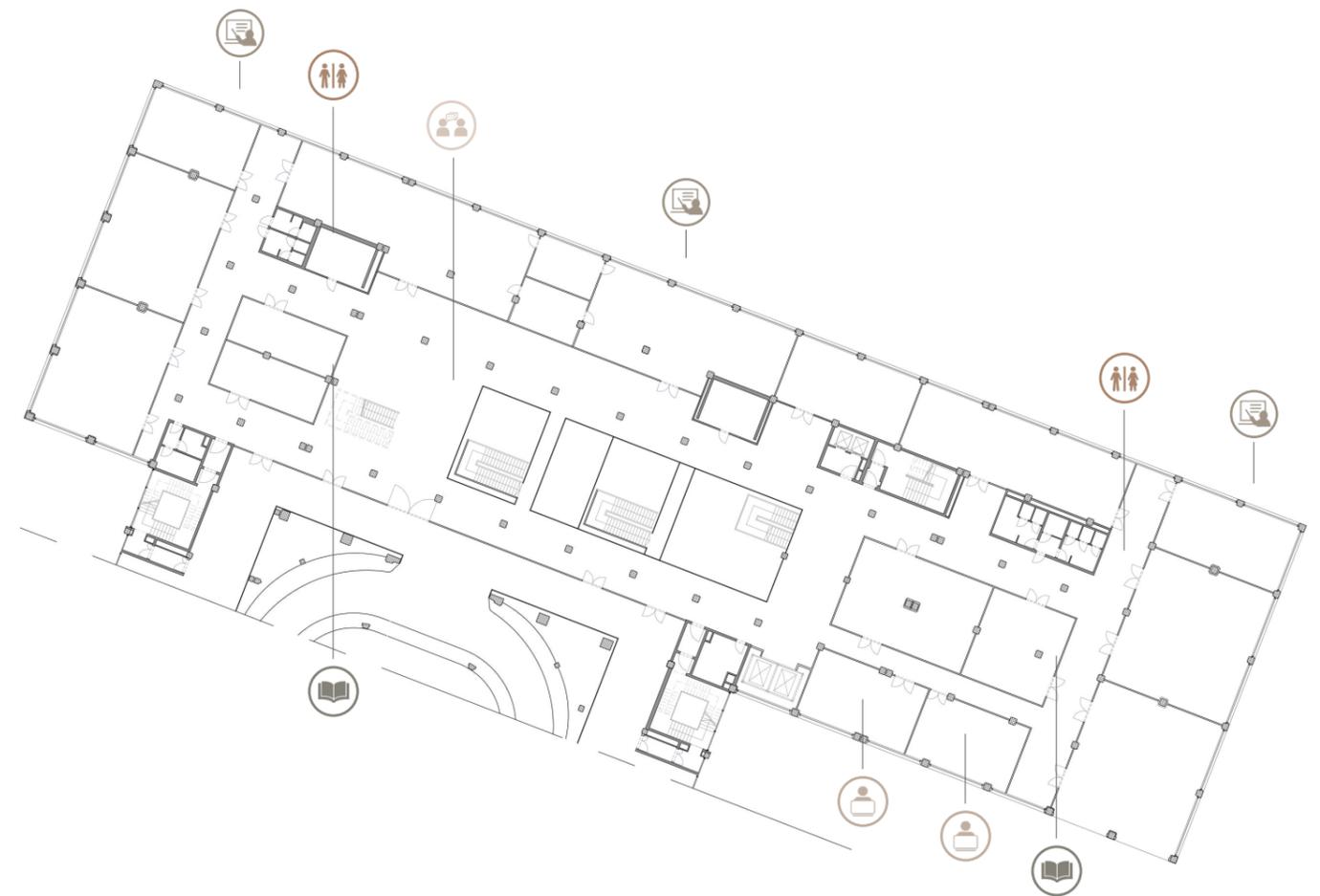
Piano secondo

-  Servizi igienici
-  Aule studio
-  Aule didattica
-  Uffici
-  Aree comuni



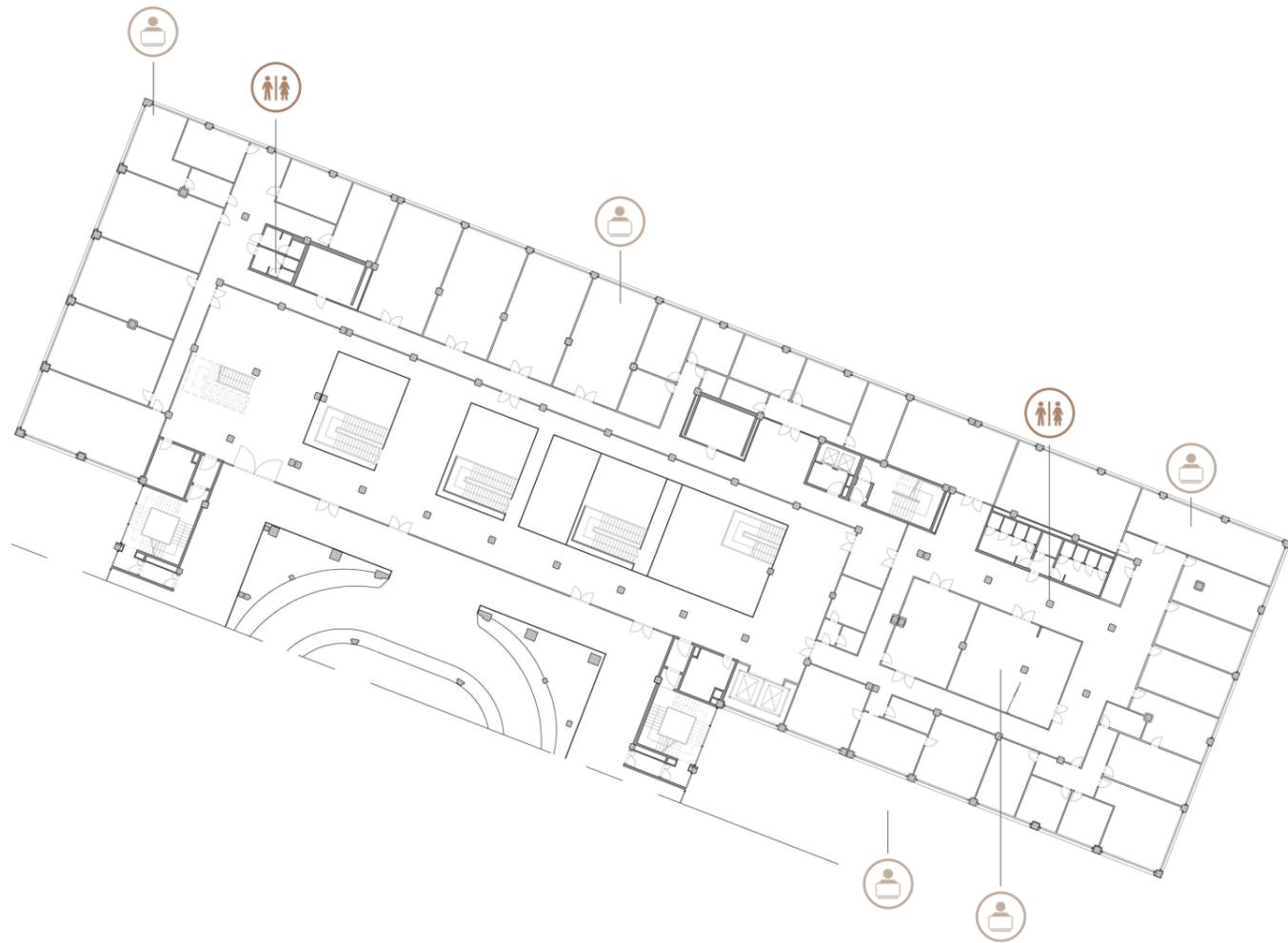
Piano terzo

-  Servizi igienici
-  Aule studio
-  Aule didattica
-  Uffici
-  Aree comuni



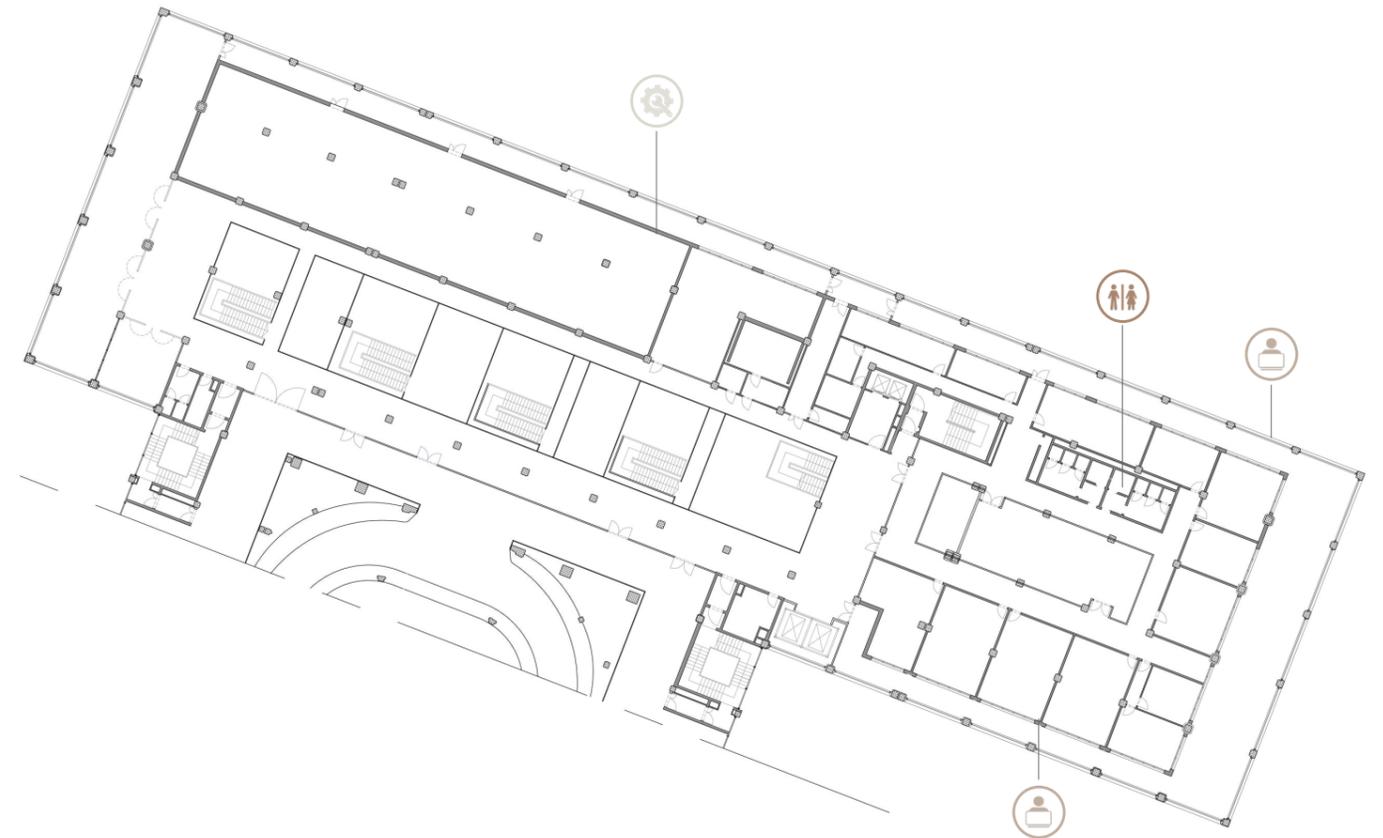
Piano quarto

-  Servizi igienici
-  Uffici

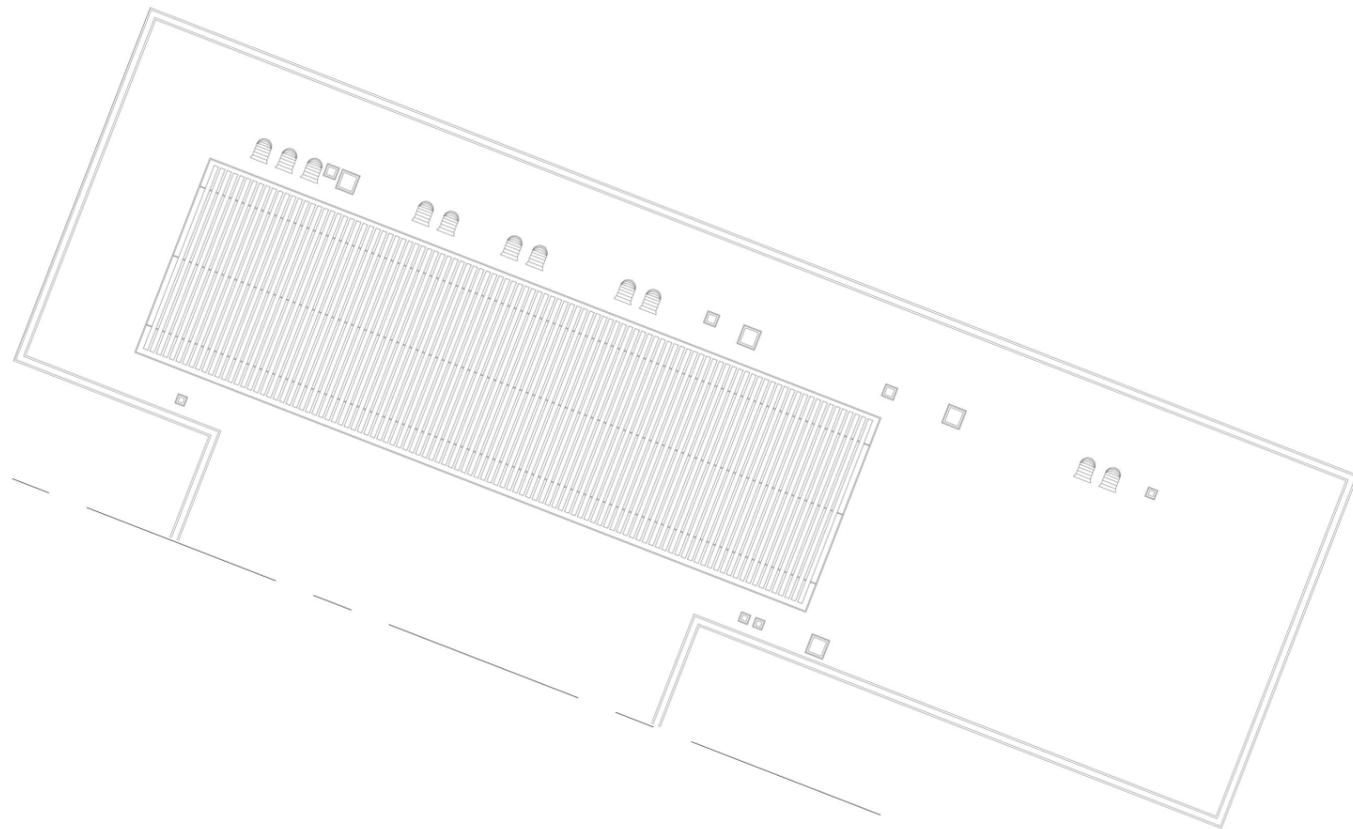


Piano quinto

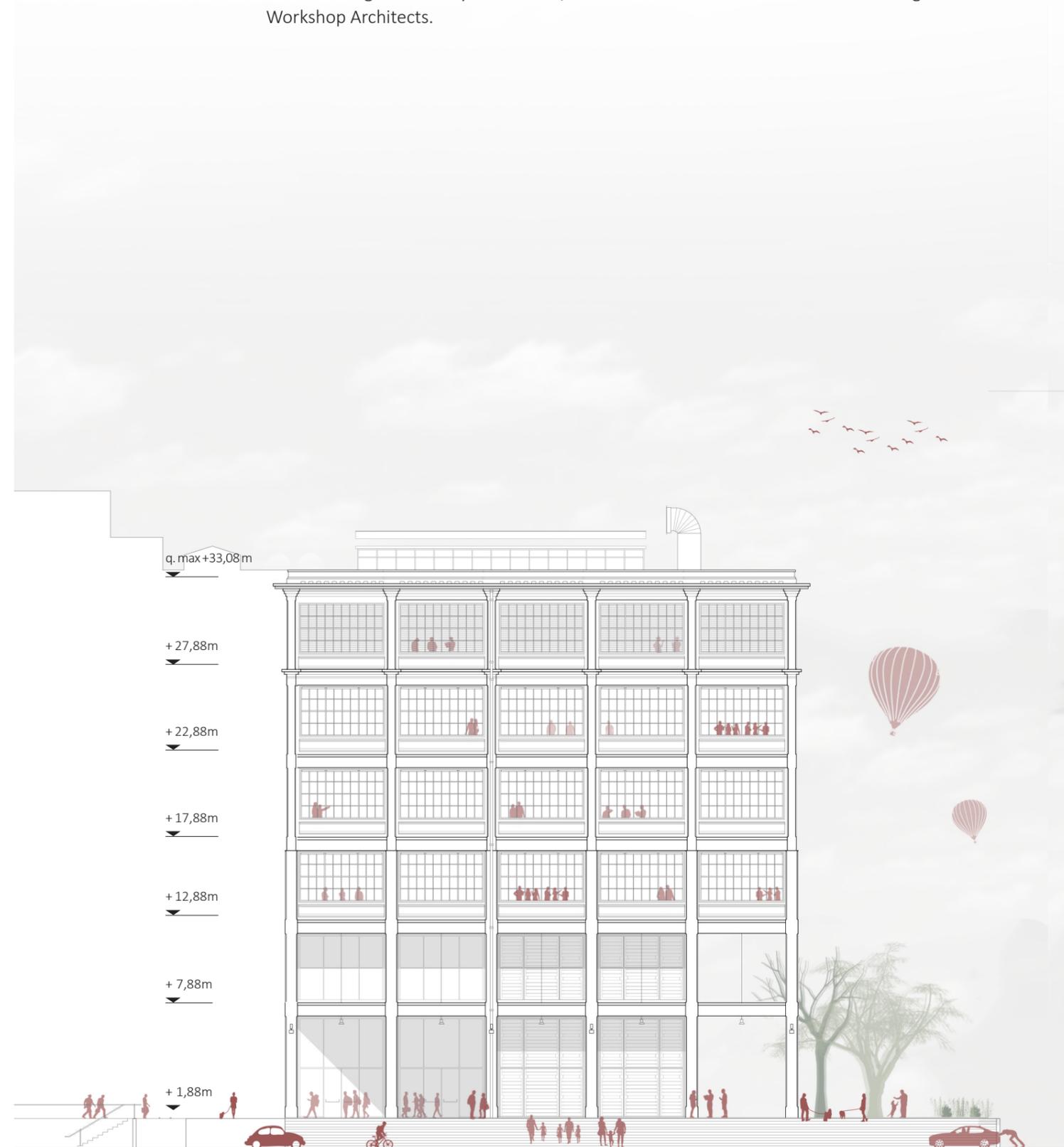
- Servizi igienici 
- Uffici 
- Locali tecnici 

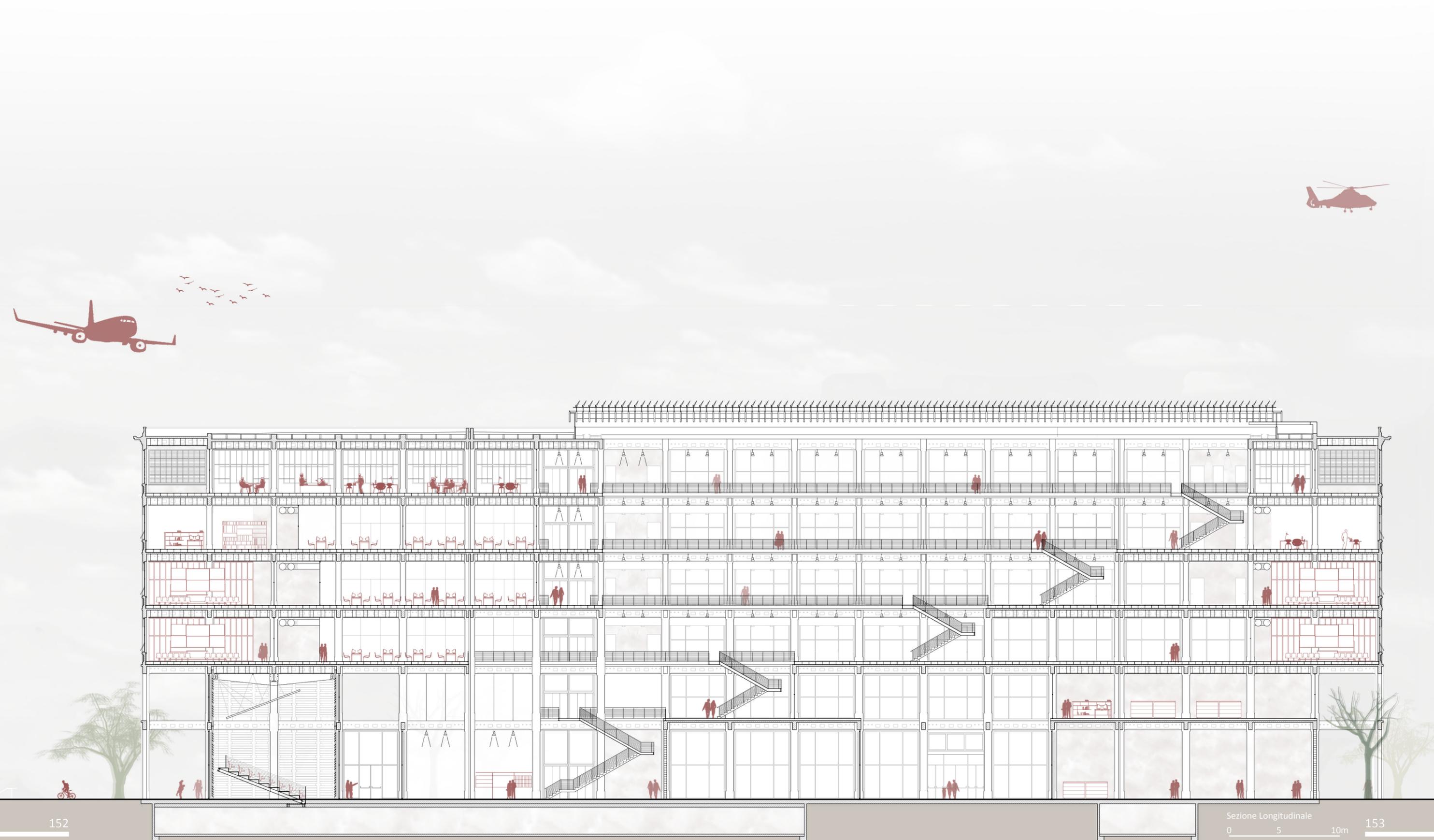


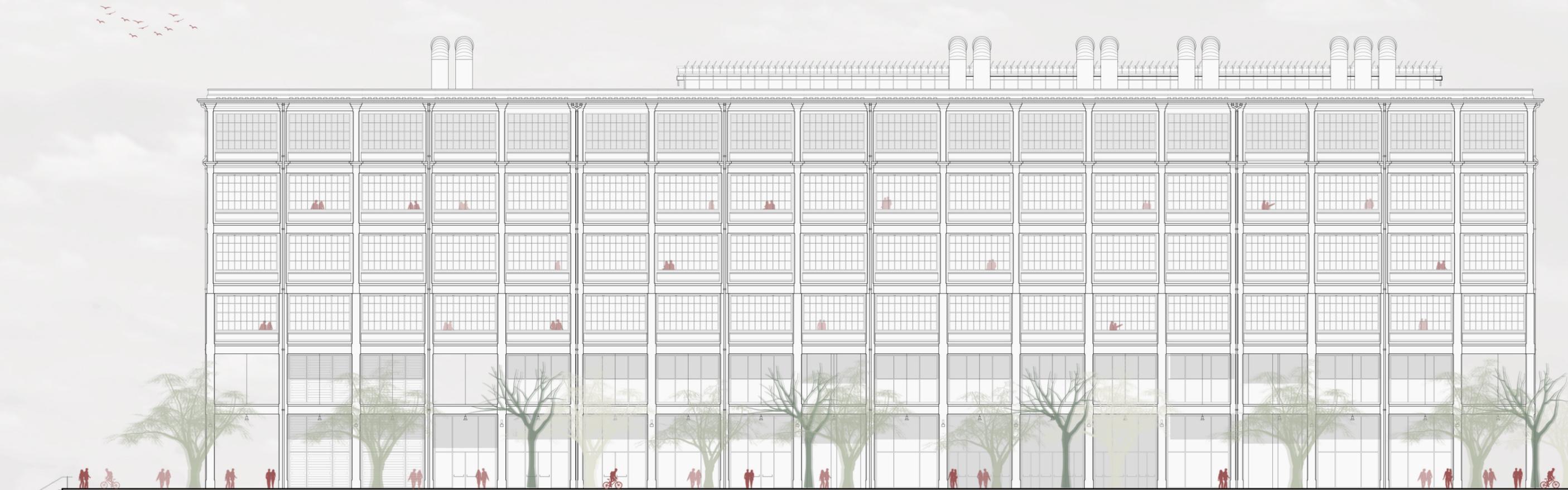
Copertura



I seguenti elaborati sono l'esito del ridisegno dei documenti gentilmente forniti in formato .jpg dall'archivio della Fondazione Renzo Piano.
 Crediti : "Lingotto Factory Conversion, 1983-2003" © RPBW- Renzo Piano Building Workshop Architects.









3.5 Analisi del comportamento energetico

3.5.1 Premessa

Conclusa la fase di rilievo e di analisi dello stato di fatto, si è voluto poi indagare il comportamento energetico dell'edificio nella prospettiva di conoscerne i punti deboli ed elaborare possibili soluzioni d'intervento migliorative.

Per l'analisi energetica è stato utilizzato il *Software Termolog* versione *Epix10* ed è stato selezionato il modulo Certificatore. Il modello energetico dell'edificio è stato simulato in accordo con la normativa nazionale di riferimento L 90/2013 D. M. Requisiti Minimi ed è stata adottata una condizione di calcolo standardizzata, in linea con la norma UNI TS 11300-1. Data l'enorme complessità della struttura e del sistema impiantistico si è deciso di modellare il solo involucro edilizio, procedendo quindi nella condizione di "edificio con impianto assente". In tal senso, gli unici dati di *input* richiesti dal programma sono stati relativi agli scambi termici dell'involucro mentre per quanto riguarda l'impianto è stato simulato un generatore fittizio per i servizi di riscaldamento e ACS¹.



Città:	Torino (TO)
Indirizzo:	Via Nizza 230
Altitudine:	239 s.l.m.
Latitudine:	45° 7' 0" N
Longitudine:	7° 43' 0" E



Zona climatica:	E
Gradi Giorno:	2 617
Accensione Impianti Termici:	15 Ott.-15 Apr.



Orientamento:	Est - Ovest
---------------	-------------



Anno costruzione:	1916
Anno riqualificazione:	2002
Tipologia costruttiva:	Struttura in cemento armato con chiusure continue in vetro
N. Piani fuori terra:	5
N. Piani interrati:	1

1. Il calcolo è stato sviluppato secondo le prescrizioni dell'Allegato 1 del DM 26/06/2015 (Linee guida nazionali), che definiscono le modalità di esecuzione del calcolo di edifici non dotati di impianto di riscaldamento o acqua calda sanitaria.



Destinazione prevalente (DPR 412/93): E.7



Superficie utile riscaldata (Su,H)	9 560.11 m ²
Superficie disperdente (Sdisp)	12 581.35 m ²
Volume lordo riscaldato (V,H)	62 033.70 m ³
Rapporto di Forma (S/V)	0.20

3.5.2 Le zone termiche e l'involucro disperdente

Nella procedura di calcolo sono stati imputati in prima battuta i dati climatici relativi all'area del caso studio, servendosi della Norma UNI 10349. Secondariamente, si sono definiti i confini dell'edificio e suddiviso lo spazio interno in zone riscaldate e zone non riscaldate. Per calcolare lo scambio termico verso ambienti non climatizzati si è assunto un fattore di correzione $b_{tr,x}^{-1}$ riportato in tabella della Norma di riferimento UNI TS 11300-1, che prevede una classificazione in base alla tipologia di ambiente confinante.

Complessivamente l'edificio si scompone in 10 zone termiche, individuate piano per piano. Su ciascun livello si individuano due differenti tipologie di zone termiche, distinte per caratteristiche tipologico-formali e per terminale d'impianto. La zona "Atri" che simula lo spazio distributivo, inserito all'interno dell'ampio camino centrale, e la zona dei locali adiacenti, che ospita le aule per la didattica o gli uffici delle ART. Anche se in fase di modellazione non è stato considerato il sistema impiantistico, è utile precisare che nella zona "Atri" la climatizzazione è affidata alle U.T.A., nella zona "Aule" alle U.T.A.+radiatori, nella zona "Uffici" U.T.A.+fancoils.

L'Aula Magna, progettata per essere gestita autonomamente da un punto di vista impiantistico dato l'utilizzo non continuativo dell'ambiente, è stata considerata come una zona termica distinta.

Tra gli ambienti confinanti non riscaldati si individuano i corpi scala e i vani tecnici, il piano seminterrato, la Rampa Nord con cui comunica la sede del Politecnico e la zona di filtro che collega l'università all'Aula Magna.

Definiti i confini e le zone termiche, si è infine proceduto con l'inserimento dei dati relativi alle caratteristiche tipologiche, termiche e costruttive dell'involucro edilizio, compresi i ponti termici, calcolati secondo il metodo semplificato espresso nella UNI EN ISO 14683.

1. $b_{tr,x}$ è il fattore di correzione dello scambio termico tra ambienti climatizzati e non climatizzati. Si usa per indagare il coefficiente globale di scambio termico tra zone riscaldate ed ambiente esterno, attraverso gli spazi non riscaldati. È diverso da 1 nella condizione in cui la temperatura dell'ambiente non climatizzato sia differente da quella esterna.

VOLUMETRICO DELLE ZONE TERMICHE

PIANO QUARTO:
Sup. utile riscaldata = 2126.67 m²
Altezza media netta = 4.56 m
Volume netto = 9697.60 m³

PIANO QUINTO:
Sup. utile riscaldata = 1159.48 m²
Altezza media netta = 4.56 m
Volume netto = 5287.20 m³

ATRIO PIANI 4-5:
Sup. utile riscaldata = 497.68 m²
Altezza media netta = 12.80 m
Volume netto = 6370.30 m³

PIANO SECONDO:
Sup. utile riscaldata = 2000.83 m²
Altezza media netta = 4.56 m
Volume netto = 9123.80 m³

PIANO TERZO:
Sup. utile riscaldata = 2000.83 m²
Altezza media netta = 4.56 m
Volume netto = 9123.80 m³

ATRIO PIANI 2-3:
Sup. utile riscaldata = 860.00 m²
Altezza media netta = 9.56 m
Volume netto = 8221.60 m³

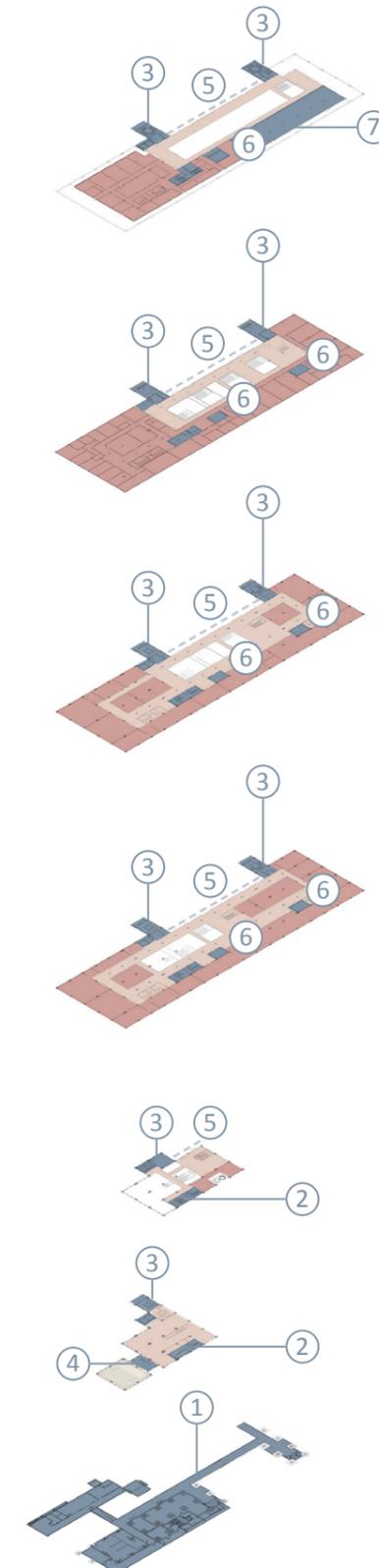
ATRIO PIANO PRIMO:
Sup. utile riscaldata = 231.87 m²
Altezza media netta = 4.56 m
Volume netto = 1057.30 m³

PIANO PRIMO:
Sup. utile riscaldata = 86.43 m²
Altezza media netta = 4.56 m
Volume netto = 394.10 m³

ATRIO PIANO TERRA:
Sup. utile riscaldata = 435.94 m²
Altezza media netta = 5.74 m
Volume netto = 2502.30 m³

AULA MAGNA:
Sup. utile riscaldata = 160.38 m²
Altezza media netta = 10.56 m
Volume netto = 1693.60 m³

Zone Termiche



- zona termica "Aula Magna"
- zona termica "Atri"
- zona termica "Aule"/ "Uffici"
- ZNR

- ① Interrato
- ② Vano scala Nord
- ③ Vano scala Sud/Vano scala Ovest
- ④ Filtro Aula Magna
- ⑤ Rampa Nord
- ⑥ Locale Tecnico
- ⑦ Locale Tecnico

Ambiente confinante	b _{tr,x}
Ambiente	
- con una parete esterna	0.4 ← ②⑥
- senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0.5 ← ⑤⑦
- con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0.6 ← ③④
- con tre pareti esterne	0.8
Piano interrato o seminterrato	
- senza finestre o serramenti esterni	0.5 ← ①
- con finestre o serramenti esterni	0.8
Sottotetto	
- tasso di ventilazione del sottotetto elevato	1.0
- senza rivestimento con feltro o assito	0.9
- altro tetto non isolato	0.7
- tetto isolato	
Aree interne di circolazione (senza muri esterni e con tasso di ricambio d'aria minore di 0.5 h ⁻¹)	0.0
Aree interne di circolazione liberamente ventilate (rapporto tra l'area delle aperture e volume dell'ambiente maggiore di 0.005 m ² /m ³)	1.0

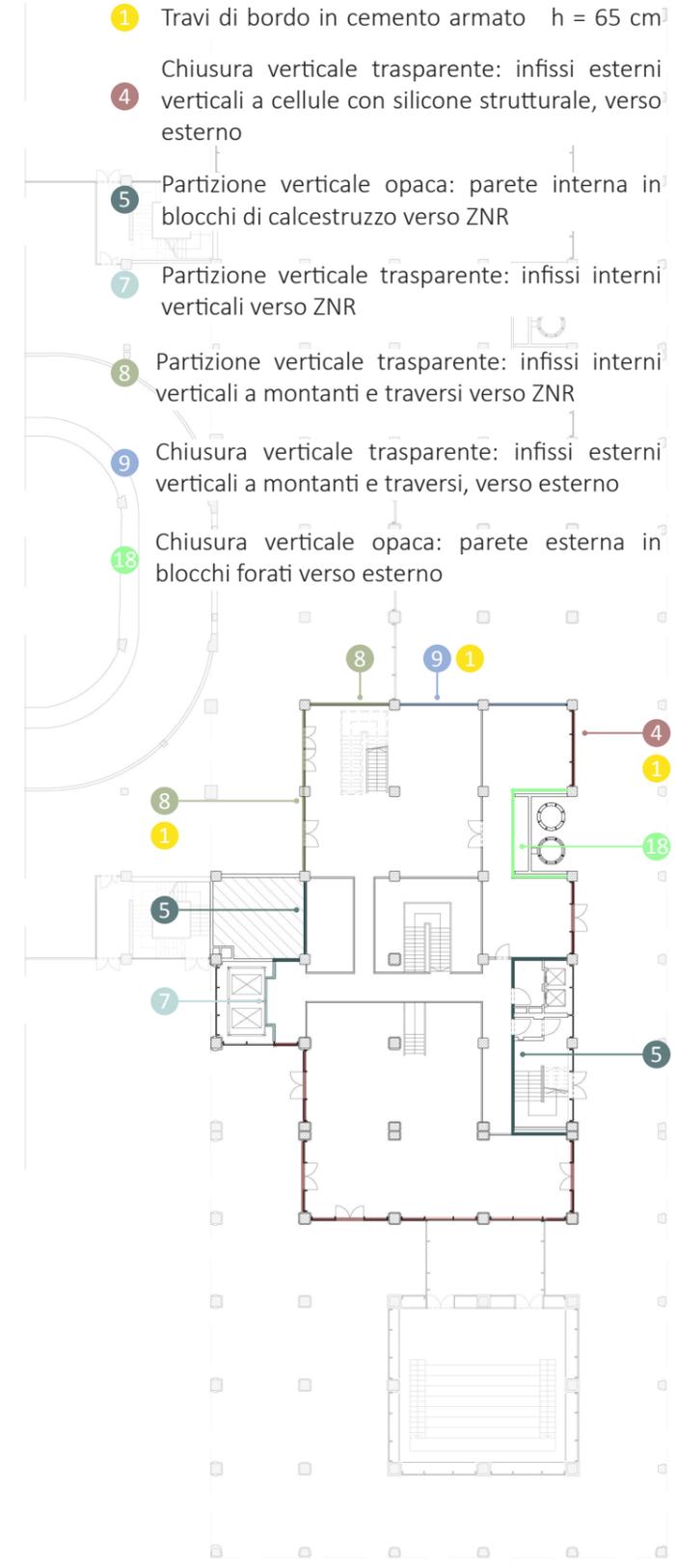
Involucro disperdente: Navigatore strutture verticali

- 1 Travi di bordo in cemento armato h = 65 cm
- 3 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi semipieni verso locale riscaldato
- 4 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali a cellule con silicone strutturale, verso esterno
- 5 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi di calcestruzzo verso ZNR
- 6 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali a cellule con silicone strutturale, verso ZNR
- 7 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali verso ZNR
- 16 Partizione verticale opaca: parete interna in mattoni forati verso locale non riscaldato
- 17 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali a cellule con silicone strutturale con sistema di schermatura, verso esterno



Pianta Piano Terra 0 5 10m

- 1 Travi di bordo in cemento armato h = 65 cm
- 4 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali a cellule con silicone strutturale, verso esterno
- 5 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi di calcestruzzo verso ZNR
- 7 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali verso ZNR
- 8 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali a montanti e traversi verso ZNR
- 9 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali a montanti e traversi, verso esterno
- 18 Chiusura verticale opaca: parete esterna in blocchi forati verso esterno



Pianta Piano Primo 0 5 10m

1 Travi di bordo in cemento armato h = 65 cm

2 Sottofinestra in cemento armato h = 90 cm

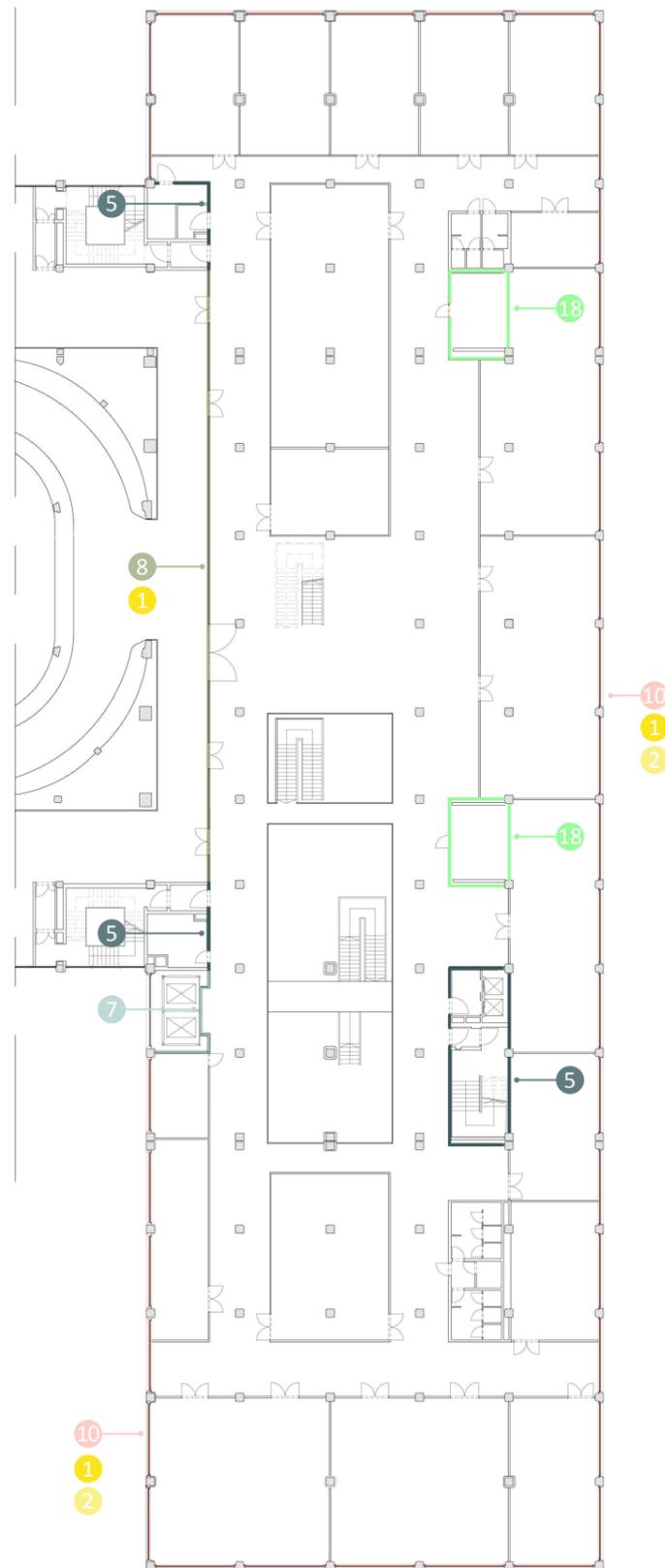
5 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi di calcestruzzo verso ZNR

7 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali verso ZNR

8 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali a montanti e traversi verso ZNR

10 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali verso esterno

18 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi forati verso ZNR



Pianta Piano Secondo 0 5 10m

1 Travi di bordo in cemento armato h = 65 cm

2 Sottofinestra in cemento armato h = 90 cm

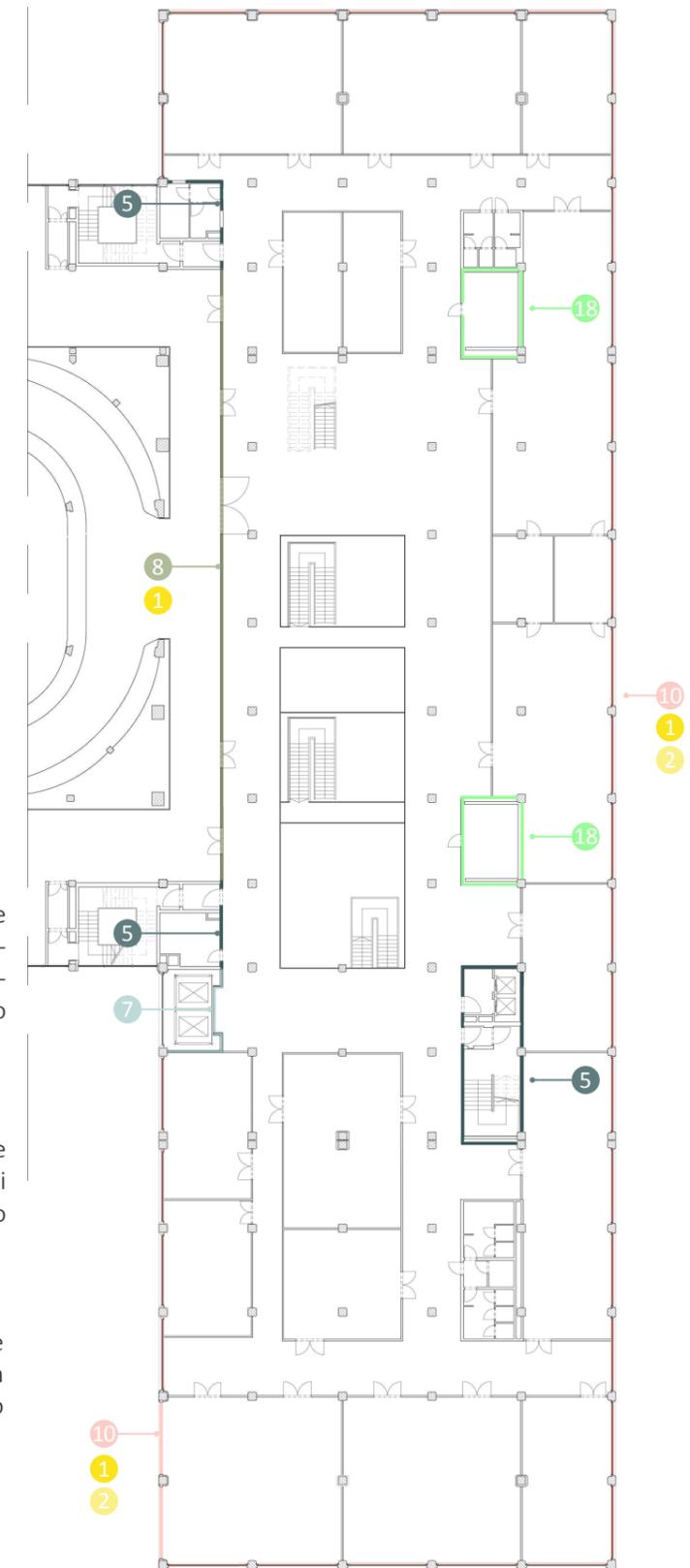
5 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi di calcestruzzo verso ZNR

7 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali verso ZNR

8 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali a montanti e traversi verso ZNR

10 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali verso esterno

18 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi forati verso ZNR



Pianta Piano Terzo 0 5 10m

1 Travi di bordo in cemento armato h = 65 cm

2 Sottofinestra in cemento armato h = 90 cm

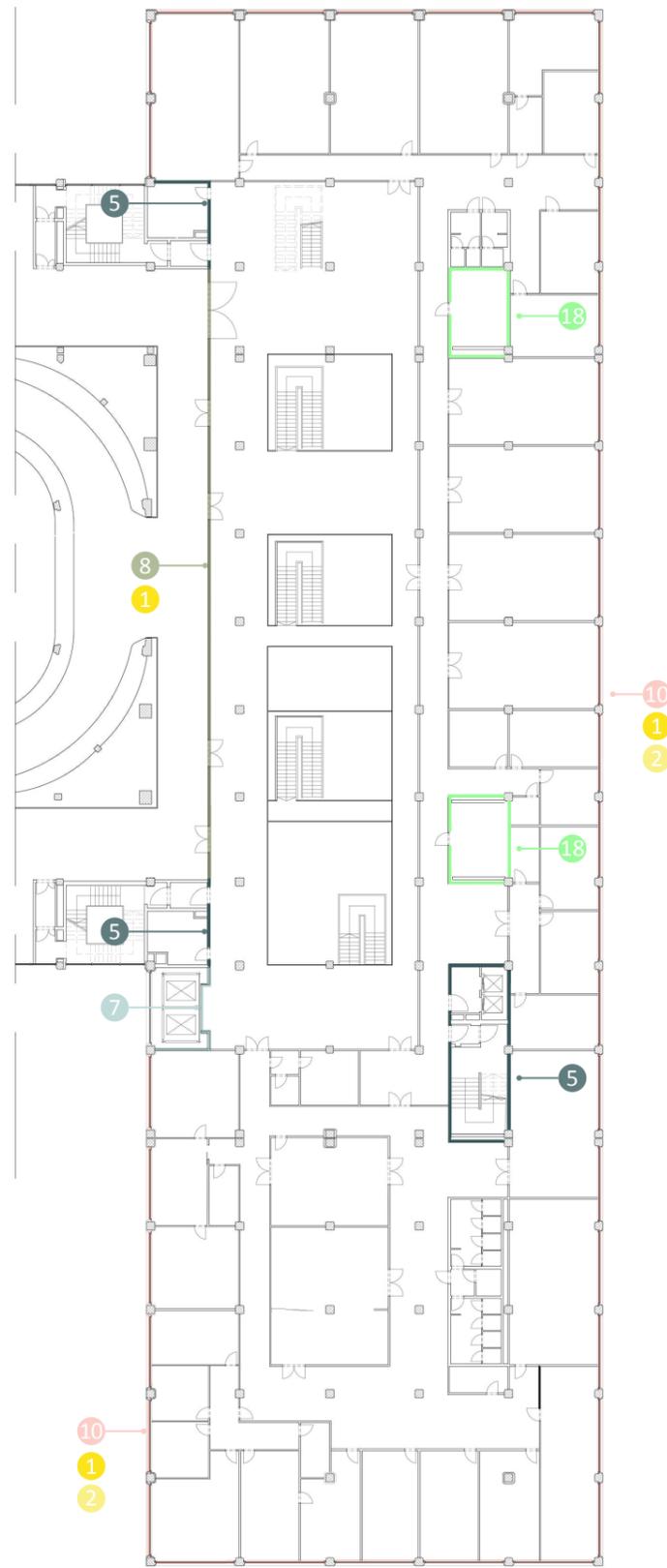
5 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi di calcestruzzo verso ZNR

7 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali verso ZNR

8 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali a montanti e traversi verso ZNR

10 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali verso esterno

18 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi forati verso ZNR



Pianta Piano Quarto 0 5 10m

5 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi di calcestruzzo verso ZNR

7 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali verso ZNR

8 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali a montanti e traversi verso ZNR

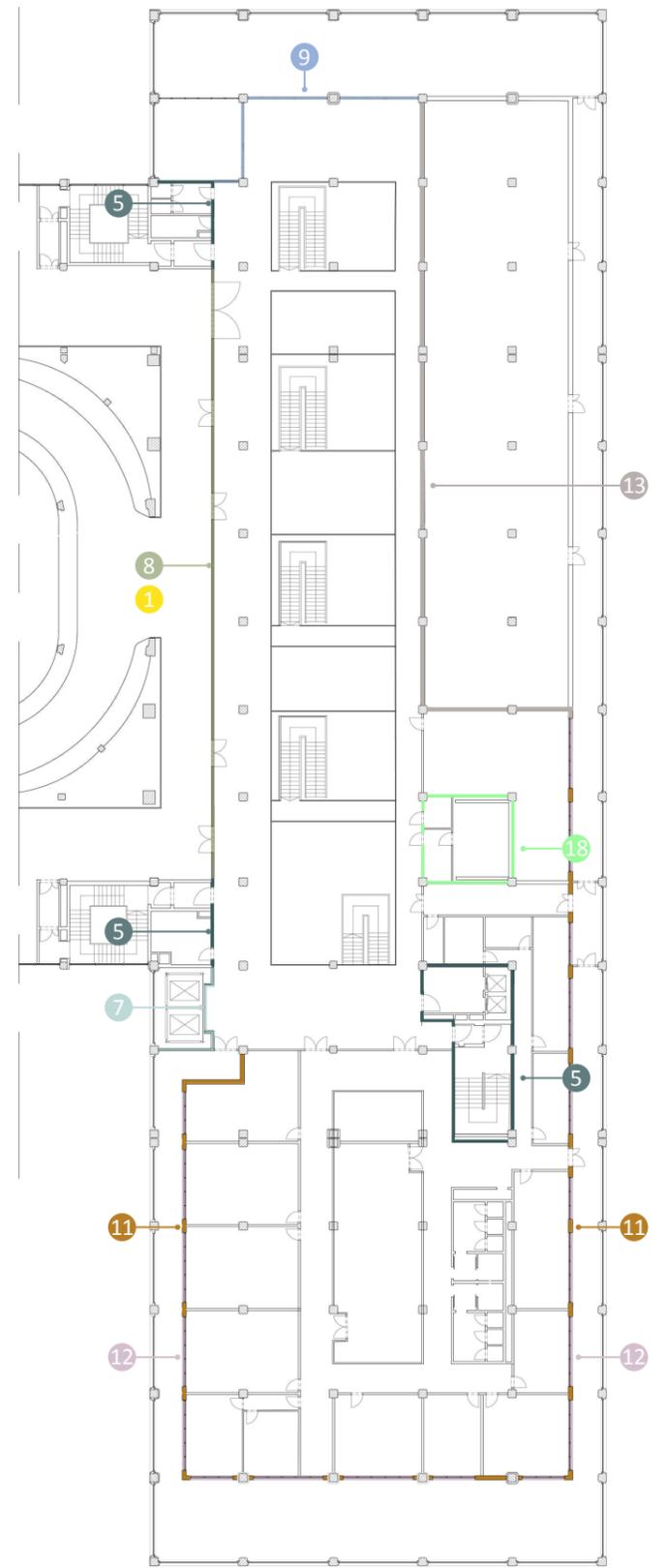
9 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali a montanti e traversi, verso esterno

11 Chiusura verticale opaca: parete esterna in blocchi semipieni verso esterno

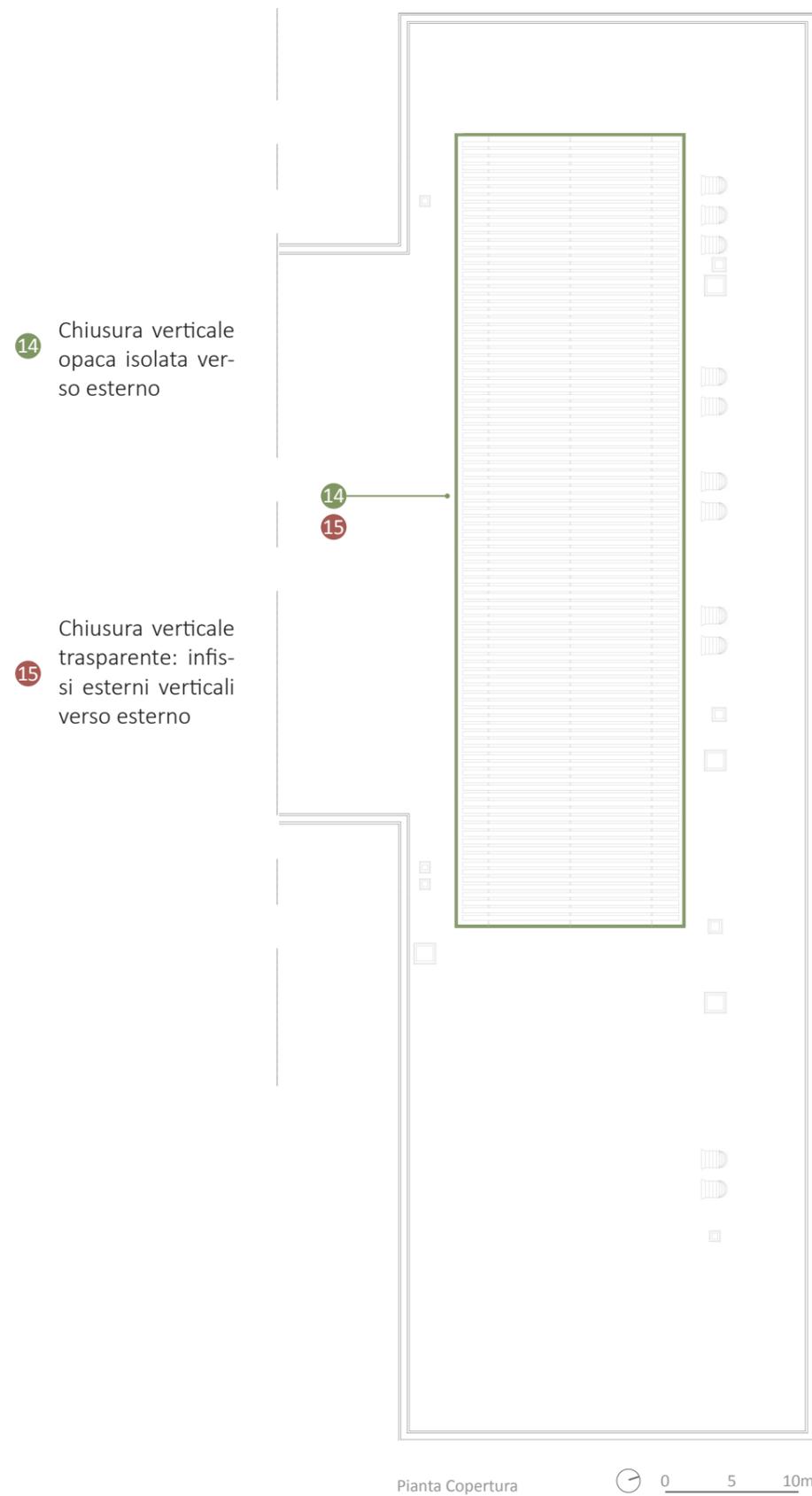
12 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali verso esterno

13 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi di calcestruzzo verso ZNR

18 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi forati verso ZNR

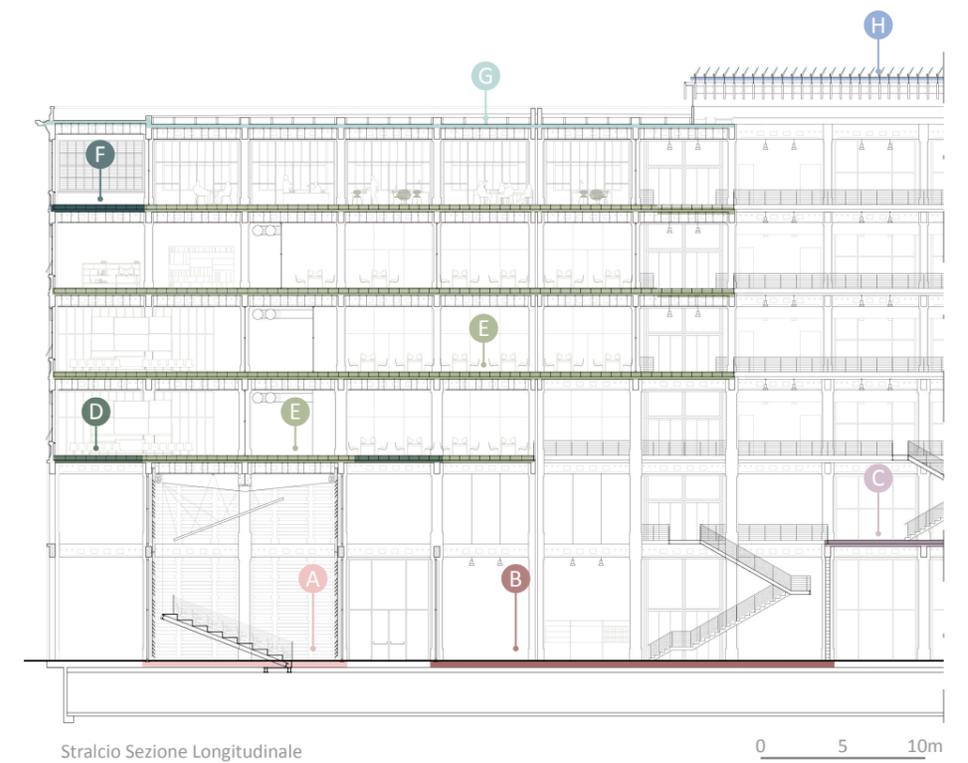


Pianta Piano Quinto 0 5 10m



Involucro disperdente: Navigatore strutture orizzontali

- A Partizione orizzontale opaca: solaio non isolato verso ZNR (Piano interrato)
- B Partizione orizzontale opaca: solaio isolato verso ZNR (Piano interrato)
- C Partizione orizzontale opaca: solaio isolato verso locale riscaldato
- D Chiusura orizzontale opaca su spazi esterni: solaio su spazio aperto non isolato verso esterno
- E Partizione orizzontale opaca: solaio non isolato verso locale interno alla zona
- F Chiusura orizzontale superiore opaca: solaio isolato verso esterno (terrazze coperte)
- G Chiusura orizzontale superiore opaca: copertura isolata verso esterno
- H Chiusura orizzontale superiore trasparente: infissi esterni orizzontali verso esterno

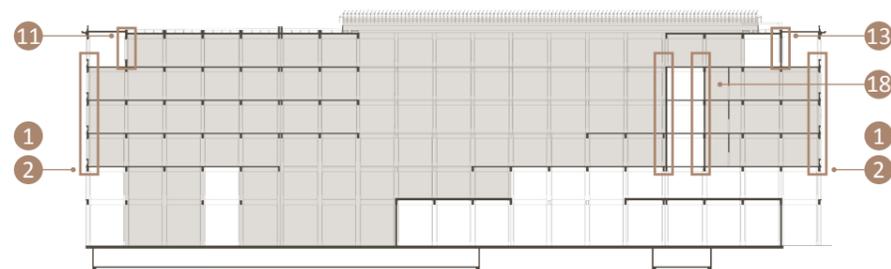
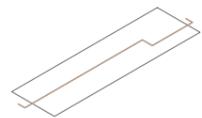


3.5.3 Caratteristiche dell'involucro opaco

PREMESSA

Per la modellazione delle stratigrafie dei componenti edilizi disperdenti sono state esaminate come fonti le relazioni tecniche di progetto, conservate all'Archivio Edilizio di Torino.¹ La documentazione, che riporta valori di progetto molto ottimistici, è stata analizzata criticamente, formulando ipotesi che in certi casi hanno variato le condizioni di progetto ottimali in funzione del fatto che, simulando un esistente, i fattori di tempo e di usura hanno sicuramente inficiato le *performances* complessive dell'edificio. L'abaco seguente fa dunque riferimento alle strutture che sono state considerate nella valutazione di calcolo, adeguate il più possibile alle condizioni della realtà dei fatti ad oggi.

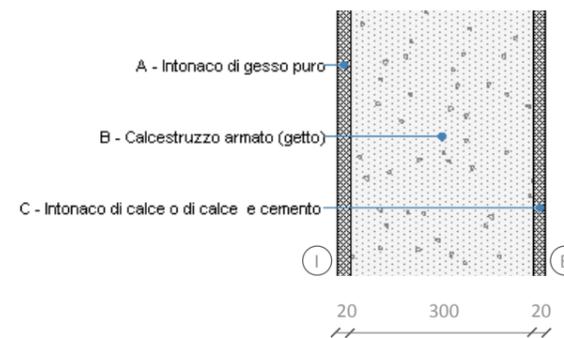
Abaco strutture verticali



1. ARCHIVIO EDILIZIO DI TORINO, *Comune di Torino*, Centro Polifunzionale del Lingotto III Fase di Intervento, Relazione Tecnica secondo art. 28 Legge 10/91, Pratica PE_1999_1_03883_PE.
 ARCHIVIO EDILIZIO DI TORINO, *Comune di Torino*, Centro Polifunzionale del Lingotto III Fase di Intervento, Relazione Tecnica descrittiva generale, Pratica RT_1999_1_03883_RT_02.

Travi di bordo in cemento armato h = 65 cm 1

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
A	Intonaco di gesso puro	20.0	0.350	0.057	1,200	0.84	11.1	11.1
B	Calcestruzzo armato (getto)	300.0	1.910	0.157	2,400	1.00	0.0	999.99 9.0
C	Intonaco di calce o di calce e cemento	20.0	0.900	0.022	1,800	0.84	16.7	16.7
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0.040	-	-	-	-
	TOTALE	340.0		0.406				



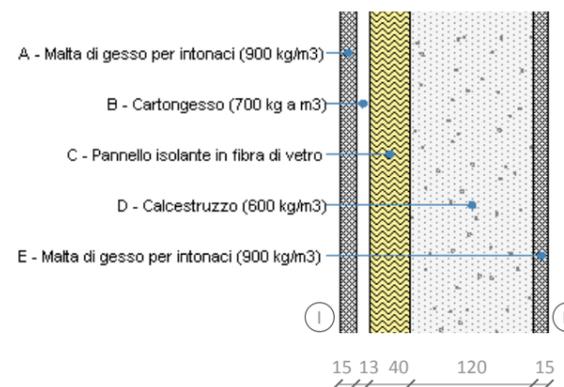
DATI STRUTTURA :

Tipologia: Parete
 Verso: Esterno
 Colore: Chiaro
 Spessore: 34 cm

Trasmittanza termica U: 2.46 W/m²K
 Trasmittanza termica periodica Y: 0.55 W/m²K
 Sfasamento temporale: 9h 13'

Sottofinestra in cemento armato h = 90 cm 2

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
A	Malta di gesso per intonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
B	Cartongesso (700 kg a m³)	13.0	0.210	0.062	700	1.00	10.0	4.0
C	Pannello isolante in fibra di vetro	40.0	0.040	1.000	30	0.67	150.0	150.0
D	Calcestruzzo (600 kg/m³)	120.0	0.240	0.500	600	0.88	3.3	3.3
E	Malta di gesso per intonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0.040	-	-	-	-
	TOTALE	203.0		1.805				



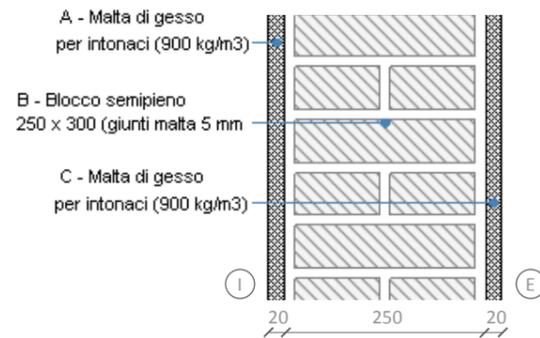
DATI STRUTTURA :

Tipologia: Parete
 Verso: Esterno
 Colore: Chiaro
 Spessore: 20.30 cm

Trasmittanza termica U: 0.55 W/m²K
 Trasmittanza termica periodica Y: 0.39 W/m²K
 Sfasamento temporale: 4h 55'

11 Chiusura verticale opaca: parete esterna in blocchi semipieni verso esterno

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m ² K)/W]	Densità ρ [Kg/m ³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ_a [-]	Fattore μ_u [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
A	Malta di gesso per intonaci (900 kg/m ³)	20.0	0.410	0.049	900	0.84	11.1	11.1
B	Blocco semipieno 250 x 300 (giunti malta 5 mm)	250.0	0.312	0.801	1,400	1.00	10.0	5.0
C	Malta di gesso per intonaci (900 kg/m ³)	20.0	0.410	0.049	900	0.84	11.1	11.1
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0.040	-	-	-	-
	TOTALE	290.0		1.069				



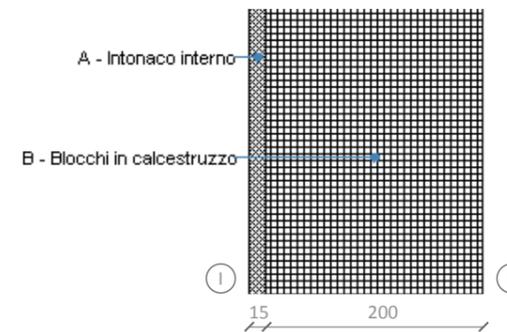
DATI STRUTTURA :

Tipologia: Parete
Verso: Esterno
Colore: Chiaro
Spessore: 29 cm

Trasmittanza termica U: 0.94 W/m²K
Trasmittanza termica periodica Y: 0.17 W/m²K
Sfasamento temporale: 12h 14'

Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi di calcestruzzo verso ZNR 13

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m ² K)/W]	Densità ρ [Kg/m ³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ_a [-]	Fattore μ_u [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
A	Intonaco interno	15.0	0.700	0.021	1,400	1.00	11.1	11.1
B	Blocchi in calcestruzzo	200.0	0.500	0.400	1,400	0.92	100.0	66.7
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
	TOTALE	215.0		0.682				

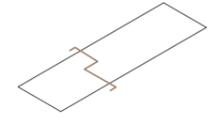
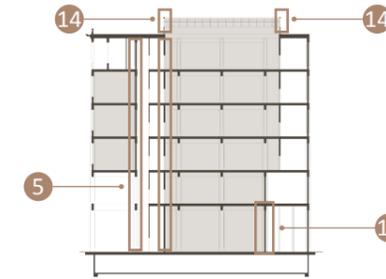


DATI STRUTTURA :

Tipologia: Parete
Verso: Esterno
Colore: Medio
Spessore: 21.5 cm

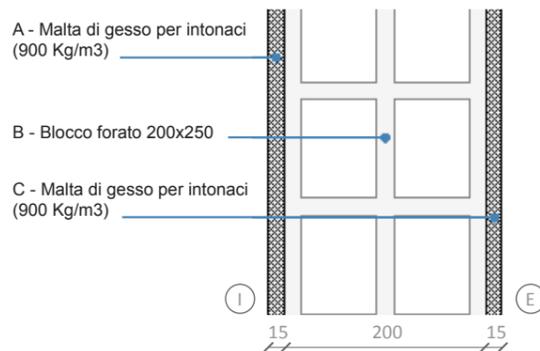
Trasmittanza termica U: 1.54 W/m²K
Trasmittanza termica periodica Y: 0.58 W/m²K
Sfasamento temporale: 7h 42'

Abaco strutture verticali



18 Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi forati verso ZNR

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
A	Malta di gesso perintonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
B	Blocco forato 200 x 250	200.0	0.333	0.600	1,800	1.00	10.0	5.0
C	Malta di gesso perintonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
	TOTALE	230.0		0.933				



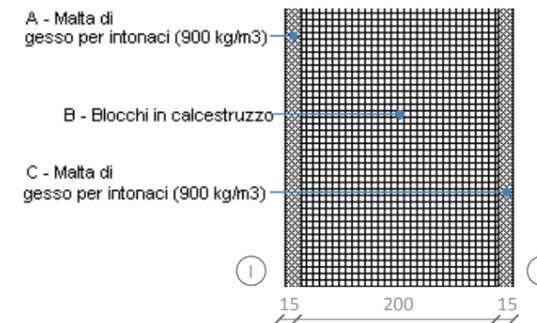
DATI STRUTTURA :

Tipologia: Parete
 Verso: ZNR
 Colore: Chiaro
 Spessore: 23 cm

Trasmittanza termica U: 1.07 W/m²K
 Trasmittanza termica periodica Y: 0.20 W/m²K
 Sfasamento temporale: 11h 20'

Partizione verticale opaca: parete interna in blocchi di calcestruzzo verso ZNR 5

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
A	Malta di gesso perintonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
B	Blocchi in calcestruzzo	200.0	0.500	0.400	1,400	0.92	100.0	66.7
C	Malta di gesso perintonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
	TOTALE	230.0		0.733				



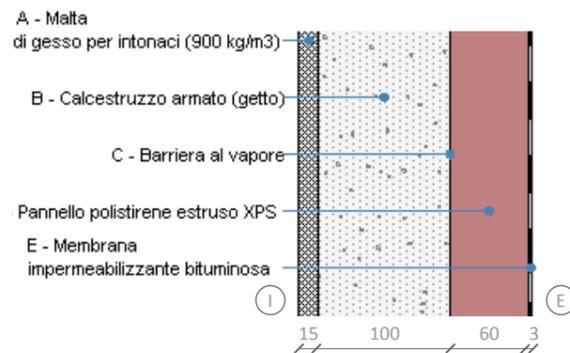
DATI STRUTTURA :

Tipologia: Parete
 Verso: Esterno
 Colore: Chiaro
 Spessore: 23 cm

Trasmittanza termica U: 1.36 W/m²K
 Trasmittanza termica periodica Y: 0.48 W/m²K
 Sfasamento temporale: 8h 05'

14 Chiusura verticale opaca isolata verso esterno

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
A	Malta di gesso per intonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
B	Calcestruzzo armato (getto)	100.0	1.910	0.052	2,400	1.00	0.0	999,99 9.0
C	Barriera al vapore	0.2	0.400	0.001	360	1.50	20,000 .0	20,000 .0
D	Pannello polistirene estruso XPS	60.0	0.040	1.500	35	1.45	200.0	200.0
E	Membrana impermeabilizzante bituminosa	3.0	0.170	0.018	1,200	1.00	0.0	999,99 9.0
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0.040	-	-	-	-
	TOTALE	178.2		1.777				



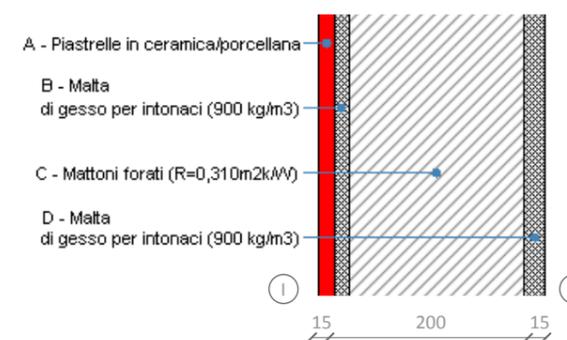
DATI STRUTTURA :

Tipologia: Parete
 Verso: Esterno
 Colore: Scuro
 Spessore: 17.82 cm

Trasmittanza termica U: 0.56 W/m²K
 Trasmittanza termica periodica Y: 0.18 W/m²K
 Sfasamento temporale: 5h 41'

Partizione verticale opaca: parete interna in mattoni forati verso ZNR 16

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
A	Piastrelle in ceramica/porcellana	10.0	1.300	0.008	2,300	0.84	0.0	999,99 9.0
B	Malta di gesso per intonaci (900 kg/m³)	10.0	0.410	0.024	900	0.84	11.1	11.1
C	Mattoni forati (R=0,310m²k/W)	120.0	0.387	0.310	800	1.00	10.0	5.0
D	Malta di gesso per intonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0.130	-	-	-	-
	TOTALE	155.0		0.639				

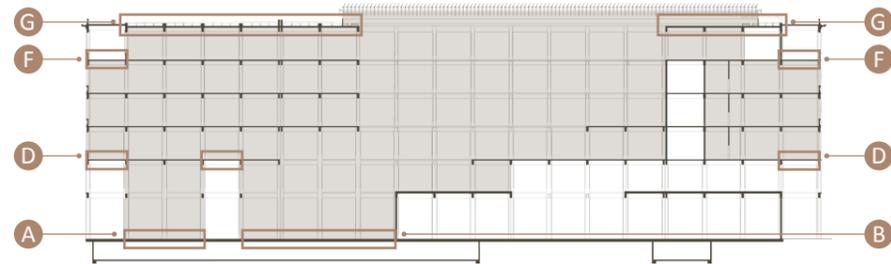
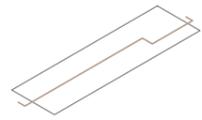


DATI STRUTTURA :

Tipologia: Parete
 Verso: ZNR
 Colore: Chiaro
 Spessore: 15.5 cm

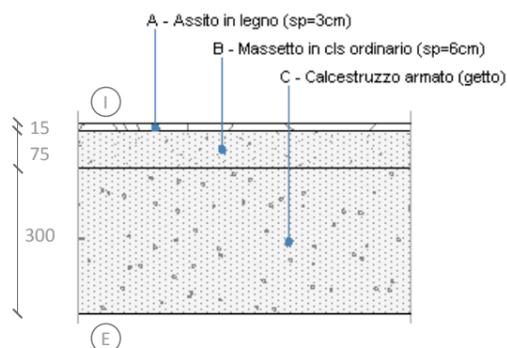
Trasmittanza termica U: 1.56 W/m²K
 Trasmittanza termica periodica Y: 1.13 W/m²K
 Sfasamento temporale: 4h 26'

Abaco strutture orizzontali



A Partizione orizzontale opaca: solaio non isolato verso ZNR (Piano interrato)

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0.170	-	-	-	-
A	Assito in legno (sp=3cm)	15.0	0.180	0.083	710	2.40	44.4	44.4
B	Massetto in cls ordinario (sp=6cm)	75.0	1.060	0.071	1,700	1.00	3.3	3.3
C	Calcestruzzo armato (getto)	300.0	1.910	0.157	2,400	1.00	0.0	999.99 9.0
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0.170	-	-	-	-
	TOTALE	390.0		0.651				



DATI STRUTTURA :

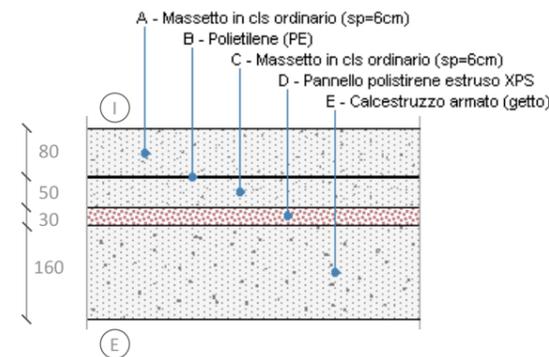
Tipologia: Pavimento
Verso: Zona non riscaldata

Spessore: 39 cm

Trasmittanza termica U: 1.54 W/m²K
Trasmittanza termica periodica Y: 0.13 W/m²K
Sfasamento temporale: 11h 53'

Partizione orizzontale opaca: solaio isolato verso ZNR (Piano interrato) B

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0.170	-	-	-	-
A	Massetto in cls ordinario (sp=6cm)	80.0	1.060	0.075	1,700	1.00	3.3	3.3
B	Polietilene (PE)	0.1	0.350	0.000	950	2.30	54,054 .1	54,054 .1
C	Massetto in cls ordinario (sp=6cm)	50.0	1.060	0.047	1,700	1.00	3.3	3.3
D	Pannello polistirene estruso XPS	30.0	0.040	0.750	35	1.45	200.0	200.0
E	Calcestruzzo armato (getto)	160.0	1.910	0.084	2,400	1.00	0.0	999.99 9.0
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0.170	-	-	-	-
	TOTALE	320.1		1.297				



DATI STRUTTURA :

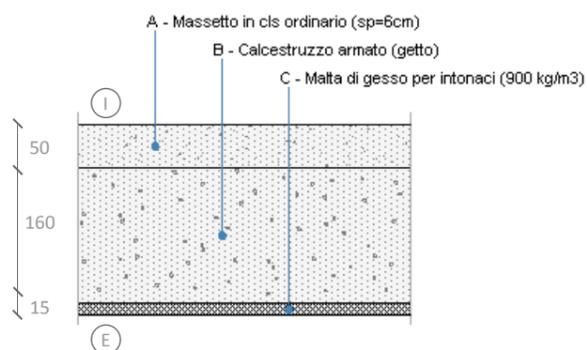
Tipologia: Pavimento
Verso: Zona non riscaldata

Spessore: 32.01 cm

Trasmittanza termica U: 0.77 W/m²K
Trasmittanza termica periodica Y: 0.06 W/m²K
Sfasamento temporale: 12h 19'

D Chiusura orizzontale opaca su spazi esterni: solaio su spazio aperto non isolato verso esterno

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0.170	-	-	-	-
A	Massetto in cls ordinario (sp=6cm)	50.0	1.060	0.047	1,700	1.00	3.3	3.3
B	Calcestruzzo armato (getto)	160.0	1.910	0.084	2,400	1.00	0.0	999,99 9.0
C	Malta di gesso per intonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
	Adduttanza esterna (flusso verticale discendente)	-	-	0.040	-	-	-	-
	TOTALE	225.0		0.378				



DATI STRUTTURA :

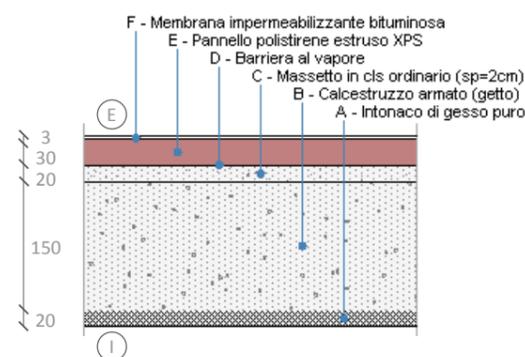
Tipologia: Pavimento
Verso: Esterno

Spessore: 22.50 cm

Trasmittanza termica U: 2.65 W/m²K
Trasmittanza termica periodica Y: 1.01 W/m²K
Sfasamento temporale: 6h 32'

Chiusura orizzontale superiore opaca: solaio isolato verso esterno (terrazze coperte) **F**

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso verticale ascendente)	-	-	0.100	-	-	-	-
A	Intonaco di gesso puro	20.0	0.350	0.057	1,200	0.84	11.1	11.1
B	Calcestruzzo armato (getto)	150.0	1.910	0.079	2,400	1.00	0.0	999,99 9.0
C	Massetto in cls ordinario (sp=2cm)	20.0	1.060	0.019	1,500	1.00	3.3	3.3
D	Barriera al vapore	0.2	0.400	0.001	360	1.50	20,000 .0	20,000 .0
E	Pannello polistirene estruso XPS	30.0	0.040	0.750	35	1.45	200.0	200.0
F	Membrana impermeabilizzante bituminosa	3.0	0.170	0.018	1,200	1.00	0.0	999,99 9.0
	Adduttanza esterna (flusso verticale ascendente)	-	-	0.040	-	-	-	-
	TOTALE	223.2		1.063				



DATI STRUTTURA :

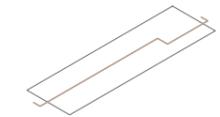
Tipologia: Soffitto
Verso: Esterno

Spessore: 22.32 cm

Trasmittanza termica U: 0.94 W/m²K
Trasmittanza termica periodica Y: 0.21 W/m²K
Sfasamento temporale: 6h 54'

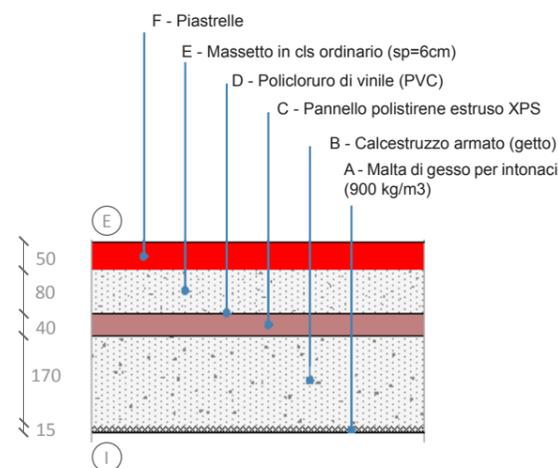
3.5.4 Caratteristiche dell'involucro trasparente

Abaco strutture orizzontali



G Chiusura orizzontale superiore opaca: copertura isolata verso esterno

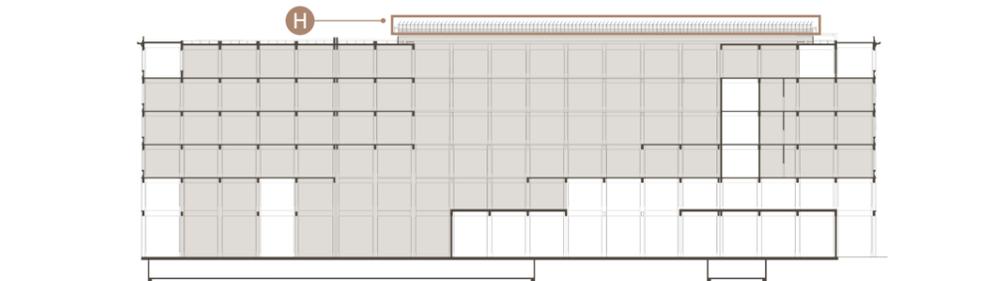
STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m²K)/W]	Densità ρ [Kg/m³]	Capacità term. C [kJ/(kgK)]	Fattore μ _a [-]	Fattore μ _u [-]
	Adduttanza interna (flusso verticale ascendente)	-	-	0.100	-	-	-	-
A	Malta di gesso per intonaci (900 kg/m³)	15.0	0.410	0.037	900	0.84	11.1	11.1
B	Calcestruzzo armato (getto)	170.0	1.910	0.089	2,400	1.00	0.0	999.99
C	Pannello polistirene estruso XPS	40.0	0.040	1.000	35	1.45	200.0	200.0
D	Policloruro di vinile (PVC)	4.0	0.170	0.024	1,390	0.90	50,000.0	50,000.0
E	Massetto in cls ordinario (sp=6cm)	80.0	1.060	0.075	1,700	1.00	3.3	3.3
F	Piastrelle	50.0	1.000	0.050	2,300	0.84	213.2	999.99
	Adduttanza esterna (flusso verticale ascendente)	-	-	0.040	-	-	-	-
	TOTALE	359.0		1.415				



DATI STRUTTURA :

Tipologia: Copertura
 Verso: Esterno
 Colore: Medio
 Spessore: 35.90 cm

Trasmittanza termica U: 0.71 W/m²K
 Trasmittanza termica periodica Y: 0.09 W/m²K
 Sfasamento temporale: 11h 30'



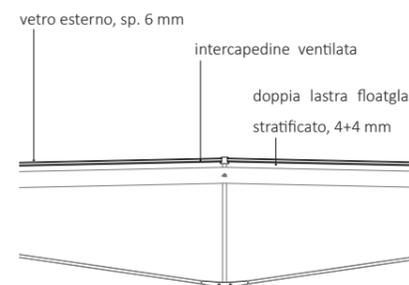
H Chiusura orizzontale superiore trasparente: infissi esterni orizzontali verso esterno

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Emissività normale interna ε _{ni} [-]	Emissività normale esterna ε _{ne} [-]	Densità ρ [Kg/m³]	Viscosità dinamica μ [10 ⁻⁵ Kg/(ms)]	Capacità termica specifica c [J/(kgK)]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	7.690	-	-	-	-	-
A	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
B	Vetro	4.0	1.000	0.00	0.00	2,500	0.0	0.84
C	Aria	16.0	0.025	0.00	0.00	1	1.8	1.01
D	Vetro	6.0	1.000	0.00	0.00	2,500	0.0	0.84
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	25.000	-	-	-	-	-
	TOTALE	30.0						

DATI STRUTTURA :

Tipologia: Serramento
 Verso: Esterno
 Larghezza: 0.50 m
 Altezza: 1.80 m
 Schermatura: Frangisole a lamelle verticali e struttura di sostegno in acciaio, lato esterno

Area totale del serramento (A_w): 0.90 m²
 Trasmittanza termica del serramento U_w: 1.96 W/m²K



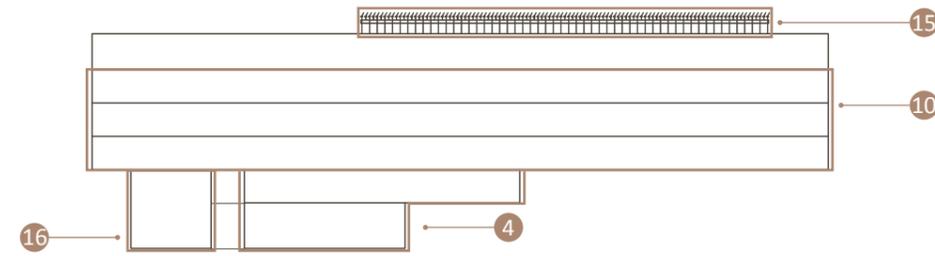
DATI VETRATA :

Tipo di vetro : Strutturale. Doppio
 Area sup. vetro (A_g): 0.80 m²
 Lunghezza superficie vetrata (L_g): 4.28 m
 Trasmittanza lineica vetro (Ψ_g): 0.08 W/mK
 Emissività del vetro ε: 0.837
 Trasmittanza termica vetro U_g: 1.24W/m²K

DATI TELAIO :

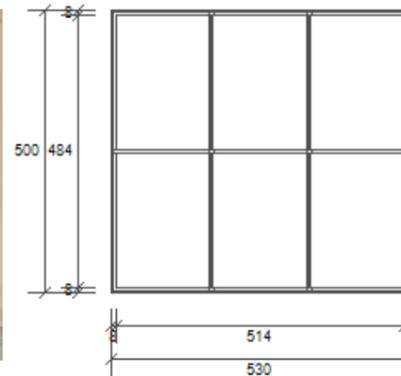
Materiale del telaio : Alluminio
 Tipo di telaio : Con taglio termico
 Area sup. telaio (A_t): 0.10 m²
 Trasmittanza termica telaio (U_t): 4.08 W/m²K

Abaco strutture verticali



4 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali a cellule con silicone strutturale, verso esterno

STRATIGRAFIA							
Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Emissività normale interna ε _{ni} [-]	Emissività normale esterna ε _{ne} [-]	Densità ρ [Kg/m ³]	Viscosità dinamica μ [10 ⁻⁵ Kg/(ms)]	Capacità termica specifica c [J/(kgK)]
Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	7.690	-	-	-	-	-
A Vetro	3.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
B Vetro	3.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
C Aria	10.0	0.025	0.00	0.00	1	1.8	1.01
D Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
E Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	25.000	-	-	-	-	-
TOTALE	24.0						



DATI STRUTTURA :
 Tipologia: Serramento
 Verso: Esterno
 Larghezza: 5.30 m
 Altezza: 5.00 m
 Schermatura: assente
 Area totale del serramento (A_w): 26.50 m²
 Trasmittanza termica del serramento U_w: 2.42 W/m²K

DATI VETRATA :

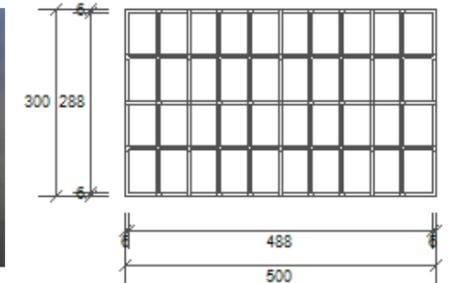
Tipo di vetro : Strutturale. Doppio
 Area sup. vetro (A_g): 24.23 m²
 Lunghezza superficie vetrata (L_g): 48.98 m
 Trasmittanza lineica vetro (Ψ_g): 0.08 W/mK
 Emissività del vetro ε: 0.837
 Trasmittanza termica vetro U_g: 2.10 W/m²K

DATI TELAIO :

Materiale del telaio : Alluminio
 Tipo di telaio : Con taglio termico
 Area sup. telaio (A_f): 2.27 m²
 Trasmittanza termica telaio (U_f): 4.08 W/m²K

Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali verso esterno 10

STRATIGRAFIA							
Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Emissività normale interna ε _{ni} [-]	Emissività normale esterna ε _{ne} [-]	Densità ρ [Kg/m ³]	Viscosità dinamica μ [10 ⁻⁵ Kg/(ms)]	Capacità termica specifica c [J/(kgK)]
Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	7.690	-	-	-	-	-
A Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
B Aria	9.0	0.025	0.00	0.00	1	1.8	1.01
C Vetro	5.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	25.000	-	-	-	-	-
TOTALE	18.0						



DATI STRUTTURA :

Tipologia: Serramento
 Verso: Esterno
 Larghezza: 5.00 m
 Altezza: 3.00 m
 Schermatura: Tende a rullo esterne ed interne a movimentazione automatizzata
 Area totale del serramento (A_w): 15.00 m²
 Trasmittanza termica del serramento U_w: 3.52 W/m²K

DATI VETRATA :

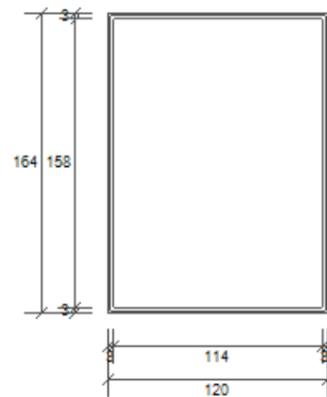
Tipo di vetro : Doppio
 Area superficie vetro (A_g): 12.86 m²
 Lunghezza superficie vetrata (L_g): 92.68 m
 Trasmittanza lineica vetro (Ψ_g): 0.08 W/mK
 Emissività del vetro ε: 0.837
 Trasmittanza termica vetro U_g: 2.85 W/m²K

DATI TELAIO :

Materiale del telaio : Alluminio preverniciato
 Tipo di telaio : Con taglio termico
 Area superficie telaio (A_f): 2.14 m²
 Trasmittanza termica telaio (U_f): 4.08 W/m²K

15 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali verso esterno

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Emissività normale interna ε _{ni} [-]	Emissività normale esterna ε _{ne} [-]	Densità ρ [Kg/m ³]	Viscosità dinamica μ [10 ⁻⁵ Kg/(ms)]	Capacità termica specifica c [J/(kgK)]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	7.690	-	-	-	-	-
A	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2.500	0.0	0.84
B	Vetro	4.0	1.000	0.00	0.00	2.500	0.0	0.84
C	Aria	12.0	0.025	0.00	0.00	1	1.8	1.01
D	Vetro	4.0	1.000	0.00	0.00	2.500	0.0	0.84
E	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2.500	0.0	0.84
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	25.000	-	-	-	-	-
	TOTALE	28.0						



DATI STRUTTURA :

Tipologia:	Serramento
Verso:	Esterno
Larghezza:	1.20 m
Altezza:	1.64 m
Schermatura:	assente
Area totale del serramento (A _w):	1.97 m ²
Trasmittanza termica del serramento U _w :	1.94 W/m ² K

DATI VETRATA :

Tipo di vetro :	Doppio
Area superficie vetro (A _g):	1.80 m ²
Lunghezza superficie vetrata (L _g):	5.44 m
Trasmittanza lineica vetro (Ψ _g):	0.08 W/mK
Emissività del vetro ε:	0.837
Trasmittanza termica vetro U _g :	1.50 W/m ² K

DATI TELAIO :

Materiale del telaio :	Alluminio
Tipo di telaio :	Con taglio termico
Area superficie telaio (A _t):	0.17 m ²
Trasmittanza termica telaio (U _t):	4.08 W/m ² K

Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali a cellule con silicone strutturale con sistema di schermatura, verso esterno 16

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Emissività normale interna ε _{ni} [-]	Emissività normale esterna ε _{ne} [-]	Densità ρ [Kg/m ³]	Viscosità dinamica μ [10 ⁻⁵ Kg/(ms)]	Capacità termica specifica c [J/(kgK)]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	7.690	-	-	-	-	-
A	Vetro	3.0	1.000	0.89	0.89	2.500	0.0	0.84
B	Vetro	3.0	1.000	0.89	0.89	2.500	0.0	0.84
C	Aria	10.0	0.025	0.00	0.00	1	1.8	1.01
D	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2.500	0.0	0.84
E	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2.500	0.0	0.84
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	25.000	-	-	-	-	-
	TOTALE	24.0						



DATI STRUTTURA :

Tipologia:	Serramento
Verso:	Esterno
Larghezza:	5.30 m
Altezza:	10.00 m
Schermatura:	Frangisole a lamelle orizzontali in legno di ciliegio con struttura di sostegno in acciaio sul lato interno
Area totale del serramento (A _w):	53.00 m ²
Trasmittanza termica del serramento U _w :	2.40 W/m ² K

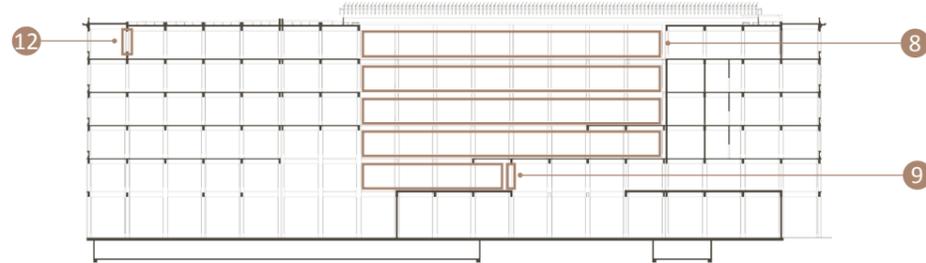
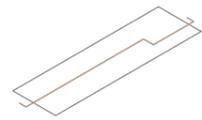
DATI VETRATA :

Tipo di vetro :	Strutturale. Doppio
Area superficie vetro (A _g):	49.05 m ²
Lunghezza superficie vetrata (L _g):	98.66 m
Trasmittanza lineica vetro (Ψ _g):	0.08 W/mK
Emissività del vetro ε:	0.837
Trasmittanza termica vetro U _g :	2.10 W/m ² K

DATI TELAIO :

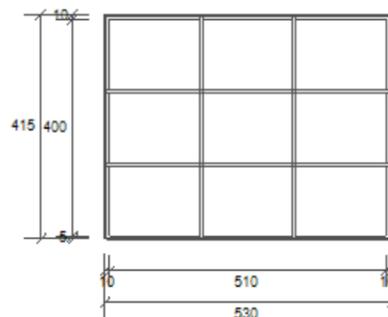
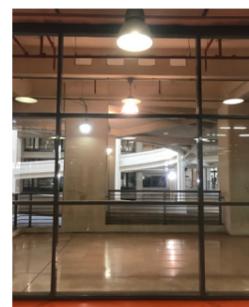
Materiale del telaio :	Alluminio
Tipo di telaio :	Con taglio termico
Area superficie telaio (A _t):	3.96 m ²
Trasmittanza termica telaio (U _t):	4.08 W/m ² K

Abaco strutture verticali



8 Partizione verticale trasparente: infissi interni verticali a montanti e traversi verso ZNR

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Emissività normale interna ε _{ni} [-]	Emissività normale esterna ε _{ne} [-]	Densità ρ [Kg/m ³]	Viscosità dinamica μ [10 ⁻⁵ Kg/(ms)]	Capacità termica specifica c [J/(kgK)]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	7.690	-	-	-	-	-
A	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
B	Aria	12.0	0.025	0.00	0.00	1	1.8	1.01
C	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	25.000	-	-	-	-	-
	TOTALE	20.0						



DATI STRUTTURA :

Tipologia: Serramento
 Verso: Zona non riscaldata
 Larghezza: 5.30 m
 Altezza: 4.15 m
 Schermatura: assente
 Area totale del serramento (A_w): 22.00 m²
 Trasmittanza termica del serramento U_w: 5.65 W/m²K

DATI VETRATA :

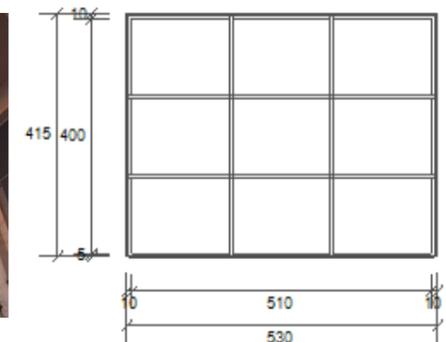
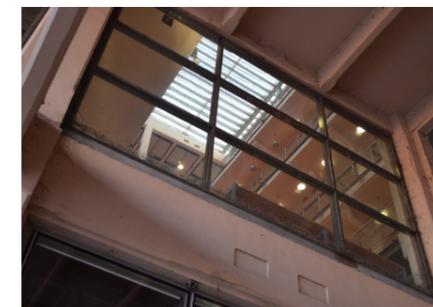
Tipo di vetro : Singolo
 Area sup. vetro (A_g): 19.50 m²
 Lunghezza superficie vetrata (L_g): 53.40 m
 Trasmittanza lineica vetro (Ψ_g): 0.00 W/mK
 Emissività del vetro ε: 0.837
 Trasmittanza termica vetro U_g: 5.62 W/m²K

DATI TELAIO :

Materiale del telaio : Alluminio
 Tipo di telaio : Senza taglio termico
 Area sup. telaio (A_f): 2.50 m²
 Trasmittanza termica telaio (U_f): 5.90 W/m²K

Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali a montanti e traversi, verso esterno 9

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Emissività normale interna ε _{ni} [-]	Emissività normale esterna ε _{ne} [-]	Densità ρ [Kg/m ³]	Viscosità dinamica μ [10 ⁻⁵ Kg/(ms)]	Capacità termica specifica c [J/(kgK)]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	7.690	-	-	-	-	-
A	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
B	Aria	12.0	0.025	0.00	0.00	1	1.8	1.01
C	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	25.000	-	-	-	-	-
	TOTALE	20.0						



DATI STRUTTURA :

Tipologia: Serramento
 Verso: Esterno
 Larghezza: 5.30 m
 Altezza: 4.15 m
 Schermatura: assente
 Area totale del serramento (A_w): 22.00 m²
 Trasmittanza termica del serramento U_w: 2.52 W/m²K

DATI VETRATA :

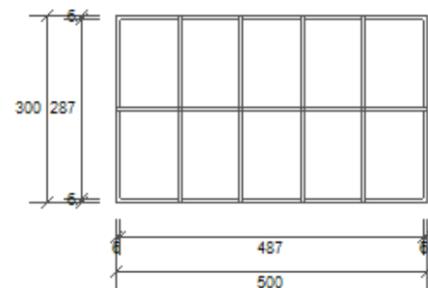
Tipo di vetro : Doppio
 Area superficie vetro (A_g): 19.50 m²
 Lunghezza superficie vetrata (L_g): 53.40 m
 Trasmittanza lineica vetro (Ψ_g): 0.08 W/mK
 Emissività del vetro ε: 0.837
 Trasmittanza termica vetro U_g: 2.10 W/m²K

DATI TELAIO :

Materiale del telaio : Alluminio
 Tipo di telaio : Con taglio termico
 Area superficie telaio (A_f): 2.50 m²
 Trasmittanza termica telaio (U_f): 4.08 W/m²K

12 Chiusura verticale trasparente: infissi esterni verticali verso esterno

STRATIGRAFIA								
	Strato	Spessore s [mm]	Conducibilità λ [W/(mK)]	Emissività normale interna ε _{ni} [-]	Emissività normale esterna ε _{ne} [-]	Densità ρ [Kg/m ³]	Viscosità dinamica μ [10 ⁻⁵ Kg/(ms)]	Capacità termica specifica c [J/(kgK)]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	7.690	-	-	-	-	-
A	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
B	Aria	12.0	0.025	0.00	0.00	1	1.8	1.01
C	Vetro	4.0	1.000	0.89	0.89	2,500	0.0	0.84
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	25.000	-	-	-	-	-
	TOTALE	20.0						



DATI STRUTTURA :

Tipologia: Serramento
 Verso: Esterno
 Larghezza: 5.00 m
 Altezza: 3.00 m
 Schermatura: Sistema di veneziane su lato interno
 Area totale del serramento (A_w): 15.00 m²
 Trasmittanza termica del serramento U_w: 3.27 W/m²K

DATI VETRATA :

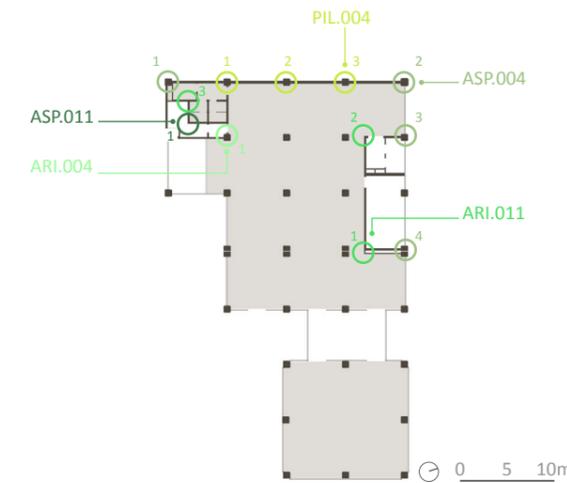
Tipo di vetro : Doppio
 Area superficie vetro (A_g): 12.93 m²
 Lunghezza superficie vetrata (L_g): 46.49 m
 Trasmittanza lineica vetro (Ψ_g): 0.08 W/mK
 Emissività del vetro ε: 0.837
 Trasmittanza termica vetro U_g: 2.85 W/m²K

DATI TELAIO :

Materiale del telaio : Alluminio
 Tipo di telaio : Con taglio termico
 Area superficie telaio (A_t): 2.07 m²
 Trasmittanza termica telaio (U_t): 4.08 W/m²K

3.5.5 Ponti Termici

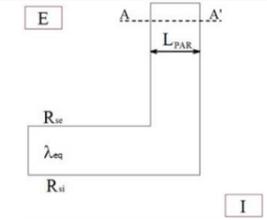
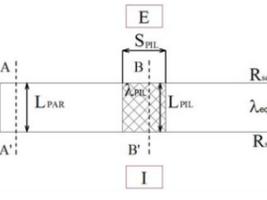
Involucro opaco: Piano Terra



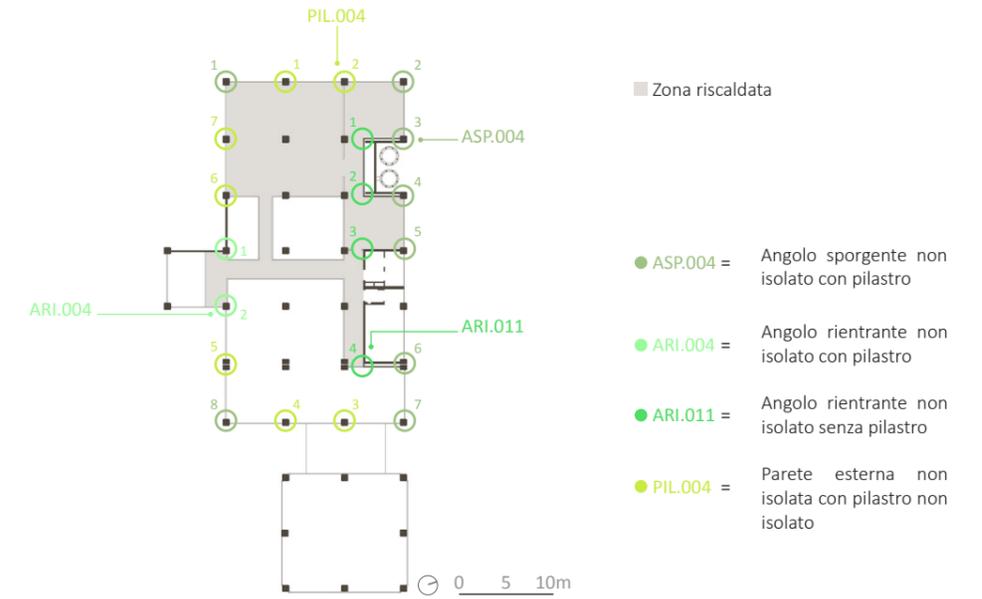
■ Zona riscaldata

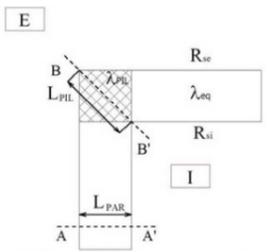
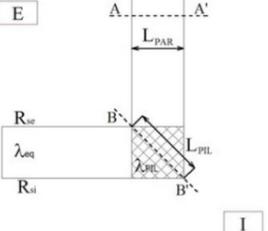
- ASP.004 = Angolo sporgente non isolato con pilastro
- ASP.011 = Angolo sporgente non isolato senza pilastro
- ARI.004 = Angolo rientrante non isolato con pilastro
- ARI.011 = Angolo rientrante non isolato senza pilastro
- PIL.004 = Parete esterna non isolata con pilastro non isolato

TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABACO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
ANGOLO SPORGENTE	ASP.004	1,2	Angolo sporgente tra parete in blocchi semipieni e pilastro in cls armato		- 1.80
		3,4	Angolo sporgente tra parete in blocchi di cls e pilastro in cls armato		- 0.05
		1,2,3,4	Angolo sporgente tra trave di bordo in cls armato e pilastro in cls armato		- 1.42
ANGOLO SPORGENTE	ASP.011	1	Angolo sporgente parete in mattoni forati		- 0.46
ANGOLO RIENTRANTE	ARI.004	1	Angolo rientrante tra parete in mattoni forati e pilastro in cls armato		0.53
		1	Angolo rientrante tra trave di bordo in cls armato e pilastro in cls armato		0.79

TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABACO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
ANGOLO RIENTRANTE	ARI.011	1,2	Angolo rientrante parete in blocchi di cls armato		0.46
		3	Angolo rientrante parete in mattoni forati		0.25
PARETE CON PILASTRO	PIL.004	1,2,3	Parete in blocchi semipieni con pilastro in cls armato		1.41
		1,2,3	Trave di bordo in cls armato con pilastro in cls armato		0.56

Involucro opaco: Piano Primo



TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABACO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
ANGOLO SPORGENTE	ASP.004	1,2,3,4 5,6,7,8	Angolo sporgente tra trave di bordo in cls armato e pilastro in cls armato		- 1.42
		3,4	Angolo sporgente tra parete in blocchi forati e pilastro in cls armato		- 1.38
		5,6	Angolo sporgente tra parete in blocchi di cls armato e pilastro in cls armato		- 0.05
ANGOLO RIENTRANTE	ARI.004	1,2	Angolo rientrante tra trave di bordo in cls armato e pilastro in cls armato		0.79
		1	Angolo rientrante tra parete in blocchi di cls armato e pilastro in cls armato		0.78

TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABACO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
ANGOLO RIENTRANTE	ARI.011	1,2	Angolo rientrante parete in blocchi semipieni		0.46
		3,4	Angolo rientrante parete in blocchi di cls armato		0.46
PARETE CON PILASTRO	PIL.004	1,2,3,4 5,6,7	Trave di bordo in cls armato con pilastro in cls armato		0.56
		6	Parete in blocchi semipieni con pilastro in cls armato		1.40

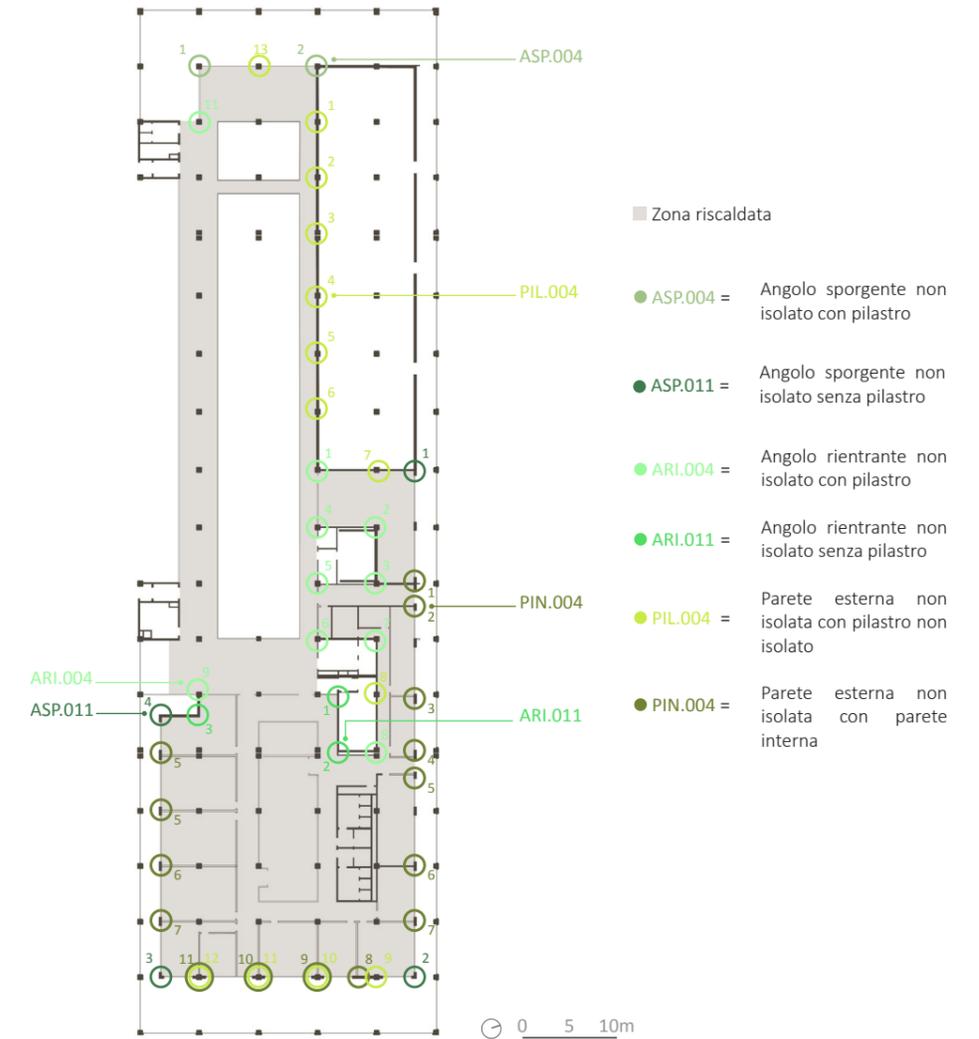
Involucro opaco: Piano Tipo



TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABACO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
ANGOLO SPORGENTE	ASP.004	1,2,3 4,5,6	Angolo sporgente tra trave di bordo in cls armato e pilastro in cls armato		- 1.42
		5,6	Angolo sporgente tra parete in blocchi semipieni e pilastro in cls armato		- 1.38

TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABACO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
ANGOLO SPORGENTE	ASP.002	1,2,3,4	Angolo sporgente elemento sottofinestra e pilastro in cls armato		- 0.18
ANGOLO RIENTRANTE	ARI.004	1,2,3 4,5,6	Angolo rientrante tra trave di bordo in cls armato e pilastro in cls armato		0.79
		1,2,3,4	Angolo rientrante tra parete in blocchi semipieni e pilastro in cls armato		0.78
		5,6	Angolo rientrante tra parete in blocchi di cls armato e pilastro in cls armato		0.78
	ARI.011	1,2,3 4,5,6	Angolo rientrante parete in blocchi semipieni		0.46
7,8		Angolo rientrante parete in blocchi di cls armato	0.46		
PARETE CON PILASTRO	PIL.002	1 - 32	Elemento sottofinestra con pilastro in cls armato		1.32
		1 - 33	Trave di bordo in cls armato con pilastro in cls armato		0.56
	PIL.004	33	Parete in blocchi di cls armato con pilastro in cls armato		1.29
PARETE ESTERNA CON PARETE INTERNA	PIN.004	1 - 13	Parete in getto di cls armato con parete interna 10 cm		0.00

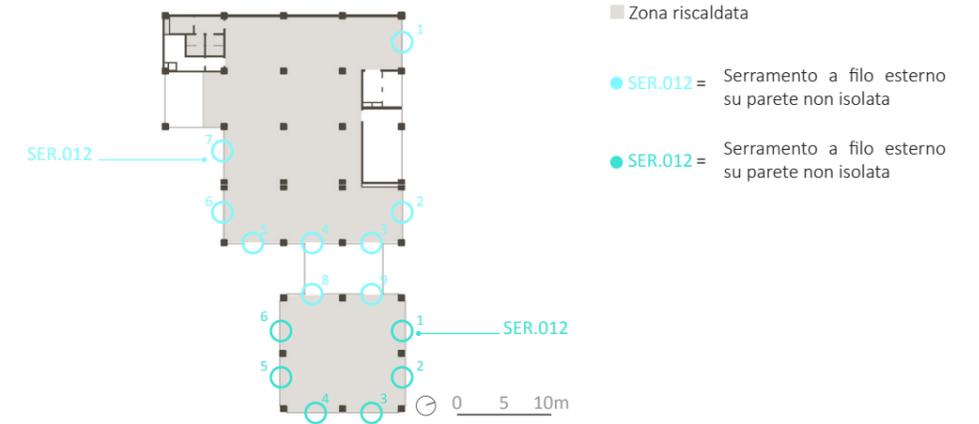
Involucro opaco: Piano Quinto



TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABACO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
ANGOLO SPORGENTE	ASP.004	1,2	Angolo sporgente tra trave di bordo in cls armato e pilastro in cls armato		- 1.42
		2	Angolo sporgente tra parete in blocchi di cls e pilastro in cls armato		- 0.05

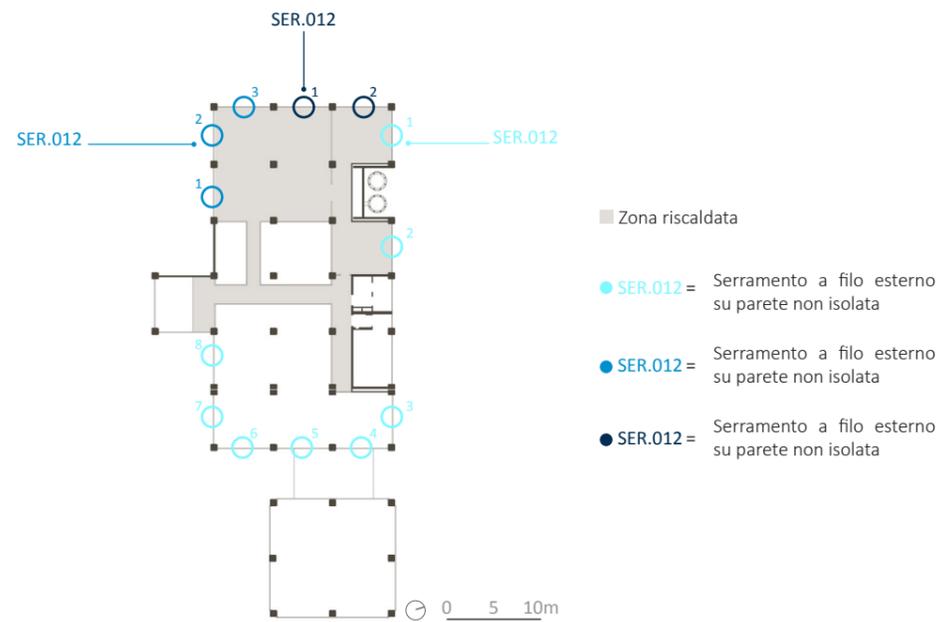
TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABCO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
ANGOLO SPORGENTE	ASP.011	1	Angolo sporgente parete in blocchi di cls armato		- 2.28
		2,3,4	Angolo sporgente parete in blocchi semipieni		- 0.51
ANGOLO RIENTRANTE	ARI.004	1 - 10	Angolo rientrante tra trave di bordo in cls armato e pilastro in cls armato		0.79
		1	Angolo rientrante tra parete in blocchi di cls armato e pilastro in cls armato		0
		2,3,4,5	Angolo rientrante tra parete in blocchi semipieni e pilastro in cls armato		0.45
		6,7,8	Angolo rientrante tra parete in blocchi di cls armato e pilastro in cls armato		0.78
		9	Angolo rientrante tra parete in blocchi semipieni e pilastro in cls armato		0.78
ANGOLO RIENTRANTE	ARI.011	1,2	Angolo rientrante parete in blocchi di cls armato		0.46
		3	Angolo rientrante parete in blocchi semipieni		0.46
PARETE CON PILASTRO	PIL.004	1 - 13	Trave di bordo in cls armato con pilastro in cls armato		0.22
		1 - 7	Parete in blocchi di cls armato con pilastro in cls armato		1.14
		8	Parete in blocchi di cls armato con pilastro in cls armato		1.11
		9 - 12	Parete in blocchi semipieni con pilastro in cls armato		1.01
PARETE ESTERNA CON PARETE INTERNA	PIN.004	1 - 13	Parete in blocchi semipieni con parete interna 16 cm		0.00

Involucro trasparente: Piano Terra



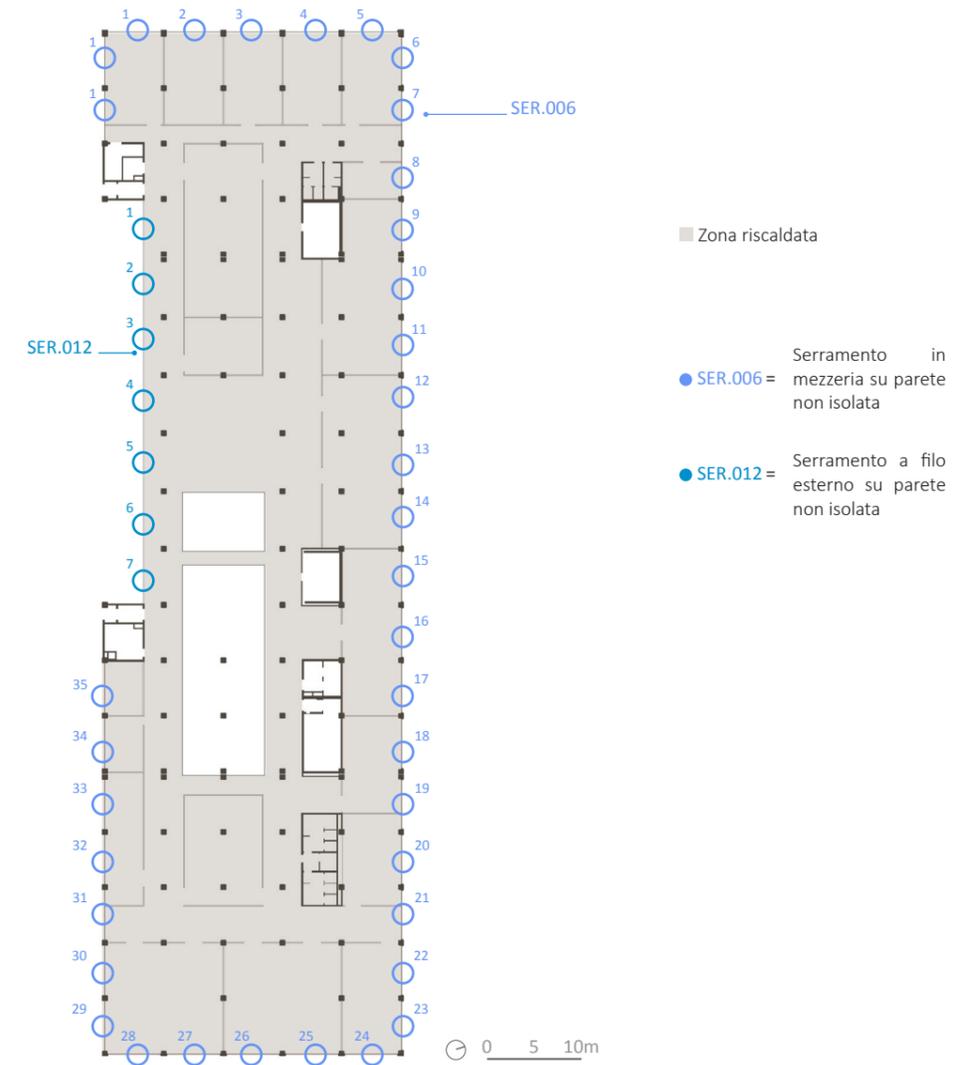
TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABCO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
PARETE CON SERRAMENTO	SER.012	1 - 9	Parete in cls armato con vetrate strutturali poste su filo esterno		0.46
		1,2,3 4,5,6	Parete in cls armato con vetrate strutturali poste su filo esterno		0.46

Involucro trasparente: Piano Primo



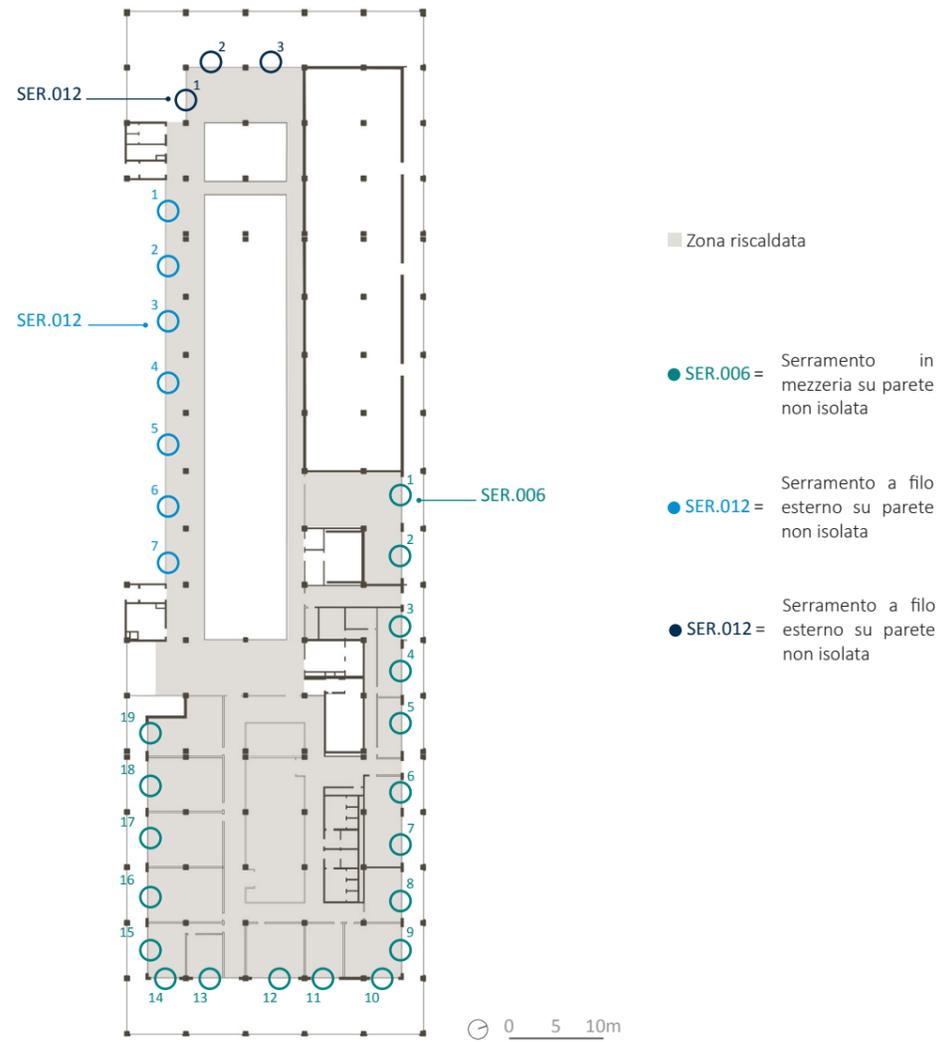
TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABCO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
PARETE CON SERRAMENTO	SER.012	1,2,3,4 5,6,7,8	Parete in cls armato con vetrate strutturali poste su filo esterno		0.46
		1,2,3	Parete in cls armato con vetrate a montanti e traversi e vetro singolo, poste su filo esterno		- 0.28
		1,2	Parete in cls armato con vetrate a montanti e traversi e vetro doppio, poste su filo esterno		0.54

Involucro trasparente: Piano Tipo



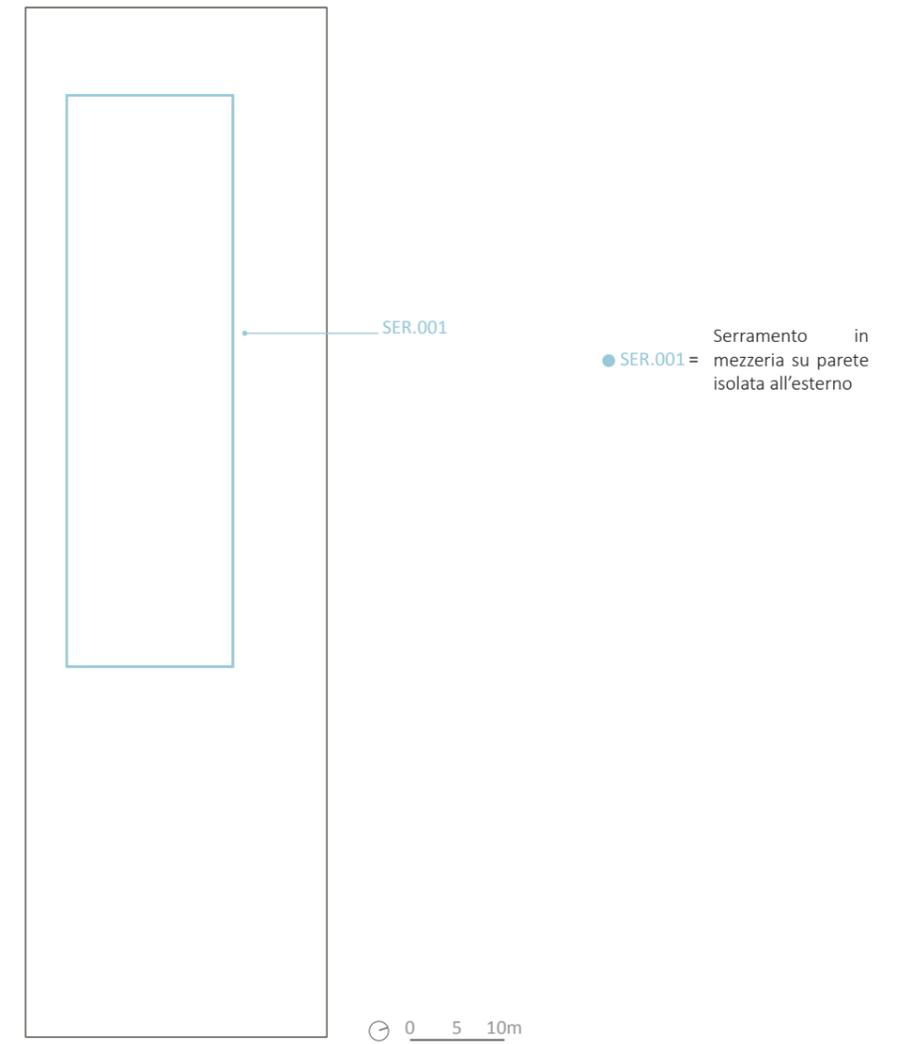
TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABCO CENED REGIONE LOMBARDIA	ψ (W/mK)
PARETE CON SERRAMENTO	SER.006	1 - 35	Parete in cls armato con serramenti esterni posti in mezzeria		0.39
	SER.012	1,2,3,4 5,6,7	Parete in cls armato con vetrate a montanti e traversi e vetro singolo, poste su filo esterno		- 0.28

Involucro trasparente: Piano Quinto



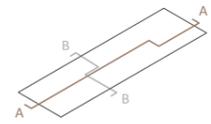
TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABCO CENED REGIONE LOMBARDBIA	ψ (W/mK)
PARETE CON SERRAMENTO	SER.006	1 - 19	Parete in blocchi semipieni con serramenti esterni posti in mezzeria		0.39
	SER.012	1 - 7	Parete in cls armato con vetrate a montanti e traversi e vetro singolo, poste su filo esterno		- 0.28
		1,2,3	Parete in cls armato con vetrate a montanti e traversi e vetro doppio, poste su filo esterno		0.54

Involucro trasparente: Copertura



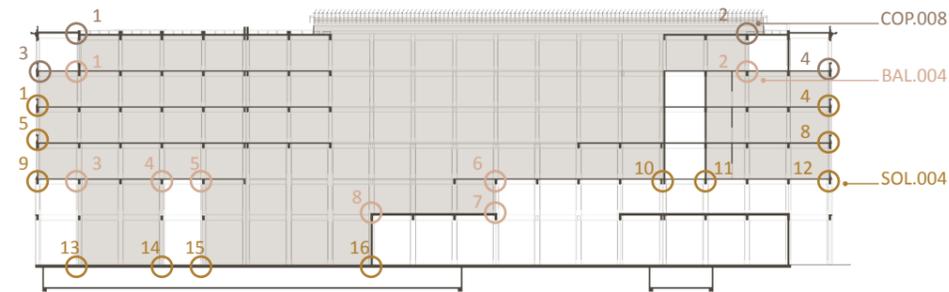
TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABCO CENED REGIONE LOMBARDBIA	ψ (W/mK)
PARETE CON SERRAMENTO	SER.001	1 - 130	Parete in cls isolata all'esterno con serramenti posti in mezzeria		0.70

Solai: Sezione A-A



■ Zona riscaldata

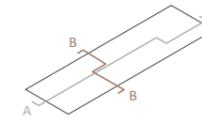
- SOL.004 = Parete non isolata con solaio e trave non isolata
- BAL.004 = Parete esterna non isolata con balcone non isolato
- COP.008 = Parete non isolata con copertura isolata e trave non isolata



TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABCO CENED REGIONE LOMBARDBIA	ψ (W/mK)
PARETE VERTICALE CON SOLAIO	SOL.004	1,4,5 8,9,12 13,14	Struttura a telaio in cls con soletta non isolata in cls		- 0.20
		15	Struttura a telaio in cls con soletta isolata in cls		- 0.34
		16	Parete in blocchi semipieni con soletta isolata in cls		0.59
		10,11	Parete in blocchi forati con soletta non isolata in cls		0.61
PARETE VERTICALE CON BALCONE	BAL.004	1,8	Parete in blocchi semipieni con soletta isolata in cls		- 0.34
		2 - 7	Struttura a telaio in cls con soletta non isolata in cls		- 0.31

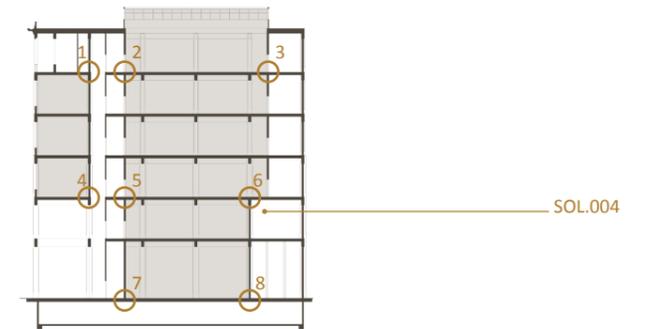
TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABCO CENED REGIONE LOMBARDBIA	ψ (W/mK)
PARETE VERTICALE CON COPERTURA PIANA	COP.008	1,2,3,4	Struttura a telaio in cls con soletta in cls isolata		$\psi_E = - 1.10$ $\psi_I = 0.34$

Solai: Sezione A-A



■ Zona riscaldata

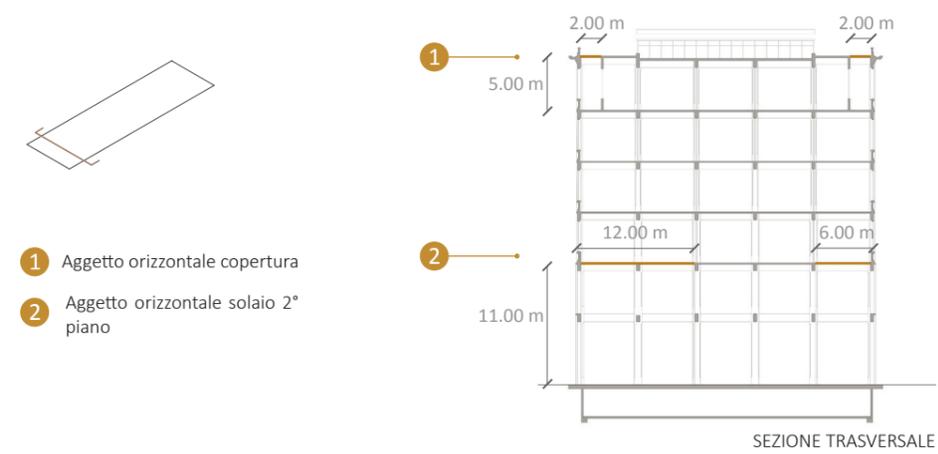
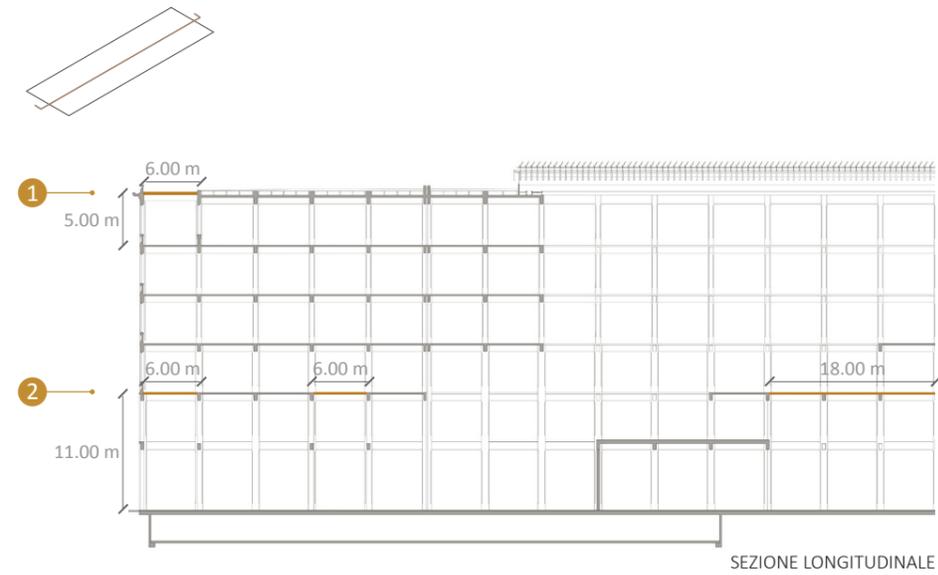
- SOL.004 = Parete non isolata con solaio e trave non isolata



TIPO	CODICE	NODO	NOTE	DA ABCO CENED REGIONE LOMBARDBIA	ψ (W/mK)
PARETE VERTICALE CON SOLAIO	SOL.004	1 - 6	Parete in blocchi di cls con soletta non isolata in cls		0.53
		7	Parete in blocchi di cls con soletta isolata in cls		0.53
		8	Parete in mattoni forati con soletta isolata in cls		0.61

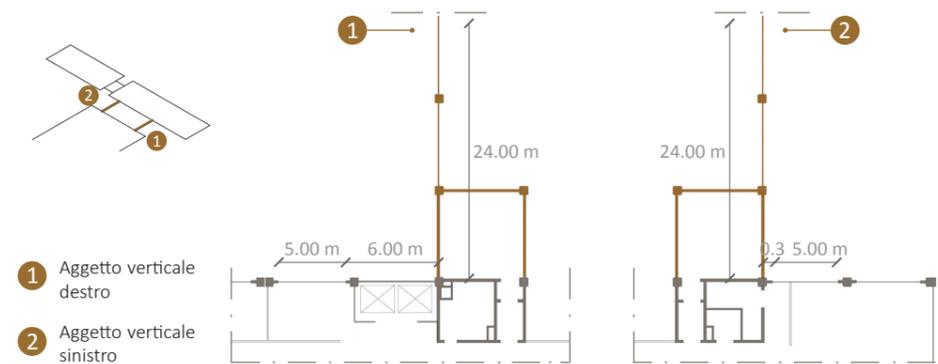
3.5.6 Analisi degli aggetti e delle ostruzioni

Aggetti orizzontali



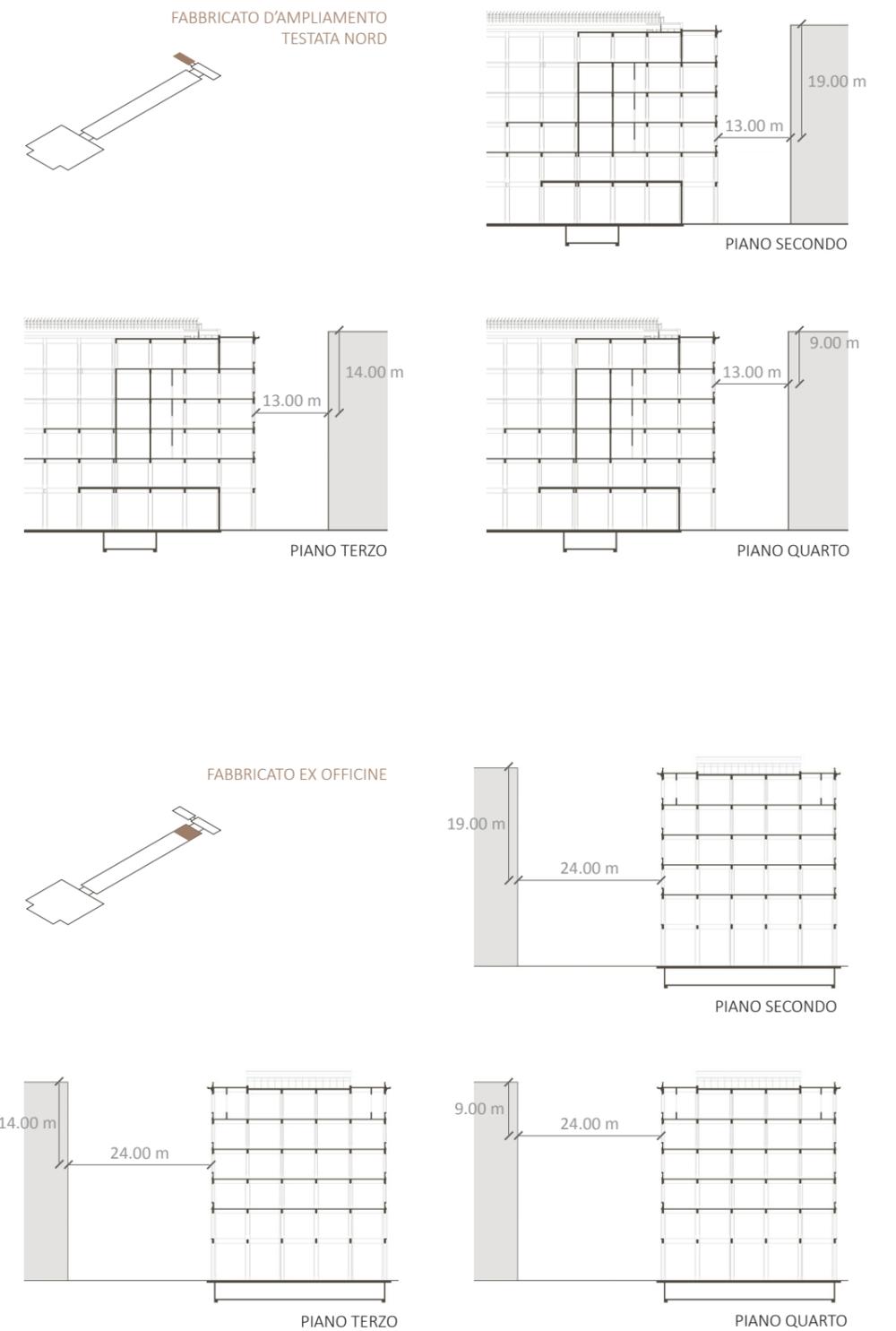
- 1 Aggetto orizzontale copertura
- 2 Aggetto orizzontale solaio 2° piano

Aggetti verticali



- 1 Aggetto verticale destro
- 2 Aggetto verticale sinistro

Ostruzioni esterne



3.5.6 Elaborazione dei risultati

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Atrio Piano Terra"

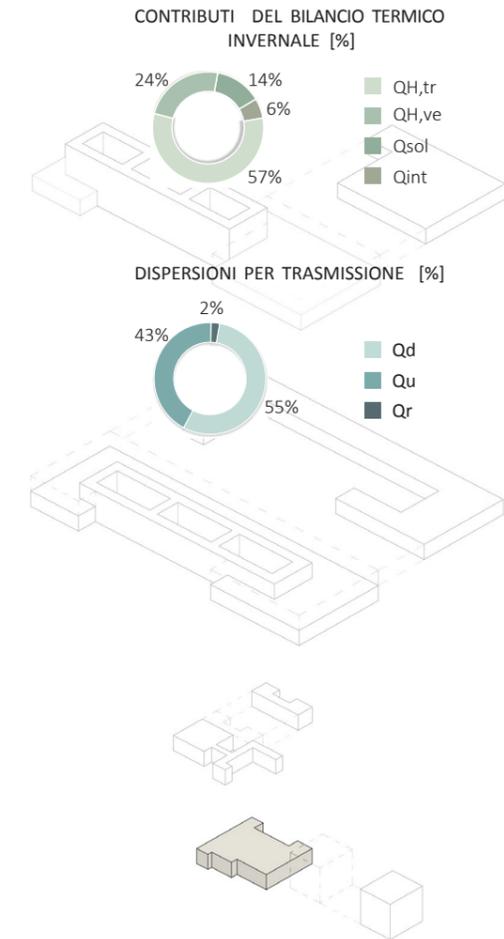
Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_d + Q_g + Q_u + Q_s$ [kWh]	Q_r [kWh]	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]
Gennaio	31	18.80	16 385.29	318.48	16 703.77	6 932.77	23 574.37
Febbraio	28	16.90	13 303.91	298.65	13 602.56	5 629.01	19 150.26
Marzo	31	11.70	10 197.23	316.38	10 513.61	4 314.54	14 707.44
Aprile	15	8.97	3 783.25	192.74	3 975.99	1 600.73	5 502.94
Ottobre	17	9.12	4 358.61	160.97	4 519.58	1 844.17	6 308.90
Novembre	30	13.20	11 133.45	245.47	11 378.92	4 710.67	16 029.96
Dicembre	31	17.40	15 165.11	293.01	15 458.12	6 416.50	21 818.89

PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	γ_H [-]	a_H [-]	$\eta_{H,gn}$ [-]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Gennaio	31	18.80	2 813.99	62.15	1 297.36	4 111.34	23 574.37	0.17	2.43	0.99	19 511.54
Febbraio	28	16.90	3 013.95	81.31	1 171.81	4 185.75	19 150.26	0.22	2.43	0.98	15 045.73
Marzo	31	11.70	3 392.75	120.71	1 297.36	4 690.11	14 707.44	0.32	2.43	0.96	10 219.17
Aprile	15	8.97	1 466.78	73.78	627.75	2 094.53	5 502.94	0.38	2.43	0.94	3 536.66
Ottobre	17	9.12	1 869.45	54.85	711.45	2 580.90	6 308.90	0.41	2.43	0.93	3 909.62
Novembre	30	13.20	2 425.41	59.63	1 255.51	3 680.92	16 029.96	0.23	2.43	0.98	12 428.52
Dicembre	31	17.40	2 690.13	55.73	1 297.36	3 987.49	21 818.89	0.18	2.43	0.99	17 883.62

TOTALE	183	-	17 672.45	508.16	7 658.59	25 331.04	107 092.76	-	-	-	82 534.86
--------	-----	---	-----------	--------	----------	-----------	------------	---	---	---	-----------

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H_d [W/K]	H_g [W/K]	H_u [W/K]	H_a [W/K]	H_v [W/K]
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65



LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $\Delta\theta$ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- $Q_d + Q_g + Q_u + Q_s$ = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

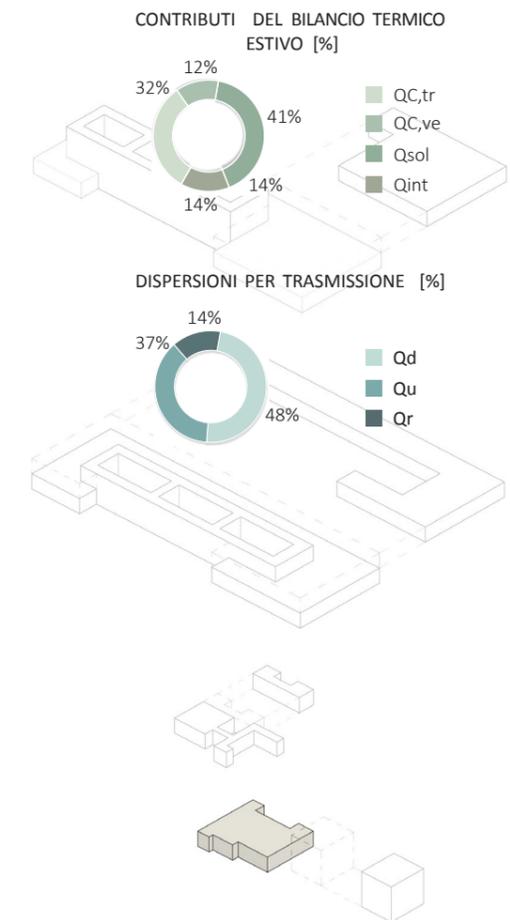
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- $Q_{H,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti- dispersioni
- $\eta_{H,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Atrio Piano Terra"

Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ [kWh]	Q_r [kWh]	$Q_{c,tr}$ [kWh]	$Q_{c,ve}$ [kWh]	$Q_{c,ht}$ [kWh]
Giugno	22	3.90	2 273.08	318.25	2 591.33	961.76	3 393.85
Luglio	31	2.40	2 091.74	508.42	2 600.16	885.03	3 253.72
Agosto	28	2.40	2 651.13	332.91	2 984.04	1 121.72	3 934.74

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H_d [W/K]	H_g [W/K]	H_u [W/K]	H_a [W/K]	H_v [W/K]
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65
660.90	0.00	981.03	111.82	495.65



PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{c,ht}$ [kWh]	γ_c [-]	a_c [-]	$\eta_{c,gn}$ [-]	$Q_{c,nd}$ [kWh]
Giugno	22	3.90	2 560.04	159.24	920.71	3 480.75	3 393.85	1.03	3.04	0.76	894.29
Luglio	31	2.40	3 662.36	231.47	1 297.36	4 959.72	3 253.72	1.52	3.04	0.88	2 085.26
Agosto	28	2.40	3 019.62	171.02	1 171.81	4 191.42	3 934.74	1.07	3.04	0.78	1 138.38
TOTALE	81	-	17 672.45	561.74	3 389.87	25 331.04	10 582.31	-	-	-	4 117.93

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $\Delta\theta$ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- $Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

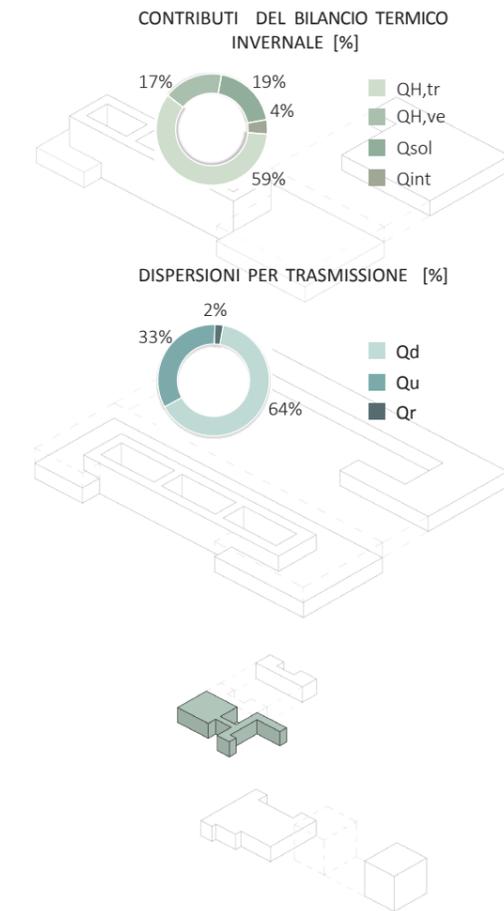
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- $Q_{c,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- $Q_{c,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- $Q_{c,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- $Q_{c,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- $\eta_{c,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Atrio Piano Primo"

Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _s [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	12 393.31	238.14	12 631.45	3 687.44	16 274.38
Febbraio	28	16.90	10 062.65	223.33	10 285.98	2 993.99	13 233.51
Marzo	31	11.70	7 712.86	236.59	7 949.45	2 294.84	10 191.28
Aprile	15	8.97	2 861.53	144.13	3 005.66	851.40	3 832.90
Ottobre	17	9.12	3 296.71	120.38	3 417.09	980.89	4 368.74
Novembre	30	13.20	8 420.99	183.56	8 604.55	2 505.53	11 072.40
Dicembre	31	17.40	11 470.40	219.11	11 689.51	3 412.84	15 059.74

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _a [W/K]	H _v [W/K]
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63



PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]	γ _H [-]	a _H [-]	η _{H,gn} [-]	Q _{H,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	3 037.79	44.52	690.05	3 727.83	16 274.38	0.23	1.91	0.95	12 720.38
Febbraio	28	16.90	3 121.53	46.46	623.27	3 744.80	13 233.51	0.28	1.91	0.93	9 734.97
Marzo	31	11.70	3 424.77	53.00	690.05	4 114.81	10 191.28	0.40	1.91	0.89	6 542.53
Aprile	15	8.97	1 497.37	24.17	333.89	1 831.26	3 832.90	0.48	1.91	0.86	2 265.09
Ottobre	17	9.12	1 935.24	29.23	378.41	2 313.65	4 368.74	0.53	1.91	0.83	2 437.81
Novembre	30	13.20	2 567.57	37.69	667.79	3 235.36	11 072.40	0.29	1.91	0.93	8 060.91
Dicembre	31	17.40	2 921.84	42.61	690.05	3 611.89	15 059.74	0.24	1.91	0.95	11 629.56

TOTALE	183	-	18 506.12	277.67	4 073.49	22 579.61	74 032.95	-	-	-	53 391.24
--------	-----	---	-----------	--------	----------	-----------	-----------	---	---	---	-----------

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_s = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extrafflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti - dispersioni
- η_{H,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Atrio Piano Primo"

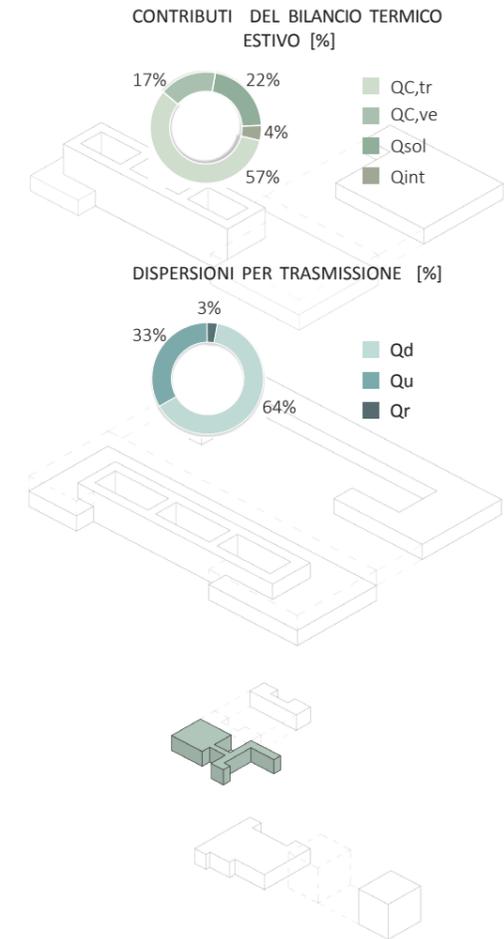
Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _s [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	16 308.22	238.14	16 546.36	4 852.26	21 354.10
Febbraio	28	16.90	13 635.19	223.33	13 858.52	4 056.94	17 869.01
Marzo	31	11.70	11 668.17	236.59	11 904.76	3 471.68	15 323.44
Aprile	30	8.97	8 995.14	288.26	9 283.40	2 676.37	11 911.43
Maggio	31	8.00	5 273.75	299.80	5 573.55	1 569.12	7 084.92
Giugno	30	3.90	2 488.02	324.53	2 812.55	740.27	3 492.60
Luglio	31	2.40	1 582.12	380.20	1 962.32	470.74	2 368.40
Agosto	31	2.40	2 241.34	275.63	2 516.97	666.88	3 125.82
Settembre	30	6.90	4 401.88	244.22	4 646.10	1 309.71	5 903.93
Ottobre	31	9.12	9 031.29	219.51	9 250.80	2 687.12	11 884.63
Novembre	30	13.20	12 248.71	183.56	12 432.27	3 644.41	16 039.00
Dicembre	31	17.40	15 425.71	219.11	15 644.82	4 589.68	20 191.90

PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]	γ _c [-]	a _c [-]	η _{c,gn} [-]	Q _{c,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	3 037.79	44.52	690.05	3,727.83	21 354.10	0.17	0.00	0.00	3 727.83
Febbraio	28	16.90	3 121.53	46.46	623.27	3,744.80	17 869.01	0.21	0.00	0.00	3 744.80
Marzo	31	11.70	3 424.77	53.00	690.05	4,114.81	15 323.44	0.27	0.00	0.00	4 114.81
Aprile	30	8.97	2 994.74	48.34	667.79	3,662.53	11 911.43	0.31	0.00	0.00	3 662.53
Maggio	31	8.00	3 464.05	57.74	690.05	4,154.10	7 084.92	0.59	0.00	0.00	4 154.10
Giugno	30	3.90	3 558.79	60.23	667.79	4,226.58	3 492.60	1.21	0.00	0.00	4 226.58
Luglio	31	2.40	3 804.40	64.66	690.05	4,494.45	2 368.40	1.90	0.00	0.00	4 494.45
Agosto	31	2.40	3 502.82	58.02	690.05	4,192.86	3 125.82	1.34	0.00	0.00	4 192.86
Settembre	30	6.90	3 279.73	51.88	667.79	3,947.52	5 903.93	0.67	0.00	0.00	3 947.52
Ottobre	31	9.12	3 528.97	53.30	690.05	4,219.02	11 884.63	0.35	0.00	0.00	4 219.02
Novembre	30	13.20	2 567.57	37.69	667.79	3,235.36	16 039.00	0.20	0.00	0.00	3 235.36
Dicembre	31	17.40	2 921.84	42.61	690.05	3,611.89	20 191.90	0.18	0.00	0.00	3 611.89

TOTALE	365	-	39 207.01	618.45	8 124.72	47 331.73	136 549.18	-	-	-	47 331.73
--------	-----	---	-----------	--------	----------	-----------	------------	---	---	---	-----------

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _s [W/K]	H _v [W/K]
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63
583.71	0.00	602.23	121.84	263.63



LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_s = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_s = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- η_{c,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

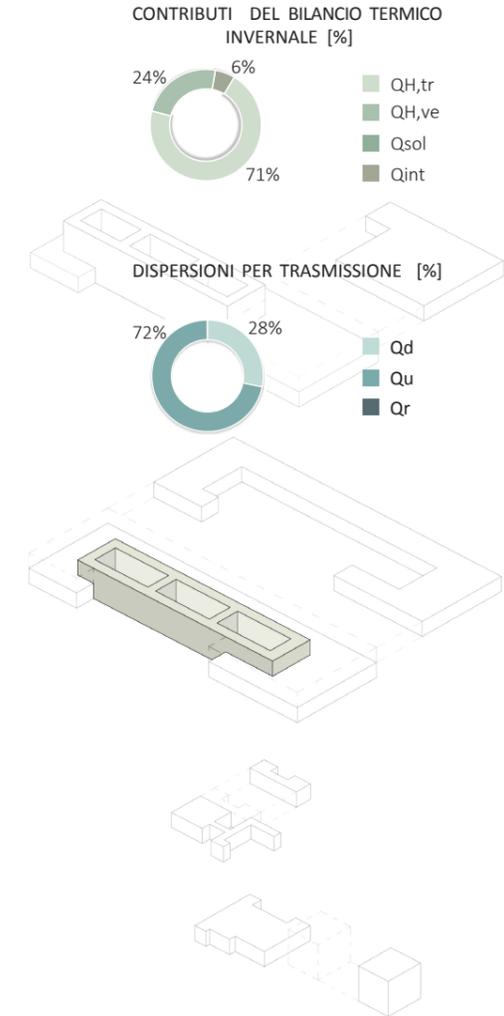
Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Atrio Piani 2-3"

Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _a [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	40 742.31	0.00	40 742.31	13 676.62	54 418.93
Febbraio	28	16.90	33 080.41	0.00	33 080.41	11 104.62	44 185.03
Marzo	31	11.70	25 355.59	0.00	25 355.59	8 511.51	33 867.10
Aprile	15	8.97	9 407.12	0.00	9 407.12	3 157.84	12 564.96
Ottobre	17	9.12	10 837.75	0.00	10 837.75	3 638.08	14 475.83
Novembre	30	13.20	27 683.52	0.00	27 683.52	9 292.97	36 976.49
Dicembre	31	17.40	37 708.31	0.00	37 708.31	12 658.15	50 366.46

PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]	γ _H [-]	a _H [-]	η _{H,gn} [-]	Q _{H,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	54 418.93	0.05	1.86	1.00	51 867.84
Febbraio	28	16.90	0.00	0.00	2 311.68	2 311.68	44 185.03	0.05	1.86	1.00	41 882.41
Marzo	31	11.70	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	33 867.10	0.08	1.86	0.99	31 327.14
Aprile	15	8.97	0.00	0.00	1 238.40	1 238.40	12 564.96	0.10	1.86	0.99	11 341.57
Ottobre	17	9.12	0.00	0.00	1 403.52	1 403.52	14 475.83	0.10	1.86	0.99	13 088.84
Novembre	30	13.20	0.00	0.00	2 476.80	2 476.80	36 976.49	0.07	1.86	0.99	34 514.82
Dicembre	31	17.40	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	50 366.46	0.05	1.86	1.00	47 816.61

TOTALE	183	-	0.00	0.00	15 108.48	15 108.48	246 854.79	-	-	-	231 839.25
--------	-----	---	------	------	-----------	-----------	------------	---	---	---	------------



COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _a [W/K]	H _v [W/K]
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.795
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.795
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.795
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.795
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.795
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.795
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.795
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.795

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_a = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti- dispersioni
- η_{H,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Atrio Piani 2-3"

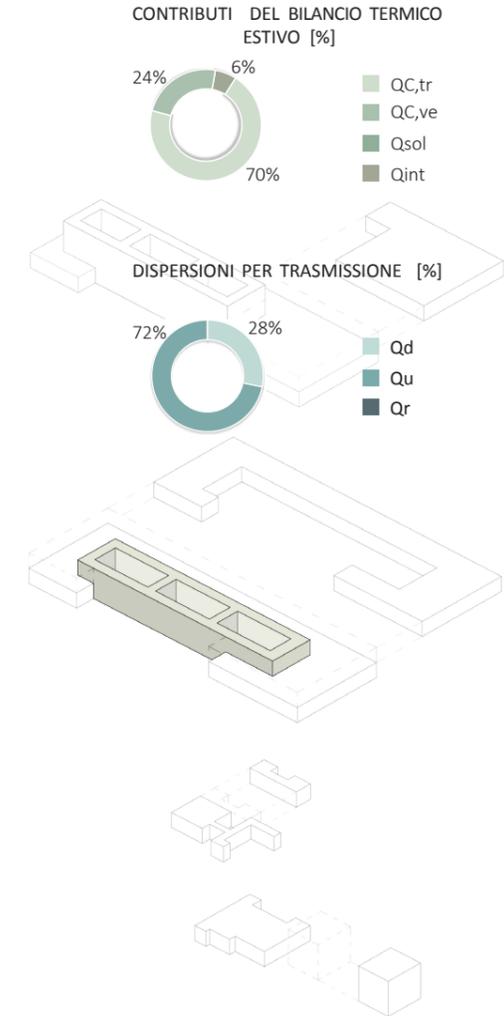
Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _a [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	53 612.35	0.00	53 612.35	17 996.91	71 609.26
Febbraio	28	16.90	44 824.93	0.00	44 824.93	15 047.10	59 872.03
Marzo	31	11.70	38 358.45	0.00	38 358.45	12 876.39	51 234.84
Aprile	30	8.97	29 571.03	0.00	29 571.03	9 926.58	39 497.61
Maggio	31	8.00	17 337.15	0.00	17 337.15	5 819.84	23 156.99
Giugno	30	3.90	8 179.22	0.00	8 179.22	2 745.65	10 924.87
Luglio	31	2.40	5 201.15	0.00	5 201.15	1 745.95	6 947.10
Agosto	31	2.40	7 368.29	0.00	7 368.29	2 473.43	9 841.72
Settembre	30	6.90	14 470.93	0.00	14 470.93	4 857.69	19 328.62
Ottobre	31	9.12	29 689.88	0.00	29 689.88	9 966.47	39 656.35
Novembre	30	13.20	40 266.94	0.00	40 266.94	13 517.04	53 783.98
Dicembre	31	17.40	50 711.17	0.00	50 711.17	17 023.02	67 734.20

PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]	γ _c [-]	a _c [-]	η _{c,gn} [-]	Q _{c,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	71 609.26	0.04	0.00	0.00	2 559.36
Febbraio	28	16.90	0.00	0.00	2 311.68	2 311.68	59 872.03	0.04	0.00	0.00	2 311.68
Marzo	31	11.70	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	51 234.84	0.05	0.00	0.00	2 559.36
Aprile	30	8.97	0.00	0.00	2 476.80	2 476.80	39 497.61	0.06	0.00	0.00	2 476.80
Maggio	31	8.00	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	23 156.99	0.11	0.00	0.00	2 559.36
Giugno	30	3.90	0.00	0.00	2 476.80	2 476.80	10 924.87	0.23	0.00	0.00	2 476.80
Luglio	31	2.40	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	6 947.10	0.37	0.00	0.00	2 559.36
Agosto	31	2.40	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	9 841.72	0.26	0.00	0.00	2 559.36
Settembre	30	6.90	0.00	0.00	2 476.80	2 476.80	19 328.62	0.13	0.00	0.00	2 476.80
Ottobre	31	9.12	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	39 656.35	0.06	0.00	0.00	2 559.36
Novembre	30	13.20	0.00	0.00	2 476.80	2 476.80	53 783.98	0.05	0.00	0.00	2 476.80
Dicembre	31	17.40	0.00	0.00	2 559.36	2 559.36	67 734.20	0.04	0.00	0.00	2 559.36

TOTALE	365	-	0.00	0.00	30 134.40	30 134.40	453 587.56	-	-	-	30 134.40
--------	-----	---	------	------	-----------	-----------	------------	---	---	---	-----------

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _a [W/K]	H _v [W/K]
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80
821.78	0.00	4 195.77	340.78	977.80



LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_a = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

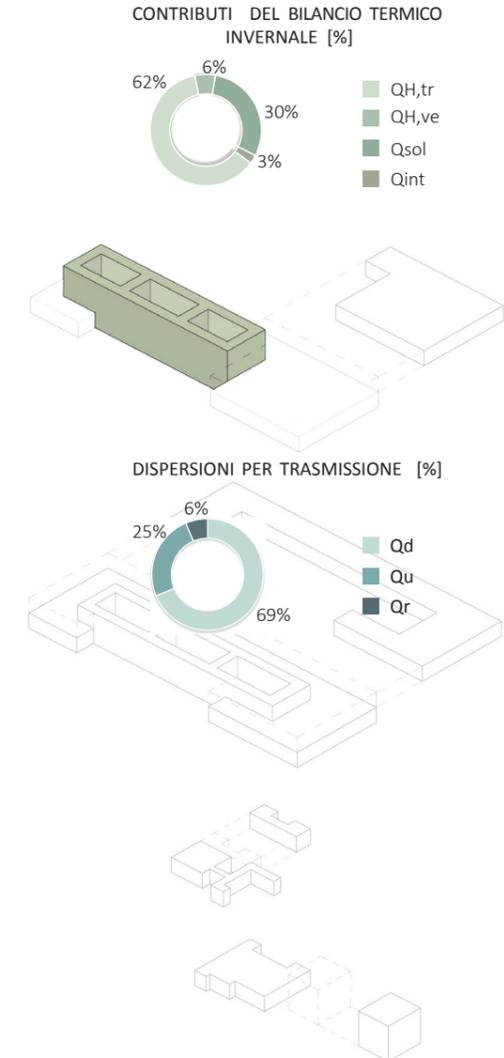
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- η_{c,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Atrio Piani 4-5"

Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _a [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	66 543.91	3 568.62	70112.53	6 826.04	76 812.32
Febbraio	28	16.90	54 029.82	3 346.66	57 376.48	5 542.35	62 748.68
Marzo	31	11.70	41 412.97	3 545.34	44 958.31	4 248.12	48 948.91
Aprile	15	8.97	15 364.53	2 159.81	17 524.34	1 576.09	18 945.09
Ottobre	17	9.12	17 701.16	1 803.87	19 505.03	1 815.78	21 205.37
Novembre	30	13.20	45 215.15	2 750.70	47 965.85	4 638.14	52 483.77
Dicembre	31	17.40	61 588.51	3 283.42	64 871.93	6 317.71	71 077.52

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _a [W/K]	H _v [W/K]
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02



PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]	γ _H [-]	a _H [-]	η _{H,gn} [-]	Q _{H,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	17 677.48	126.26	2 221.64	19 899.12	76 812.32	0.26	1.56	0.91	58 771.33
Febbraio	28	16.90	24 542.25	170.15	2 006.65	26 548.90	62 748.68	0.42	1.56	0.83	40 712.50
Marzo	31	11.70	38 077.93	257.51	2 221.64	40 299.57	48 948.91	0.82	1.56	0.67	22 076.76
Aprile	15	8.97	25 563.46	155.33	1 074.99	26 638.44	18 945.09	1.41	1.56	0.50	5 532.39
Ottobre	17	9.12	16 094.95	115.44	1 218.32	17 313.27	21 205.37	0.82	1.56	0.67	9 618.99
Novembre	30	13.20	17 197.61	120.22	2 149.98	19 347.59	52 483.77	0.37	1.56	0.86	35 936.58
Dicembre	31	17.40	14 834.85	112.13	2 221.64	17 056.49	71 077.52	0.24	1.56	0.92	55 462.80

TOTALE	183	-	153 988.52	1 057.04	13 114.86	167 103.38	352 221.66	-	-	-	228 111.35
--------	-----	---	------------	----------	-----------	------------	------------	---	---	---	------------

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_a = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti- dispersioni
- η_{H,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Atrio Piani 4-5"

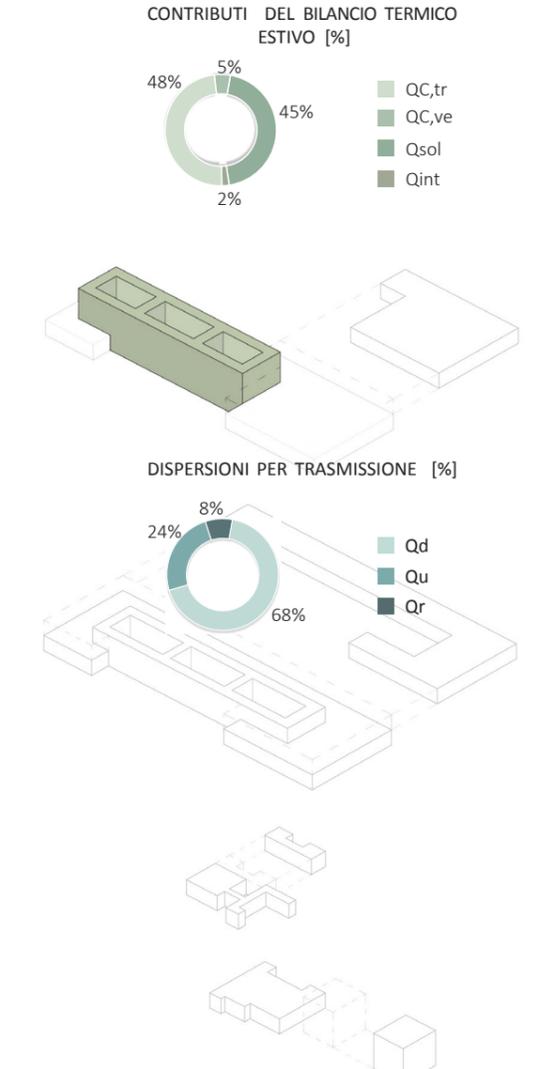
Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _a [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	87 564.39	3 568.62	91 133.01	8 982.31	99 989.06
Febbraio	28	16.90	73 212.00	3 346.66	76 558.66	7 510.05	83 898.57
Marzo	31	11.70	62 650.39	3 545.34	66 195.73	6 426.64	72 364.85
Aprile	30	8.97	48 298.00	4 319.62	52 617.62	4 954.38	57 261.34
Maggio	31	8.00	28 316.56	4 492.49	32 809.05	2 904.70	35 327.57
Giugno	30	3.90	13 359.02	4 863.20	18 222.22	1 370.36	19 164.74
Luglio	31	2.40	8 494.97	5 697.36	14 647.33	871.41	14 600.10
Agosto	31	2.40	12 034.54	4 130.29	16 164.83	1 234.50	17 003.84
Settembre	30	6.90	23 635.19	3 659.69	27 294.88	2 424.48	29 421.40
Ottobre	31	9.12	48 492.11	3 289.41	51 781.52	4 974.29	56 545.30
Novembre	30	13.20	65 767.49	2 750.70	68 518.19	6 746.39	75 144.36
Dicembre	31	17.40	82 825.93	3 283.42	86 109.35	8 496.24	94 493.46

PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]	γ _c [-]	a _c [-]	η _{c,gn} [-]	Q _{c,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	17 677.48	126.26	2 221.64	19 899.12	99 989.06	0.20	0.00	0.00	19 899.12
Febbraio	28	16.90	24 542.25	170.15	2 006.65	26 548.90	83 898.57	0.32	0.00	0.00	26 548.90
Marzo	31	11.70	38 077.93	257.51	2 221.64	40 299.57	72 364.85	0.56	0.00	0.00	40 299.57
Aprile	30	8.97	51 126.91	310.67	2 149.98	53 276.89	57 261.34	0.93	0.00	0.00	53 276.89
Maggio	31	8.00	73 982.20	386.18	2 221.64	76 203.84	35 327.57	2.16	0.00	0.00	76 203.84
Giugno	30	3.90	86 856.95	427.84	2 149.98	89 006.92	19 164.74	4.64	0.00	0.00	89 006.92
Luglio	31	2.40	88 065.45	463.63	2 221.64	90 287.09	14 600.10	6.18	0.00	0.00	90 287.09
Agosto	31	2.40	63 831.32	395.49	2 221.64	66 052.96	17 003.84	3.88	0.00	0.00	66 052.96
Settembre	30	6.90	44 185.27	297.96	2 149.98	46 335.25	29 421.40	1.57	0.00	0.00	46 335.25
Ottobre	31	9.12	29 349.61	210.51	2 221.64	31 571.25	56 545.30	0.56	0.00	0.00	31 571.25
Novembre	30	13.20	17 197.61	120.22	2 149.98	19 347.59	75 144.36	0.26	0.00	0.00	19 347.59
Dicembre	31	17.40	14 834.85	112.13	2 221.64	17 056.49	94 493.46	0.18	0.00	0.00	17 056.49

TOTALE	365	-	549 727.82	3 278.55	26 158.06	575 885.88	655 214.58	-	-	-	575 885.88
--------	-----	---	------------	----------	-----------	------------	------------	---	---	---	------------

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE			VENTILAZIONE	
H _d [W/K]	H _e [W/K]	H _u [W/K]	H _a [W/K]	H _v [W/K]
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02
3 492.74	0.00	2 555.71	0.00	488.02



LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_e = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_a = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

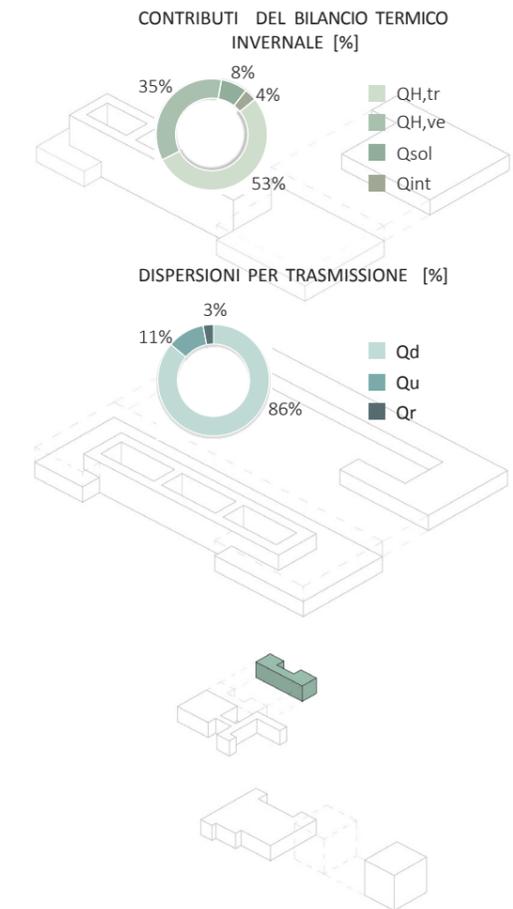
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- η_{c,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Aule Piano Primo"

Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ [kWh]	Q_r [kWh]	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]
Gennaio	31	18.80	4 788.31	117.48	4 905.79	3 260.44	8 161.01
Febbraio	28	16.90	3 887.83	110.18	3 998.01	2 647.29	6 637.74
Marzo	31	11.70	2 979.96	116.72	3 096.68	2 029.10	5 113.76
Aprile	15	8.97	1 105.59	71.10	1 176.69	752.81	1 921.41
Ottobre	17	9.12	1 273.72	59.39	1 333.11	867.30	2 195.09
Novembre	30	13.20	3 253.55	90.56	3 344.11	2 215.40	5 553.82
Dicembre	31	17.40	4 431.73	108.09	4 539.82	3 017.64	7 553.13

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE			VENTILAZIONE	
H_d [W/K]	H_g [W/K]	H_u [W/K]	H_a [W/K]	H_v [W/K]
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10



PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	γ_H [-]	a_H [-]	$\eta_{H,gn}$ [-]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Gennaio	31	18.80	343.13	5.23	257.22	600.34	8 161.01	0.07	1.85	0.99	12 720.38
Febbraio	28	16.90	499.26	7.56	232.32	731.59	6 637.74	0.11	1.85	0.98	5 917.24
Marzo	31	11.70	797.82	12.02	257.22	1 055.04	5 113.76	0.21	1.85	0.96	4 104.58
Aprile	15	8.97	532.38	8.10	124.46	656.84	1 921.41	0.34	1.85	0.90	1 327.02
Ottobre	17	9.12	351.88	5.32	141.05	492.94	2 195.09	0.22	1.85	0.95	1 726.71
Novembre	30	13.20	374.28	5.69	248.92	623.20	5 553.82	0.11	1.85	0.98	4 940.37
Dicembre	31	17.40	285.14	4.34	257.22	542.36	7 553.13	0.07	1.85	0.99	7 014.65

TOTALE	183	-	3 183.90	48.27	1 518.40	4 702.30	37 135.94	-	-	-	32 595.72
--------	-----	---	----------	-------	----------	----------	-----------	---	---	---	-----------

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $\Delta\theta$ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- $Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

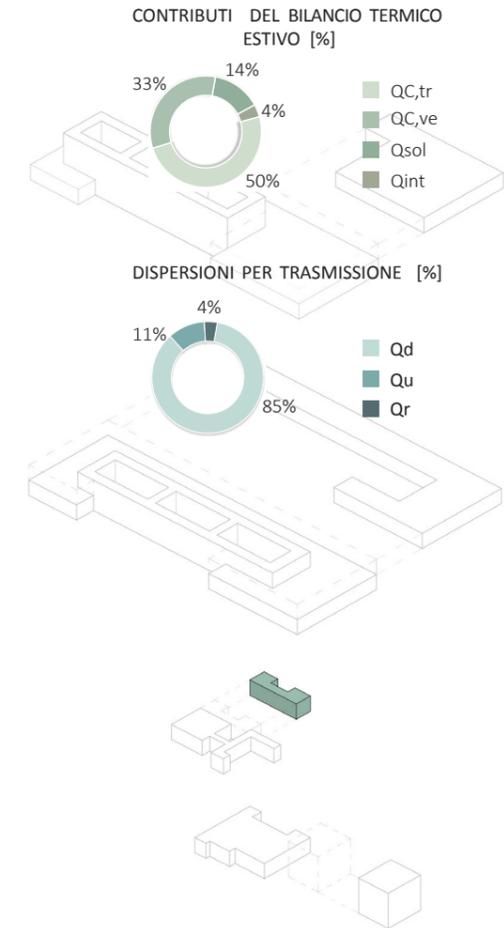
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- $Q_{H,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti- dispersioni
- $\eta_{H,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Aule Piano Primo"

Stagione di Raffrescamento

MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
			Q _d + Q _g + Q _u + Q _v [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	6 300.88	117.48	6 418.36	4 290.38	10 703.52
Febbraio	28	16.90	5 268.13	110.18	5 378.31	3 587.16	8 957.90
Marzo	31	11.70	4 508.14	116.72	4 624.86	3 069.67	7 682.51
Aprile	30	8.97	3 475.39	142.21	3 617.60	2 366.45	5 967.85
Maggio	31	8.00	2 037.58	147.90	2 185.48	1 387.42	3 547.46
Giugno	30	3.90	961.28	160.10	1 121.38	654.55	1 746.18
Luglio	31	2.40	611.27	187.56	798.83	416.23	1 184.04
Agosto	31	2.40	865.97	135.97	1 001.94	589.65	1 569.69
Settembre	30	6.90	1 700.72	120.48	1 821.20	1 158.05	2 964.73
Ottobre	31	9.12	3 489.35	108.29	3 597.64	2 375.96	5 963.89
Novembre	30	13.20	4 732.44	90.56	4 823.00	3 222.40	8 039.71
Dicembre	31	17.40	5 959.92	108.09	6 068.01	4 058.21	10 121.88

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _v [W/K]	H _v [W/K]
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10
303.93	0.00	96.01	39.75	233.10



MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
			Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]	γ _c [-]	a _c [-]	η _{c,gn} [-]	Q _{c,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	343.13	5.23	257.22	600.34	10 703.52	0.06	0.00	0.00	600.34
Febbraio	28	16.90	499.26	7.56	232.32	731.59	8 957.90	0.08	0.00	0.00	731.59
Marzo	31	11.70	797.82	12.02	257.22	1 055.04	7 682.51	0.14	0.00	0.00	1 055.04
Aprile	30	8.97	1 064.76	16.19	248.92	1 313.67	5 967.85	0.22	0.00	0.00	1 313.67
Maggio	31	8.00	1 605.54	25.44	257.22	1 862.76	3 547.46	0.53	0.00	0.00	1 862.76
Giugno	30	3.90	1 826.02	29.75	248.92	2 074.94	1 746.18	1.19	0.00	0.00	2 074.94
Luglio	31	2.40	1 904.56	31.03	257.22	2 161.77	1 184.04	1.83	0.00	0.00	2 161.77
Agosto	31	2.40	1 409.92	21.91	257.22	1 667.14	1 569.69	1.01	0.00	0.00	1 667.14
Settembre	30	6.90	962.77	14.52	248.92	1 211.68	2 964.73	0.41	0.00	0.00	1 211.68
Ottobre	31	9.12	641.67	9.71	257.22	898.89	5 963.89	0.15	0.00	0.00	898.89
Novembre	30	13.20	374.28	5.69	248.92	623.20	8 039.71	0.08	0.00	0.00	623.20
Dicembre	31	17.40	285.14	4.34	257.22	542.36	10 121.88	0.05	0.00	0.00	542.36

TOTALE	365	-	11 714.87	183.39	3 028.51	14 743.38	68 449.36	-	-	-	14 743.38
---------------	------------	----------	------------------	---------------	-----------------	------------------	------------------	----------	----------	----------	------------------

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_v = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_v = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- η_{c,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

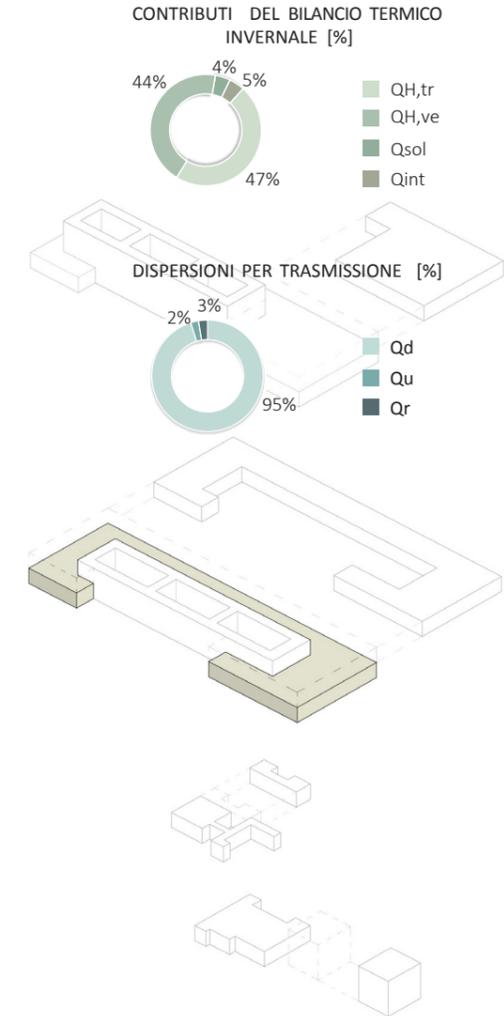
Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Aule Piano Secondo"

Stagione di Riscaldamento

MESE	PARAMETRI		DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ [kWh]	Q_r [kWh]	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]
Gennaio	31	18.80	79 088.01	1 660.70	80 748.71	75 478.31	156 038.79
Febbraio	28	16.90	64 214.90	1 557.41	65 772.31	61 284.03	126 795.86
Marzo	31	11.70	49 219.66	1 649.87	50 869.53	46 973.20	97 421.07
Aprile	15	8.97	18 260.88	1 005.09	19 265.97	17 427.42	36 445.14
Ottobre	17	9.12	21 037.98	839.45	21 877.43	20 077.78	41 782.28
Novembre	30	13.20	53 738.59	1 280.07	55 018.66	51 285.88	106 123.38
Dicembre	31	17.40	73 198.47	1 527.98	74 726.45	69 857.58	144 415.74

MESE	PARAMETRI		APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	γ_H [-]	a_H [-]	$\eta_{H,gn}$ [-]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Gennaio	31	18.80	4 009.76	188.22	5 954.47	9 964.23	156 038.79	0.06	1.67	0.99	146 169.31
Febbraio	28	16.90	5 475.53	260.48	5 378.23	10 853.76	126 795.86	0.09	1.67	0.98	116 106.62
Marzo	31	11.70	7 672.37	421.67	5 954.47	13 626.84	97 421.07	0.14	1.67	0.97	84 236.77
Aprile	15	8.97	4 872.72	248.26	2 881.20	7 753.92	36 445.14	0.21	1.67	0.94	29 160.33
Ottobre	17	9.12	3 308.35	172.93	3 265.35	6 573.70	41 782.28	0.16	1.67	0.96	35 463.58
Novembre	30	13.20	3 801.24	181.16	5 762.39	9 563.63	106 123.38	0.09	1.67	0.98	96 716.96
Dicembre	31	17.40	3 363.87	168.29	5 954.47	9 318.34	144 415.74	0.06	1.67	0.99	135 187.51

TOTALE	183	-	32 503.84	1 641.00	35 150.58	67 654.42	709 022.28	-	-	-	643 041.09
--------	-----	---	-----------	----------	-----------	-----------	------------	---	---	---	------------



LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $\Delta\theta$ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- $Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

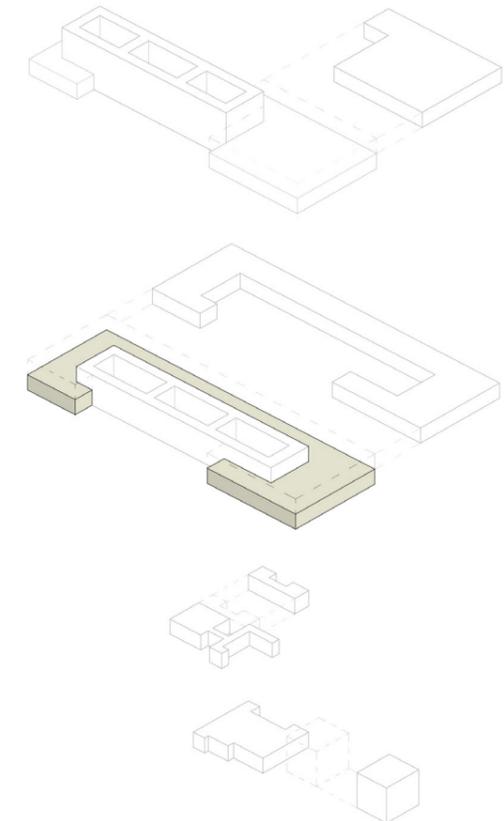
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- $Q_{H,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti- dispersioni
- $\eta_{H,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Aule Piano Secondo"

Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _g + Q _g + Q _u + Q _s [kWh]	Q _c [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Aprile	0	8.97	0	0	0	0	0
Maggio	0	8.00	0	0	0	0	0
Giugno	0	3.90	0	0	0	0	0
Luglio	0	2.40	0	0	0	0	0
Agosto	0	2.40	0	0	0	0	0
Settembre	0	6.90	0	0	0	0	0
Ottobre	0	9.12	0	0	0	0	0

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _s [W/K]	H _v [W/K]
5 522.74	0.00	316.44	736.02	5 396.241
5 522.74	0.00	316.44	736.02	5 396.241
5 522.74	0.00	316.44	736.02	5 396.241
5 522.74	0.00	316.44	736.02	5 396.241
5 522.74	0.00	316.44	736.02	5 396.241
5 522.74	0.00	316.44	736.02	5 396.241
5 522.74	0.00	316.44	736.02	5 396.241



PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]	γ _c [-]	a _c [-]	η _{c,gn} [-]	Q _{c,nd} [kWh]
Aprile	0	18.80	0	0	0	0	0	0	5.18	0	0
Maggio	0	16.90	0	0	0	0	0	0	5.18	0	0
Giugno	0	11.70	0	0	0	0	0	0	5.18	0	0
Luglio	0	8.97	0	0	0	0	0	0	5.18	0	0
Agosto	0	8.00	0	0	0	0	0	0	5.18	0	0
Settembre	0	3.90	0	0	0	0	0	0	5.18	0	0
Ottobre	0	2.40	0	0	0	0	0	0	5.18	0	0
TOTALE	0	-	0	0	0	0	0	-	-	-	0

N.B.: I valori in tabella, che molto semplicemente esprimono l'assenza di esigenza di raffrescamento nei mesi estivi, non sono tuttavia da intendersi pari a zero. Questa semplificazione viene generata di *default* dal programma di calcolo che, fornendo esclusivamente dati di *output* positivi, quando raggiunge un valore negativo restituisce automaticamente 0.

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_s = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_g + Q_g + Q_u + Q_s = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_c = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

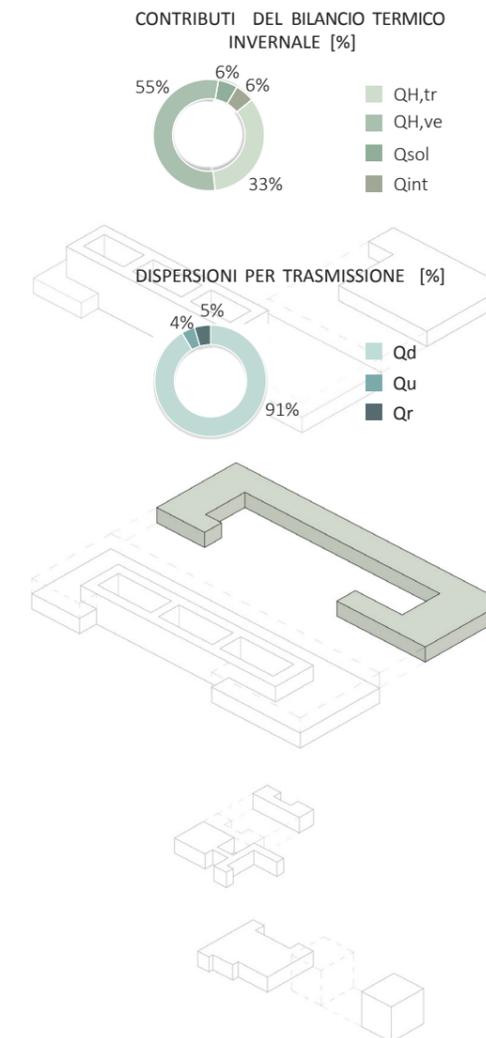
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- η_{c,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Aule Piano Terzo"

Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _a [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	45 395.84	1 758.84	47 154.68	75 478.31	122 409.81
Febbraio	28	16.90	36 858.81	1 649.44	38 508.25	61 284.03	99 458.18
Marzo	31	11.70	28 251.67	1 747.36	29 999.03	46 973.20	76 437.57
Aprile	15	8.97	10 481.59	1 064.49	11 546.08	17 427.42	28 674.61
Ottobre	17	9.12	12 075.62	889.06	12 964.68	20 077.78	32 801.36
Novembre	30	13.20	30 845.49	1 355.71	32 201.20	51 285.88	83 267.29
Dicembre	31	17.40	42 015.30	1 618.27	43 633.57	69 857.58	113 293.73

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _a [W/K]	H _v [W/K]
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24



PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]	γ _H [-]	a _H [-]	η _{H,gn} [-]	Q _{H,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	4 094.42	223.17	5 954.47	10 048.89	122 409.81	0.08	1.80	0.99	112 463.21
Febbraio	28	16.90	5 656.26	334.10	5 378.23	11 034.49	99 458.18	0.11	1.80	0.98	88 611.07
Marzo	31	11.70	7 968.39	534.66	5 954.47	13 922.86	76 437.57	0.18	1.80	0.96	63 049.32
Aprile	15	8.97	5 009.67	298.89	2 881.20	7 890.87	28 674.61	0.28	1.80	0.93	21 359.06
Ottobre	17	9.12	3 469.26	241.10	3 265.35	6 734.61	32 801.36	0.21	1.80	0.95	26 379.56
Novembre	30	13.20	3 907.26	219.79	5 762.39	9 669.65	83 267.29	0.12	1.80	0.98	73 774.93
Dicembre	31	17.40	3 421.82	197.42	5 954.47	9 376.29	113 293.73	0.08	1.80	0.99	104 014.22
TOTALE	183	-	33 527.08	2 049.13	35 150.58	68 677.66	556 342.56	-	-	-	489 651.38

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_a = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti- dispersioni
- η_{H,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

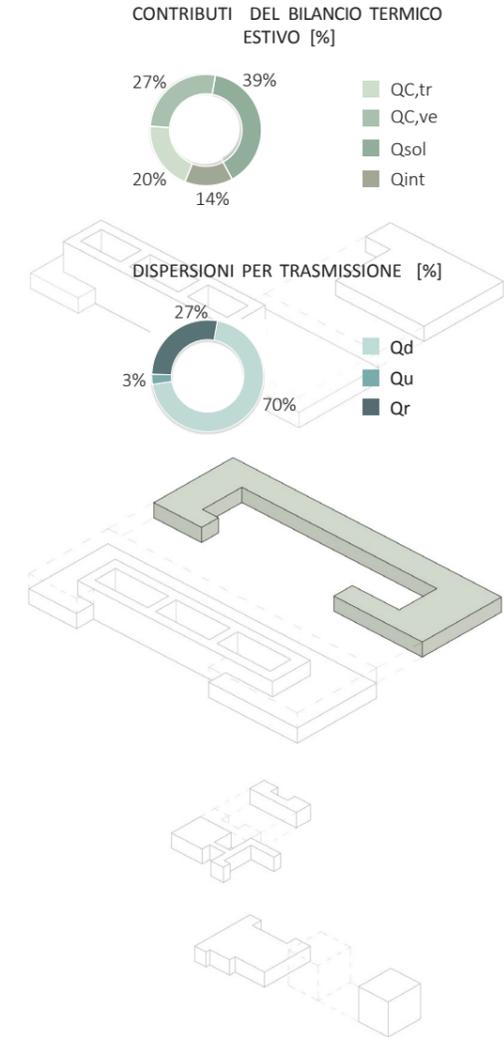
Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Aule Piano Terzo"

Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ [kWh]	Q_r [kWh]	$Q_{c,tr}$ [kWh]	$Q_{c,ve}$ [kWh]	$Q_{c,ht}$ [kWh]
Giugno	15	3.90	4 089.36	1 198.44	5 287.80	6 799.26	11 668.84
Luglio	31	2.40	5 795.21	2 808.01	8 603.22	9 635.53	17 344.21
Agosto	12	2.40	2 906.65	788.00	3 694.65	4 832.80	8 233.71

PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{c,ht}$ [kWh]	γ_c [-]	a_c [-]	$\eta_{c,gn}$ [-]	$Q_{c,nd}$ [kWh]
Giugno	15	3.90	8 197.16	418.23	2 881.20	11 078.36	11 668.84	0.95	5.30	0.82	1 526.23
Luglio	31	2.40	16 714.43	894.54	5 954.47	22 668.90	17 344.21	1.31	5.30	0.92	6 535.02
Agosto	12	2.40	4 918.54	293.74	2 304.96	7 223.50	8 233.71	0.88	5.30	0.78	788.86
TOTALE	81	-	29 830.14	1 606.51	11 140.62	40 970.76	37 246.77	-	-	-	8 850.11

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H_d [W/K]	H_g [W/K]	H_u [W/K]	H_a [W/K]	H_v [W/K]
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24
3 114.45	0.00	315.73	0.00	5 396.24



LEGENDA:

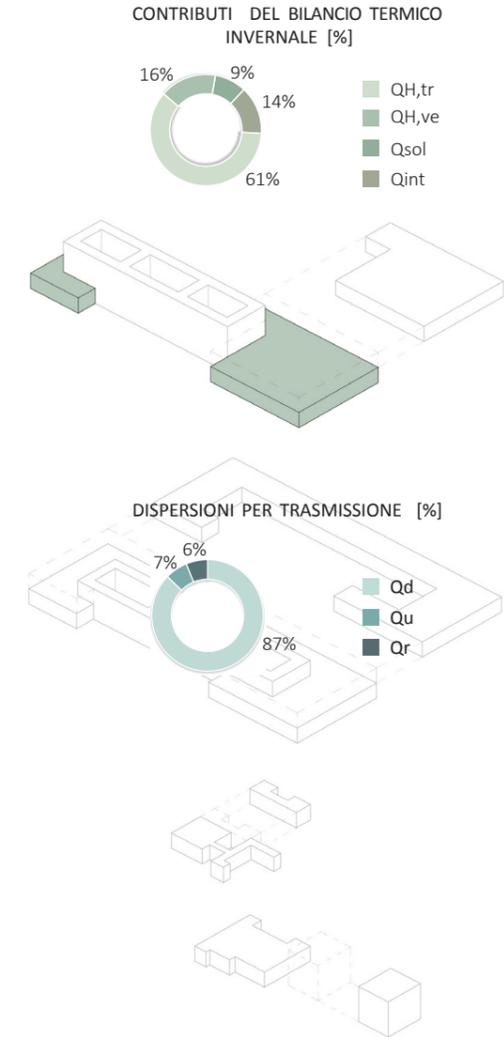
- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $\Delta\theta$ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- $Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extrafflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- $Q_{c,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- $Q_{c,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- $Q_{c,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- $Q_{c,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- $\eta_{c,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Uffici Piano Quarto"

Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ [kWh]	Q_r [kWh]	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]
Gennaio	31	18.80	51 757.94	1 777.25	53 535.19	14 584.40	67 859.36
Febbraio	28	16.90	42 024.46	1 666.71	43 691.17	11 841.69	55 168.24
Marzo	31	11.70	32 211.06	1 765.65	33 976.71	9 076.46	42 527.28
Aprile	15	8.97	11 950.55	1 075.63	13 026.18	3 367.44	16 100.63
Ottobre	17	9.12	13 767.99	898.36	14 666.35	3 879.56	18 296.54
Novembre	30	13.20	35 168.40	1 369.90	36 538.30	9 909.78	46 191.18
Dicembre	31	17.40	47 903.62	1 635.21	49 538.83	13 498.33	62 813.74

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H_d [W/K]	H_g [W/K]	H_u [W/K]	H_a [W/K]	H_v [W/K]
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70



PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	γ_H [-]	a_H [-]	$\eta_{H,gn}$ [-]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Gennaio	31	18.80	4 360.69	260.23	9 493.45	2 173.42	67 859.36	0.20	2.61	0.99	54 179.24
Febbraio	28	16.90	5 921.16	364.62	8 574.73	14 495.89	55 168.24	0.26	2.61	0.98	41 000.10
Marzo	31	11.70	8 256.21	525.90	9 493.45	17 749.67	42 527.28	0.42	2.61	0.94	25 878.70
Aprile	15	8.97	5 208.88	292.99	4 593.61	9 802.49	16 100.63	0.61	2.61	0.87	7 555.99
Ottobre	17	9.12	3 601.02	249.36	5 206.09	8 807.10	18 296.54	0.48	2.61	0.92	10 217.26
Novembre	30	13.20	4 170.28	256.90	9 187.21	13 357.50	46 191.18	0.29	2.61	0.97	33 208.96
Dicembre	31	17.40	3 595.23	223.42	9 493.45	13 088.68	62 813.74	0.21	2.61	0.99	49 897.62

TOTALE	183	-	35 113.47	2 173.42	56 042.01	91 155.48	308 956.97	-	-	-	221 937.86
--------	-----	---	-----------	----------	-----------	-----------	------------	---	---	---	------------

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $\Delta\theta$ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- $Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- $Q_{H,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti- dispersioni
- $\eta_{H,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

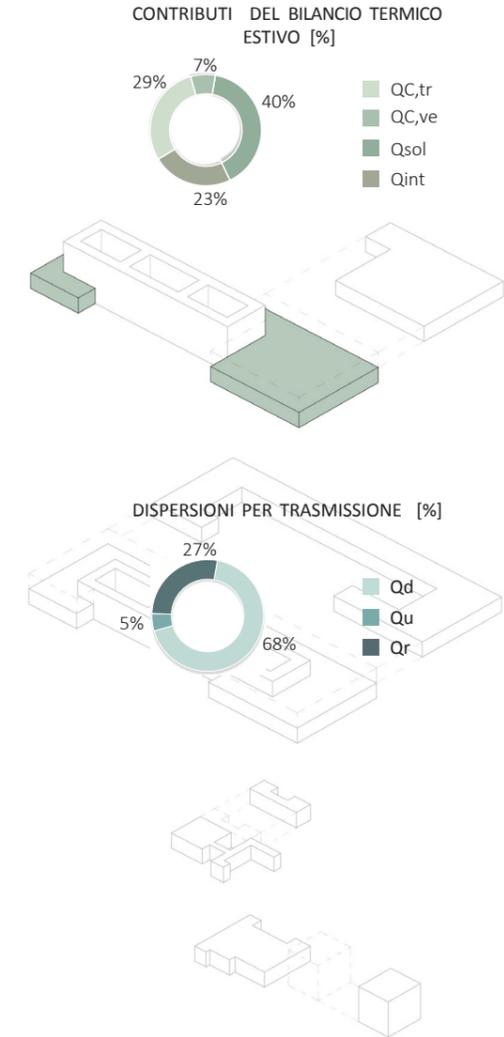
Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Uffici Piano Quarto"

Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE		DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ [kWh]	Q_r [kWh]	$Q_{c,ve}$ [kWh]	$Q_{c,ht}$ [kWh]
Maggio	12	8.00	7 045.71	866.07	7 911.78	1 985.35
Giugno	60	3.90	10 390.66	2 421.97	12 812.63	2 927.89
Luglio	31	2.40	6 607.40	2 837.40	9 444.80	1 861.84
Agosto	31	2.40	9 360.48	2 056.97	11 417.45	2 637.60
Settembre	7	6.90	3 482.32	425.27	3 907.59	981.25

PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{c,ht}$ [kWh]	γ_c [-]	a_c [-]	$\eta_{c,gn}$ [-]	$Q_{c,nd}$ [kWh]
Maggio	12	8.00	5 729.39	283.71	3 674.89	9 404.27	9 613.42	0.98	6.22	0.85	1 214.71
Giugno	60	3.90	16 988.85	820.47	9 187.21	26 176.07	14 920.05	1.75	6.22	0.99	11 453.57
Luglio	31	2.40	17 314.28	875.49	9 493.45	26 807.74	10 431.14	2.57	6.22	1.00	16 394.54
Agosto	31	2.40	13 171.15	742.93	9 493.45	22 664.60	13 312.12	1.70	6.22	0.98	9 557.23
Settembre	7	6.90	2 154.69	136.80	2 143.68	4 298.37	4 752.04	0.90	6.22	0.81	426.35

TOTALE	111	-	55 358.36	2 859.41	33 992.69	89 351.05	53 028.78	-	-	-	39 046.40
--------	-----	---	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	---	---	---	-----------



COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H_d [W/K]	H_g [W/K]	H_u [W/K]	H_a [W/K]	H_v [W/K]
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70
3 545.00	0.00	374.92	0.00	1 042.70

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $\Delta\theta$ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- $Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- $Q_{c,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- $Q_{c,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- $Q_{c,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- $Q_{c,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- $\eta_{c,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

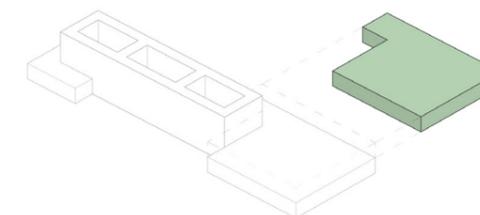
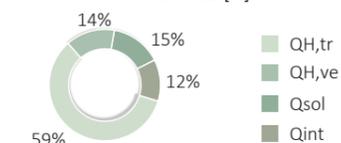
Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Uffici Piano Quinto"

Stagione di Riscaldamento

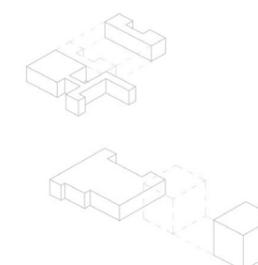
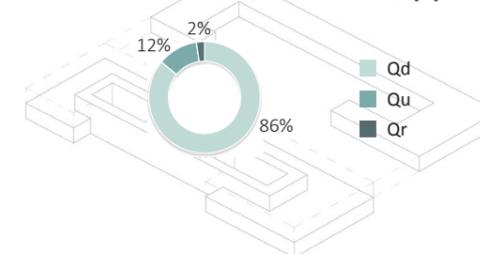
PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _a [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	32 442.14	1 702.68	34 144.82	7 951.55	41 253.73
Febbraio	28	16.90	26 341.14	1 596.77	27 937.91	6 456.20	33 143.53
Marzo	31	11.70	20 190.05	1 691.57	21 881.62	4 948.57	24 757.34
Aprile	15	8.97	7 490.67	1 030.50	8 521.17	1 835.96	8 998.41
Ottobre	17	9.12	8 629.84	860.67	9 490.51	2 115.17	10 732.32
Novembre	30	13.20	22 043.73	1 312.42	23 356.15	5 402.91	27 915.42
Dicembre	31	17.40	30 026.23	1 566.60	31 592.83	7 359.41	38 232.27

PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]	γ _H [-]	a _H [-]	η _{H,gn} [-]	Q _{H,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	4 708.10	842.63	5 175.92	9,884.02	41 253.73	0.24	3.45	0.99	31 424.07
Febbraio	28	16.90	5 004.10	1 250.58	4 675.02	9 679.13	33 143.53	0.29	3.45	0.99	23 562.77
Marzo	31	11.70	5 599.56	2 072.85	5 175.92	10 775.48	24 757.34	0.44	3.45	0.97	14 335.34
Aprile	15	8.97	2 586.95	1 358.71	2 504.48	5 091.43	8 998.41	0.57	3.45	0.93	4 243.36
Ottobre	17	9.12	3 093.26	873.37	2 838.41	5 931.67	10 732.32	0.55	3.45	0.94	5 169.82
Novembre	30	13.20	4 038.97	843.63	5 008.95	9 047.92	27 915.42	0.32	3.45	0.99	18 993.59
Dicembre	31	17.40	4 511.90	719.98	5 175.92	9 687.82	38 232.27	0.25	3.45	0.99	28 607.93
TOTALE	183	-	29 542.84	7 961.75	30 554.62	60 097.45	185 033.03	-	-	-	126 336.88

CONTRIBUTI DEL BILANCIO TERMICO INVERNALE [%]



DISPERSIONI PER TRASMISSIONE [%]



COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _a [W/K]	H _v [W/K]
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_a = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti- dispersioni
- η_{H,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Uffici Piano Quinto"

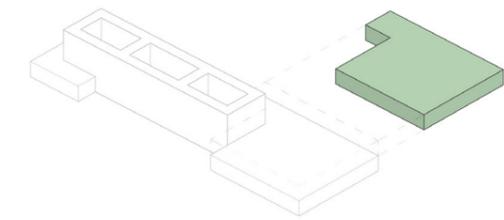
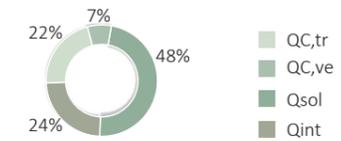
Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ [kWh]	Q_r [kWh]	$Q_{c,tr}$ [kWh]	$Q_{c,ve}$ [kWh]	$Q_{c,ht}$ [kWh]
Maggio	6	8.00	2 075.62	414.87	2 490.49	508.73	2 329.42
Giugno	60	3.90	6 512.92	2 320.35	8 833.27	1 596.31	6 553.97
Luglio	31	2.40	4 141.55	2 718.35	6 859.90	1 015.09	3 663.79
Agosto	31	2.40	5 867.19	1 970.66	7 837.85	1 438.05	5 753.02
Settembre	8	6.90	2 519.69	465.63	2 985.32	617.58	2 939.00

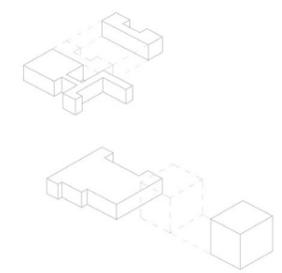
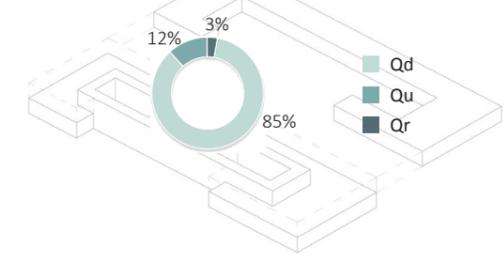
PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N_G [-]	$\Delta\theta$ [°C]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{c,ht}$ [kWh]	γ_c [-]	a_c [-]	$\eta_{c,gn}$ [-]	$Q_{c,nd}$ [kWh]
Maggio	12	8.00	1 218.82	669.81	1 001.79	2 220.61	2 329.42	0.95	7.40	0.86	219.90
Giugno	60	3.90	6 736.39	3 875.62	5 008.95	11 745.34	6 553.97	1.79	7.40	0.99	5 230.22
Luglio	31	2.40	7 136.17	4 211.20	5 175.92	12 312.09	3 663.79	3.36	7.40	1.00	8 648.63
Agosto	31	2.40	6 207.73	3,522.89	5 175.92	11 383.65	5 753.02	1.98	7.40	1.00	5 648.88
Settembre	8	6.90	1 468.94	663.90	1 335.72	2 804.66	2 939.00	0.95	7.40	0.86	278.89

TOTALE	106	-	22 768.06	12 943.41	17 698.30	40 466.36	21 239.19	-	-	-	20 026.52
--------	-----	---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	---	---	---	-----------

CONTRIBUTI DEL BILANCIO TERMICO ESTIVO [%]



DISPERSIONI PER TRASMISSIONE [%]



COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H_d [W/K]	H_g [W/K]	H_u [W/K]	H_a [W/K]	H_v [W/K]
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49
2 158.40	0.00	402.54	0.00	568.49

LEGENDA:

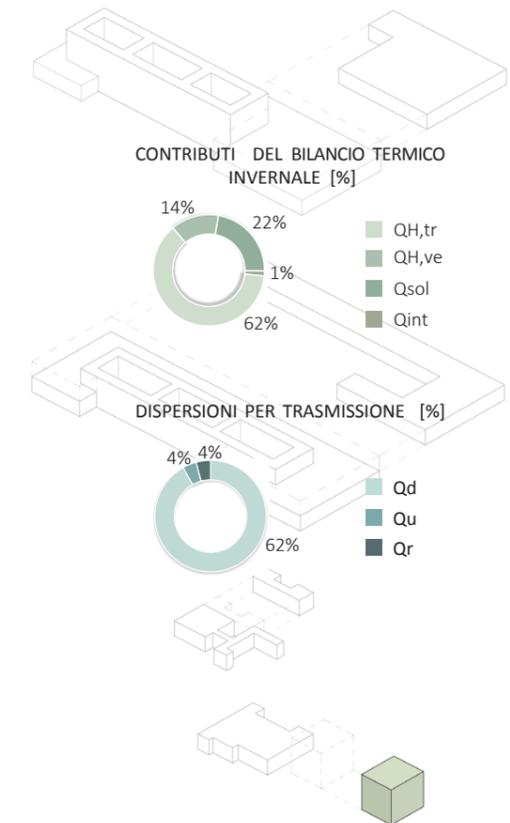
- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $\Delta\theta$ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- $Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$ = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- $Q_{c,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffreddamento
- $Q_{c,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffreddamento
- $Q_{c,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di raffreddamento
- $Q_{c,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il raffreddamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- $\eta_{c,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Aula Magna"

Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _a [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	26 493.85	503.81	26 997.66	6 050.09	32 995.49
Febbraio	28	16.90	21 511.48	472.47	21 983.95	4 912.33	26 836.87
Marzo	31	11.70	16 488.19	500.52	16 988.61	3 765.22	20 679.80
Aprile	15	8.97	6 117.25	304.92	6 422.17	1 396.93	7 782.15
Ottobre	17	9.12	7 047.56	254.66	7 329.22	1 609.37	8 873.54
Novembre	30	13.20	18 002.00	388.33	18 390.33	4 110.91	22 455.11
Dicembre	31	17.40	24 520.90	463.54	24 984.44	5 599.56	30 534.69

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE				VENTILAZIONE
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _a [W/K]	H _v [W/K]
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55



PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]	γ _H [-]	a _H [-]	η _{H,gn} [-]	Q _{H,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	6 566.70	52.26	477.29	7 044.00	32 995.49	0.21	1.25	0.88	26 782.68
Febbraio	28	16.90	7 371.08	59.41	431.10	7 802.18	26 836.87	0.29	1.25	0.84	20 296.14
Marzo	31	11.70	8 988.91	74.13	477.29	9 466.20	20 679.80	0.46	1.25	0.75	13 551.31
Aprile	15	8.97	4 365.60	36.94	230.95	4 596.54	7 782.15	0.59	1.25	0.69	4 590.40
Ottobre	17	9.12	4 649.90	38.05	261.74	4 911.64	8 873.54	0.55	1.25	0.71	5 386.29
Novembre	30	13.20	5 746.41	46.14	461.89	6 208.30	22 455.11	0.28	1.25	0.85	17 201.68
Dicembre	31	17.40	6 185.63	49.31	477.29	6 662.93	30 534.69	0.22	1.25	0.88	24 676.22

TOTALE	183	-	43 874.23	356.24	2 817.56	46 691.78	150 157.65	-	-	-	112 484.73
--------	-----	---	-----------	--------	----------	-----------	------------	---	---	---	------------

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_a = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

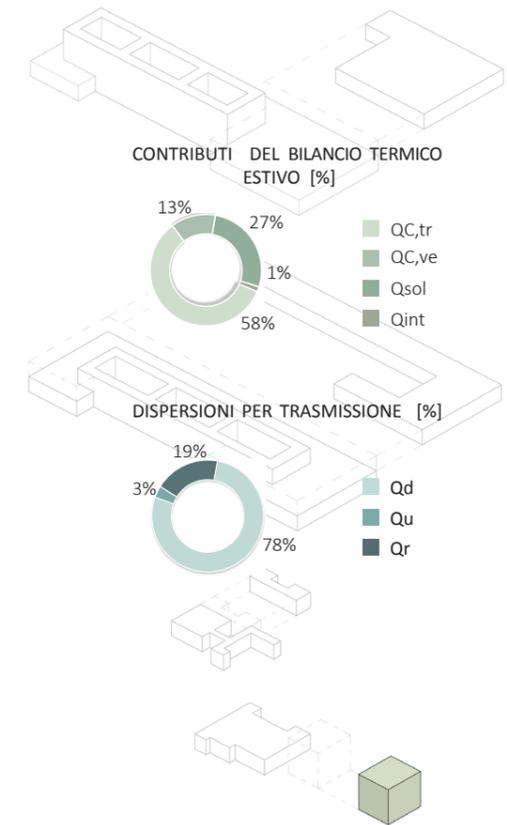
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- γ_H = rapporto apporti- dispersioni
- η_{H,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_H = coefficiente di calcolo adimensionale

Fabbisogno di energia termica: Zona termica "Aula Magna"

Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI			DISPERSIONI PER TRASMISSIONE			DISPERSIONI PER VENTILAZIONE	ENERGIA TERMICA DISPERSA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _s [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	34 862.96	503.81	35 366.77	7 961.25	43 275.75
Febbraio	28	16.90	29 148.69	472.47	29 621.16	6 656.35	36 218.10
Marzo	31	11.70	24 943.68	500.52	25 444.20	5 696.10	31 066.17
Aprile	30	8.97	19 229.41	609.83	19 839.24	4 391.20	24 156.56
Maggio	31	8.00	11 273.98	634.24	11 908.22	2 574.51	14 394.60
Giugno	30	3.90	5 318.77	686.57	6 005.34	1 214.59	7 123.73
Luglio	31	2.40	3 382.19	804.33	4 186.52	772.35	4 856.85
Agosto	31	2.40	4 791.44	583.10	5 374.54	1 094.17	6 379.17
Settembre	30	6.90	9 410.14	516.66	9 926.80	2 148.88	11 997.70
Ottobre	31	9.12	19 306.69	464.39	19 771.08	4 408.85	24 110.54
Novembre	30	13.20	26 184.72	388.33	26 573.05	5 979.50	32 506.43
Dicembre	31	17.40	32 976.39	463.54	33 439.93	7 530.44	40 921.05

COEFFICIENTI DI DISPERSIONE				
TRASMISSIONE			VENTILAZIONE	
H _d [W/K]	H _g [W/K]	H _u [W/K]	H _s [W/K]	H _v [W/K]
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55
1 667.00	0.00	424.27	0.00	432.55



PARAMETRI			APPORTI SOLARI		APPORTI INTERNI	APPORTI GRATUITI	ENERGIA TERMICA DISPERSA	COEFFICIENTI			FABBISOGNO ENERGIA TERMICA
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]	γ _c [-]	a _c [-]	η _{c,gn} [-]	Q _{c,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	6 566.70	52.26	477.29	7 044.00	43 275.75	0.16	0.00	0.00	7,044.00
Febbraio	28	16.90	7 371.08	59.41	431.10	7 802.18	36 218.10	0.22	0.00	0.00	7 802.18
Marzo	31	11.70	8 988.91	74.13	477.29	9 466.20	31 066.17	0.30	0.00	0.00	9 466.20
Aprile	30	8.97	8 731.19	73.88	461.89	9 193.09	24 156.56	0.38	0.00	0.00	9 193.09
Maggio	31	8.00	10 103.80	88.12	477.29	10 581.09	14 394.60	0.74	0.00	0.00	10 581.09
Giugno	30	3.90	10 761.01	96.20	461.89	11 222.91	7 123.73	1.58	0.00	0.00	11 222.91
Luglio	31	2.40	11 478.00	102.03	477.29	11 955.29	4 856.85	2.46	0.00	0.00	11 955.29
Agosto	31	2.40	10 358.17	89.53	477.29	10 835.46	6 379.17	1.70	0.00	0.00	10 835.46
Settembre	30	6.90	9 335.80	77.99	461.89	9 797.69	11 997.70	0.82	0.00	0.00	9 797.69
Ottobre	31	9.12	8 479.22	69.38	477.29	8 956.52	24 110.54	0.37	0.00	0.00	8 956.52
Novembre	30	13.20	5 746.41	46.14	461.89	6 208.30	32 506.43	0.19	0.00	0.00	6 208.30
Dicembre	31	17.40	6 185.63	49.31	477.29	6 662.93	40 921.05	0.16	0.00	0.00	6 662.93

TOTALE	365	-	153 988.52	878.38	5 619.72	109 725.65	277 006.65	-	-	-	109 725.65
--------	-----	---	------------	--------	----------	------------	------------	---	---	---	------------

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_s = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u + Q_s = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- γ_c = rapporto dispersioni - apporti
- η_{c,gn} = fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
- a_c = coefficiente di calcolo adimensionale

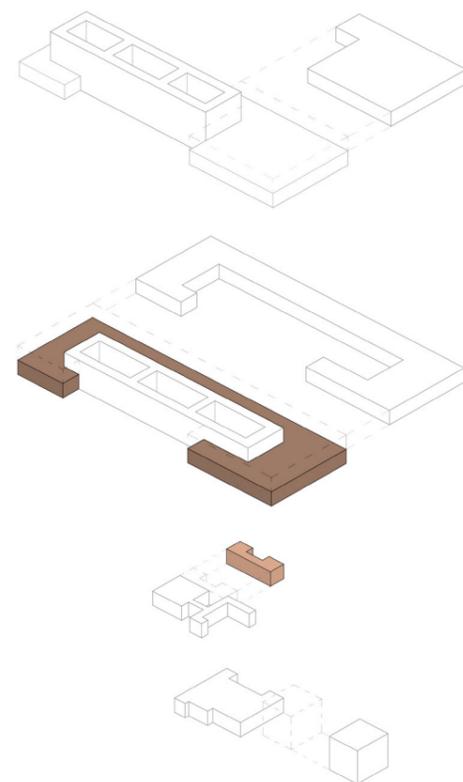
Fabbisogno energetico dell'edificio

Stagione di Riscaldamento

ZONA	S_d [m ²]	H_{tr} [W/K]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Atrio Piano Terra	955.16	1 171.45	82 534.86
Atrio Piano Primo	418.79	886.05	53 391.24
Atrio Piani 2-3	1 312.61	2 912.83	231 839.25
Atrio Piani 4-5	1 143.27	4 757.49	228 111.35
Aule Piano Primo	194.04	342.335	32 595.72
Aule Piano Secondo	2 953.71	5 654.31	643 041.09
Aule Piano Terzo	2 768.23	3 245.53	489 651.38
Uffici Piano Quarto	3 591.84	3 700.38	221 937.86
Uffici Piano Quinto	2 830.47	2 319.42	126 336.88
Aula Magna	270.87	1 894.15	112 484.73

VALORE MINIMO
 VALORE MASSIMO

S_d = Superficie disperdente
 H_{tr} = Coefficiente di scambio termico per trasmissione
 $Q_{H,nd}$ = Fabbisogno termico ideale utile per la stagione di riscaldamento



Il valore massimo di dispersioni termiche che maggiormente grava sul fabbisogno termico complessivo per la stagione di riscaldamento si individua nella zona del Secondo Piano. Tale fenomeno è dettato dal fatto che questa Zona presenta una superficie disperdente maggiore rispetto alle altre: il Secondo Piano, infatti, attesta chiusure verticali prevalentemente vetrate ed un solaio a sbalzo che comunica direttamente con l'ambiente esterno, generando consistenti scambi termici.

Il valore minimo del fabbisogno per il riscaldamento si individua invece nella Zona delle Aule Piano Primo, che confina quasi esclusivamente con ambienti riscaldati ed attesta pertanto la minor superficie disperdente.

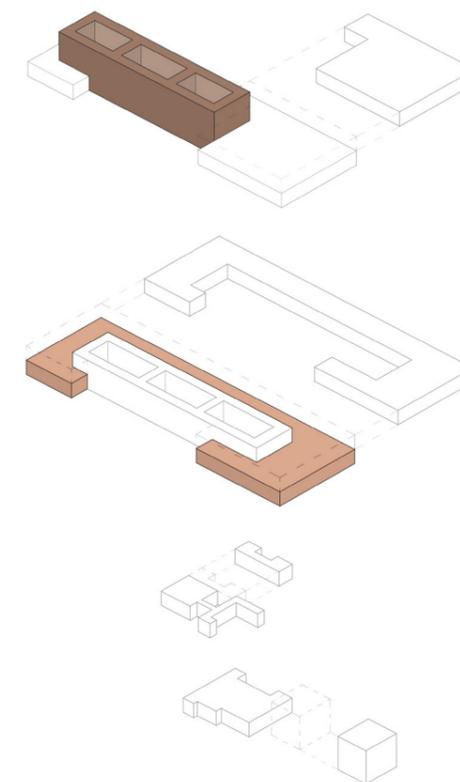
Fabbisogno energetico dell'edificio

Stagione di Raffrescamento

ZONA	S_d [m ²]	H_{tr} [W/K]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Atrio Piano Terra	955.16	1 171.45	4 117.93
Atrio Piano Primo	418.79	886.05	47 331.73
Atrio Piani 2-3	1 312.61	2 912.83	30 134.40
Atrio Piani 4-5	1 143.27	4 757.49	575 885.88
Aule Piano Primo	194.04	342.335	14 743.38
Aule Piano Secondo	2 953.71	5 654.31	0.00
Aule Piano Terzo	2 768.23	3 245.53	8 850.11
Uffici Piano Quarto	3 591.84	3 700.38	39 046.40
Uffici Piano Quinto	2 830.47	2 319.42	20 026.52
Aula Magna	270.87	1 894.15	109 725.65

VALORE MINIMO
 VALORE MASSIMO

S_d = Superficie disperdente
 H_{tr} = Coefficiente di scambio termico per trasmissione
 $Q_{C,nd}$ = Fabbisogno termico ideale utile per la stagione di raffrescamento



La Zona con il maggior fabbisogno di energia termica per il raffrescamento è l'Atrio Piani 4-5. Tale zona presenta una copertura interamente vetrata che durante i mesi estivi favorisce un accumulo considerevole di apporti solari. Confinando tuttavia soltanto con locali riscaldati, tale Zona non riesce a smaltire questo guadagno termico, provocando così un surriscaldamento complessivo.

La Zona delle Aule al Secondo Piano invece, possedendo un'ampia superficie disperdente, può smaltire più facilmente tutti i guadagni termici gratuiti che ha accumulato. Confinando in gran parte con l'esterno e con ambienti non riscaldati, risulta pertanto la Zona con minor richiesta di energia per il raffrescamento.

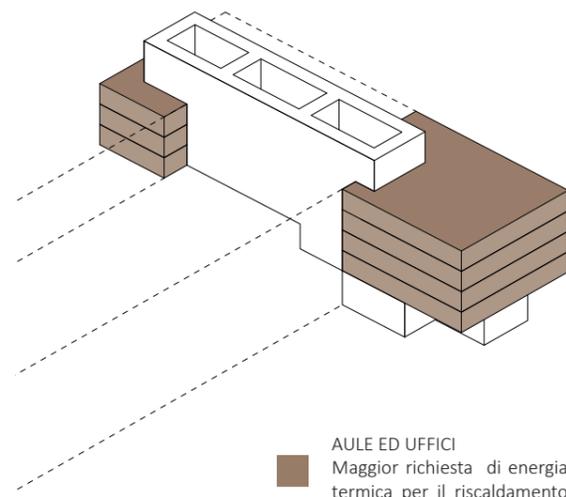
Fabbisogno energetico dell'edificio : suddivisione in macro - zone

Stagione di Riscaldamento

Suddividendo l'edificio in tre macro - zone, corrispondenti all'Aula Magna, trattata sempre come locale indipendente, all'Atrio Centrale e agli spazi di Aule e Uffici, è più facile sviluppare delle considerazioni in merito ai fabbisogni di energia per il riscaldamento. L'ampio vuoto centrale confina per la maggior parte con ambienti riscaldati e comunica con l'esterno soltanto attraverso superfici vetrate. Questa condizione gli consente di accumulare apporti solari e quindi avere minor necessità di energia per il riscaldamento. Le aule e gli uffici, invece, si collocano lungo tutto il perimetro della struttura, presentando ampie superfici vetrate e solai a sbalzo. Confinano principalmente con l'esterno e con ambienti freddi, cioè non riscaldati, pertanto la superficie disperdente ed il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento sono assai maggiori.

ZONA	S_d [m ²]	H_{tr} [W/K]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Atri	3 829.83	9 727.82	595 876.70
Aule/Uffici	12 338.29	15 261.98	1 513 562.93
Aula Magna	270.87	1 894.15	112 484.73

S_d = Superficie disperdente
 H_{tr} = Coefficiente di scambio termico per trasmissione
 $Q_{H,nd}$ = Fabbisogno termico ideale utile per la stagione di riscaldamento



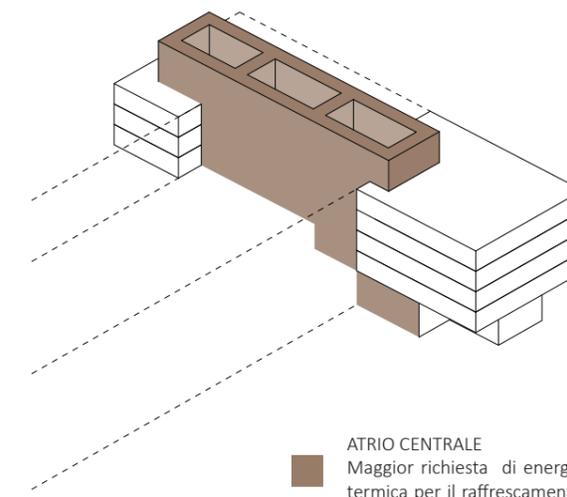
Fabbisogno energetico dell'edificio : suddivisione in macro - zone

Stagione di Raffrescamento

Contrariamente a quanto accade durante il periodo invernale, nella stagione estiva il locale con maggior fabbisogno energetico è l'Atrio Centrale. Le motivazioni di tale fenomeno vanno sicuramente rintracciate nella struttura compositiva della macro zona, che presenta come sistema di chiusure solamente componenti vetrate. Nella stagione estiva, quando le radiazioni solari sono più potenti, gli accumuli termici sono maggiori ma dal momento che la superficie disperdente è contenuta, tutto l'ambiente si comporta come una serra e si surriscalda. Le aule e gli uffici, invece, presentano sì ampie superfici vetrate, ma possiedono anche una superficie disperdente molto elevata, che consente loro in parte di smaltire gli apporti gratuiti accumulati ed avere pertanto minore necessità di essere raffrescati.

ZONA	S_d [m ²]	H_{tr} [W/K]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Atri	3 829.83	9 727.82	657 469.94
Aule/Uffici	12 338.29	15 261.98	101 686.29
Aula Magna	270.87	1 894.15	109 725.65

S_d = Superficie disperdente
 H_{tr} = Coefficiente di scambio termico per trasmissione
 $Q_{C,nd}$ = Fabbisogno termico ideale utile per la stagione di raffrescamento



Fabbisogno di energia termica: "Intero edificio"

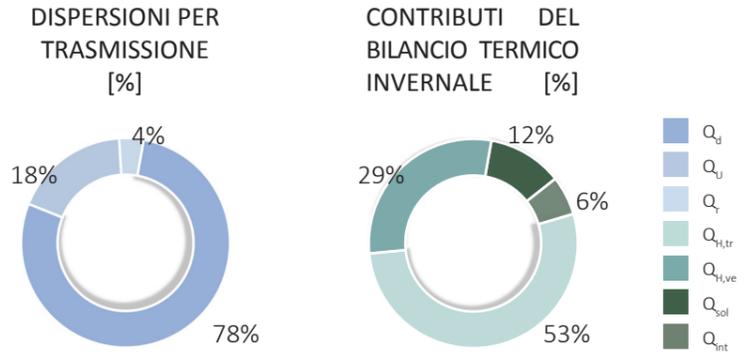
Stagione di Riscaldamento

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} (Q_i + Q_{sol,op} + Q_{sol,w}) \text{ [kWh]} \quad - \text{UNI TS 11300-1}$$

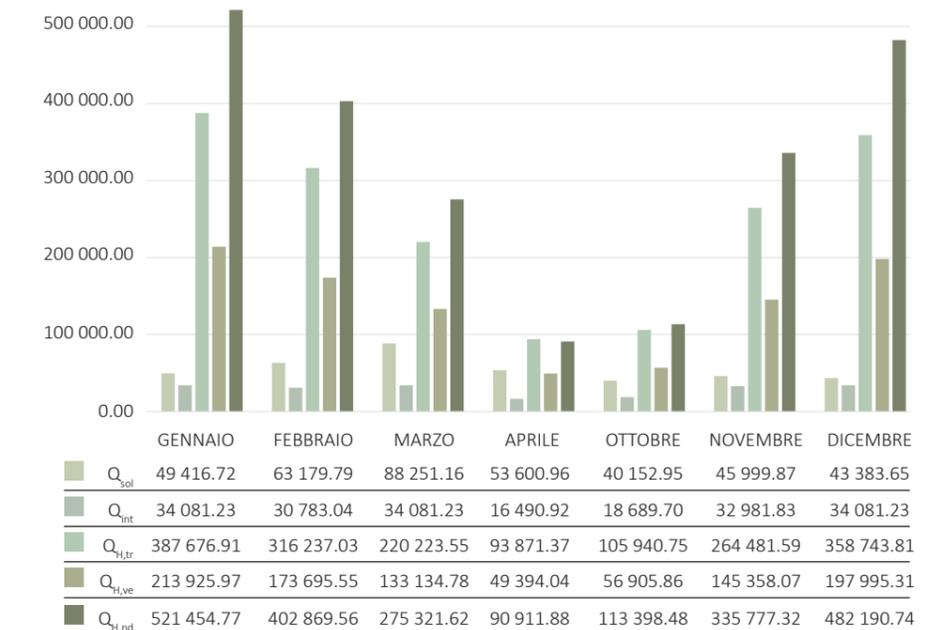
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _a [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	376 030.90	11 645.98	387 676.91	213 925.97	599 798.18
Febbraio	28	16.90	305 315.41	10 921.62	316 237.03	173 695.55	487 357.92
Marzo	31	11.70	234 019.23	11 570.00	220 223.55	133 134.78	374 651.55
Aprile	15	8.97	86 822.95	7 048.40	93 871.37	49 394.04	140 768.23
Ottobre	17	9.12	100 026.95	5 886.82	105 940.75	56 905.86	161 039.98
Novembre	30	13.20	255 504.87	8 976.72	264 481.59	145 358.07	408 068.82
Dicembre	31	17.40	348 028.60	10 715.23	358 743.81	197 995.31	555 165.90

MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]	Q _{H,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	47 612.05	1 804.67	34 081.23	81 693.28	599 798.18	521 454.77
Febbraio	28	16.90	60 605.13	2 574.67	30 783.04	91 388.17	487 357.92	402 869.56
Marzo	31	11.70	84 178.71	4 072.45	34 081.23	118 259.94	374 651.55	275 321.62
Aprile	15	8.97	51 103.81	2 497.16	16 490.92	67 594.72	140 768.23	90 911.88
Ottobre	17	9.12	38 373.29	1 779.65	18 689.70	57 063.00	161 039.98	113 398.48
Novembre	30	13.20	44 229.03	1 770.84	32 981.83	77 210.86	408 068.82	335 777.32
Dicembre	31	17.40	41 810.41	1 573.24	34 081.23	75 891.64	555 165.90	482 190.74

TOTALE	183	-	367 912.43	16 072.68	201 189.18	569 101.61	2 726 850.582	2 221 924.365
--------	-----	---	------------	-----------	------------	------------	---------------	---------------



BILANCIO TERMICO DELL'EDIFICIO NELLA STAGIONE DI RISCALDAMENTO [kWh]



- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extralusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
- η_{H,gn} = Fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica

Fabbisogno di energia termica: "Intero edificio"

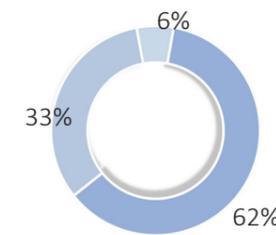
Stagione di Raffrescamento

$$Q_{C,nd} = Q_{C,ht} - \eta_{C,gn} Q_{gn} = (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) - \eta_{C,gn} (Q_i + Q_{sol,op} + Q_{sol,w}) \text{ [kWh]} - \text{UNI TS 11300-1}$$

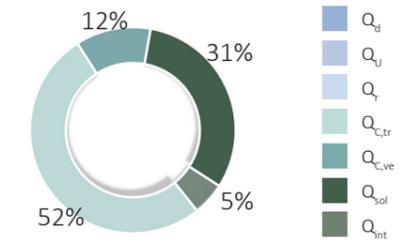
MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _d + Q _g + Q _u + Q _a [kWh]	Q _r [kWh]	Q _{C,tr} [kWh]	Q _{C,ve} [kWh]	Q _{C,ht} [kWh]
Gennaio	31	18.80	198 648.80	4 428.06	203 076.86	44 083.10	246 931.67
Febbraio	28	16.90	166 088.94	4 152.64	170 241.58	36 857.59	206 815.56
Marzo	31	11.70	142 128.83	4 399.17	146 528.00	31 540.49	177 671.67
Aprile	30	8.97	109 568.97	5 359.92	11 311.29	24 314.97	138 794.79
Maggio	31	8.00	73 360.35	6 855.36	80 215.72	16 749.67	95 454.38
Giugno	30	3.90	53 572.34	12 293.42	68 457.07	19 010.65	78 988.82
Luglio	31	2.40	37 907.60	15 941.63	54 304.23	17 674.17	64 649.35
Agosto	31	2.40	48 087.04	10 273.54	58 360.56	16 088.80	69 153.84
Settembre	30	6.90	59 620.87	5 431.96	65 052.82	13 497.64	77 307.42
Ottobre	30	9.12	110 009.32	4 081.60	114 090.92	24 412.69	138 160.71
Novembre	30	13.20	149 200.30	3 413.15	152 613.45	33 109.75	185 513.33
Dicembre	31	17.40	187 899.13	4 074.17	191 973.30	41 697.59	233 462.22

MESE	N _G [-]	Δθ [°C]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{gn} [kWh]	Q _{C,ht} [kWh]	Q _{C,nd} [kWh]
Gennaio	31	18.80	27 625.10	228.27	6 205.56	33 830.65	246 931.67	33 830.56
Febbraio	28	16.90	35 534.13	283.58	5 605.02	41 139.14	206 815.56	41 138.89
Marzo	31	11.70	51 289.43	396.67	6 205.56	57 494.99	177 671.67	57 494.72
Aprile	15	8.97	63 917.60	449.07	6 005.38	69 922.98	138 794.79	69 922.98
Maggio	31	8.00	96 103.80	1 511.00	10 882.23	106 986.03	95 454.38	96 795.75
Giugno	30	3.90	137 485.21	5 887.59	24 003.44	161 488.66	78 988.82	128 112.45
Luglio	31	2.40	150 079.66	6 874.05	28 126.76	178 206.41	64 649.35	145 121.42
Agosto	31	2.40	106 419.27	5 295.53	24 351.69	130 770.97	69 153.84	102 441.14
Settembre	30	6.90	61 387.20	1 243.05	9 484.78	70 871.98	77 307.42	64 474.18
Ottobre	14	9.12	41 999.48	342.90	6 205.56	48 205.03	138 160.71	48 205.03
Novembre	30	13.20	25 885.87	209.73	6 005.38	31 891.25	185 513.33	31 891.11
Dicembre	31	17.40	24 227.46	208.40	6 205.56	30 433.02	233 462.22	30 432.78
TOTALE	365	-	657 392.22	21 603.20	109,059.84	766 452.05	662 509.31	849 861.01

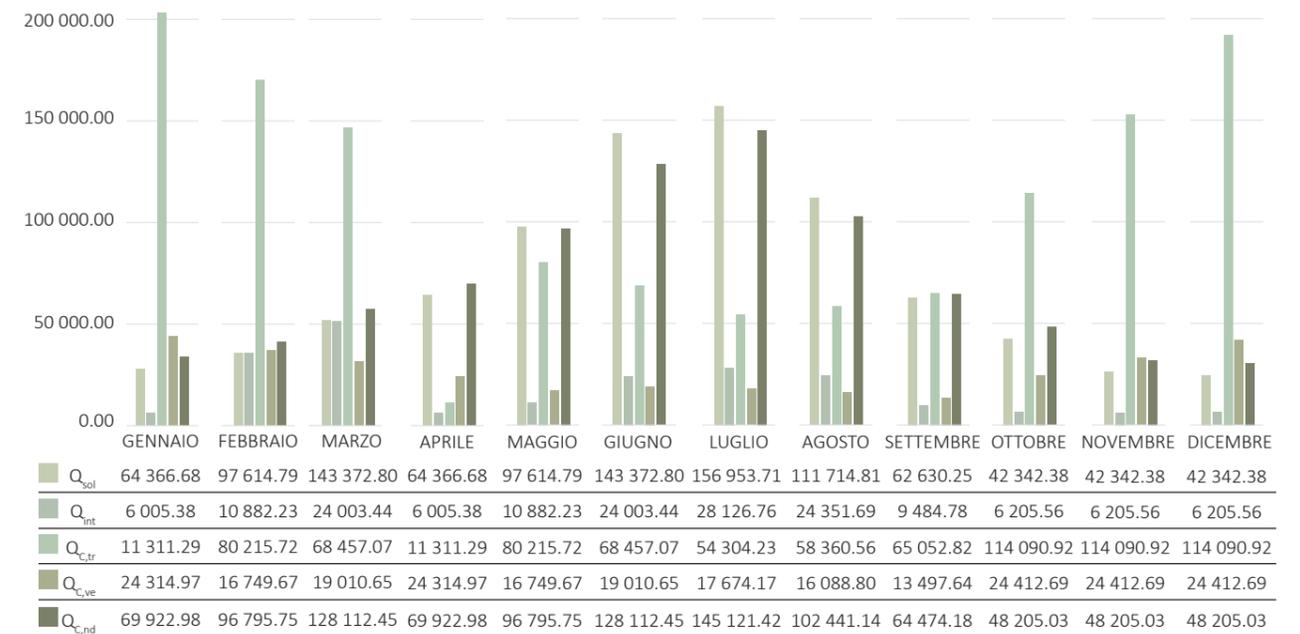
DISPERSIONI PER TRASMISSIONE [%]



CONTRIBUTI DEL BILANCIO TERMICO ESTIVO [%]



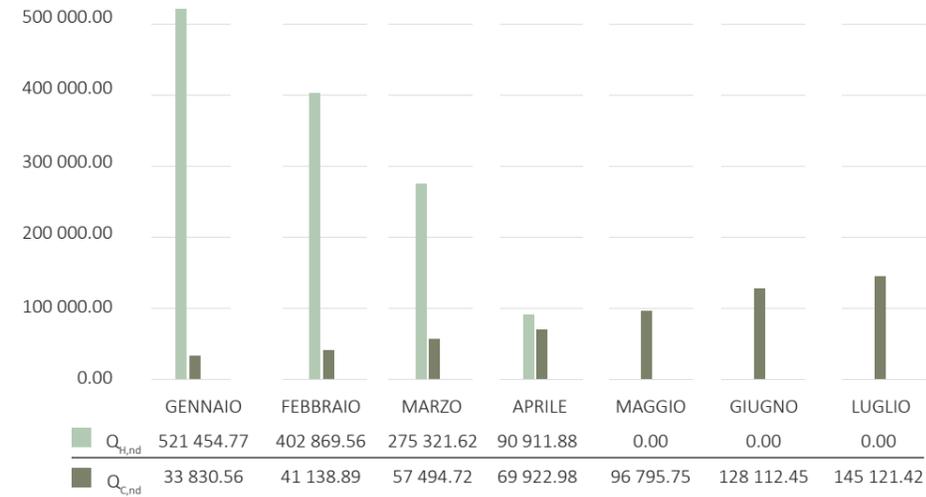
BILANCIO TERMICO DELL'EDIFICIO NELLA STAGIONE DI RAFFRESCAMENTO [kWh]



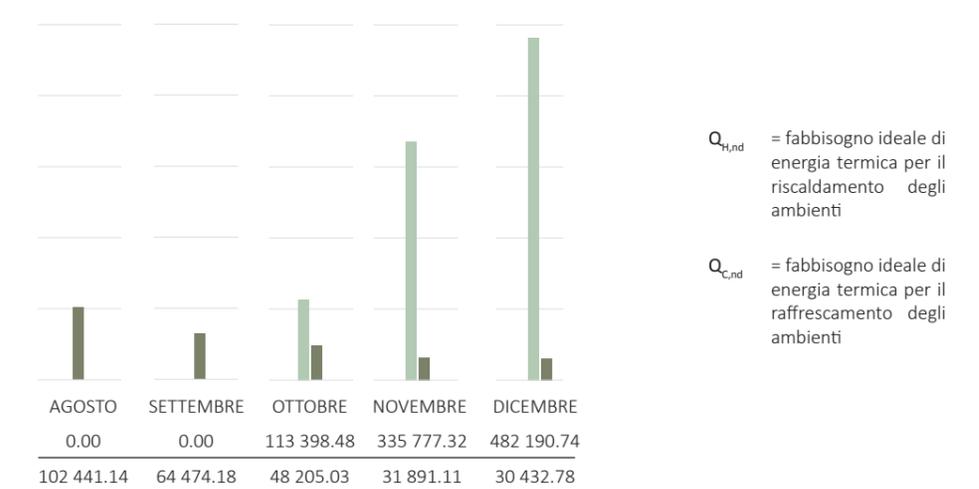
- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Δθ = differenza di temperatura tra temperatura interna e temperatura esterna
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto
- H_v = coefficiente di scambio termico per ventilazione
- Q_d + Q_g + Q_u = scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
- Q_r = extralusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{gn} = apporti totali di energia termica
- Q_{C,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{C,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{C,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{C,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti
- η_{C,gn} = Fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica

Grafici riassuntivi: "Intero edificio"

FABBISOGNO TERMICO MENSILE DELL'EDIFICIO NELLE STAGIONI

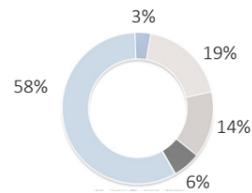


DI RISCALDAMENTO E DI RAFFRESCAMENTO [kWh]

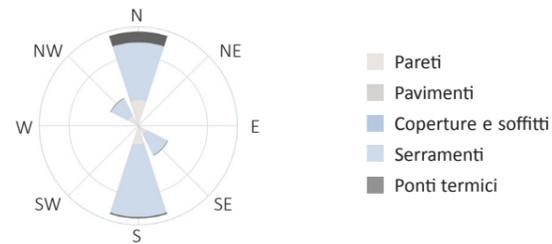


Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti
 Q_{C,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti

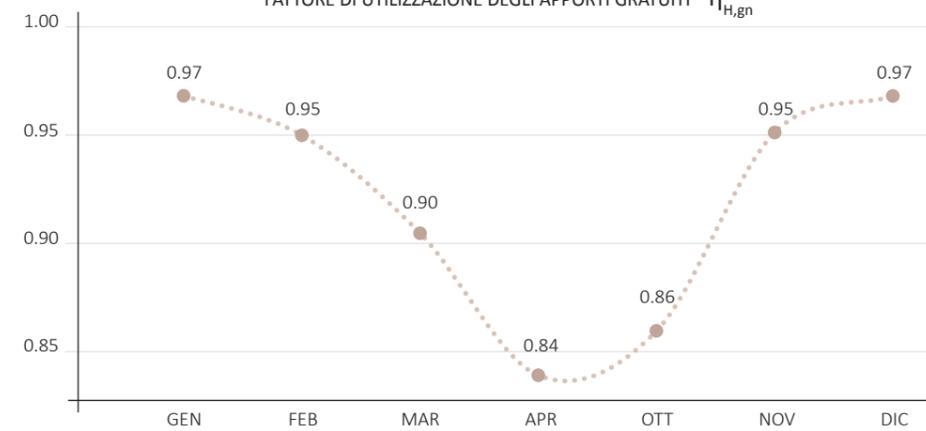
COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO PER TIPO DI STRUTTURA [W/K]



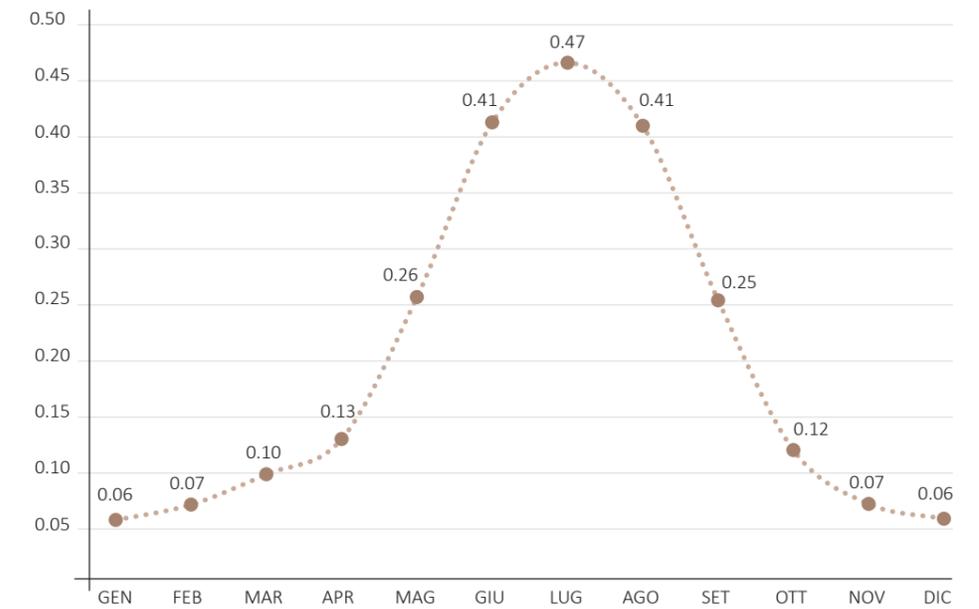
COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO PER ORIENTAMENTO [W/K]



FATTORE DI UTILIZZAZIONE DEGLI APPORTI GRATUITI $\eta_{H,gn}$



FATTORE DI UTILIZZAZIONE DELLE PERDITE $\eta_{C,ls}$



3.5.8 Normalizzazione dei risultati sulla base dei Gradi Giorno

Per una migliore validazione dei risultati, è stato consultato il prospetto Excel dei costi di climatizzazione relativo agli anni 2016, 2017 e 2018¹, gentilmente offerto dal responsabile di servizio-area tecnica del Politecnico di Torino.

Nella lettura dei dati si è potuto osservare come, per entrambe le stagioni di climatizzazione, si verificasse anno dopo anno un aumento dei consumi energetici e quindi dei costi sostenuti.

In generale, i due principali fattori in grado di influenzare i consumi letti in bolletta sono:

- il profilo di utilizzo dell'edificio
- le condizioni climatiche

Nella prospettiva di delineare un quadro il più possibile rispondente alla condizione reale e per far convergere, quindi, il fabbisogno energetico del modello al fabbisogno dichiarato dai consumi sulle bollette, è stata sviluppata una normalizzazione manuale dei risultati sulla base dei Gradi Giorno.

In prima battuta sono stati pertanto normalizzati i valori di fabbisogno termico e frigorifero ottenuti dal *software Termolog* rispetto a Gradi Giorno reali. L'operazione di normalizzazione, e quindi di allineamento ai dati di consumo, è stata funzionale ad ottenere un modello tarato sui consumi, e quindi attendibile e reale, che costituisca così il punto di partenza a cui riferire le diverse alternative progettuali, riuscendo a quantificare attraverso tale confronto i potenziali risparmi economici garantiti da ciascuna di esse.

PER LA STAGIONE DI RISCALDAMENTO

TORINO: ZONA CLIMATICA E, GRADI GIORNO : 2 617

Sul sito di Arpa Piemonte, nella sezione "Accesso ai dati", sono stati individuati e scaricati i Gradi Giorno termici della città di Torino relativi agli anni 2016, 2017, 2018. Prendendo a riferimento i Gradi Giorno teorici stabiliti da normativa si è poi proceduto a realizzare la seguente proporzione per ciascun anno :

consumi per riscaldamento (bolletta) : GG reali (Arpa Piemonte) = x : GG teorici

dove x rappresenta il consumo teorico per riscaldamento per ciascun anno.

Avendo a disposizione informazioni relative ai soli tre anni, si è in seguito proceduto con la media dei tre anni per ottenere così un valore indicativo in grado di esprimere il consumo teorico dell'edificio, confrontabile successivamente con gli *output* di calcolo elaborati da *Termolog*.

1. Per la consultazione del documento si rimanda al Volume Allegati.

PER LA STAGIONE DI RAFFRESCAMENTO

Per quanto riguarda la stagione di raffrescamento, la procedura di normalizzazione dei risultati è stata più complessa.

Arpa Piemonte, ancora impegnata in una fase di analisi preliminare del parametro dei Gradi Giorno estivi, ha fornito per la città di Torino una proposta di valore annuale di 127 GG di raffrescamento.

Pertanto, per poter individuare i Gradi Giorno estivi, si è proceduto in autonomia, partendo dai dati di temperatura media registrati dalle stazioni della rete di monitoraggio di ARPA Piemonte, visionabili e scaricabili attraverso la Banca Dati Meteorologica on line. Sono stati poi considerati i GG di raffrescamento come la sommatoria, estesa a tutti i giorni dell'anno con temperatura media superiore o uguale ad una soglia pari a 24°C, delle differenze tra la Tmedia e quella interna dell'ambiente da raffrescare, per la quale viene assunto un valore di riferimento pari a 21°C (Trif = 21 °C).

Per gli anni 2016, 2017 e 2018 sono stati individuati i seguenti valori di GG estivi:

- anno 2016 : 170 GGE
- anno 2017 : 250 GGE
- anno 2018 : 227 GGE

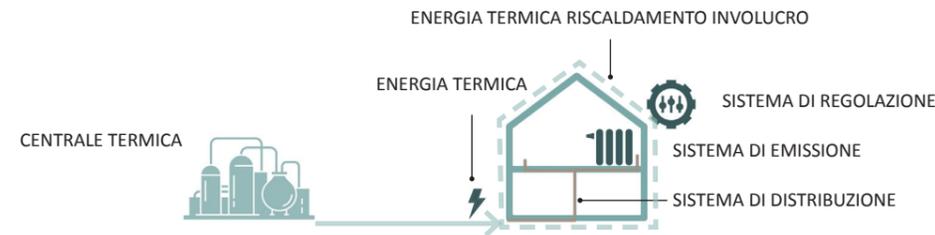
È stata, di nuovo, elaborata la seguente proporzione per ciascun anno:

consumi per raffrescamento (bolletta) : GG reali (Arpa Piemonte) = x : GG teorici

dove x rappresenta il consumo teorico per raffrescamento per ciascun anno.

La media matematica dei consumi teorici relativi ai tre anni ha di nuovo permesso di ottenere il valore medio indicativo del consumo annuale di energia per raffrescamento da parte dell'edificio.

SCHEMA ESEMPLIFICATIVO:



RENDIMENTO SISTEMA DI DISTRIBUZIONE: 0.9
 RENDIMENTO SISTEMA DI REGOLAZIONE: 0.9
 RENDIMENTO SISTEMA DI EMISSIONE: 0.9
 PRODOTTO DEI TRE RENDIMENTI: $0.9 \times 0.9 \times 0.9 = 0.73$
 ENERGIA TERMICA INVOLUCRO: ENERGIA TERMICA X 0.73

ANNO	DA FOGLIO XLS		DA ARPA	DA NORMA	NORMALIZZATI
	MWh	kWh	GG	GG	kWh
2016	1 334.20	1 334 200.00	2 581	2 617	1 352 809.53
2017	1 660.60	1 660 600.00	2 563	2 617	1 695 587.28
2018	1 289.10	1 289 100.00	2 526	2 617	1 335 540.26

Fabbisogno termico normalizzato medio sui 3 anni (2016, 2017, 2018):

1 461 312.36 kWh

Energia termica involucro (energia misurata x prodotto dei rendimenti)

1 066 758.02 kWh

ANNO	DA FOGLIO XLS		DA ARPA	DA NORMA	NORMALIZZATI
	MWh	kWh	GG	GG	kWh
2016	1 622.30	1 622 300.00	170	127	1 221 953.53
2017	3 425.70	3 425 700.00	250	127	1 740 255.60
2018	1 305.10	1 305 100.00	227	127	730 166.08

Fabbisogno frigorifero normalizzato medio sui 3 anni (2016, 2017, 2018):

1 227 458.40 kWh

Energia frigorifera involucro (energia misurata x prodotto dei rendimenti)

896 044.63 kWh

Sulla base di tali risultati, si potrebbe dunque concludere che per quanto riguarda la stagione estiva sussiste un rapporto di circa 1:2 tra i consumi normalizzati e quelli calcolati dal Software, mentre per quanto riguarda la stagione di raffrescamento i valori non si discostano sensibilmente tra loro.

3.5.9 Conclusioni

La sede del Politecnico è una struttura complessa, che per soddisfare una precisa necessità progettuale, è stata ristrutturata secondo un'articolata composizione di volumi e di solai a sbalzo. Inoltre, proprio in quanto icona dell'Architettura Moderna, l'edificio attesta ampie superfici vetrate che scandiscono e ritmano le facciate, quasi a volersi dichiarare la prosecuzione trasparente della struttura opaca portante.

Analizzando i dati, la quota maggiore di dispersioni avviene verso l'ambiente esterno (78%), attraverso le superfici opache e, soprattutto, trasparenti. I serramenti sono infatti responsabili del 58% degli scambi termici complessivi mentre le pareti esterne contribuiscono per il 19%.

In fase di ristrutturazione, infatti, in presenza di un vincolo di tutela ed in assenza di normative chiare sull'efficienza energetica, non si è intervenuti in maniera incisiva per il miglioramento delle prestazioni dei diversi componenti edilizi, a tal punto che oggi anche gli elementi di chiusura orizzontale hanno un ruolo chiave nella *performance* complessiva dell'edificio e sono responsabili del 14% delle dispersioni termiche. Infatti, la notevole superficie a sbalzo dei solai, i quali non sono stati isolati oppure sono stati riqualificati ma oggi non vantano prestazioni efficaci, provoca consistenti scambi termici tra il volume interno riscaldato e l'ambiente esterno più freddo.

Un altro elemento fortemente problematico è costituito dall'ampio vuoto centrale che attraversa dal piano terra fino in copertura tutto quanto l'edificio. Tale volume d'aria, dalle dimensioni enormi, confina lateralmente con gli ambienti delle aule e degli uffici, che sono tutti riscaldati, mentre comunica con l'esterno soltanto attraverso superfici vetrate. Al piano terreno, in prossimità dell'ingresso principale, l'assenza di una zona di filtro non permette di contenere l'uscita di aria calda all'esterno e produce, pertanto, dispersioni termiche ad ogni passaggio degli utenti. La presenza, tuttavia, di una copertura interamente vetrata, consente al camino centrale di accumulare apporti solari e sfruttare così i guadagni gratuiti per ridurre il suo fabbisogno di energia per il riscaldamento.

Contrariamente a quanto accade nella stagione invernale, durante i mesi estivi, quando le radiazioni solari sono più intense e gli apporti sulle superfici vetrate sono maggiori, l'atrio si comporta proprio come una serra: confinando con locali riscaldati ed avendo dunque una superficie disperdente ridotta, fa fatica a smaltire gli accumuli termici e per questo si surriscalda.

Le aule e gli uffici, invece, avendo una superficie disperdente decisamente più considerevole, riescono più facilmente a smaltire gli apporti gratuiti, interni e solari, ed hanno quindi minor necessità di energia termica per il raffrescamento.

Dall'elaborazione dei dati emerge che alcune zone termiche dell'edificio necessitano di raffrescamento anche nei mesi invernali. Questo dipende dal fatto che le stagioni di raffrescamento vengono ricalcolate sulla base del rapporto dispersioni-apporti e a causa delle caratteristiche delle strutture dell'involucro, dell'orientamento e dei confini, potrebbe verificarsi in alcuni casi una condizione sbilanciata.

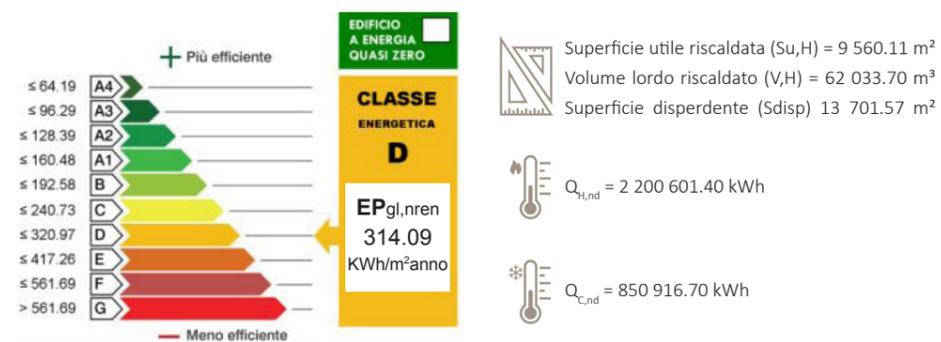
La sede del Politecnico, sebbene disponga di un ingresso assolutamente indipendente ed autonomo rispetto alle altre funzioni insediate al Lingotto, resta tuttavia perfettamente inserita ed integrata all'interno della grande struttura e, per tale motivo, prevede degli spazi che inevitabilmente confinano con altri locali del

Consorzio.

Le zone con fabbisogno energetico per raffrescamento apparentemente anomalo, sono proprio quei locali che non solo confinano con altri ambienti interni riscaldati, ma comunicano direttamente anche con le zone riscaldate del Lingotto come, in questo specifico caso, la Galleria Commerciale. Questa condizione da un lato favorisce nuovi ingressi di calore e dall'altro fa sì che la superficie disperdente sia ridotta e quindi diminuisca il valore del contributo di dispersione. Le tecnologie costruttive di tali zone poi, come del resto di tutto il Lingotto, prevede un largo impiego di superfici vetrate, che ricevono costantemente elevati apporti solari. Molti apporti e poche dispersioni fanno sì che queste zone siano molto più performanti nella stagione invernale ma molto più sfavorite nella stagione di raffrescamento, la quale, pertanto, si dilata.

Dal momento però che questa condizione si verifica soltanto in alcune zone termiche, in una valutazione complessiva, si ottiene un bilancio di apporti-dispersioni tale per cui l'effetto su alcune zone viene appianato dal resto dell'edificio dove la condizione è meno anomala.

Complessivamente, l'analisi del comportamento energetico dell'edificio si può così riassumere:



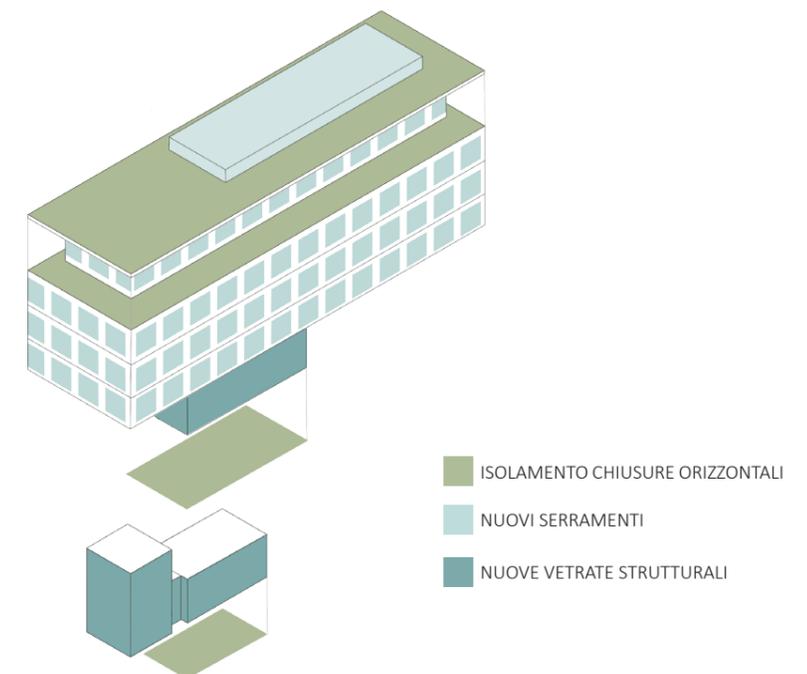
L'edificio del Politecnico ricade in classe energetica D, riportando un indice di prestazione energetica EP_{gl,nren} (che in questo caso coincide anche con il totale EP_{gl,tot}) pari a 314.09 kWh/m²anno.

Il fabbisogno energetico annuo dell'edificio per riscaldamento è pari a 2 200 601.40 kWh, mentre la domanda di energia termica per raffrescamento è di 850 916.70 kWh/anno.

I risultati dimostrano, inoltre, come il fabbisogno di energia per il riscaldamento sia più elevato rispetto a quello per il raffrescamento. Confrontando questi dati con il prospetto dei Costi di climatizzazione annuali fornito dal Politecnico¹, appare evidente come anche la spesa per il riscaldamento sia più elevata di quella per il raffrescamento, gravando quindi maggiormente sul bilancio economico complessivo. Alla luce di queste considerazioni è stato pertanto possibile individuare i punti di forza e di criticità dell'edificio in modo tale da capire come intervenire e come orientare gli scenari di progetto.

Si è pertanto pensato di privilegiare scelte progettuali che potessero avere ricadute prevalentemente sulla stagione invernale rispetto a quella estiva, valutando anche in quale misura questi scenari fossero più convenienti dal punto di vista economico.

SCHEMA VOLUMETRICO DELLO STATO DI FATTO:
 Come si presenta oggi l'edificio a seguito degli interventi migliorativi degli anni Duemila



1. Politecnico di Torino, *Prospetto Costi di climatizzazione Politecnico anni 2018-2017-2016*

3.6 Le indagini strumentali in campo

3.6.1 Introduzione al tema

Con l'espressione "prove strumentali in campo" s'intende una serie di misure integrative svolte in opera che possono affiancare la tradizionale diagnosi energetica tramite calcolo e che hanno le principali finalità di analizzare lo stato di fatto di un edificio esistente di cui non si abbiano sufficienti informazioni, sviluppare un confronto pre e post riqualificazione energetica oppure, ancora, verificare che i lavori siano stati eseguiti a regola d'arte. Generalmente, del resto, per la diagnosi energetica di un edificio esistente o per la verifica di una nuova costruzione, il reperimento del progetto cartaceo può essere difficoltoso, oppure si possono riscontrare incongruenze tra quest'ultimo e la struttura realizzata.

Le indagini sul campo consentono di ottenere valori più precisi e più corrispondenti alle condizioni reali dal momento che, molto spesso, si registrano valori più alti di trasmittanza termica rispetto a quelli previsti dal progetto. Questo fenomeno accade, ad esempio, per una posa in opera non corretta degli elementi, oppure per l'usura del materiale nel tempo, che provoca la perdita delle sue prestazioni isolanti, oppure ancora per le condizioni ambientali diverse da quelle di progetto.

Si tratta di validi strumenti a supporto del professionista perchè, avvalendosi di tecnologie avanzate, consentono di sviluppare indagini dettagliate sui manufatti attraverso metodologie non distruttive. Soprattutto nell'ambito del restauro, la diagnostica non invasiva permette di individuare tutti quei fenomeni patologici di cui le costruzioni sono affette, definirne le cause di degrado per poi elaborare valide proposte di intervento. Lo stesso Decreto Ministeriale del 26 giugno 2009 riporta che "Il Soggetto certificatore, nell'ambito della sua attività di diagnosi, verifica o controllo, può procedere alle ispezioni e al collaudo energetico delle opere, avvalendosi, ove necessario di tecniche strumentali."¹

Le tecniche strumentali a cui si fa riferimento sono essenzialmente tre: la termografia, il *blower door test* e la misura della trasmittanza. Nei prossimi paragrafi verranno sinteticamente trattate due di queste tecniche, ossia la termografia e la misura della trasmittanza, che sono state di fondamentale importanza nella fase di caratterizzazione dell'involucro edilizio della sede del Politecnico. Ogni paragrafo presenta un rimando al quadro normativo di riferimento, definisce le caratteristiche tipologiche e prestazionali della strumentazione impiegata, illustra la procedura di misurazione e i requisiti generali di prova, fornendo indicazioni per la lettura e l'interpretazione dei risultati ottenuti.

Nel caso specifico della sede del Politecnico, la campagna di misure è stata condotta per indagare in maniera più precisa le caratteristiche e le prestazioni dell'involucro edilizio, non essendo riusciti a reperire una sufficiente documentazione tecnica. L'edificio del Lingotto, per struttura e forma architettonica, presenta un'ampia superficie vetrata che, da un punto di vista energetico, provoca consistenti dispersioni termiche. Attribuendo dunque all'elemento trasparente un ruolo chiave nella *performance* energetica complessiva dell'edificio, è risultato di fondamentale importanza conoscere con esattezza la tipologia di serramenti presenti e le loro caratteristiche fisiche e prestazionali.

1. D.M. 26/6/2009, Allegato A, Punto 8, *Procedura di certificazione energetica degli edifici*, p.12

Non essendo possibile risalire ad una scheda tecnica, si è proceduto modellando sul *Software Termolog Epix10* la stratigrafia del pacchetto vetrato, ottenendo così un certo valore di trasmittanza termica. In fase successiva si è poi andati a verificare attraverso la misura in opera dell'elemento vetrato che il valore calcolato corrispondesse a quello reale.

La configurazione architettonica interna, organizzata su un ampio vuoto centrale che attraversa tutto l'edificio, unita ad una tecnologia costruttiva che prevede un largo impiego del vetro fa sì che le dispersioni energetiche siano considerevoli. La presenza, inoltre, di un'ampia superficie a sbalzo di solai non isolati favorisce la crescita degli scambi termici tra volume riscaldato e l'esterno. Nella fase di conoscenza dell'involucro edilizio era necessario individuare quale componente pesasse maggiormente sul rendimento energetico globale dell'edificio ed è risultato quindi molto utile confrontare i dati calcolati con misure in campo che potessero, anche a livello qualitativo, suggerire un quadro complessivo dei problemi e delle criticità.

Sempre per quanto riguarda l'elemento trasparente, ad esempio, è possibile che nella fase di ristrutturazione dell'immobile gli infissi non siano stati installati correttamente, oppure che non siano stati scelti serramenti con un performante taglio termico: oggi questo fenomeno si traduce nella formazione di zone fredde in prossimità della superficie vetrata, che non solo creano dispersioni termiche ed energetiche, ma provocano anche una sensazione di *discomfort* agli utenti che vivono quegli spazi. Per indagare il problema è stato allora necessario l'utilizzo della termocamera, sia per verificare l'effettiva presenza di infiltrazioni d'aria tra muro e telaio, sia per valutarne in maniera qualitativa la loro entità.

Al termine della campagna di misure, i dati di *output* raccolti sono stati elaborati ed interpretati al fine di sviluppare considerazioni analitiche ed efficaci.

3.6.2 Cenni di termografia

Una delle prove strumentali più diffuse è la termografia ad infrarossi, che restituisce una fotografia in falsi colori che mappa la distribuzione delle temperature superficiali dei corpi analizzati. Lo strumento per l'acquisizione dei dati è la termocamera, una speciale telecamera sensibile all'infrarosso che registra l'intensità della radiazione nella parte infrarossa dello spettro elettromagnetico e la converte in un'immagine visibile in scala cromatica, il cosiddetto termogramma. Più i colori sono caldi, tanto più elevata è la temperatura in quel punto; più i colori sono freddi tanto minore è la temperatura superficiale. Le indagini termografiche in edilizia consentono di rintracciare i ponti termici e le dispersioni energetiche, individuare i difetti di isolamento, le infiltrazioni d'aria e la presenza di umidità di risalita o di muffe. Lo studio dell'immagine in falsi colori permette a colpo d'occhio di riconoscere anomalie ed irregolarità ed ecco perchè l'analisi termografica viene anche impiegata per controllare lo stato di funzionamento degli impianti e dei sistemi di distribuzione termici ed elettrici nei grandi edifici.

INQUADRAMENTO E RIFERIMENTI NORMATIVI

La termografia, inizialmente poco diffusa e molto costosa, nel corso degli ultimi anni è stata sempre più adottata nelle indagini edilizie, come nelle operazioni di

verifica delle caratteristiche prestazionali delle nuove costruzioni o delle grandi ristrutturazioni o per svolgere semplici controlli in fase di cantiere. Questo sviluppo a larga scala è stato reso possibile anche grazie al costante perfezionamento della tecnologia, nonché alla progressiva diminuzione del prezzo delle termocamere.

Attualmente sono in commercio diversi modelli di termocamera, come la Termocamera Tascabile, dalle dimensioni e dal *budget* contenuti, la Termocamera a Pistola, più professionale e largamente impiegata nel settore edile e industriale, oppure ancora la Termocamera *FlexCam*, con un'ottica inclinabile e simile per forma alle comuni videocamere digitali. Sono tutte basate sullo stesso principio secondo cui lo strumento riceve le radiazioni IR, le converte in impulsi elettrici che avviano il processamento dell'immagine termica e ne restituiscono una ricostruzione in falsi colori.

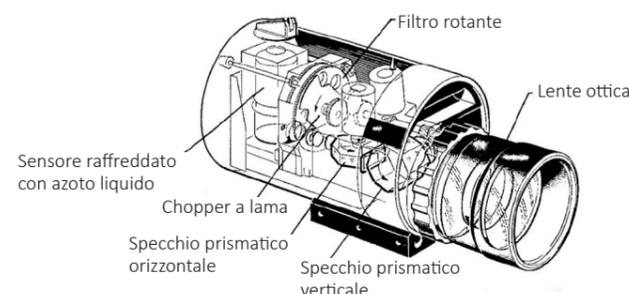


Fig 59: Esempio di termocamera tascabile (FLIR).



Fig 60: Esempio di termocamera a pistola (FLIR).



Fig 61: Esempio di termocamera FlexCam (FLIR).

Accanto ad una crescente diffusione della strumentazione e delle indagini termografiche, non si è tuttavia assistito ad una parallela evoluzione della normativa che ne regolasse l'applicazione.

I principali riferimenti tecnici oggi vigenti sono costituiti, infatti, dalle norme:

- UNI EN 13187 sulla "Prestazione termica degli edifici. Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi. Metodo all'infrarosso" che si sostituisce alla precedente UNI 9252 che tratta di "Rilievo e analisi qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri degli edifici. Metodo della termografia all'infrarosso".
- UNI EN 16714 sulle "Prove non distruttive. Prove termografiche" che definisce i principi generali, la strumentazione, nonché i termini e le definizioni relativi alle prove termografiche.
- Tutte le indagini termografiche devono essere svolte da operatore certificato come da norma UNI EN ISO 9712 che tratta le "Prove non distruttive. Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive".

L'importanza di un operatore qualificato risiede nella sua capacità di rielaborare ed interpretare i dati di *output* generati dalla strumentazione e, aspetto ancora più significativo, conoscere quei parametri che possono influenzare la lettura delle temperature, come la conducibilità termica e l'emissività di un materiale.

La conducibilità termica (λ) esprime la capacità di una sostanza di trasmettere calore per conduzione e dipende dalla natura del materiale, non dalla sua forma. Può variare anche a seconda della temperatura, dalla densità e dal contenuto di umidità del materiale.

È definita dalla legge di Fourier e misurata in watt su metro-kelvin $W/(m \cdot K)$:

$$\lambda = Q \cdot l / \Delta T$$

dove:

Q è la densità di corrente termica

ΔT è il gradiente di temperatura

L'emissività (ϵ) è invece la capacità di una sostanza di emettere radiazioni IR. Dipende dalle proprietà del materiale e quindi dalla tipologia e dalle caratteristiche superficiali e varia con la temperatura della superficie. Si tratta di un valore compreso nell'intervallo tra 0 e 1 che esprime il rapporto tra l'energia irraggiata da quel materiale e l'energia irraggiata da un corpo nero, preso a riferimento, che sia alla stessa temperatura e per cui $\epsilon=1$. Viene descritta dalla formula:

$$\epsilon = E(T) / E_n(T)$$

dove:

$E_n(T)$ è la radiazione emessa dal corpo nero alla stessa temperatura e per la relazione di Stefan – Boltzman può essere espressa come:

$$E_n(T) = \sigma T^4$$

dove:

E è il potere emissivo

T è la temperatura assoluta del corpo espressa in gradi Kelvin [K]

σ è la costante di Stefan Boltzman

ϵ è l'emissività del corpo

PROCEDIMENTO E ACCORGIMENTI

L'indagine termografica si compone di tre macro-fasi: per prima cosa si conduce il rilievo della temperatura superficiale dell'intero involucro, o di parte di esso, a partire dalla temperatura radiante apparente. In secondo luogo si rintraccia la presenza di eventuali irregolarità, dovute ad esempio a difetti d'isolamento, umidità, infiltrazioni d'aria. Infine, si valuta quanto e come incidono tali anomalie nell'edificio nel suo complesso. Per ottenere un'analisi più accurata è necessario disporre sia dei

disegni progettuali del manufatto che gli schemi unifilari impiantistici, per capire se la mappatura delle diverse temperature superficiali corrisponde alla distribuzione prevista oppure se il fabbricato presenta dei difetti. Per tale motivo è di fondamentale importanza conoscere la geometria dell'edificio, le caratteristiche dell'involucro, le proprietà radianti e l'emissività dei materiali costruttivi, la posizione geografica dell'immobile ed il suo orientamento.

La norma UNI EN 13187 tratta approfonditamente i tre tipi di difetti più comunemente individuati durante le misure termografiche, definendone le caratteristiche e le modalità di comparsa proprio per renderli immediatamente riconoscibili in fase di rilievo.

I difetti di isolamento, per i quali lo strato coibente non è stato disposto uniformemente sulla struttura dell'edificio, sono chiaramente individuabili nel termogramma in quanto generano forme regolari e ben definite sulla superficie edilizia.

La presenza di umidità, invece, dà luogo a macchie irregolari e diffuse, riscontrabili principalmente negli angoli dell'edificio oppure sui soffitti. Questi fenomeni non solo possono ridurre le prestazioni meccaniche e termiche del materiale costruttivo, ma possono anche favorire la formazione di muffe, assai nocive per la salute degli utenti. Per quanto riguarda infine le infiltrazioni d'aria, i termogrammi restituiscono forme irregolari "a dita" o "a baffo", solitamente localizzate in corrispondenza delle zone di contatto tra la parete ed il telaio dei serramenti che danno luogo a punti freddi, eccessiva ventilazione e consistenti dispersioni termiche, che provocano, tra l'altro, grandi sprechi energetici.

La norma UNI EN 13187 prescrive inoltre indicazioni precise per poter operare correttamente nella fase di misurazione. Suggerisce *in primis* di utilizzare una strumentazione che abbia una sensibilità termica di 0.3°C ed in secondo luogo di condurre le misure in assenza di forti variazioni sia della temperatura dell'aria interna o esterna sia del vento, che altererebbe le condizioni di prova in quanto provocherebbe sulla superficie analizzata fenomeni di raffreddamento convettivo.

In particolar modo, per le indagini condotte all'interno e su un edificio caratterizzato da una struttura leggera:

- "La temperatura dell'aria esterna non deve variare di $\pm 10^{\circ}\text{C}$ nelle 24 ore precedenti la prova.
- Nelle 24 ore precedenti la prova, e durante la prova, la differenza di temperatura dell'aria attraverso l'involucro non deve essere minore di $3/U$, con U valore di trasmittanza della parete, e mai minore di 5°C .
- Durante la prova, la temperatura dell'aria esterna non dovrebbe variare di oltre $\pm 5^{\circ}\text{C}$ e la temperatura dell'aria interna di oltre $\pm 2^{\circ}\text{C}$."¹

La normativa impone, inoltre, di condurre le misurazioni termografiche in giornate nuvolose, per evitare che l'irraggiamento diretto del sole possa produrre accumuli termici che falserebbero i risultati.

La UNI EN 13187 prescrive tuttavia condizioni di prova che non sempre si riescono a soddisfare nella realtà dei fatti. Per citare qualche esempio, la norma richiede di confrontare i termogrammi ottenuti in fase di rilievo con "termogrammi di riferimento" che fotografano strutture con "difetti noti", consentendo così di rintracciare e poi

1. UNI EN 13187:2000 "Prestazione termica degli edifici - Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi - Metodo all'infrarosso"

classificare la tipologia dell'anomalia rilevata. Ma dato il grande numero di particolari architettonici nel contesto edilizio, così come la grande quantità di fattori strutturali, fisici e climatici che intervengono ed influenzano il contesto di prova, è difficile assimilare in modo netto il difetto misurato ad un parametro *standard* fornito dalla normativa.

La norma, poi, presuppone di liberare le pareti dagli arredi nell'ottica di "rendere visibili le superfici interessate" ed evitare di "generare fenomeni transitori"¹ durante la misurazione termografica. Questo requisito, fondamentale dal punto di vista teorico, sul piano pratico appare quasi impossibile da soddisfare perché risulta in forte antitesi con la reale e quotidiana gestione dell'edificio.



Fig 62: Esempio di individuazione di ponti termici sulla facciata di un edificio.

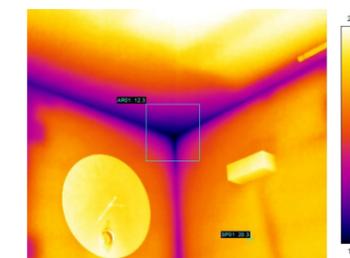
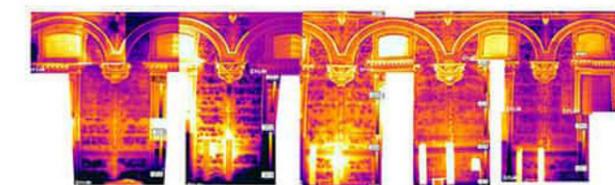


Fig 63: Esempio di individuazione di muffa e umidità nell'angolo tra le pareti e il solaio.



Immagine visibile panoramica della porzione di facciata



Mosaico immagini IR (infrarosso) facciata piano terra stazione F.S. Porta Nuova lato via Sacchi

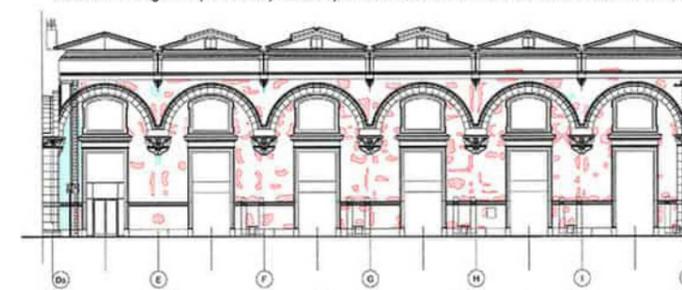


Fig 64: Indagine Termografica sulla facciata Ovest della Stazione Porta Nuova (TO) con mappatura del distacco dell'intonaco di supporto.

1. D. Lanzoni, *Il quadro normativo nel settore della termografia*, «neo-Eubios», 36, 2011, p.7 D. Lanzoni, *Il quadro normativo nel settore della termografia*, «neo-Eubios», 36, 2011, p.7

Fonti immagini: Figg. 59-60-61 prod.flir.it; Fig. 62 associazionetermografia.it; Fig. 63 darkwavethermo.com; Fig. 64 abieffeimpresa.it

CONCLUSIONI

Si potrebbe dunque concludere che la termografia ha acquisito nel corso degli anni un ruolo sempre più importante non solo nella fase precedente l'intervento, ma anche in quella di verifica degli interventi edilizi e di riqualificazione energetica appena conclusi.

La termografia infatti non consente soltanto di individuare i ponti termici, e quindi le dispersioni nell'edificio, ma permette anche di descrivere le condizioni interne degli ambienti con specifico rimando ai fenomeni di umidità, infiltrazioni d'aria, difetti di isolamento ed eventuali problemi nel funzionamento degli impianti. Questo tipo di indagine strumentale prevede la presenza di un operatore con specifica preparazione per poter interpretare i risultati e valutare eventuali falsi positivi. La relazione finale infatti non dovrà soltanto contenere una segnalazione delle problematiche, ma dovrà anche presentare l'interpretazione delle cause nonché i possibili interventi migliorativi per rendere più performante l'involucro edilizio. Una tale diagnosi, nonostante alcuni limiti della normativa vigente, assicura un quadro completo dello stato di fatto dell'edificio e stabilisce rigide prescrizioni per un preciso punto di riferimento nella quotidiana pratica operativa.

3.6.3 Le indagini termografiche al Lingotto



☁️ DATI RELATIVI ALLE CONDIZIONI DI PROVA

Data:	14/02/2020
Orario di inizio:	11:00
Orario di fine:	12:00
Temperatura esterna:	10° C
Temperatura interna:	25° C

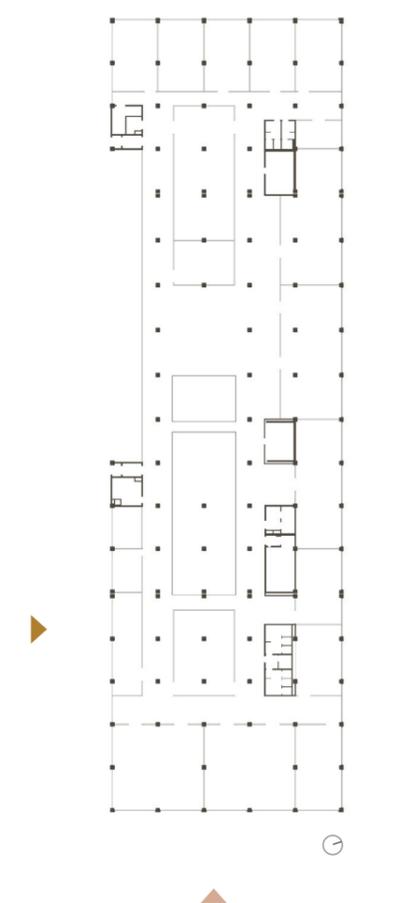
📷 DATI RELATIVI ALLA TERMOCAMERA

Marca:	FLIR
Modello:	E60bx

Intervallo temperatura:	-20 °C a +120 °C
Frequenza acquisizione:	60 Hz
Campo visivo IR:	25 ° x 19 °
Sensibilità termica:	< 0.045°C
Risoluzione IR:	320 x 240 pixels

Le indagini termografiche sono state eseguite in accordo alla norma UNI EN 13187, durante la stagione invernale e si sono principalmente concentrate lungo il fronte nord dell'edificio, meno esposto alle radiazioni solari, in modo tale che i risultati non venissero alterati da altre fonti di calore e fossero per questo il più possibile attendibili. A scopo conoscitivo sono state poi svolte altre misure in corrispondenza dei fronti Est e Sud.

PUNTI DI PRESA DELLE INDAGINI TERMOGRAFICHE



	N. INDAGINE	ORIENTAMENTO
■	1	Prospetto Nord
■	2	Prospetto Est
■	3	Prospetto Sud

1. Prospetto Nord_lato esterno

OPERAZIONI PRELIMINARI ALLA CAMPAGNA DI INDAGINI



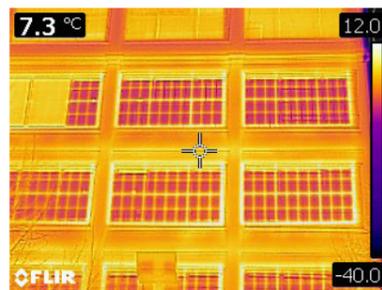
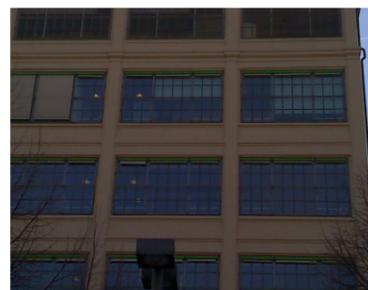
1. Misurazione della temperatura dell'aria esterna.



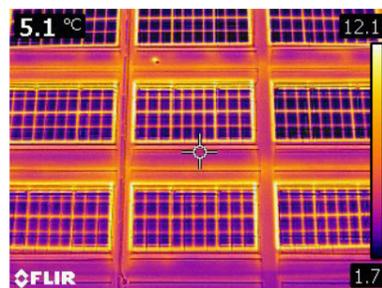
2. Configurazione dello strumento nella modalità *AutoBlend* che permette di sovrapporre l'immagine digitale a quella ad infrarossi per facilitare l'individuazione di irregolarità.

IMMAGINE A LUCE VISIBILE

IMMAGINE AD INFRAROSSI



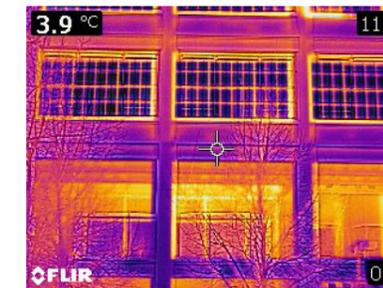
3. Dato il differente spessore degli elementi edilizi, si verificano ponti termici di struttura in corrispondenza dei pilastri, della travatura e delle solette lievemente sporgenti, riscalando all'esterno il reticolo del telaio strutturale.



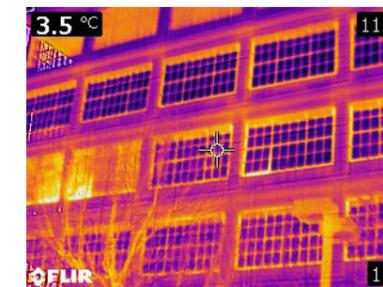
4. La presenza di colori più freddi in corrispondenza delle porzioni trasparenti e, al contrario, tonalità più calde che seguono la struttura dei telai, fa supporre che i serramenti siano composti da un pacchetto vetrato con buone prestazioni termiche installato tuttavia su profili a taglio termico poco performanti.

IMMAGINE A LUCE VISIBILE

IMMAGINE AD INFRAROSSI



5. La fascia in basso del termogramma, di colore giallo acceso, restituisce la temperatura superficiale delle vetrate strutturali e del solaio a sbalzo del secondo piano. Si evince chiaramente come il volume riscaldato, a contatto con l'ambiente esterno, generi considerevoli scambi termici.

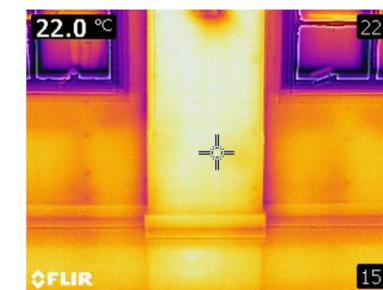


6. I riquadri caldi in alto non presentano lo stesso modulo reticolare dei serramenti inferiori perchè, date le terrazze coperte, sul filo facciata dell'ultimo piano gli infissi sono assenti. Per dare continuità visiva sono stati mantenuti soltanto i telai mentre i serramenti, alloggiati sui nuovi muri di tamponamento, risultano arretrati di una campata.

1. Prospetto Nord_lato interno



7. Misurazione della temperatura dell'aria interna.



8. Individuazione del ponte termico di struttura tra pilastro e parete di tamponamento.

IMMAGINE A LUCE VISIBILE

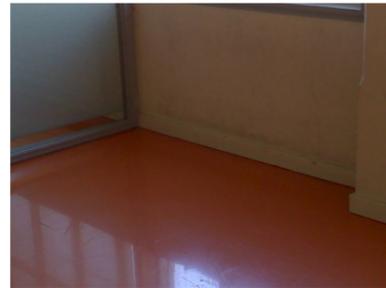
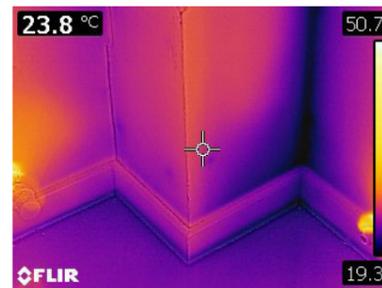


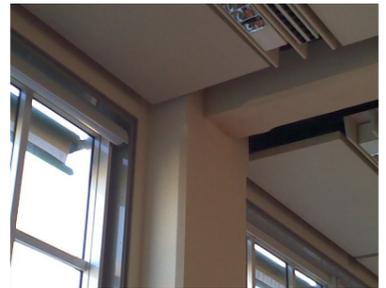
IMMAGINE AD INFRAROSSI



9. Individuazione del ponte termico tra partizione orizzontale e chiusura verticale. Il termogramma, inoltre, mostra in falsi colori l'anima della controparete che costituisce l'esito di un intervento successivo di isolamento delle pareti perimetrali esterne.



10. Individuazione del ponte termico angolare tra pilastro e pareti di tamponamento.



11. Il profilo poco performante dei serramenti fa sì che nelle immediate vicinanze si generino zone fredde, responsabili non soltanto delle dispersioni energetiche ma anche del *discomfort* degli utenti.



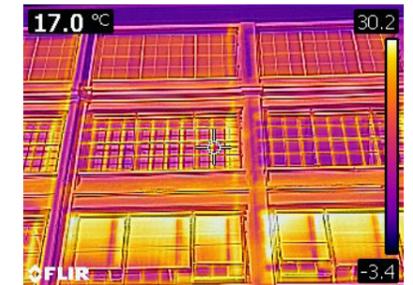
12. Individuazione dei ponti termici in corrispondenza dell'aggancio del serramento al muro perimetrale esterno.

2. Prospetto Est_lato esterno

IMMAGINE A LUCE VISIBILE



IMMAGINE AD INFRAROSSI



13. Il termogramma evidenzia sia i ponti termici in corrispondenza del reticolato del telaio strutturale, sia il diverso comportamento termico dei componenti opachi e trasparenti dei serramenti.



14. Individuazione degli scambi termici tra il solaio a sbalzo del secondo piano e l'ambiente esterno.

3. Prospetto Sud_lato esterno

IMMAGINE A LUCE VISIBILE



IMMAGINE AD INFRAROSSI



15. La superficie del sistema delle schermature solari è caratterizzata da una tonalità calda, facendo dunque supporre che poco protegge la struttura dall'accumulo delle radiazioni.

3. Prospetto Sud_lato interno

IMMAGINE A LUCE VISIBILE



IMMAGINE AD INFRAROSSI



16. Individuazione dei ponti termici in corrispondenza del punto di giunzione tra il telaio del serramento ed il muro, e dell'angolo tra il pilastro e la parete di tamponamento.

3.6.4 La trasmittanza termica e la procedura di rilevamento in opera

Un'altra indagine non distruttiva ampiamente diffusa è costituita dalla misura della trasmittanza degli elementi edilizi. L'operazione viene eseguita se, per esempio, risulta necessario caratterizzare l'involucro e non si possiedono sufficienti dati. Può inoltre servire per confrontare le *performances* di un edificio prima e dopo l'intervento di riqualificazione energetica, oppure per collaudare e verificare che le prestazioni attese vengano garantite una volta eseguiti i lavori. Per un professionista in caso di contenzioso, ad esempio, la prova strumentale può anche essere utile per dimostrare che i lavori siano stati eseguiti a regola d'arte, verificando in tal senso che il valore limite di trasmittanza termica richiesto dalla normativa sia stato rispettato. Conoscere il valore di trasmittanza termica U di un manufatto è oggi di fondamentale importanza perché permette di capire quale sia il comportamento termico dell'involucro edilizio che si sta progettando o riqualificando. A fronte di una politica sempre più attenta al risparmio energetico, assicurare che l'involucro edilizio sia dotato di elementi con un basso valore di trasmittanza termica consente di contenere non solo le dispersioni di calore ma anche le spese sostenute per il funzionamento degli impianti.

DEFINIZIONE E RIFERIMENTI NORMATIVI

Secondo la norma UNI EN ISO 6946, la trasmittanza termica corrisponde al "flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°C" e viene misurata in $W/m^2 K$. Al diminuire del valore U di un elemento, diminuisce il flusso di calore che lo attraversa e, pertanto, aumentano le sue proprietà di isolamento termico. Nelle nuove costruzioni o negli interventi di ristrutturazione è quindi preferibile impiegare strutture con bassissima trasmittanza termica per poter garantire un involucro edilizio dalle ottime prestazioni energetiche.

Il parametro della trasmittanza termica è direttamente proporzionale alla conducibilità termica ed inversamente proporzionale allo spessore dell'elemento.

La trasmittanza termica si può esprimere infatti come l'inverso della resistenza termica, definita come il rapporto tra lo spessore del materiale s e la sua conduttività termica λ :

$$U = 1/RT$$

dove:

RT è la resistenza termica totale. $RT = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$

con:

R_{si} resistenza superficiale interna
 R_1, R_2, \dots, R_n resistenze termiche di ogni strato
 R_{se} resistenza superficiale esterna

Il 29 Dicembre 2006, il Decreto Legislativo n. 311 ha stabilito dei valori limite di trasmittanza termica da rispettare, sulla base delle diverse zone climatiche nazionali.

Tali parametri si riferiscono sia alle strutture opache sia a quelle trasparenti e devono essere osservati nell'ottica di ridurre le dispersioni termiche ed i consumi energetici degli edifici.

Nel caso in cui non fosse nota la stratigrafia di un componente edilizio e ne si voglia conoscere la trasmittanza termica, si può operare con un piccolo carotaggio per stabilire la tipologia del materiale e lo spessore. Il valore di U si può anche ricavare per analogia, confrontando cioè il manufatto oggetto di studio con una tipologia edilizia di cui siano note le stratigrafie, e che sia il più possibile simile al caso studio per geometria, materiali e condizioni al contorno. La trasmittanza dei componenti edilizi dell'edificio, allora, non si misureranno in opera ma si stimeranno sulla base di un paragone con la struttura di riferimento.

L'indagine termoflussimetrica, invece, costituisce una valida alternativa ai metodi tradizionali, permettendo di ottenere valori precisi ed accurati senza intervenire in maniera invasiva sulla struttura esistente. La tecnica non distruttiva, infatti, consente di misurare sia il flusso termico che attraversa un elemento sia la differenza di temperatura liminare interna ed esterna, al fine di ottenere il valore di trasmittanza termica del componente edilizio stesso.

Per questo tipo di prova strumentale è fondamentale riferirsi alle normative tecniche attualmente in vigore, che nello specifico sono:

- La norma UNI ISO 9869 sull' *"Isolamento termico. Elementi per l'edilizia. Misurazione in situ della resistenza termica e della trasmittanza termica"*, aggiornata nel 2015 che riporta le specifiche da seguire per effettuare la misura in opera e le linee guida per la rielaborazione dei dati di output.
- La norma UNI EN ISO 6946 sui *"Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodi di calcolo"* che illustra la metodologia per il calcolo della resistenza termica e della trasmittanza termica dei componenti e degli elementi per edilizia, esclusi i serramenti e gli elementi vetrati per cui invece si fa fede alla UNI EN ISO 10077.

Nello svolgimento del calcolo delle dispersioni termiche ed energetiche, risulta di primaria importanza la consultazione delle norme che definiscono le caratteristiche dei materiali da costruzione, delle murature e dei solai, e che forniscono i valori prestazionali limite da verificare in fase di diagnosi energetica:

- La norma UNI 10351 risalente al 1994 tratta i *"Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore."*
- La norma UNI EN ISO 10456 verte sui *"Materiali e prodotti per l'edilizia. Procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto"*, pubblicata nel 2008 come versione italiana della norma europea EN ISO 10456 del 2007.
- La norma UNI 10355, *"Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo"*, fornisce invece i valori delle resistenze termiche unitarie proprie delle murature e dei solai più diffusi sul territorio italiano.
- La norma UNI TS 11300 sulle *"Prestazioni energetiche degli edifici"* Parte 1: *"Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale."*

- La norma UNI EN ISO 7345 su *"Isolamento termico. Grandezze fisiche e definizioni"* che corrisponde alla versione italiana della normativa europea EN ISO 7345 risalente al 1995.

L'istituto *ASTM International* che studia e sperimenta diversi metodi di prova sui materiali, elabora delle considerazioni che raccoglie poi in pubblicazioni, libri, norme tecniche e banche dati, ha messo a disposizione per questa tipologia di indagini strumentale una serie di *standards* da consultare e a cui riferirsi sempre:

- C 518 *"Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus."*
- C 1046 *"Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components"*, riapprovata nel 2013.
- C 1130 *"Standard Practice for Calibration of Thin Heat Flux Transducers."*
- C 1155 *"Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data"*, riapprovata nel 2013.

La strumentazione per le indagini termoflussimetriche è attualmente molto diversificata: ci sono dispositivi più complessi e dai costi sostenuti, impiegati nei laboratori e nei centri di ricerca, oppure sistemi con un minimo di tre sensori, utilizzati dai liberi professionisti, dai costi contenuti, portatili e di facile utilizzo.

In tutti i casi, lo strumento di misura consente di calcolare sia i flussi termici che attraversano un componente edilizio, sia la temperatura dell'aria, sia la differenza di temperatura liminare tra interno ed esterno.

IL KIT DI MISURAZIONE

Il sistema è composto da un kit di misurazione per la facciata interna e uno per la facciata esterna dell'elemento edilizio, che comunicano tra loro via cavo o via *wireless*. Sia per il lato interno che per quello esterno sono necessari due acquisitori dati, a cui vengono collegate delle sonde di misura.

Per la misurazione della facciata interna, il sistema si compone di un termoflussimetro a piastra, una sonda di temperatura ambiente e due sensori di temperatura a contatto. Per la misurazione esterna, invece, di una sonda di temperatura ambiente e due sensori di temperatura a contatto.

A seconda della marca e del modello del kit di strumentazione possono essere presenti cavi aggiuntivi per il collegamento tra il modulo acquisitore ed il pc e per l'alimentazione elettrica del pc stesso.



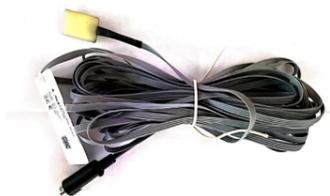
Esempio di un modello di acquisitore R-Log LSI LASTEM.

MODULO DI ACQUISIZIONE: il kit comprende due acquisitori, uno interno e uno esterno.



Esempio di un modello di sensore di temperatura dell'aria LSI LASTEM.

SONDA DI TEMPERATURA AMBIENTE: misura la temperatura dell'aria all'interno e all'esterno dell'ambiente in cui viene svolta la prova.



Esempio di un modello di sensore di temperatura a contatto LSI LASTEM.

SENSORE DI TEMPERATURA A CONTATTO : piastrina metallica che consente di rilevare la temperatura della superficie in esame attraverso la misura della differenza di corrente tra sensori interni ed esterni all'elemento edilizio.



Esempio modello di termoflussimetro a piastra LSI LASTEM.

TERMOFLUSSIMETRO A PIASTRA: piastra di materiale ceramico che misura il flusso termico che attraversa l'elemento edilizio in esame.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEI SENSORI DI TEMPERATURA A CONTATTO

I sensori impiegati nella misurazione della temperatura superficiale di una struttura sono definiti termocoppie, ossia coppie di fili metallici di natura diversa che vengono saldati su un'estremità e vengono collegati dall'altra ad un acquisitore dati. L'accoppiamento genera il cosiddetto effetto *seebeck*, o effetto termoelettrico, che sviluppa una differenza di potenziale elettrico proporzionale alla differenza di temperatura tra i due punti di giunzione. All'interno del *datalogger* è presente un sensore di temperatura che rileva la temperatura interna dello strumento. La termocoppia, con un'estremità mantenuta a temperatura nota, genera così una forza elettromotrice il cui valore è in funzione univoca della temperatura dell'estremità a contatto con la superficie del componente edilizio, che si può pertanto misurare. In fase di montaggio della strumentazione è consigliabile utilizzare della pasta termica per aiutare i sensori ad aderire bene alla superficie da misurare e sarebbe buona regola installarli nelle immediate vicinanze del termoflussimetro: il sensore interno andrebbe posto sotto oppure accanto e quello esterno nella stessa posizione ma dalla parte opposta.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL TERMOFLUSSIMETRO

Il termoflussimetro, invece, misura la densità del flusso termico e la esprime in W/m^2 . È composto da una piastra di materiale ceramico che ha un valore di conducibilità termica nota, precedentemente tarata da un istituto metrologico. Anche il suo spessore è noto. Dispone di un sensore di temperatura sia da un lato che dall'altro per cui è facile misurare la differenza di temperatura liminare tra le due facce. Conoscendo tutti questi parametri si può facilmente ricavare il flusso termico secondo la formula:

$$Q = (\lambda / s) \nabla T$$

dove:

Q è il flusso termico specifico attraverso la piastra

λ è la conducibilità termica della piastra

s è lo spessore della piastra

∇T è la differenza di temperatura

La struttura del termoflussimetro prevede una zona centrale che ospita la termopila, ossia il sensore di rilievo composto da fili metallici di natura diversa avvolti in un substrato di resina epossidica. Attorno alla parte sensibile si colloca un anello di protezione in materiale conduttore, che assicura la perpendicolarità del flusso termico al sensore ed invia gli *output* ad un cavo collegato all'acquisitore dati.

Nella fase di montaggio della strumentazione, il termoflussimetro dev'essere installato direttamente sulla superficie del componente edilizio, generalmente sul lato interno dove la temperatura è più stabile, evitando la vicinanza di ponti termici o sorgenti di calore. Anche in questo caso è consigliabile la pasta termica in modo tale da evitare l'insorgenza di una resistenza di contatto, cioè una piccola intercapedine d'aria tra il sensore e l'elemento edilizio che fa sì che il flusso termico misurato sia minore di quello reale perché maggiorato di una nuova resistenza termica.

CONDIZIONI DI PROVA E INDICAZIONI PRATICHE

In fase di misura, si ipotizza che le condizioni al contorno siano in regime stazionario¹, anche se nella realtà dei fatti non lo sono mai del tutto. Se la temperatura interna di un ambiente viene infatti stabilizzata di *setpoint* dall'utente, la presenza di più o meno persone può influire sul valore complessivo misurato. Allo stesso modo, all'esterno, le condizioni climatiche sono fluttuanti. Sarebbe meglio effettuare le indagini in giornate nuvolose dove le escursioni tra giorno e notte sono meno sensibili e pertanto gli effetti dinamici sono meno importanti. Se il componente edilizio è massivo, l'inerzia termica sarà considerevole. Su un componente vetrato invece lo sfasamento corrisponde ad un breve periodo temporale perciò gli effetti dinamici si possono ritenere trascurabili. In poco tempo, pertanto, si può effettuare una misurazione con un certo grado di accuratezza.

Proprio perché è difficile operare in condizioni al contorno cosiddette stazionarie, la norma UNI ISO 9869 implementa una metodologia che prevede una misura eseguita su un numero di giorni non inferiore a tre (72h) per ottenere così, al termine del periodo, i valori medi di flusso e di temperatura, la cosiddetta metodologia di "media mobile". In questo caso, allora, si ottiene un andamento di trasmittanza termica che restituisce una media di tutti i valori istantanei precedenti. Esistono alcune indicazioni pratiche derivate dall'ampia esperienza in campo che definiscono alcuni principi guida da seguire per un corretto sviluppo della prova strumentale:

- Sarebbe preferibile condurre la misura della trasmittanza termica su componenti edilizi con orientamento a Nord, Nord-Ovest o Nord-Est.
- È preferibile evitare l'indagine su pareti direttamente esposte alla radiazione solare poiché il flusso termico misurato non sarà influenzato dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno ma sarà alterato dalla radiazione che sta ricevendo. Se non è possibile evitare tale condizione, sarebbe preferibile condurre la misura su un elemento con superficie di colore chiaro, in modo tale che sia il più possibile riflettente alla radiazione solare.
- Collocare i sensori in punti protetti, ad esempio sotto gli aggetti orizzontali, per evitare sia l'acqua piovana che le dirette radiazioni solari. Nel primo caso, infatti, i sensori bagnati potrebbero perdere le proprie performances, non possedendo essi un alto IP, oppure potrebbero misurare la temperatura dell'acqua e non quella dell'aria. Nel secondo caso, si potrebbero surriscaldare, registrando alti valori, distanti da quelli reali. Spesso il sensore può essere inserito all'interno di un cilindro rivestito in fogli di alluminio per evitare l'esposizione diretta. Il sensore e la superficie del cilindro non devono toccarsi, in quanto il cilindro, che prende la radiazione solare e si surriscalda, potrebbe trasmettere per conduzione calore al sensore e quindi alterare la misura. Se invece il rilevatore di temperatura è solo posto vicino, la trasmissione per irraggiamento si può considerare trascurabile. La protezione del sensore può servire anche nelle ore notturne per evitare l'esposizione diretta alla volta celeste che potrebbe influenzare la misura: la volta celeste registra, infatti, una temperatura più bassa rispetto alla temperatura dell'aria di circa 10°C in condizioni di cielo sereno.

1. In un regime stazionario si suppone che i parametri che influenzano gli scambi termici siano costanti nel tempo e che gli effetti degli accumuli termici nell'edificio siano trascurabili.

- Sono accettabili e preferibili gli orientamenti a Nord, Nord-Ovest e Nord-Est.
- I sensori devono stare molto distanti dai punti termici, proprio perché in tali punti il flusso termico è estremamente diverso. Molto spesso può essere d'aiuto effettuare una preliminare termografia dell'area da misurare per poter capire dove posizionare i sensori ed evitare quindi i ponti termici e rendere trascurabile il loro effetto. In assenza di termocamera, si può manualmente calcolare la distanza in cui installare il sensore secondo "la regola del pollice" che suggerisce di considerare prima lo spessore dell'elemento edilizio e poi di collocare il sensore ad una distanza maggiore o uguale a 3 volte il suddetto spessore: $d \geq 3s$
- Collocare i sensori possibilmente lontano dalle fonti di calore come i terminali di impianto. Buona regola sarebbe, in situazione obbligata, di schermare il terminale e ridurre in tal modo lo scambio termico per irraggiamento.

ELABORAZIONE FINALE DEI DATI E CONCLUSIONI

Nella fase di acquisizione dei dati, gli impulsi elettrici del termoflussimetro e dei sensori vengono trasmessi al *datalogger* che, collegato al pc, li invierà al *Software* destinato alla loro rielaborazione in dati di *output*. In un periodo di tempo preferibilmente non minore a tre giorni, il *datalogger* registra ad intervalli regolari valori di misura istantanei e li invia successivamente al computer che li organizza in ordine cronologico. I valori di flusso termico e di temperatura si potranno così ricavare effettuando una media dei dati puntuali per quel periodo, ritenuto sufficientemente lungo. Dalla rielaborazione degli *output* si possono anche realizzare grafici che esprimono l'andamento dei valori misurati. La bontà della misurazione si evince quando le linee dei grafici tendono a stabilizzarsi. Nella fase di interpretazione dei dati è di fondamentale importanza confrontare i risultati con i valori limite contenuti in normativa per verificare la validità dei parametri. Al termine del processo viene richiesto un *report* finale in cui specificare i dati sugli elementi misurati, i dati sul procedimento di misura, i dati sul metodo di analisi ed i risultati.

Si può pertanto concludere che l'indagine termoflussimetrica restituisce uno stato di fatto dell'edificio preciso ed esatto, senza alterare la matericità della struttura. Nonostante la delicatezza della strumentazione, che presuppone alcune accortezze nella fase di misura e di installazione dei sensori, tale prova consente di raggiungere un buon livello di accuratezza nella conoscenza del comportamento termico di un edificio, anche grazie al consistente supporto normativo tecnico vigente.

3.6.5 La campagna di misure al Lingotto



KIT DI MISURAZIONE INTERNO

- 1 datalogger R-log Radio Master (ELR510M)
- 1 sensore di temperatura aria (EST033)
- 2 sensori di temperatura a contatto (EST 124)
- 1 termoflussimetro a piastra (ESR240)
- 1 cavo adattatore USB/seriale

KIT DI MISURAZIONE ESTERNO

- 1 datalogger R-log Radio Slave (ELR510S)
- 1 sensore di temperatura aria (EST033)
- 2 sensori di temperatura a contatto (EST 124)

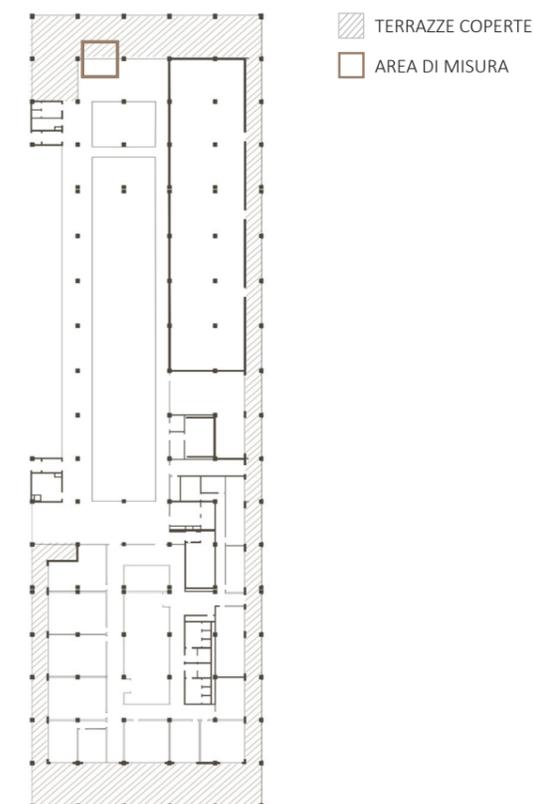
DATI RELATIVI ALLA PROVA

Inizio acquisizione:	20/01/20 h. 10:30
Fine acquisizione:	22/01/20 h. 14:30
Periodo acquisizione:	52 h
Intervallo acquisizione:	10 min
N. acquisizioni:	312

La campagna di misure è stata condotta con il sistema per la misura della trasmittanza termica sviluppato da LSI LASTEM, conforme alla normativa ISO 9869:1994 e la strumentazione per la prova è stata gentilmente messa a disposizione dal Laboratorio LAMSA del Politecnico di Torino.

La misura della trasmittanza termica in opera del vetro è stata svolta in un solo punto dell'edificio, in un locale accessibile e sicuro, individuato insieme all'ufficio tecnico della sede del Politecnico. Nel rispetto delle prescrizioni normative, è stato scelto di condurre la prova su un serramento con orientamento Nord-Ovest, posto sotto l'aggetto orizzontale del solaio di copertura e dunque protetto dall'acqua piovana e dall'azione diretta delle radiazioni solari. La prova, inoltre, è stata programmata in funzione delle previsioni meteorologiche ed è stata quindi eseguita in giornate nuvolose con assenza di vento, neve e pioggia. Data la scarsa inerzia termica dell'elemento vetrato, ha infine permesso di condurre le misure in un arco temporale di sole due giornate.

INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI MISURA



Pianta Piano Quinto

0 5 10m

POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE IN CAMPO

Prima di posizionare la strumentazione, è stata individuata un'ideale superficie, lontana sia da fonti di calore che da aperture ed eventuali ponti termici. Successivamente sono stati posizionati i sensori: tutti gli *steps* operativi sono stati eseguiti nello stesso ordine prima all'interno e poi all'esterno dell'ambiente in esame.

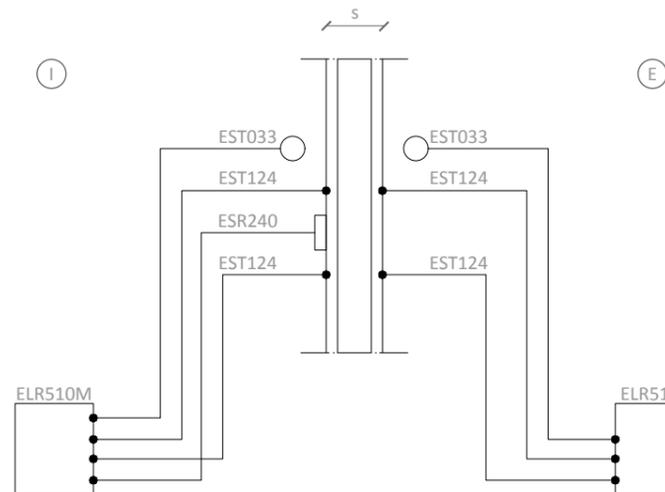


Fig.65: Pianta schematica del posizionamento delle sonde sulla superficie vetrata

PROCEDIMENTO:



1. Per prima cosa è stata montata la sonda di temperatura dell'aria su un cavalletto di sostegno.



2. Il termoflussimetro è stato fissato al centro della lastra vetrata, lontano dalla superficie del telaio, tramite del nastro di carta, avendo cura di non coprire la zona più sensibile al centro. Per favorire l'aderenza alla superficie, è stata spalmata della pasta termica sul lato blu del sensore.



3. A poca distanza dal termoflussimetro sono stati posizionati i due sensori di temperatura a contatto, sempre con l'impiego di pasta termica e nastro adesivo di carta.



4. Posizionate le sonde, sono stati collegati i rispettivi cavi all'acquisitore-dati da sinistra verso destra nel seguente ordine: An1. termoflussimetro; An2. sonda di temperatura a contatto; An3. sonda di temperatura a contatto; An4. sonda di temperatura dell'aria.



5. In corrispondenza del punto di misura interno, la sonda di temperatura esterna è stata installata sul cavalletto di sostegno e avvicinata al serramento.



6. I due sensori di temperatura a contatto sono stati posizionati sul lato esterno il più possibile in corrispondenza dei due sensori interni. Si è poi proceduto al collegamento dei cavi al *datalogger* esterno con la stessa modalità adottata per i cavi dei sensori interni.



7. Predisposta l'intera strumentazione, si sono infine accesi i moduli acquisitori, prima quello interno e poi quello esterno, ed è stata così avviata la fase di acquisizione.

DOWNLOAD ED ELABORAZIONE DEI DATI

Al termine della prova, i *datalogger* sono stati spenti, la strumentazione è stata smontata e i dati acquisiti sono stati trasferiti al *Software* di rielaborazione collegando con cavo USB il modulo Master al pc.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Data/ora	FLUXTermico (W/m ²) Msr.1 Inp.1	TeSuperFIC. (°C) Msr.2 Inp.2	TeSuperFIC. (°C) Msr.3 Inp.3	TeGENerica (°C) Msr.4 Inp.4	TeINTERNA (°C) Msr.5 Inp.6	LivelloBA TT (%) Msr.6 Inp.7	TeSUPER FIC. (°C) Msr.7 Id.0-1	TeSUPER FIC. (°C) Msr.8 Id.1-1	TeGENerica (°C) Msr.9 Id.2-1	TeINTERNA (°C) Msr.10 Id.3-1	LivelloBATT (%) Msr.11 Id.4-1
2		Ave	Ave	Ave	Ave	Ave	Inst	Ave	Ave	Ave	Ave	Inst
5	20/01/2020 10:30	27.81	17.60	17.75	20.37	20.20	100.00	9.49	9.52	7.18	15.79	100.00
6	20/01/2020 10:40	27.42	17.57	17.75	20.37	20.29	100.00	9.49	9.52	7.18	15.79	100.00
7	20/01/2020 10:50	28.67	17.62	17.81	20.49	20.48	100.00	9.22	9.28	7.27	11.5	100.00
8	20/01/2020 11:00	28.58	17.60	17.80	20.52	20.54	100.00	8.94	9.05	7.25	10.33	100.00
9	20/01/2020 11:10	28.24	17.60	17.80	20.54	20.55	100.00	8.84	8.98	7.29	9.54	100.00
10	20/01/2020 11:20	30.86	17.63	17.85	20.60	20.57	100.00	8.69	8.84	7.23	8.99	100.00
11	20/01/2020 11:30	30.15	17.65	17.86	20.69	20.61	100.00	8.69	8.84	7.3	8.64	100.00
12	20/01/2020 11:40	30.5	17.66	17.90	20.76	20.65	100.00	8.47	8.61	7.2	8.4	100.00
13	20/01/2020 11:50	31.16	17.68	17.92	20.83	20.71	100.00	8.57	8.74	7.22	8.19	100.00
14	20/01/2020 12:00	30.54	17.72	17.96	20.84	20.76	100.00	8.83	9	7.45	8.13	100.00
15	20/01/2020 12:10	31.82	17.78	18.04	20.92	20.81	100.00	9.09	9.28	7.70	8.18	100.00
16	20/01/2020 12:20	30.49	17.90	18.14	21.04	20.85	100.00	9.48	9.67	7.81	8.25	100.00
17	20/01/2020 12:30	30.75	18.05	18.30	21.16	20.91	100.00	9.67	9.84	8.04	8.38	100.00
18	20/01/2020 12:40	29.73	18.18	18.41	21.25	20.99	100.00	10.02	10.19	8.1	8.52	100.00
19	20/01/2020 12:50	29.14	18.36	18.60	21.39	21.07	100.00	10.21	10.36	8.31	8.67	100.00
20	20/01/2020 13:00	28.95	18.50	18.74	21.48	21.16	100.00	10.48	10.57	8.55	8.77	100.00

Fig.66: File Storico generato dal *Software* 3DOM con i dati acquisiti nella campagna di misure.

Il programma 3DOM di LSI-LASTEM salva i dati acquisiti su un foglio di lavoro Excel, definito "File Storico".

A ciascuna colonna del file, contraddistinta da una sigla, corrispondono i valori di uno specifico trasduttore: le prime 6 colonne fanno riferimento ai 6 canali di misurazione interna che sono rispettivamente:

- flusso termico [W/m²] rilevato dal termoflussimetro
- temperatura superficiale della porzione interna [°C] misurata dalla prima sonda
- temperatura superficiale della porzione interna [°C] misurata dalla seconda sonda
- temperatura dell'ambiente interna [°C]
- temperatura interna del del modulo acquisitore interno [°C]
- livello di batteria del modulo acquisitore interno [%]

Alle successive 5 colonne si riferiscono invece i valori misurati dai sensori esterni, nello specifico:

- temperatura superficiale della porzione esterna [°C] misurata dalla prima sonda
- temperatura superficiale della porzione esterna [°C] misurata dalla seconda sonda
- temperatura dell'ambiente esterno [°C]
- temperatura interna del modulo acquisitore esterno [°C]
- livello di batteria del modulo acquisitore esterno [%]

Graficizzazione dei risultati

Per poter poi calcolare i valori di Conduttanza C e di Trasmittanza U dell'elemento vetrato, si è proceduto con la rielaborazione dei dati "grezzi" su un altro foglio di lavoro, denominato "Dati Elaborati".

Per prima cosa è stata inserita una colonna con la media dei valori misurati dalle due sonde di temperatura a contatto, sia internamente che esternamente, al fine di ottenere un valore unico che fosse una media delle due misurazioni.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1															
2		master							slave						
3	Data/ora	FLUXTermico	TeSupeRFIC	TeSupeRFIC	TeGENerca	TeINTERNA	LivelloBATT (%)	MEDIA T _{sup,int}	TeSupeRFIC	TeSupeRFIC	TeGENerca	TeINTERNA	LivelloBATT (%)	MEDIA T _{sup,est}	
4		W/m2	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	
5	20/01/2020 10:30	27.81	17.60	17.75	20.37	20.20	MEDIA(C5:D5)	17.66	9.52	7.18	15.79	100.00	9.51		
6	20/01/2020 10:40	27.42	17.57	17.75	20.37	20.29	100.00	17.66	9.49	9.52	7.18	15.79	100.00	9.51	
7	20/01/2020 10:50	28.67	17.62	17.81	20.49	20.48	100.00	17.72	9.22	9.28	7.27	11.5	100.00	9.25	
8	20/01/2020 11:00	28.58	17.60	17.80	20.52	20.54	100.00	17.70	8.94	9.05	7.25	10.33	100.00	9.00	
9	20/01/2020 11:10	28.24	17.60	17.80	20.54	20.55	100.00	17.70	8.84	8.98	7.29	9.54	100.00	8.91	
10	20/01/2020 11:20	30.86	17.63	17.85	20.60	20.57	100.00	17.74	8.69	8.84	7.23	8.99	100.00	8.77	
11	20/01/2020 11:30	30.15	17.65	17.86	20.69	20.61	100.00	17.76	8.69	8.84	7.3	8.64	100.00	8.77	
12	20/01/2020 11:40	30.5	17.66	17.90	20.76	20.65	100.00	17.78	8.47	8.61	7.2	8.4	100.00	8.54	
13	20/01/2020 11:50	31.16	17.68	17.92	20.83	20.71	100.00	17.80	8.57	8.74	7.22	8.19	100.00	8.66	
14	20/01/2020 12:00	30.54	17.72	17.96	20.84	20.76	100.00	17.84	8.83	9	7.45	8.13	100.00	8.92	

Fig.67: Cattura schermo dal Foglio di Lavoro Excel. Realizzazione colonna con la media dei valori misurati internamente dalle due sonde di temperatura a contatto.

In seconda battuta si è applicato il "metodo della media mobile" o "metodo della media progressiva": l'obiettivo è pesare il campione considerato sui valori precedenti. Si fa quindi una media tra il valore considerato e i valori precedenti, fino al primo valore preso in esame.

Lo scopo principale di questo procedimento consente di ridurre la variabilità della serie di valori in esame, "livellando" il più possibile i punti di picco e di depressione.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S								
		master							slave							MEDIA MOBILE										
		FLUXTermico	TeSupeRFIC	TeSupeRFIC	TeGENerca	TeINTERNA	LivelloBATT (%)	MEDIA T _{sup,int}	TeSupeRFIC	TeSupeRFIC	TeGENerca	TeINTERNA	LivelloBATT (%)	MEDIA T _{sup,est}	FLUX	MEDIA T _{sup,int}	TeGENerca INT	MEDIA T _{sup,est}	TeGENerca EST							
		W/m2	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m2	°C	°C	°C	°C							
5	27.81	17.60	17.75	20.37	20.20	100.00	17.68	9.49	9.52	7.18	15.79	100.00	9.51	27.81	17.60	17.75	20.37	20.20	100.00	17.68	9.49	9.52	7.18	15.79	100.00	9.51
6	27.42	17.57	17.75	20.37	20.29	100.00	17.66	9.49	9.52	7.18	15.79	100.00	9.51	27.42	17.57	17.75	20.37	20.29	100.00	17.66	9.49	9.52	7.18	15.79	100.00	9.51
7	28.67	17.62	17.81	20.49	20.48	100.00	17.72	9.22	9.28	7.27	11.5	100.00	9.25	28.67	17.62	17.81	20.49	20.48	100.00	17.72	9.22	9.28	7.27	11.5	100.00	9.25
8	28.58	17.60	17.80	20.52	20.54	100.00	17.70	8.94	9.05	7.25	10.33	100.00	9.00	28.58	17.60	17.80	20.52	20.54	100.00	17.70	8.94	9.05	7.25	10.33	100.00	9.00
9	28.24	17.60	17.80	20.54	20.55	100.00	17.70	8.84	8.98	7.29	9.54	100.00	8.91	28.24	17.60	17.80	20.54	20.55	100.00	17.70	8.84	8.98	7.29	9.54	100.00	8.91
10	30.86	17.63	17.85	20.60	20.57	100.00	17.74	8.69	8.84	7.23	8.99	100.00	8.77	30.86	17.63	17.85	20.60	20.57	100.00	17.74	8.69	8.84	7.23	8.99	100.00	8.77
11	30.15	17.65	17.86	20.69	20.61	100.00	17.76	8.69	8.84	7.3	8.64	100.00	8.77	30.15	17.65	17.86	20.69	20.61	100.00	17.76	8.69	8.84	7.3	8.64	100.00	8.77
12	30.5	17.66	17.90	20.76	20.65	100.00	17.78	8.47	8.61	7.2	8.4	100.00	8.54	30.5	17.66	17.90	20.76	20.65	100.00	17.78	8.47	8.61	7.2	8.4	100.00	8.54
13	31.16	17.68	17.92	20.83	20.71	100.00	17.80	8.57	8.74	7.22	8.19	100.00	8.66	31.16	17.68	17.92	20.83	20.71	100.00	17.80	8.57	8.74	7.22	8.19	100.00	8.66
14	30.54	17.72	17.96	20.84	20.76	100.00	17.84	8.83	9	7.45	8.13	100.00	8.92	30.54	17.72	17.96	20.84	20.76	100.00	17.84	8.83	9	7.45	8.13	100.00	8.92
15	31.82	17.78	18.04	20.92	20.81	100.00	17.91	9.09	9.28	7.70	8.18	100.00	9.19	31.82	17.78	18.04	20.92	20.81	100.00	17.91	9.09	9.28	7.70	8.18	100.00	9.19
16	30.49	17.90	18.14	21.04	20.85	100.00	18.02	9.48	9.67	7.81	8.25	100.00	9.58	30.49	17.90	18.14	21.04	20.85	100.00	18.02	9.48	9.67	7.81	8.25	100.00	9.58
17	30.75	18.05	18.30	21.16	20.91	100.00	18.18	9.67	9.84	8.04	8.38	100.00	9.76	30.75	18.05	18.30	21.16	20.91	100.00	18.18	9.67	9.84	8.04	8.38	100.00	9.76
18	29.73	18.18	18.41	21.25	20.99	100.00	18.30	10.02	10.19	8.1	8.52	100.00	10.11	29.73	18.18	18.41	21.25	20.99	100.00	18.30	10.02	10.19	8.1	8.52	100.00	10.11
19	29.14	18.36	18.60	21.39	21.07	100.00	18.48	10.21	10.36	8.31	8.67	100.00	10.29	29.14	18.36	18.60	21.39	21.07	100.00	18.48	10.21	10.36	8.31	8.67	100.00	10.29
20	29.05	18.50	18.74	21.48	21.16	100.00	18.62	10.48	10.57	8.55	8.77	100.00	10.53	29.05	18.50	18.74	21.48	21.16	100.00	18.62	10.48	10.57	8.55	8.77	100.00	10.53

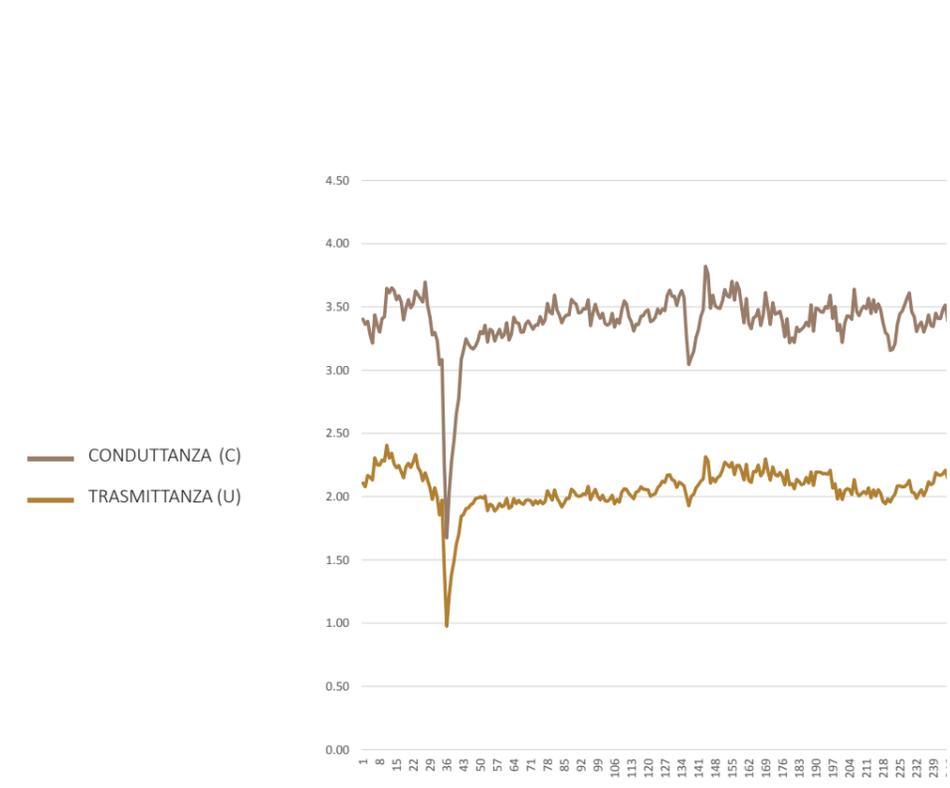
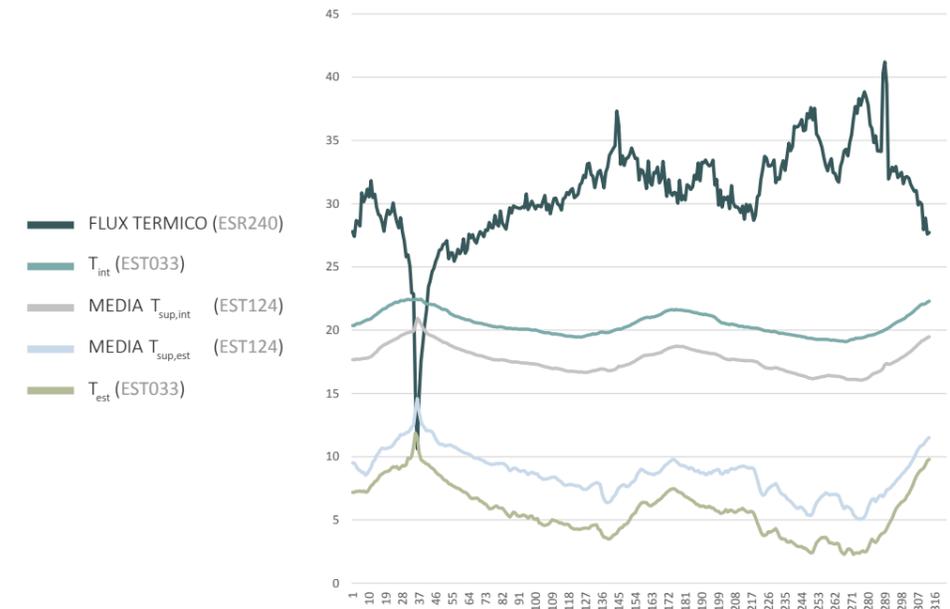
Fig.68: Cattura schermo dal Foglio di Lavoro Excel. Applicazione del metodo della media mobile.

Avendo realizzato la media mobile di tutti i valori, interni ed esterni, di flusso termico, temperatura media superficiale e temperatura dell'aria, è stato così possibile calcolare i parametri C e U secondo le formule:

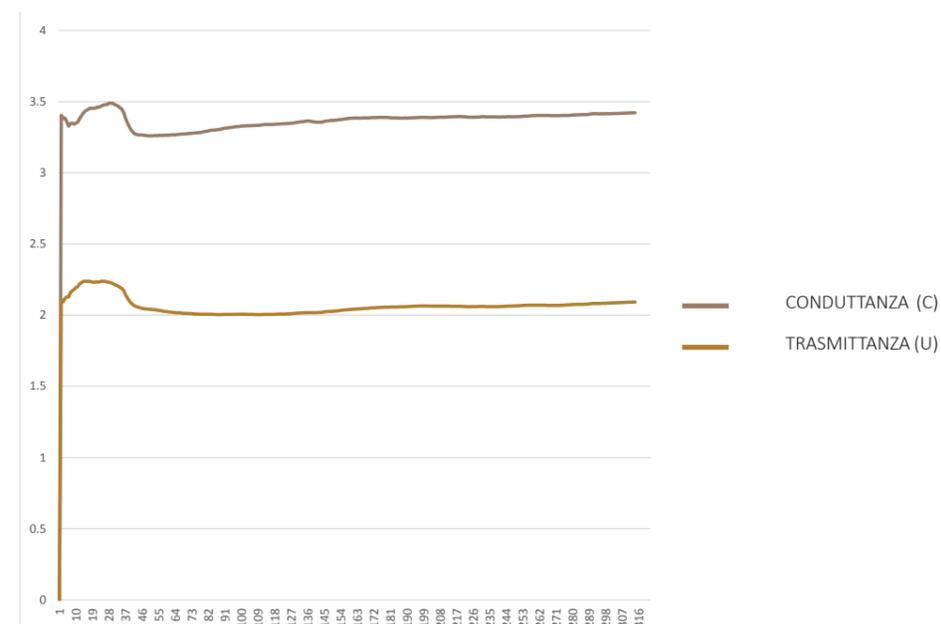
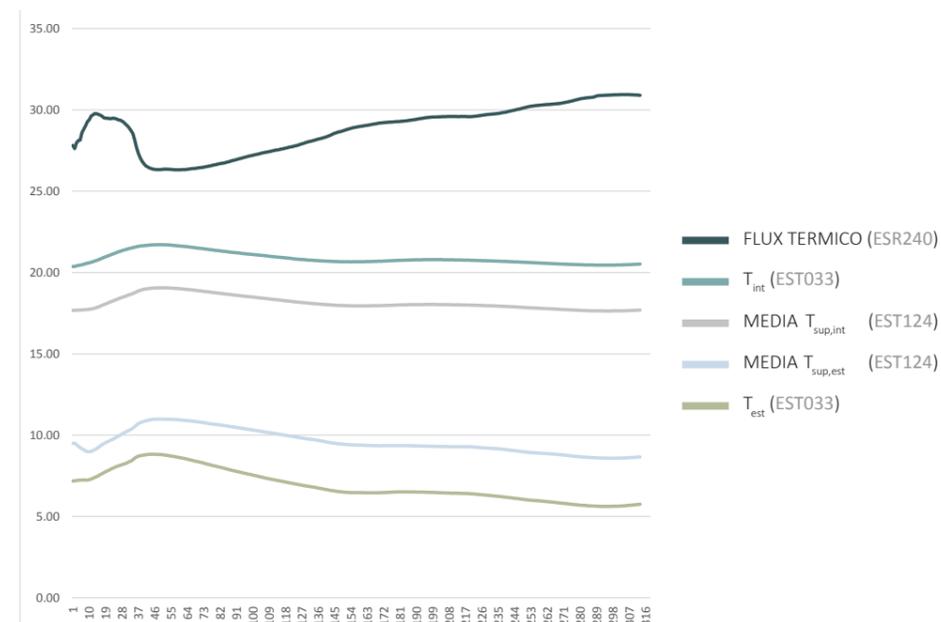
$$C = \frac{\text{Flusso Termico}}{(T_{sup,i} - T_{sup,e})} \quad \text{e} \quad U = \frac{\text{Flusso Termico}}{(T_i - T_e)}$$

Il valore finale considerato sia per la Conduttanza che per la Trasmittanza termica è stato l'ultimo della serie, media di tutti i valori precedenti.

GRAFICI DEI VALORI ISTANTANEI



GRAFICI DEI VALORI ELABORATI CON IL METODO DELLA MEDIA MOBILE



3.6.6 Conclusioni

Le indagini strumentali in campo si sono rivelate di fondamentale importanza, confermando le assunzioni effettuate sia durante i sopralluoghi che durante la modellazione su *Software*.

Si è infatti potuto stabilire con certezza che i serramenti, attualmente responsabili di più della metà delle dispersioni totali dell'edificio, siano nel complesso poco performanti perchè dotati di profili a taglio termico poco efficace e generino, nelle immediate vicinanze, zone fredde ed una sensazione di *discomfort*. Tale fenomeno non è soltanto percettivo ma trova anche un riscontro oggettivo nelle indagini termografiche che evidenziano, tramite tonalità cromatiche diverse, una differente temperatura superficiale dei materiali che compongono l'infisso. Dall'analisi dei termogrammi si evince pertanto che i telai sono caratterizzati da un valore di conducibilità termica più elevato e favoriscono dunque un maggiore flusso di calore verso l'esterno, mentre i vetri che alloggiato nei profili sono decisamente più performanti.

Tale tesi, viene del resto avvalorata anche dagli esiti delle misure di trasmittanza in opera condotte sulle vetrate dell'edificio. L'elaborazione dei dati tramite il procedimento della media mobile ha stabilito che il valore di trasmittanza termica U_g corrisponde a $2.10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Da un punto di vista tecnico ed operativo, invece, non è stato possibile svolgere le misure sui serramenti di facciata, che sono stati invece modellati e simulati dal programma di calcolo. In questo secondo caso, il valore di trasmittanza termica del vetro U_g è pari a $2.80 \text{ W/m}^2\text{K}$, valore che dunque non si discosta molto da quello misurato sulle vetrate. Sebbene questi dati non siano estremamente negativi, nella valutazione complessiva di tutto il serramento, appaiono più problematici.

Dal 1° Gennaio 2021 il *Decreto Requisiti Minimi* stabilisce nuovi limiti per la trasmittanza termica degli infissi che, per la Zona Climatica E in cui è compresa la città di Torino, sono fissati a $U_w = 1.40 \text{ W/m}^2\text{K}$. Per tale motivo, i serramenti attualmente installati sulle facciate del Lingotto non potrebbero più soddisfare le prescrizioni normative.

Proprio per la tecnologia edilizia adottata, le ampie superfici trasparenti del Lingotto hanno un ruolo chiave nella definizione del comportamento energetico complessivo dell'edificio, e la misura in opera della trasmittanza è stata fondamentale per poter caratterizzare il componente vetrato in maniera puntuale e senza errori.

Se, infatti, da un lato è stato possibile consultare la documentazione tecnica d'archivio e conoscere i parametri formali, geometrici e prestazionali dei serramenti esterni, non è stato possibile ottenere lo stesso grado di informazioni per quanto riguarda le vetrate a montanti e trasversi installate in facciata. La misura della trasmittanza non ha solo consentito di definire in termini termofisici il componente vetrato ma ha anche evidenziato come, a distanza di vent'anni, esso fosse ancora piuttosto performante, sebbene non più rispondente alle normative vigenti.

Dalle termografie, poi, sono emerse altre questioni importanti. Durante le fasi di analisi, rilievo e modellazione del fabbricato, si era supposto che in corrispondenza dei punti di giunzione tra telaio strutturale e tamponamenti esterni si verificassero notevoli ponti termici, proprio a causa dei diversi spessori e delle diverse conducibilità termiche dei materiali.

I termogrammi ottenuti dalla campagna di misure non hanno soltanto verificato tale tesi, ma anche messo in luce un diverso comportamento termico tra interno ed esterno.

Le fotografie all'infrarosso effettuate all'esterno restituiscono in falsi colori il differente comportamento termofisico dei componenti edilizi: in particolar modo, tonalità cromatiche più calde ricalcano sulle facciate esterne il reticolo strutturale interno, evidenziando come tali elementi abbiano conducibilità maggiore e quindi consentano un passaggio maggiore di calore all'esterno. All'interno, invece, l'intervento migliorativo della controparete isolata, da un lato migliora le condizioni ambientali a vantaggio degli utenti, dall'altro attenua il fenomeno delle dispersioni, impedendo il verificarsi di un ponte termico diretto.

Un altro aspetto importante emerso durante la valutazione dei termogrammi riguarda gli orizzontamenti. Nella riqualificazione dell'ex stabilimento Fiat, si era intervenuti nell'isolamento delle chiusure superiori ed inferiori, ma non di quelle su spazi aperti. L'assenza di strato coibente nel solaio del secondo piano, che presenta un'ampia superficie a sbalzo su ambiente esterno, fa sì che ci siano consistenti dispersioni di calore e peggiora le prestazioni complessive dell'involucro, soprattutto durante la stagione invernale.

Verificato attraverso il programma di calcolo che le dispersioni per trasmissione attraverso i pavimenti corrispondano al 14%, contro il 58% riscontrato per i serramenti, si evidenzia pertanto una criticità da risolvere in fase di elaborazione degli scenari progettuali di efficientamento energetico.

Le termografie, inoltre, si sono rivelate validi strumenti per l'individuazione e valutazione di possibili fenomeni di degrado come ad esempio muffe o umidità che solitamente si localizzano lungo le pareti o nei punti di giunzione tra muro e solaio. L'edificio si presenta in buono stato di conservazione, sia all'interno che all'esterno, ed è per tale motivo che in questa fase d'intervento si ritiene di non intervenire sul restauro conservativo del fabbricato.

Le prove strumentali in campo, l'elaborazione dei dati e le considerazioni finali hanno contribuito ad orientare gli scenari di progetto, valutando *in primis* quali componenti gravano maggiormente sulla performance complessiva dell'edificio e *in secundis* quali modifiche apportare per avere vantaggi sia da un punto di vista tecnico che economico.

4.1 Tra requisiti normativi e vincolo di tutela

Indagate ed apprese le principali criticità dell'edificio, si è tentato di orientare le proposte d'intervento in primo luogo alla risoluzione delle dispersioni termiche durante la stagione di riscaldamento e, in secondo luogo, alla riduzione del fabbisogno energetico per raffrescamento causato prevalentemente dal surriscaldamento dell'ampio camino centrale.

La maggiore difficoltà nella definizione degli interventi di efficientamento è stata dettata dal fatto che la sede del Politecnico non solo fa parte del patrimonio architettonico esistente, ma è custode di valori inestimabili ed è protetta da un vincolo di tutela.

La necessità di assicurare il rispetto dei requisiti prestazionali imposti dalla legge per la riqualificazione dell'immobile si è dovuta costantemente confrontare con l'impegno per la salvaguardia e la conservazione dei suoi caratteri identitari.

Prima di elaborare le soluzioni progettuali, si è pertanto cercato di indagare la natura del vincolo che insiste sull'edificio per capire quali interventi fossero ammessi e in quale misura.

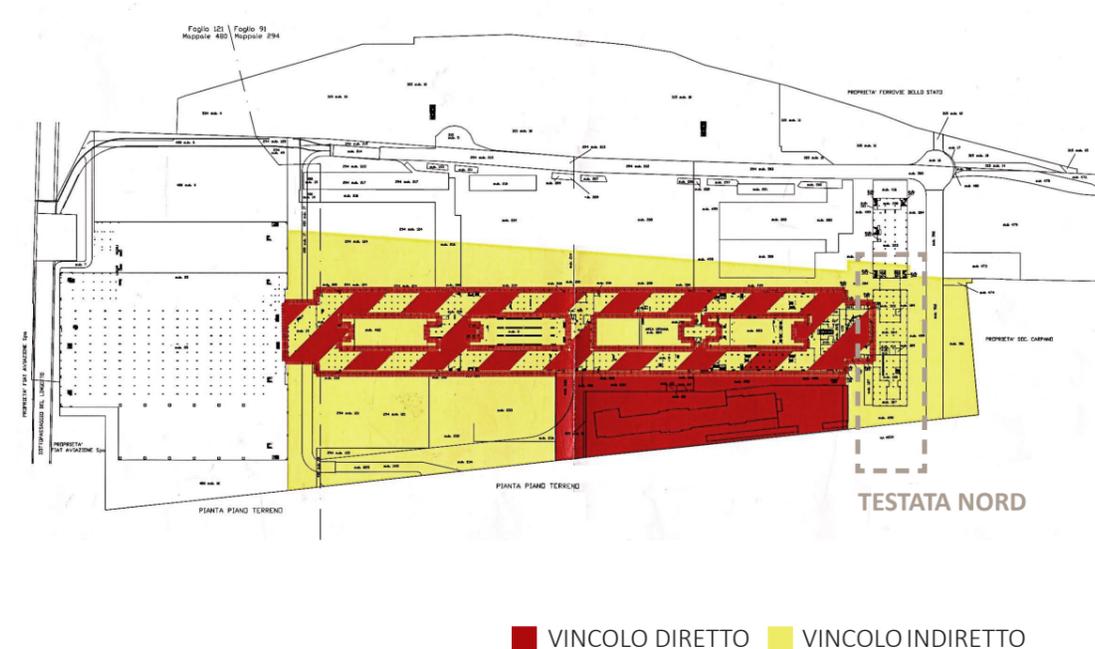


Fig. 69: Distinzione della natura di vincolo che insiste sul grande complesso del Lingotto. Fonte: COMUNE DI TORINO, 10_2018 Decreto Tutela MIBAC Nizza 230 Lingotto, ELETTRONICO, 2018

La Testata Nord è protetta da un vincolo di tutela di tipo indiretto, meno forte dal punto di vista prescrittivo rispetto al vincolo monumentale che, al contrario, agisce direttamente sull'edificio. Il vincolo indiretto serve a dare quelle prescrizioni in merito ad esempio alle altezze, alle volumetrie, ai materiali di tutte quelle strutture nell'area di rispetto, tali per cui il vincolo diretto riesce a mantenere i suoi valori.

Nello specifico caso della sede del Politecnico, queste premesse hanno concesso, da un lato, più libertà di azione ed hanno ammesso, dall'altro, la formulazione di più soluzioni progettuali. Per tale motivo si è sempre cercato, ove possibile, di garantire il raggiungimento dei minimi valori di prestazione energetica richiesti dalle normative; dove invece le operazioni di efficientamento avrebbero potuto alterare l'immagine originale dell'edificio, si è cercato di trovare la soluzione in grado di apportare i maggiori benefici senza compromettere la conservazione della struttura.

VALORI DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DEGLI ELEMENTI EDILIZI E IMPIANTI TECNICI NEGLI EDIFICI ESISTENTI SOTTOPOSTI A RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	0,34	0,32
C	0,34	0,32
D	0,28	0,26
E	0,26	0,24
F	0,24	0,22

Fig. 70: Trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno soggette a riqualificazione.

Fonte: MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO, DECRETO INTERMINISTERIALE 26 giugno 2015, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*, Appendice B, Allegato 1, Capitolo 4, p.35

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	0,48	0,42
C	0,42	0,38
D	0,36	0,32
E	0,31	0,29
F	0,30	0,28

Fig. 71: Trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno soggette a riqualificazione.

Fonte: MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO, DECRETO INTERMINISTERIALE 26 giugno 2015, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*, Appendice B, Allegato 1, Capitolo 4, p.35

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	3,20	3,00
C	2,40	2,00
D	2,10	1,80
E	1,90	1,40
F	1,70	1,00

Fig. 72: Trasmittanza termica U massima delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati soggette a riqualificazione.

Fonte: MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO, DECRETO INTERMINISTERIALE 26 giugno 2015, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*, Appendice B, Allegato 1, Capitolo 4, p.36

Per facilitare l'orientamento in queste pagine e rendere più comprensibile la lettura delle proposte progettuali, è stata realizzata una mappa schematica (Fig. 73) che si propone come *trait d'union* tra la fase di analisi, sviluppata al capitolo precedente, e l'elaborazione degli scenari d'intervento valutati in questo capitolo. Ciò che si vuole mettere in evidenza sono le proposte di progetto, formulate sulla base di un'attenta analisi dello stato di fatto, ed indagate e dibattute nel dettaglio nelle prossime pagine.

L'obiettivo del capitolo seguente (4.2) non è soltanto quello di valutare i benefici apportati dai singoli scenari, o pacchetti di scenari, ma è soprattutto quello di ottenere dei confronti, e quindi delle percentuali di variazione dei consumi rispetto ad una condizione di stato di fatto.

Del resto, ogni simulazione energetica proposta in questa sezione presenta un fabbisogno puramente teorico, in quanto standardizzato e non customizzato per la sede del Politecnico, risultando di conseguenza poco attendibile.

Per poter conoscere invece il reale fabbisogno energetico di ciascuno di questi scenari progettuali, è stato considerato il dato degli effettivi consumi, dedotto dalle bollette e poi normalizzato (paragrafo 3.5.8), a cui sono stati di volta in volta sottratti i fattori di riduzione percentuali ricavati da questa valutazione energetica.

In questo modo è stato possibile fare delle valutazioni anche sul piano economico (paragrafo 4.5), prendendo in esame valori attendibili e non più dati teorici.

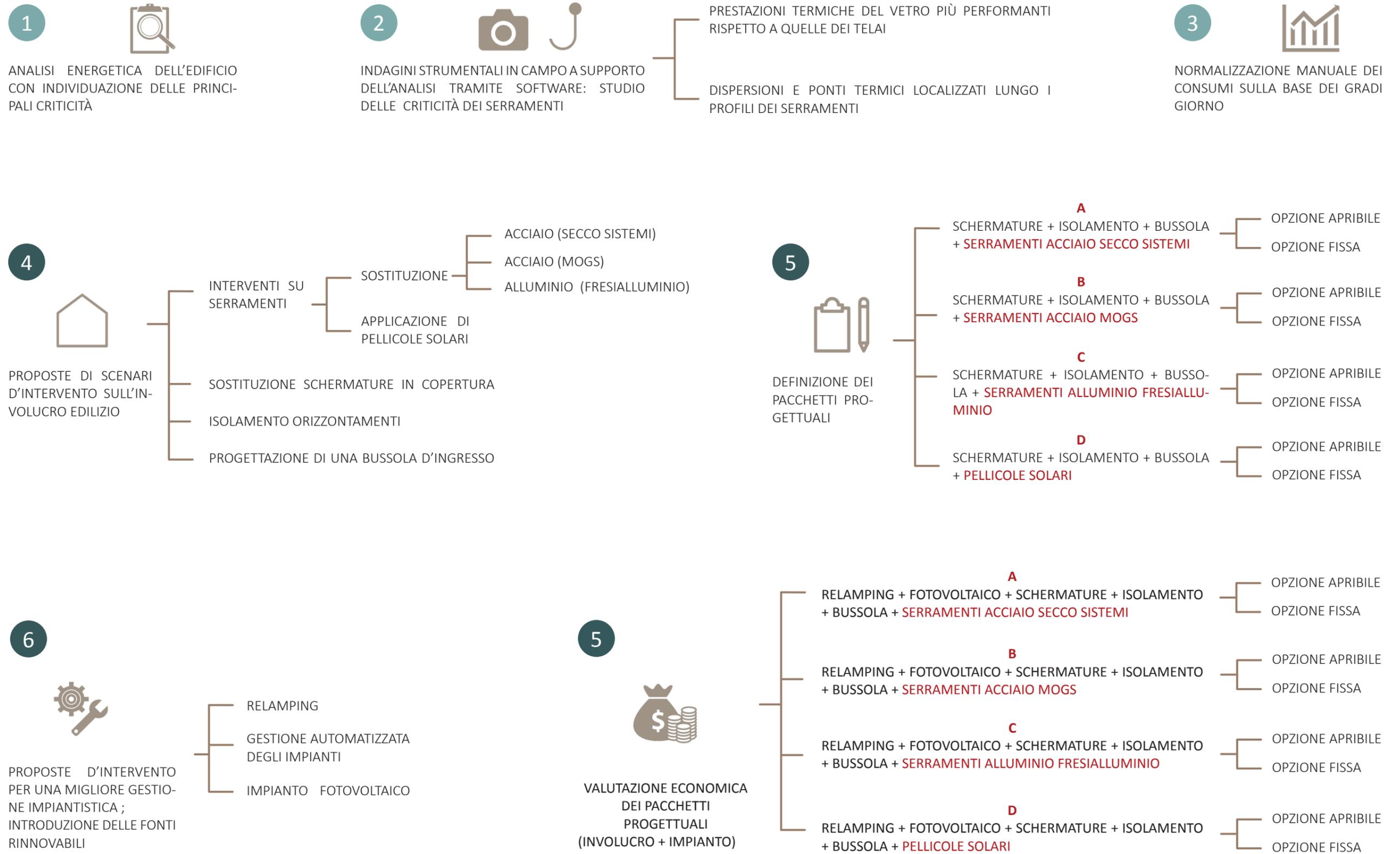


Fig. 73: Mappa schematica riassuntiva delle fasi di analisi e di progetto.

LEGENDA: ● ANALISI ● PROGETTO

4.2.1 Interventi sui serramenti

SOSTITUZIONE DEI SERRAMENTI

Come si è evinto dai risultati dell'analisi energetica, il componente trasparente costituisce, al Lingotto, il principale responsabile delle dispersioni termiche per trasmissione, generando inoltre notevoli ponti termici tra muro e telaio a causa di una cattiva installazione o per via di profili a taglio termico poco performanti. Per cercare prima di tutto di risolvere questo aspetto, si è valutata una serie di interventi che potessero coniugare l'efficientamento energetico e la tutela del bene.

È importante ricordare che la natura del vincolo che insiste sulla Testata Nord consente più libertà di azione; inoltre, l'edificio del Lingotto ha già perso alcuni dei suoi caratteri identitari, essendo stato sottoposto nei primi anni Duemila ad una profonda ristrutturazione che ha previsto, tra l'altro, la sostituzione degli originari FerroFinestra con i nuovi serramenti in alluminio. Pertanto, anche la Soprintendenza si dimostra più flessibile nel valutare possibili ipotesi progettuali.

Nonostante tali premesse, si è ugualmente cercato di ridurre al minimo l'impatto del serramento, rispettando l'estetica, nonché gli elementi tipologici, formali e strutturali dell'edificio. Con l'aiuto di fotografie dell'epoca, immagini storiche e delle tavole di progetto originali, si è tentato di individuare soluzioni che rievocassero il più possibile il *design* caratteristico dei serramenti della fabbrica, pur sempre garantendone il rispetto dei riferimenti normativi vigenti e degli attuali regolamenti edilizi.

Nella scelta dei nuovi serramenti, tutte le ipotesi progettuali sono state formulate tenendo in considerazione aspetti di tipo conservativo, energetico ed economico. L'obiettivo principale è stato quello di individuare una soluzione che potesse ricalcare il più fedelmente possibile le geometrie, i sormonti e le sezioni dei serramenti originari degli anni '30, assicurando al tempo stesso massime prestazioni in termini di sicurezza anti effrazione, isolamento termo-acustico, durata e funzionalità nel tempo e, soprattutto, la fattibilità economica del progetto.

Sono state valutate tre ipotesi: le prime due hanno previsto l'utilizzo di profili in acciaio, che grazie alle sue eccezionali proprietà ed alla perfetta geometria del disegno, risulta il più adatto per ricalcare i profili degli originari FerroFinestra¹. Non è stato individuato soltanto un prodotto, ma ci si è rivolti a più aziende proprio per cercare di capire, in una valutazione complessiva, quale delle diverse soluzioni fosse la più vantaggiosa, fornendo così una proposta progettuale che fosse di stimolo affinché anche le altre società del Consorzio Lingotto possano in futuro prendere in considerazione la possibilità di replicare l'intervento.

La terza ed ultima ipotesi, invece, prevede l'impiego dell'alluminio, considerando l'eventualità in cui a sostenere l'investimento sia soltanto la sede del Politecnico e che quindi il progetto non faccia percepire una netta differenza tra stato di fatto e nuovo intervento.

1. Profili metallici dalle sezioni estremamente ridotte che consentono di ridurre l'impatto del telaio sul serramento e realizzare ampie specchiature. Tale tipologia di profilo trova la massima espressione nelle architetture dei primi anni '30 del secolo scorso, o del cosiddetto Movimento Moderno.

Per ogni soluzione si sono valutati due sistemi, uno tutto fisso ed uno apribile. Il primo sistema comporta numerosi vantaggi: prima di tutto permette di impiegare profili più sottili, assicura minori dispersioni e quindi un miglior valore di isolamento termico ed acustico. Infine, non dovendo prevedere doppi profili ed accessori, risulta essere anche la soluzione meno costosa. Tuttavia, tale sistema potrebbe essere meno efficace da un punto di vista di *comfort*, in quanto il controllo della qualità dell'aria verrebbe affidato esclusivamente alla ventilazione meccanica e non ci sarebbe la possibilità da parte degli utenti di aprire le finestre per un ricambio naturale di aria negli ambienti in cui trascorrono gran parte del tempo.

Il sistema apribile, invece, recupererebbe il più possibile il *design* originario dei serramenti (Fig.76), suddiviso in sei moduli con ante laterali inferiori apribili a bilico. Tuttavia, tale sistema risulta più complesso da progettare, in quanto non sempre riesce a rispettare le dimensioni e le proporzioni dell'epoca, prevedendo oltre al sistema di montanti e traversi anche lo spessore e l'ingombro del telaio della porzione apribile. Tale sistema, inoltre, comporta una prestazione energetica peggiore assicurando, con l'apertura dell'infilso, maggiori dispersioni termiche tra locali interni ed ambiente esterno. Anche il costo d'investimento risulta più elevato, necessitando di più materiale e di più ore di lavoro per l'assemblaggio delle componenti ed il montaggio del serramento. Il vantaggio del sistema apribile, tuttavia, confidando in comportamenti corretti da parte degli utenti, è costituito dalla possibilità di aprire le finestre quando se ne sentisse la necessità, senza dover affidare tutto il controllo dell'aria ad un impianto meccanico.



Figg. 74-75: Fotografie dei serramenti attuali; fig. 76: Fotografia dei serramenti dell'epoca.

In conclusione, quindi, le tre soluzioni d'intervento di seguito riportate utilizzano i profili delle aziende:

- *SECCO SISTEMI* e *MOGS* per quanto riguarda l'acciaio
- *FRESIALUMINIO* per quanto riguarda l'alluminio.

Per valutare i benefici apportati da ciascuna soluzione progettuale è stato qui riportato un solo scenario, quello apribile. Per valutare i risparmi sui consumi ottenuti adottando invece il sistema tutto fisso, è stato realizzato, in coda ai risultati di calcolo, un confronto tra i due sistemi evidenziando con valori percentuali i risparmi energetici.

LA SCELTA DEI VETRI ISOLANTI *SAINTE GOBAIN*

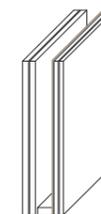
Relativamente alla scelta dei vetri più opportuni da installare nei nuovi profili dei serramenti, sono state elaborate alcune considerazioni in merito alla destinazione d'uso dell'edificio. La sede del Lingotto rientra nella categoria E.7 (Edifici scolastici ed assimilabili) ed essendo dunque un edificio pubblico ad alta sensibilità, non è stato preso in considerazione esclusivamente l'aspetto energetico ma anche quello di tipo acustico e di sicurezza.

Dato l'orientamento e l'esposizione della struttura, sono stati previsti due sistemi differenti: uno di tipo basso emissivo per le vetrature a nord e a nord-ovest, ed una soluzione a controllo solare per i fronti sud e sud-est, maggiormente esposti alle radiazioni solari. Si è pertanto scelto un selettivo multifunzione in applicazione monocamera, nella cui faccia 2 è stato applicato un *coating* con fattore solare $g < 35\%$, come richiesto dal D.M. 26/06/15 *Requisiti Minimi*. Il deposito a controllo solare tende a conferire alla lastra vetrata una lieve pigmentazione e per assicurare il più alto grado di neutralità possibile ai vetri in facciata, essendo il Lingotto un edificio tutelato, è stata individuata una soluzione che prevedesse una base del vetro neutra, dai toni lievemente tendenti ad una colorazione azzurra.

Entrambe le tipologie di vetro rispondono ai requisiti di isolamento acustico previsti dalla norma UNI EN 12758 e ai requisiti di sicurezza della norma UNI EN 12600.

1. VETRO BASSO EMISSIVO (PLANICLEAR® + PLANITHERM® CLEAR 1.0)

Vetro isolante tipo: 66.2 silence – 16 (90% gas Argon) – 44.2 silence con rivestimento CLEAR 1.0 in faccia #3



Struttura dall'esterno verso l'interno:

- lastra PLANICLEAR 6mm *Heatstrengthened Float* + 2 PVB *silence* da 0,38 mm + lastra PLANICLEAR 6mm *Heatstrengthened Float*
- intercapedine 16 mm con gas Argon 90%
- PLANITHERM CLEAR 1.0 su lastra PLANICLEAR 4mm *Annealed Float* + 2 PVB *silence* da 0,38 mm + lastra PLANICLEAR 4mm *Annealed Float*



PARAMETRI LUMINOSI - CIE

Trasmissione Luminosa (TL)	70%
Riflessione esterna (RLe)	17%
Riflessione interna (RLi)	20%



PARAMETRI TERMICI - EN673

Trasmittanza vetro (Ug)	1.0 W/m ² K
-------------------------	------------------------



RESA CROMATICA - CIE

Trasmissione (Ra)	96.0
Riflessione (Ra)	92.8



ANTI EFFRAZIONE - EN356

Resistenza all'effrazione	P2A/P2A
---------------------------	---------



PARAMETRI ENERGETICI - EN410

Trasmissione (Te)	39%
Riflessione (Ree)	25%
Riflessione interna (Rei)	29%
Assorbimento (AE1)	26%
Assorbimento (AE2)	9%
Fattore solare (g)	0.48



SICUREZZA - EN12600

Resistenza al pendolo	1B1/1B1
-----------------------	---------

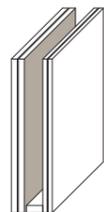


ACUSTICA - EN12758

Isolamento acustico	48 dB
---------------------	-------

2. VETRO SELETTIVO (PLANICLEAR® + COOL-LITE® SKN 176)

Vetro isolante tipo: 66.4 silence con rivestimento SKN 176 in faccia #2
– 16 (90% gas Argon) – 44.2 silence



Struttura dall'esterno verso l'interno:

- lastra PLANICLEAR 6mm *Heatstrengthened Float* + 4 PVB *silence* da 0,38 mm + COOL-LITE SKN 176 II su lastra PLANICLEAR 6mm *Heatstrengthened Float*
- intercapedine 16 mm con gas Argon 90%
- lastra PLANICLEAR 4mm *Annealed Float* + 2 PVB *silence* da 0,38 mm + lastra PLANICLEAR 4mm *Annealed Float*



PARAMETRI LUMINOSI - CIE

Trasmissione Luminosa (TL)	67%
Riflessione esterna (RLe)	12%
Riflessione interna (RLi)	14%



PARAMETRI TERMICI - EN673

Trasmittanza vetro (Ug) 1.0 W/m²K



RESA CROMATICA - CIE

Trasmissione (Ra)	92.4
Riflessione (Ra)	82.5



ANTI EFFRAZIONE - EN356

Resistenza all'effrazione P4A/P2A



PARAMETRI ENERGETICI - EN410

Trasmissione (Te)	31%
Riflessione (Ree)	22%
Riflessione interna (Rei)	31%
Assorbimento (AE1)	45%
Assorbimento (AE2)	2%
Fattore solare (g)	0.34



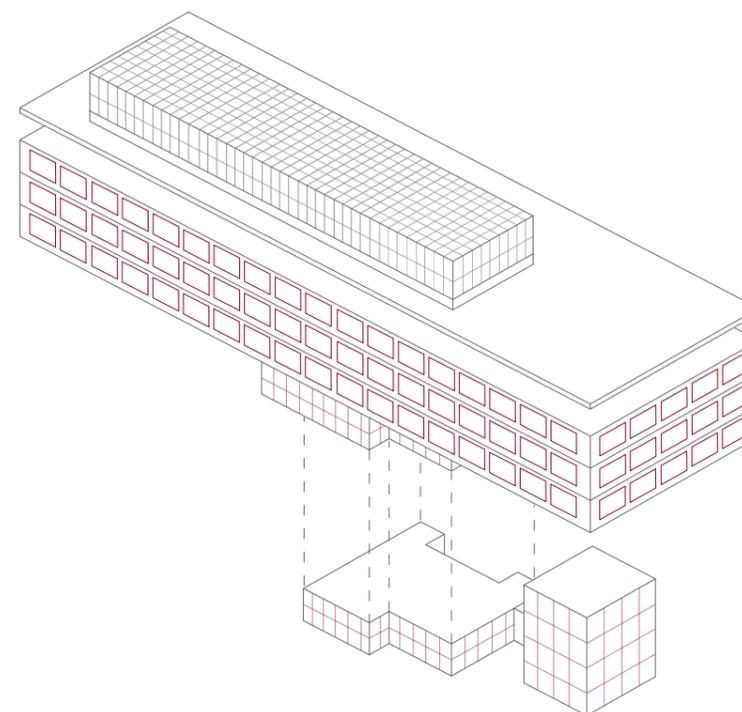
SICUREZZA - EN12600

Resistenza al pendolo 1B1/1B1



ACUSTICA - EN12758

Isolamento acustico 48 dB

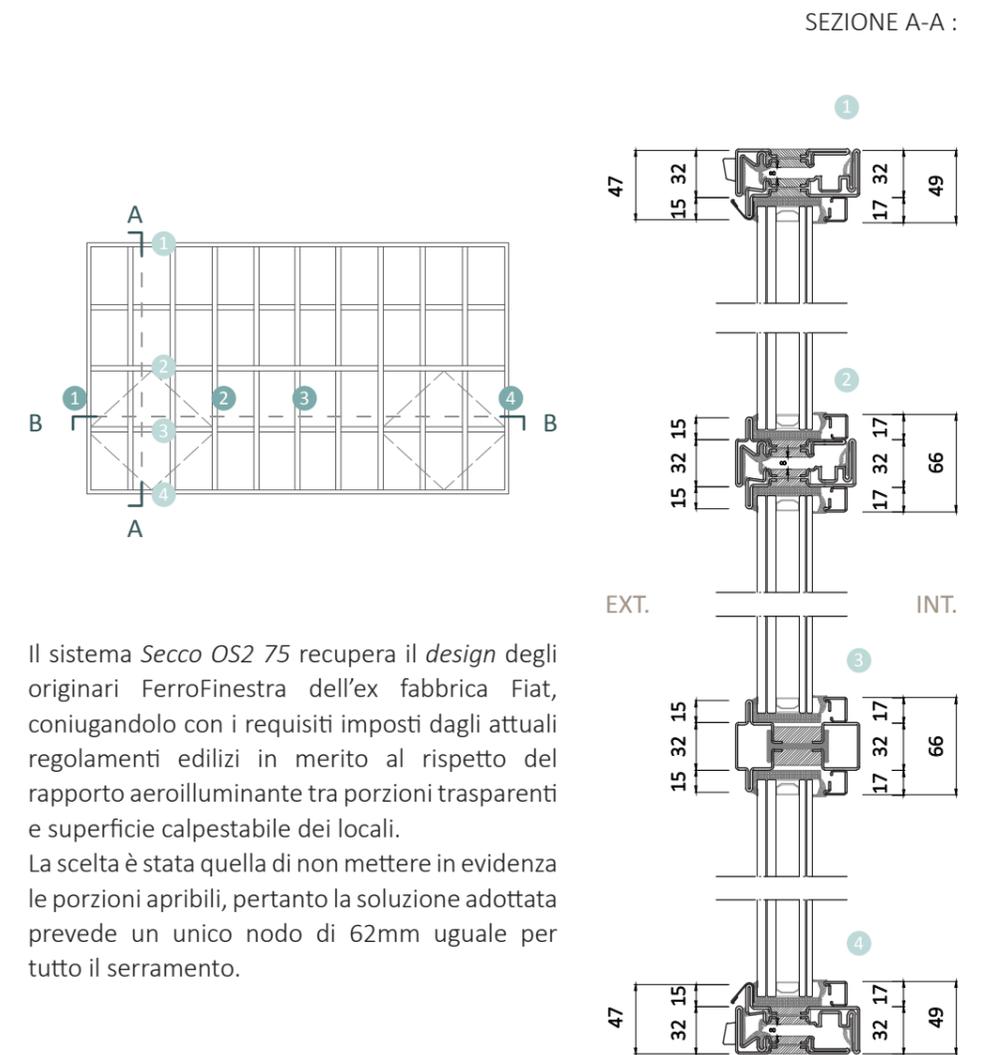
PRIMA SOLUZIONE : SECCO SISTEMI
Serramenti a taglio termico serie OS2 75 in acciaio zincato

Serramenti a taglio termico serie OS2 75 in acciaio zincato



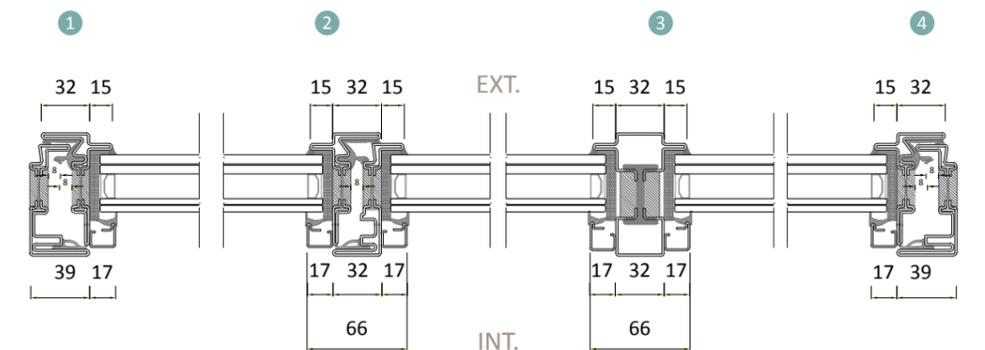
PRESTAZIONE ACUSTICA R_w 42 dB
TRASMITTANZA TERMICA U_w 1.48 W/m²K

NODI PRINCIPALI

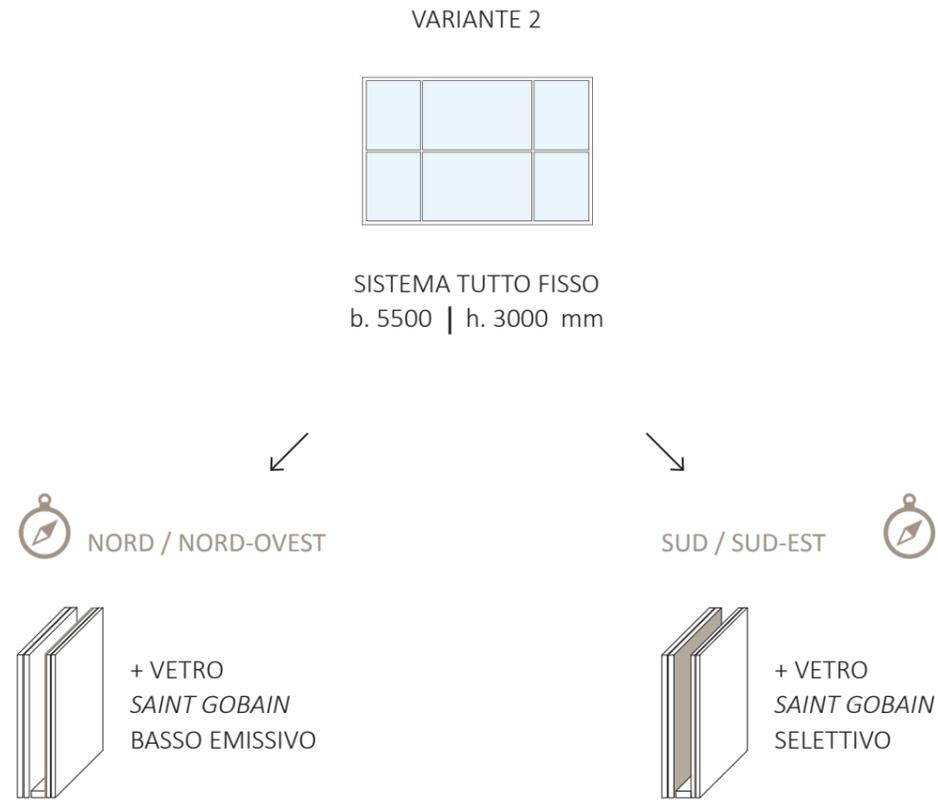


Il sistema *Secco OS2 75* recupera il *design* degli originali *FerroFinestra* dell'ex fabbrica *Fiat*, coniugandolo con i requisiti imposti dagli attuali regolamenti edilizi in merito al rispetto del rapporto aeroilluminante tra porzioni trasparenti e superficie calpestabile dei locali. La scelta è stata quella di non mettere in evidenza le porzioni apribili, pertanto la soluzione adottata prevede un unico nodo di 62mm uguale per tutto il serramento.

SEZIONE B-B :



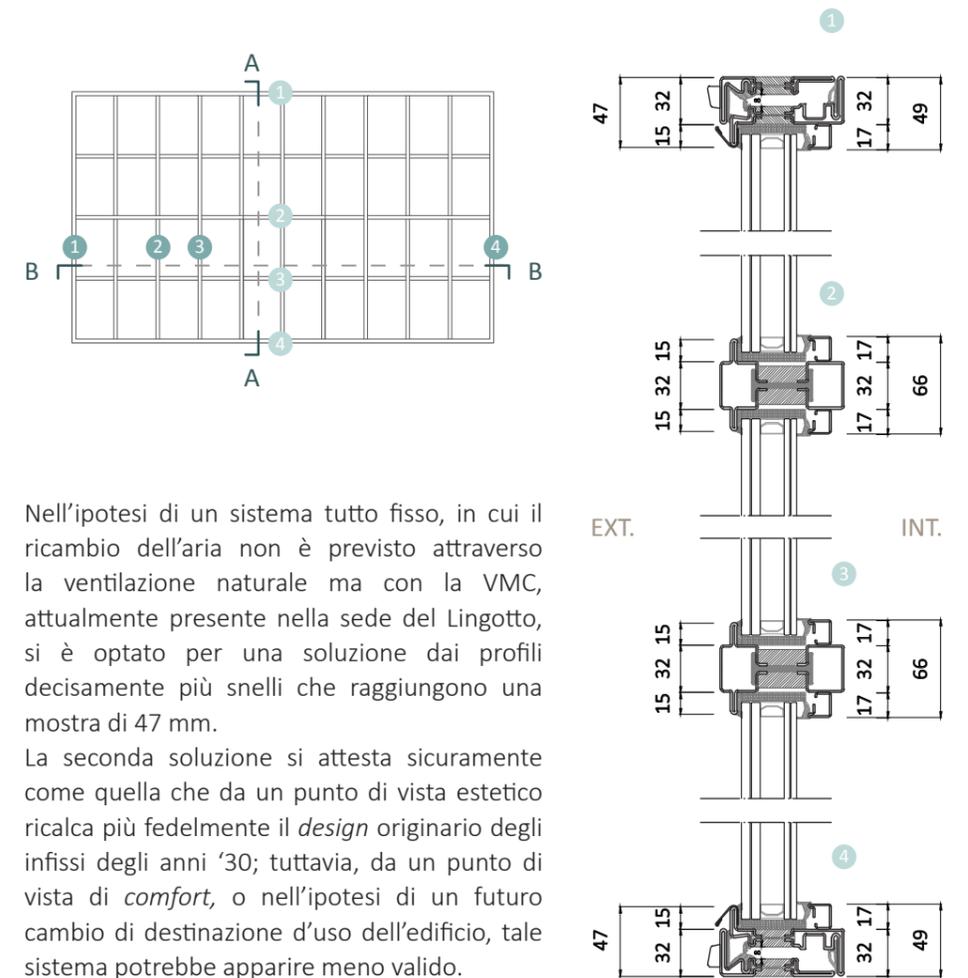
Serramenti a taglio termico serie OS2 75 in acciaio zincato



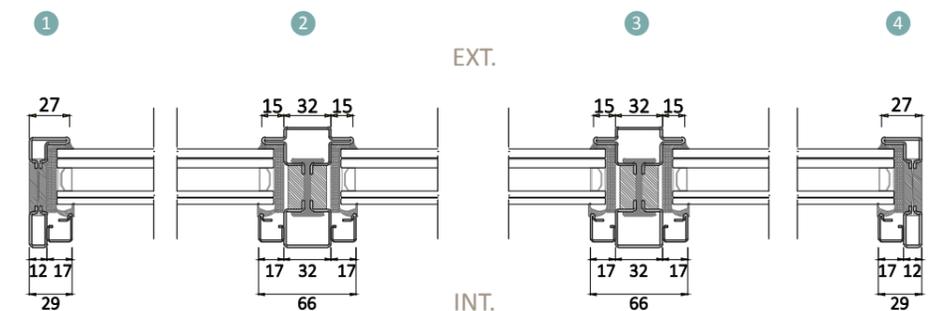
PRESTAZIONE ACUSTICA R_w 42 dB
TRASMITTANZA TERMICA U_w 1.40 W/m²K

NODI PRINCIPALI

SEZIONE A-A :

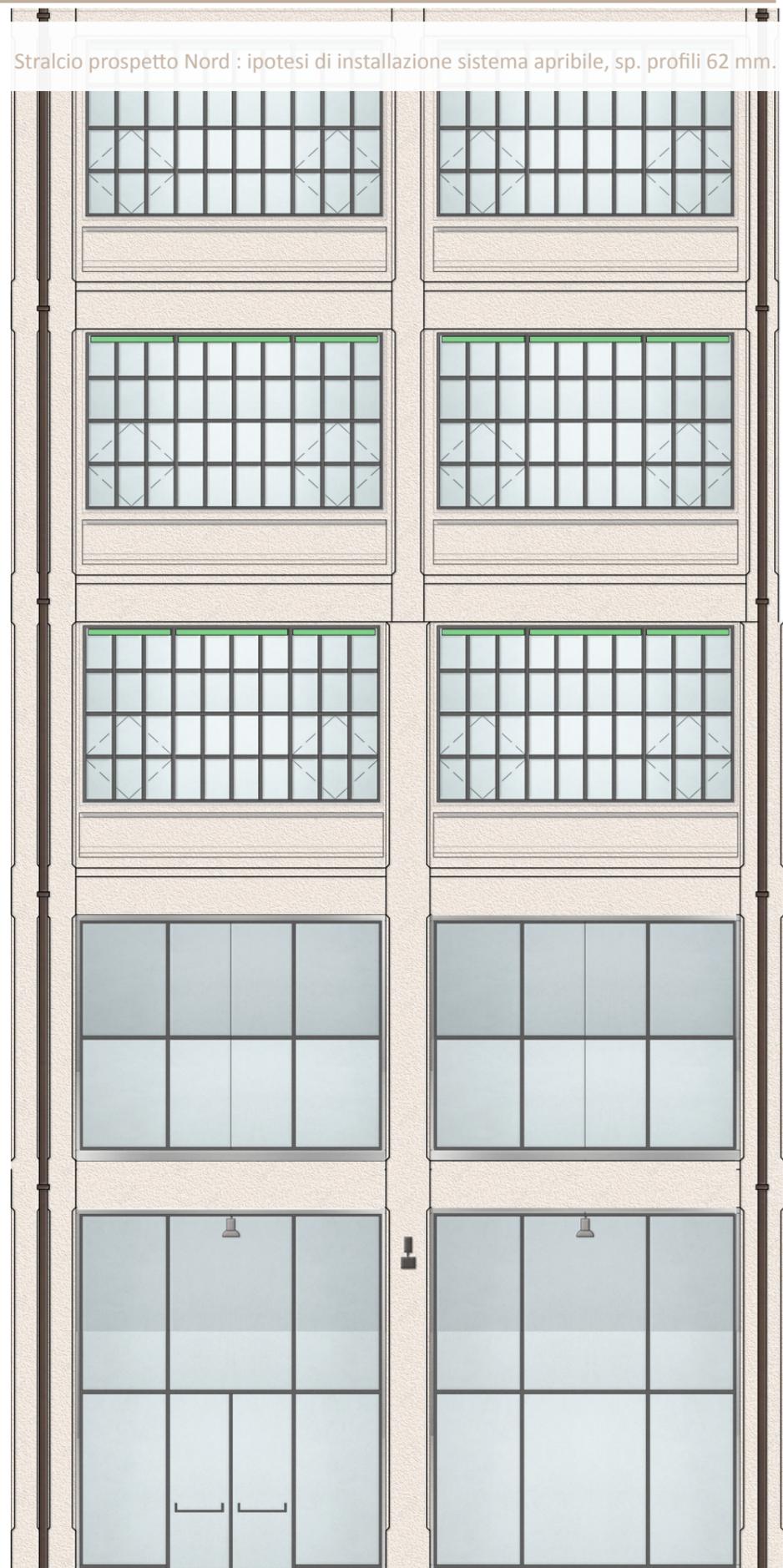


SEZIONE B-B :



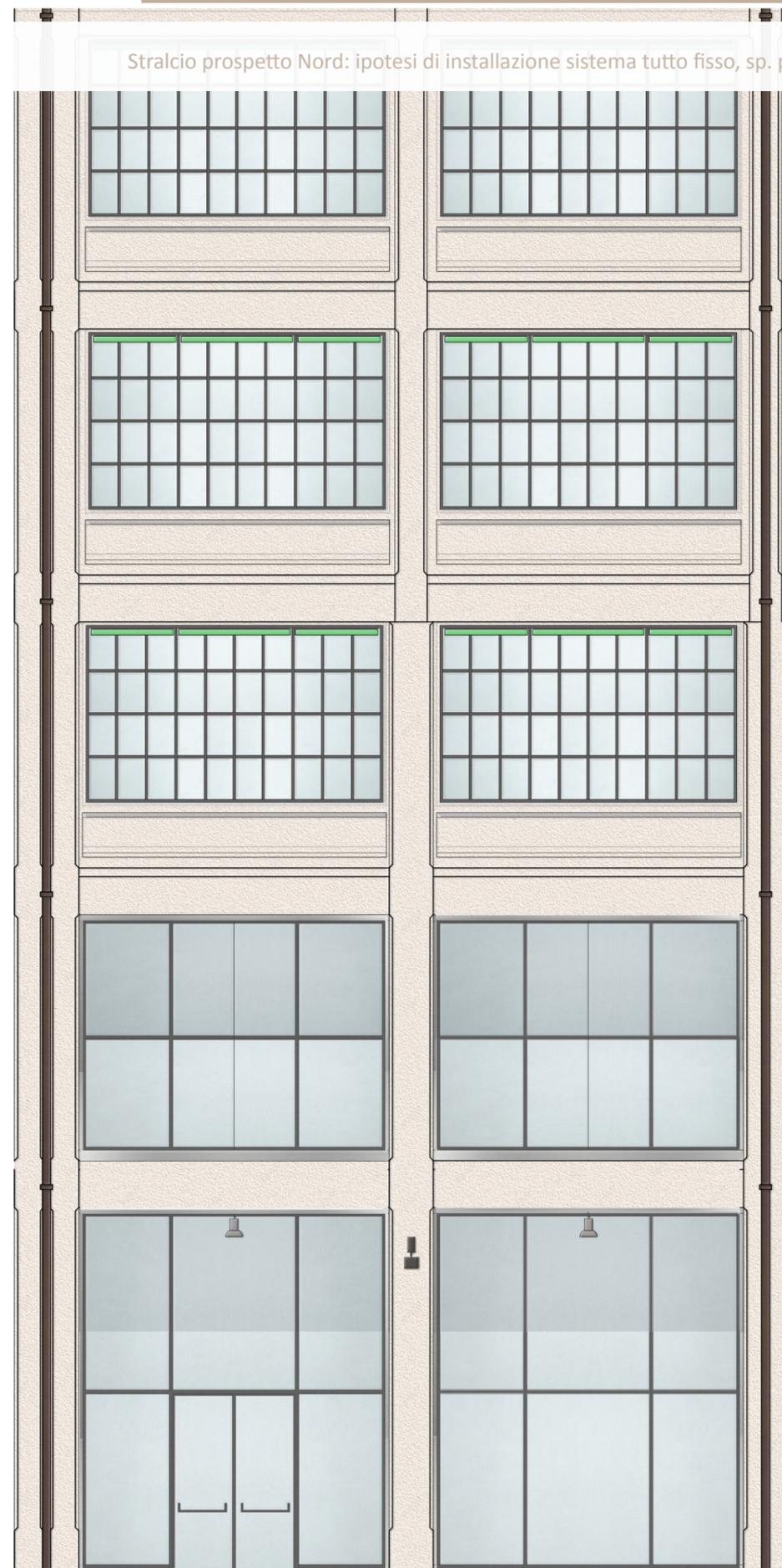
Stralcio prospetto Nord : ipotesi di installazione sistema apribile, sp. profili 62 mm.

A
(Secco Sistemi)



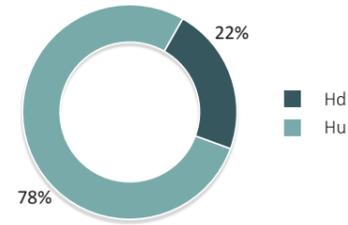
Stralcio prospetto Nord: ipotesi di installazione sistema tutto fisso, sp. profili 42 mm.

A
(Secco Sistemi)



ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

INTERO EDIFICIO	
Hd	15 756.21 W/K
Hu	4 403.24 W/K
Ha	0.00 W/K
Hg	0.00 W/K
TOT	20 159.46 W/K



CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

“Intero edificio”

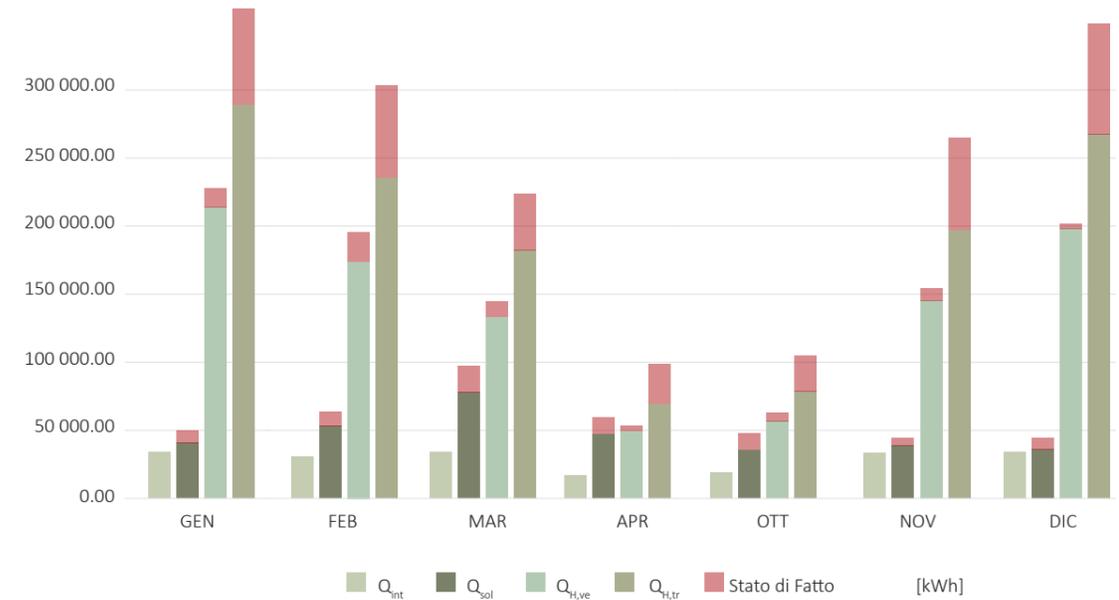
Stagione di Riscaldamento

L’installazione dei nuovi serramenti comporta una radicale diminuzione sia dell’energia dispersa, che degli accumuli termici dovuti alla radiazione solare incidente, grazie al trattamento basso emissivo dei vetri. Questo non solo consente una riduzione degli scambi termici tra i locali riscaldati e l’ambiente esterno ma riduce sensibilmente anche i consumi dell’edificio nella stagione invernale.

MESE	PARAMETRI	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
		N_G [-]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	$Q_{ht,tr}$ [kWh]	$Q_{ht,ve}$ [kWh]
Gennaio	31	38 852.71	1 804.67	34 081.23	288 860.96	213 925.97	502 786.92
Febbraio	28	50 784.31	2 574.67	30 783.04	235 405.19	173 695.55	409 100.74
Marzo	31	73 549.42	4 072.45	34 081.23	182 325.72	133 134.78	315 460.50
Aprile	15	44 533.29	2 497.16	16 490.92	69 273.87	49 394.04	118 667.91
Ottobre	17	33 382.45	1 779.65	18 689.70	78 488.27	56 905.86	135 394.14
Novembre	30	36 749.59	1 770.84	32 981.83	196 903.67	145 358.07	342 261.74
Dicembre	31	34 208.78	1 573.24	34 081.23	267 312.49	197 995.31	465 307.80

TOTALE	183	312 060.54	16 072.68	201 189.18	1 318 570.17	970 409.57	2 288 979.74
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

367 912.43	16 072.68	201 189.18	1 756 441.01	980 410.57	2 726 850.58
- 15.18%			- 24.93%	- 1.02%	- 16.06%



LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- $Q_{ht,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{ht,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $Q_{ht,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $Q_{ht,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

“Intero edificio”

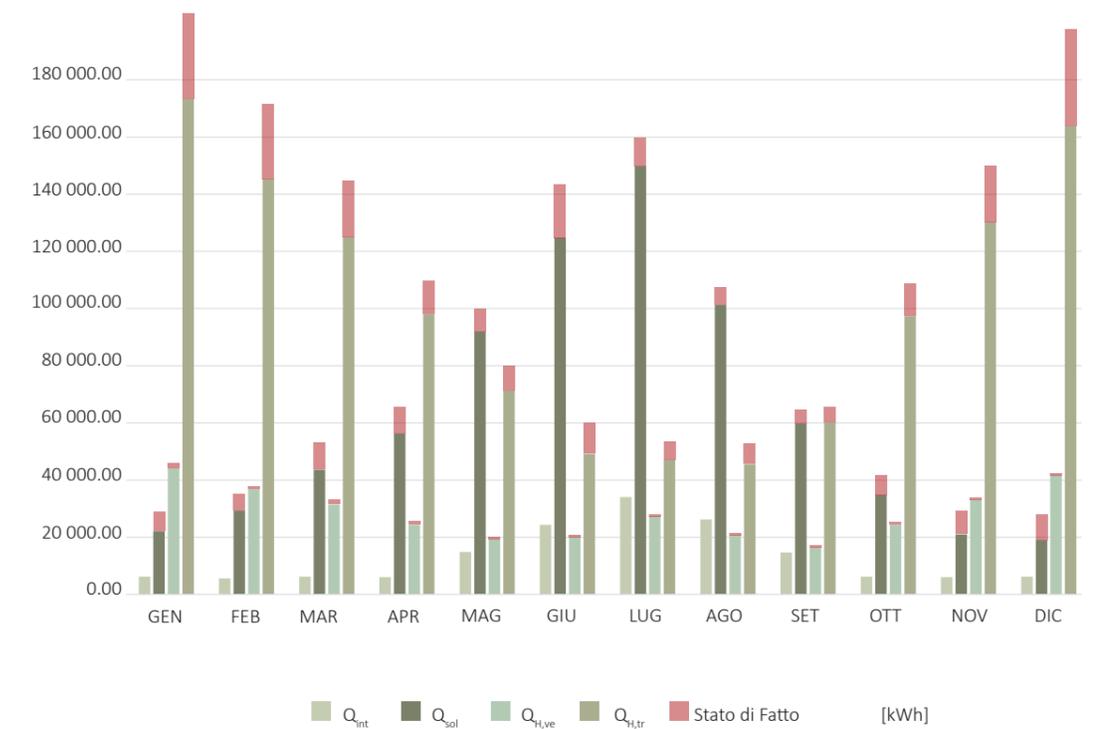
Stagione di Raffrescamento

Come accade per la stagione invernale, anche nel periodo estivo si assiste ad un miglioramento in merito all’energia termica dispersa e agli apporti solari. Grazie al trattamento selettivo sui vetri maggiormente esposti alle radiazioni del sole, gli ambienti con orientamento a sud e a sud-est mantengono una temperatura interna più mite e, non surriscaldandosi, riducono la domanda di energia per il raffrescamento.

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{C,tr} [kWh]	Q _{C,ve} [kWh]	Q _{C,ht} [kWh]
Gennaio	31	21 882.95	228.27	6 205.56	173 278.56	44 083.10	217 361.67
Febbraio	28	29 052.34	283.58	5 605.02	145 251.41	36 857.59	182 109.00
Marzo	31	43 257.93	396.67	6 205.56	125 000.19	31 540.49	156 540.68
Aprile	30	55 812.25	449.07	6 005.38	98 000.55	24 314.97	122 315.53
Maggio	31	90 114.72	1 818.35	14 863.36	71 243.51	19 438.29	90 681.81
Giugno	30	118 861.98	5 922.95	24 328.58	49 166.44	20 144.41	69 310.85
Luglio	31	142 188.12	7 612.62	34 081.23	47 093.43	27 309.70	74 403.13
Agosto	31	95 749.61	5 511.63	26 238.15	45 566.19	20 753.83	66 320.02
Settembre	30	58 200.50	1 575.29	14 690.87	60 091.25	16 457.06	76 548.31
Ottobre	30	34 440.86	342.90	6 205.56	97 313.96	24 412.69	121 726.65
Novembre	30	20 805.38	209.73	6 005.38	130 217.93	33 109.75	163 327.68
Dicembre	31	18 791.19	208.40	6 205.56	163 806.79	41 697.59	205 504.38

TOTALE	365	729 157.83	24 559.45	156 640.17	1 206 030.24	340 119.47	1 546 149.71
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

821 954.21	24 559.45	156 640.17	1 393 867.26	349 037.12	1 712 904.37
- 11.29%			- 13.48%	- 2.55%	- 9.74%



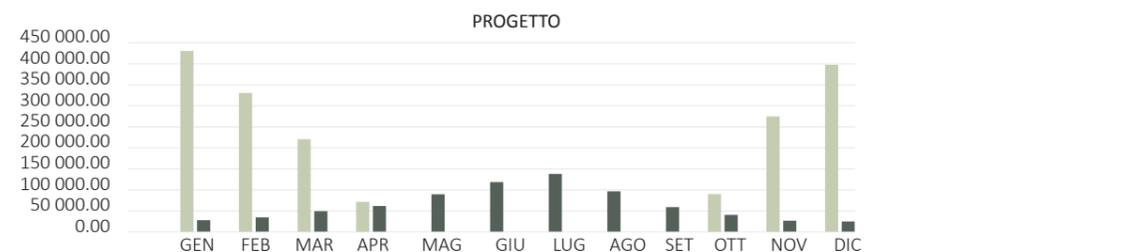
LEGENDA:

- N_G = numero giorni di raffrescamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{C,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{C,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{C,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{C,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

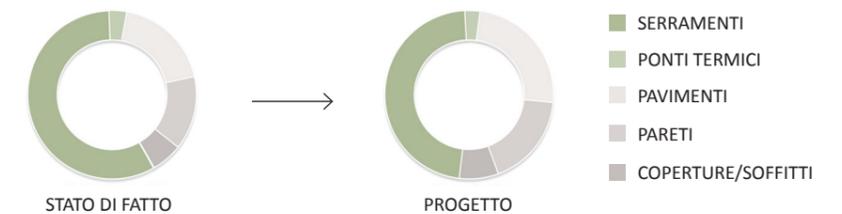
Intero edificio

[kWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	430 575.05	330 595.04	220 726.37	71 628.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89 994.08	274 784.62	397 591.68
$Q_{C,nd}$	28 088.50	34 657.36	49 463.49	61 817.63	89 960.01	119 185.5	138 867.9	97 190.1	59 490.68	40 646.41	26 810.76	24 996.74



La sostituzione dei serramenti con prodotti più performanti non soltanto riduce notevolmente le dispersioni e quindi la domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento. La sostituzione consente anche di utilizzare nuove guarnizioni tra telaio e muro e ridurre quindi di circa il 15% anche i ponti termici che nello stato di fatto si concentravano proprio tra serramento e parete.

INTERO EDIFICIO: DISPERSIONI PER TIPO DI STRUTTURA [W/K]



H Serramenti: 11 954.10 W/K → 6 377.10 W/K - 47%

H Ponti termici: 676.40 W/K → 574.94 W/K - 15%

Con la riduzione delle dispersioni cala anche la domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento annuale.

$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 1 815 894.9 kWh - 18%

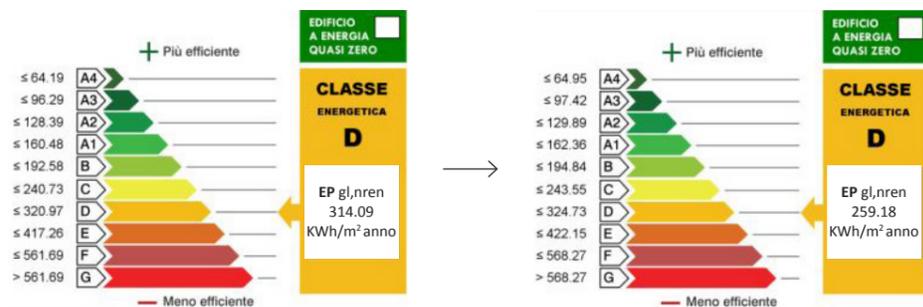
$Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 771 175.2 kWh - 9%

A
(SeccoSistemi)

Tutto questo ipotizzando un sistema apribile. Se invece si pensasse ad un sistema fisso, non solo si rispetterebbe maggiormente l'estetica originaria perchè si adotterebbero profili più snelli, riducendo così lo spessore della mostra nel nodo telaio-controtelaio, ma si risparmierebbe anche sui consumi finali. In effetti, anche se in misura davvero lieve, i serramenti apribili presentano una trasmittanza complessiva inferiore. Passando da un valore di $U_w=1.48 \text{ W/m}^2\text{K}$ del serramento con anta apribile si raggiungerebbe il valore di $U_w=1.40 \text{ W/m}^2\text{K}$ con il sistema tutto fisso e i consumi annuali si ridurrebbero di circa l'1%. Valore molto basso se si considera l'intero ed ampio edificio. Sicuramente però è un buon risultato che considerato sul lungo periodo porta a buoni vantaggi:

$Q_{H,nd}$:	1 815 894.9 kWh	→	1 806 441.4 kWh	- 1%
$Q_{C,nd}$:	771 175.2 kWh	→	769 541.3 kWh	- 0.5%

In conclusione:



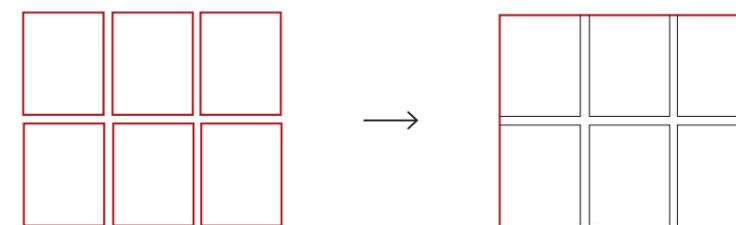
La sostituzione integrale dei serramenti con la prima soluzione, ovvero con i profili secco sistemi, migliora notevolmente l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio e comporta notevoli risparmi sui consumi annuali dell'edificio.

SECONDA SOLUZIONE : MOGS

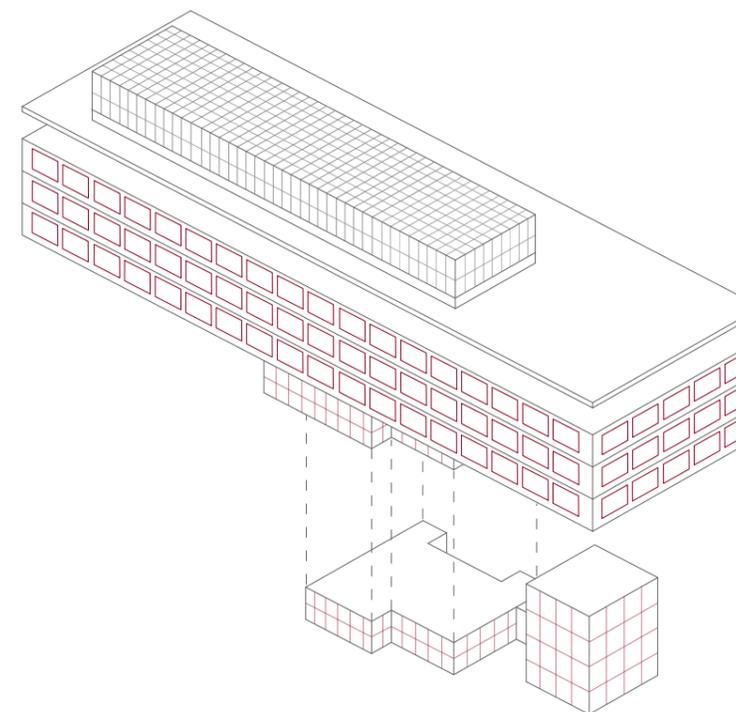
Serramenti a taglio termico serie *FerroFinestra W75 TB* in acciaio zincato

Se si decidesse invece di adottare la soluzione *Mogs*, questo comporterebbe un notevole risparmio. Il motivo è dovuto al fatto che vengono impiegato piatti dividivetro incollati, a riprodurre l'immagine ed il design ma con un miglioramento sull'estetica, la trasmittanza e i costi.

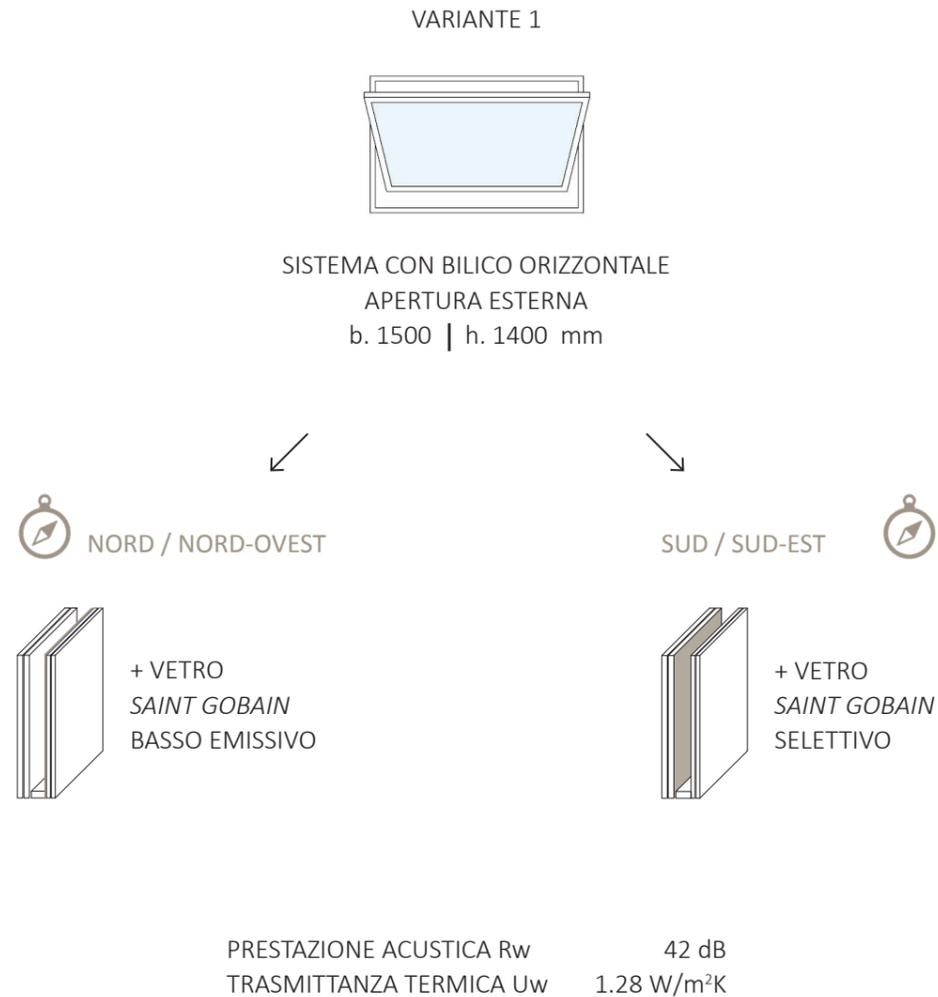
I vetri sono sempre gli stessi, Saint Gobain in linea con le normative vigenti. Viene così maggiormente valorizzata l'alta prestazione del vetro con un serramento che complessivamente raggiunge un valore di trasmittanza termica pari a $U_w=1.23 \text{ W/m}^2\text{K}$ nel sistema apribile e $U_w =1.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ nel sistema tutto fisso.



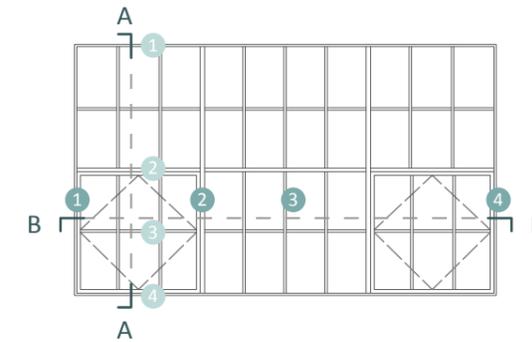
— perimetro del vetro — piatti dividivetro incollati



Serramenti a taglio termico serie *FerroFinestra W75 TB* in acciaio zincato



NODI PRINCIPALI



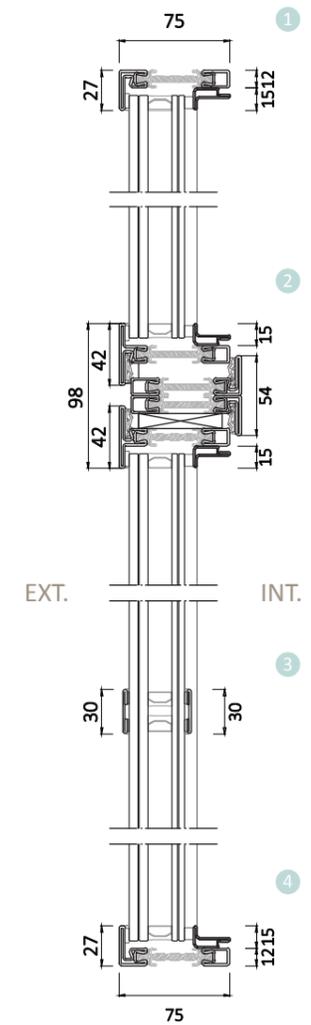
Il sistema *Mogs FerroFinestra W75 TB* utilizza, per le partizioni tra vetro e vetro, piatti riportati dividivetro di 30mm con spessore 3mm, prima saldati tra loro, poi verniciati ed incollati al vetro. Insieme alla canalina dividivetro, costituiscono una ripartizione visiva perfetta del serramento, come un reale profilo dividivetro a T.

Con tale sistema è possibile raggiungere la stessa soluzione estetica ad un costo inferiore sia per il materiale impiegato che per le ore lavoro necessarie.

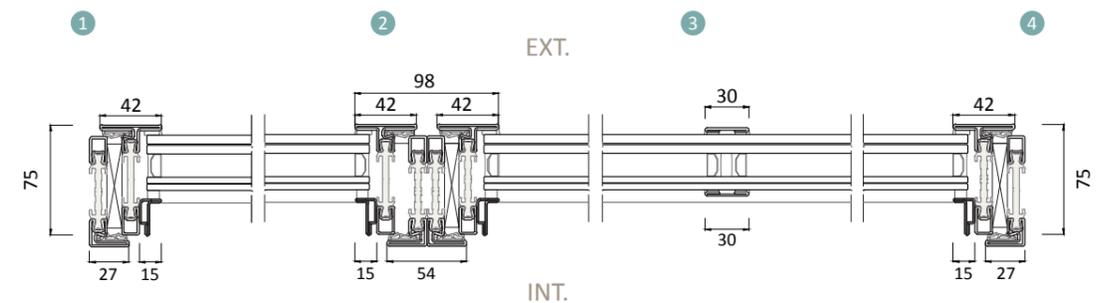
Inoltre, con la soluzione a piatti riportati, si riduce al minimo la divisione dei vetri, garantendo un ottimo valore di trasmittanza termica.

Rispetto alla soluzione del sistema *Secco OS2 75*, in questo caso è stato deciso di evidenziare le parti apribili rispetto al resto del telaio fisso, non prevedendo più, quindi, un unico nodo uguale per tutti.

SEZIONE A-A :



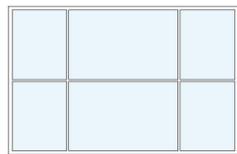
SEZIONE B-B :



B
(Mogs)

Serramenti a taglio termico serie *FerroFinestra W75 TB* in acciaio zincato

VARIANTE 2



SISTEMA TUTTO FISSO
b. 5500 | h. 3000 mm

NORD / NORD-OVEST



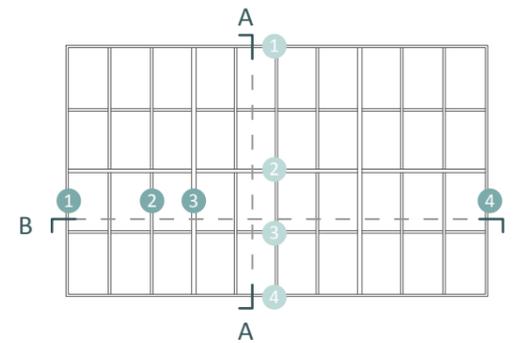
SUD / SUD-EST



PRESTAZIONE ACUSTICA R_w 42 dB
TRASMITTANZA TERMICA U_w 1.24 W/m²K

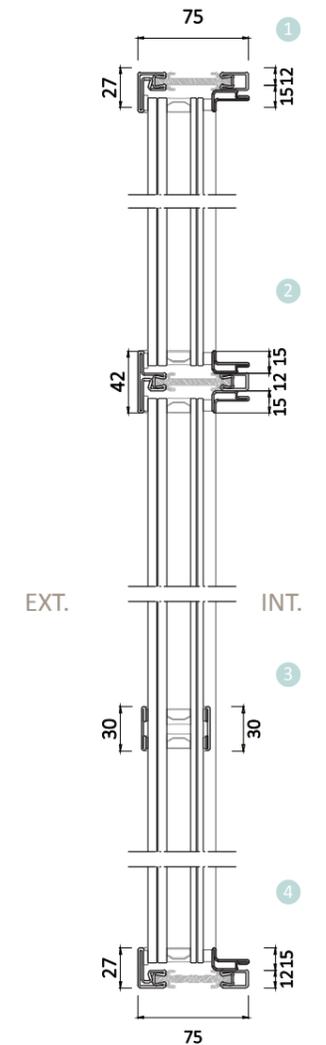
B
(Mogs)

NODI PRINCIPALI

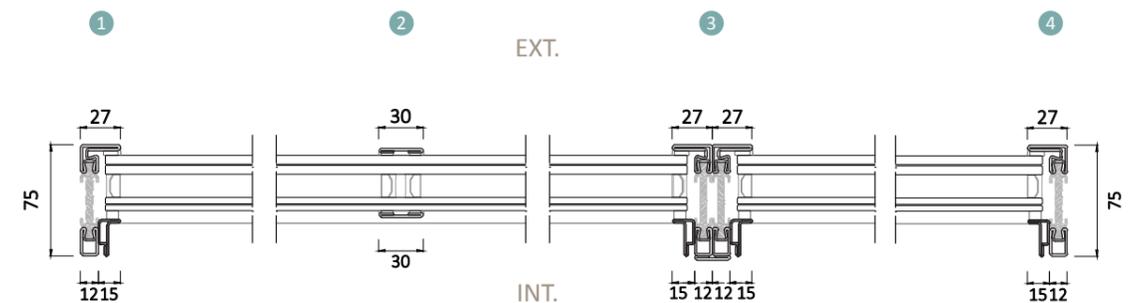


La stessa soluzione a piatti riportati dividivetro viene impiegata anche nel sistema tutto fisso, consentendo di raggiungere profili ancora più sottili ed ugualmente performanti. Con quest'ultima tecnologia si ricalca quasi perfettamente l'estetica degli originari FerroFinestra, senza rinunciare ad un ottimo isolamento termico ed acustico.

SEZIONE A-A :

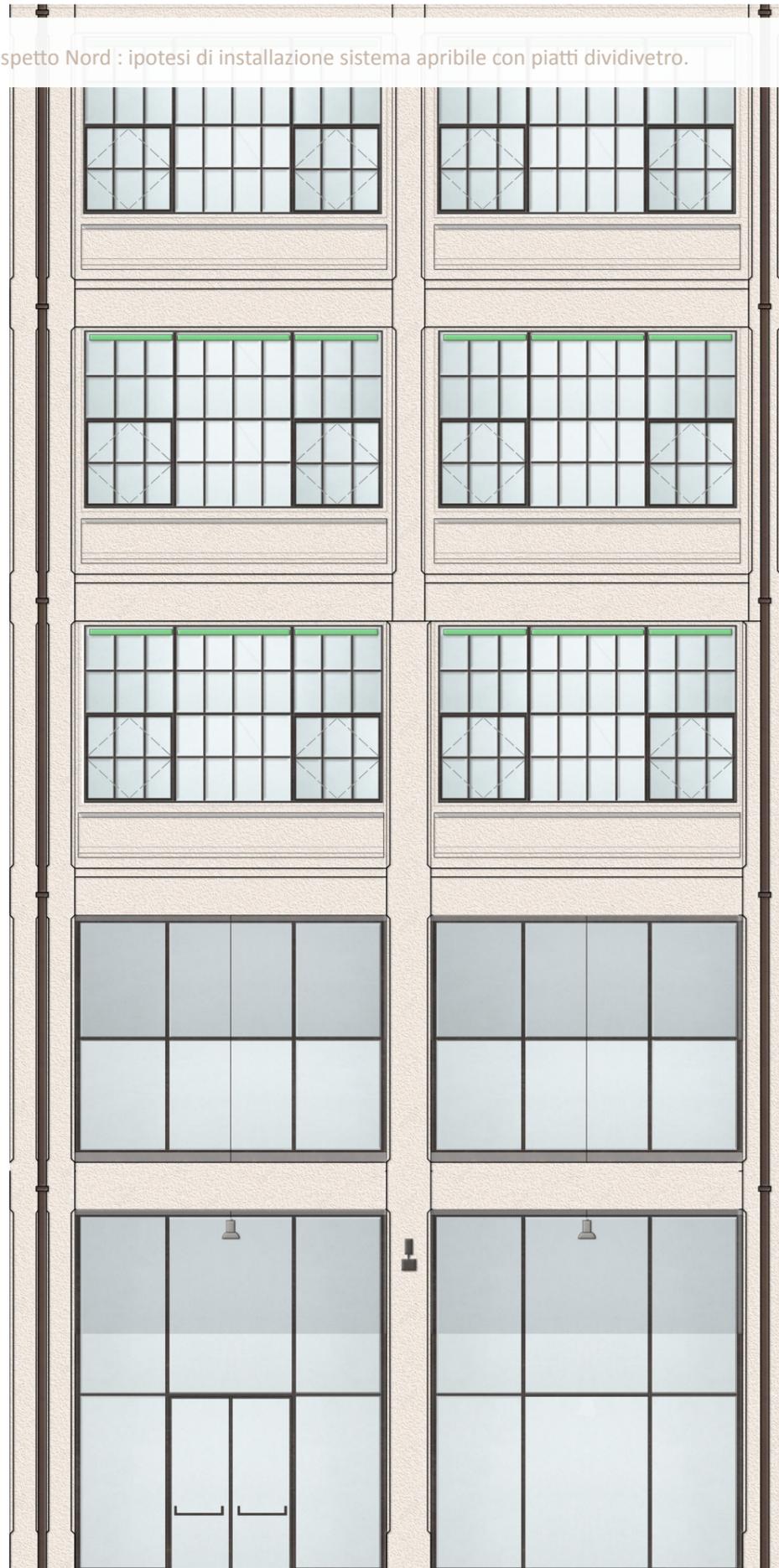


SEZIONE B-B :



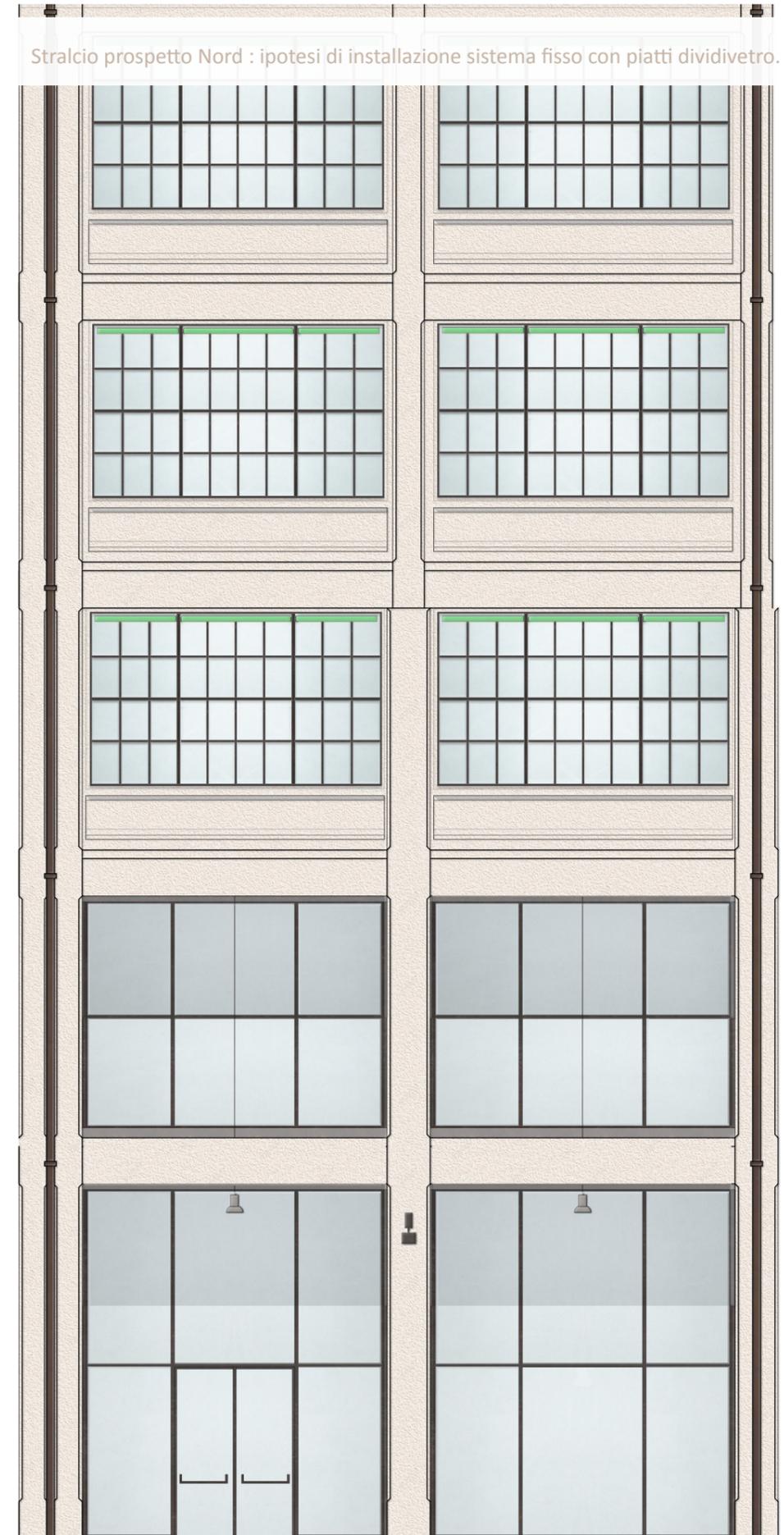
Stralcio prospetto Nord : ipotesi di installazione sistema apribile con piatti dividivetro.

B
(Mogs)



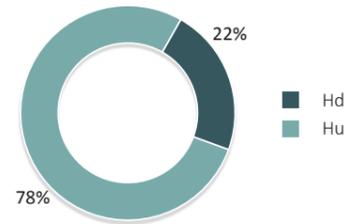
Stralcio prospetto Nord : ipotesi di installazione sistema fisso con piatti dividivetro.

B
(Mogs)



ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

INTERO EDIFICIO	
Hd	15 308.44 W/K
Hu	4 398.79 W/K
Ha	0.00 W/K
Hg	0.00 W/K
TOT	19 707.24 W/K



CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

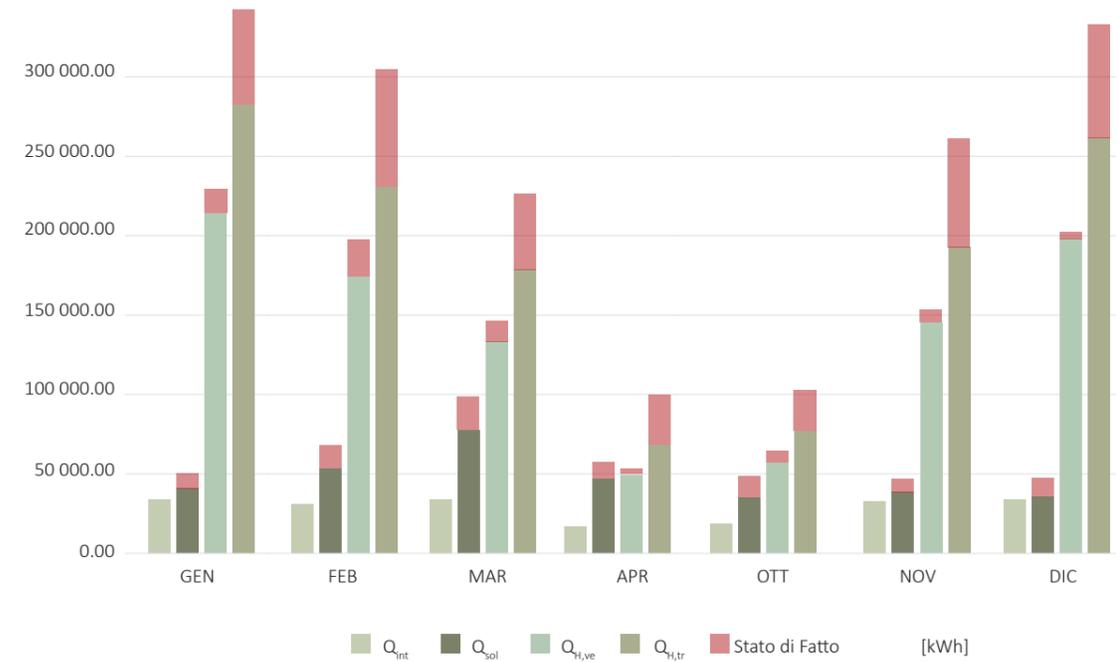
“Intero edificio”

Stagione di Riscaldamento

MESE	N _G [-]	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
		Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	38 852.71	1 804.67	34 081.23	282 520.56	213 925.97	496 446.52
Febbraio	28	50 784.31	2 574.67	30 783.04	230 255.25	173 695.55	403 950.80
Marzo	31	73 549.42	4 072.45	34 081.23	178 374.23	133 134.78	311 509.01
Aprile	15	44 533.29	2 497.16	16 490.92	67 804.26	49 394.04	117 198.30
Ottobre	17	33 382.45	1 779.65	18 689.70	76 798.07	56 905.86	133 703.93
Novembre	30	36 749.59	1 770.84	32 981.83	192 594.13	145 358.07	337 952.20
Dicembre	31	34 208.78	1 573.24	34 081.23	261 444.33	197 995.31	459 439.64

TOTALE	183	312 060.54	16 072.68	201 189.18	1 289 790.82	970 409.57	2 260 200.39
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

367 912.43	16 072.68	201 189.18	1 756 441.01	980 410.57	2 726 850.58
- 15.18%			- 26.57%	- 1.02%	- 17.11%



LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti

B
(Mogs)

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

“Intero edificio”

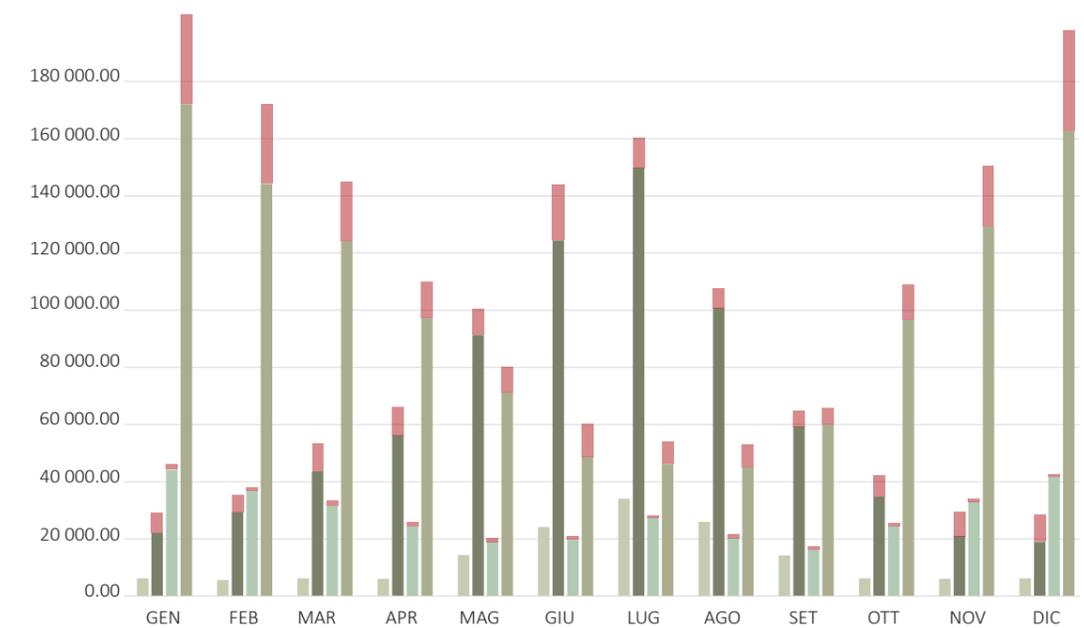
Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	21 882.95	228.27	6 205.56	172 067.17	44 083.10	216 150.27
Febbraio	28	29 052.34	283.58	5 605.02	144 238.39	36 857.59	181 095.98
Marzo	31	43 257.93	396.67	6 205.56	124 132.97	31 540.49	155 673.46
Aprile	30	55 812.25	449.07	6 005.38	97 3301.21	24 314.97	121 646.18
Maggio	31	89 603.18	1 683.07	11 578.61	71 161.12	19 122.32	90 283.44
Giugno	30	118 438.18	5 899.92	23 986.27	48 687.45	19 736.45	68 423.90
Luglio	31	142 188.12	7 612.62	34 081.23	46 159.71	27 439.21	73 598.92
Agosto	31	95 303.49	5 481.04	24 701.51	45 025.50	20 253.29	65 278.79
Settembre	30	57 769.47	1 472.76	10 932.91	60 042.83	16 177.78	76 220.61
Ottobre	30	34 440.86	342.90	6 205.56	96 642.45	24 412.69	121 055.14
Novembre	30	20 805.38	209.73	6 005.38	129 308.04	33 109.75	162 417.79
Dicembre	31	18 791.19	208.40	6 205.56	162 661.00	41 697.59	204 358.59

TOTALE	365	727 345.34	24 268.02	155 267.75	1 197 457.84	338 745.24	1 536 203.07
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

821 954.21	24 559.45	156 640.17	1 393 867.26	349 037.12	1 712 904.37
- 11.51%			- 14.09%	- 2.95%	- 10.32%

B
(Mogs)



Q_{int} Q_{sol} Q_{h,ve} Q_{h,tr} Stato di Fatto [kWh]

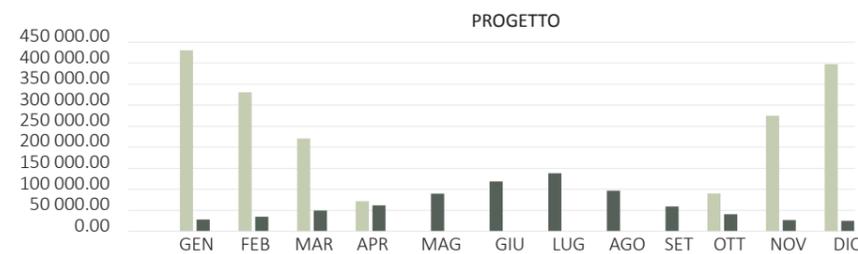
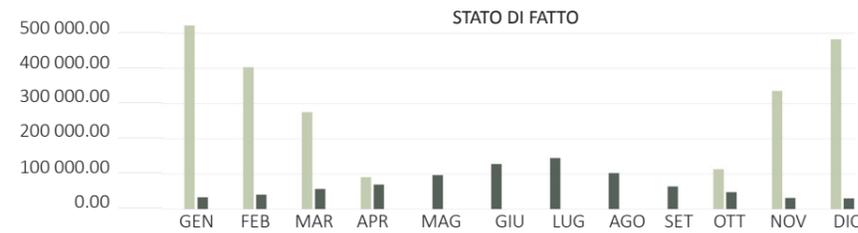
LEGENDA:

- N_G = numero giorni di raffrescamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Intero edificio

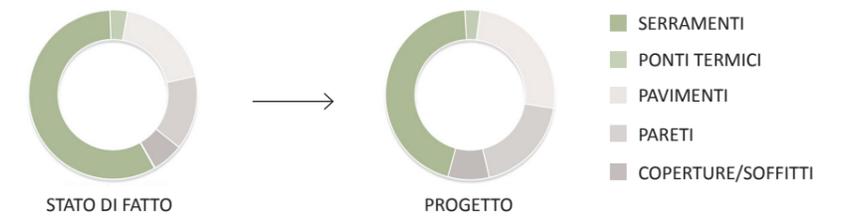
[KWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	424 239.31	325 461.97	216 870.19	70 259.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88 378.20	270 494.10	391 728.58
$Q_{C,nd}$	28 088.50	34 657.36	49 463.49	61 817.63	89 537.40	118 601.7	138 173.3	96 600.16	59 094.13	40 646.41	26 810.76	24 996.74



■ $Q_{H,nd}$ [kWh]
■ $Q_{C,nd}$ [kWh]

La soluzione dei piatti dividivetro consente un notevole miglioramento della trasmittanza complessiva del vetro. Le dispersioni vengono ridotte e così anche le domande annuali di energia. Se nella prima soluzione, con i profili di *Secco Sistemi*, si otteneva un risparmio di circa il 47% sulle dispersioni attraverso i serramenti, con i profili *Mogs* si raggiunge addirittura più del 50%.

INTERO EDIFICIO: DISPERSIONI PER TIPO DI STRUTTURA [W/K]



H Serramenti: 11 954.10 W/K → 5 924.89 W/K - 50.4%

Mettendo dunque a confronto i due scenari progettuali, appare evidente come la soluzione che impiega i profili *Mogs* sia preferibile in quanto comporta un ulteriore risparmio di circa il 7% rispetto alla soluzione con i profili di *Secco Sistemi*:



H Serramenti: 6 377.10 W/K → 5 924.89 W/K - 7%

Con la riduzione delle dispersioni cala anche la domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento annuale.

$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 1 787 431.5 kWh - 19%

$Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 768 487.8 kWh - 10%

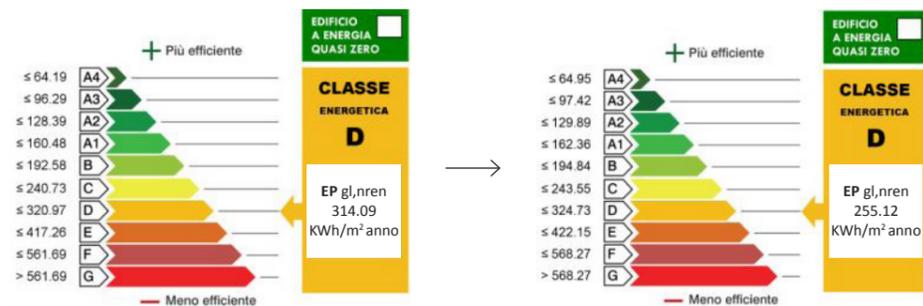
B
(Mogs)

Rispetto alla soluzione *SECCO*, con i profili *MOGS* la domanda di energia termica per riscaldamento si riduce del 2%, mentre il fabbisogno di energia per raffrescamento diminuisce dell'1%.

Se, invece, si simulasse l'installazione di un sistema tutto fisso, accanto ad una maggiore aderenza all'estetica originaria, si risparmierebbe anche sui consumi finali. I nuovi serramenti attesterebbero una trasmittanza termica di $U_w = 1.20 \text{ W/m}^2\text{K}$, contribuendo a ridurre i consumi annuali di circa l'1% per la stagione di riscaldamento e 0.5% per il periodo di raffrescamento.

$Q_{H,nd}$:	1 787 431.5 kWh	→	1 782 709.4 kWh	- 1%
$Q_{C,nd}$:	768 487.8 kWh	→	766 853.9 kWh	- 0.5%

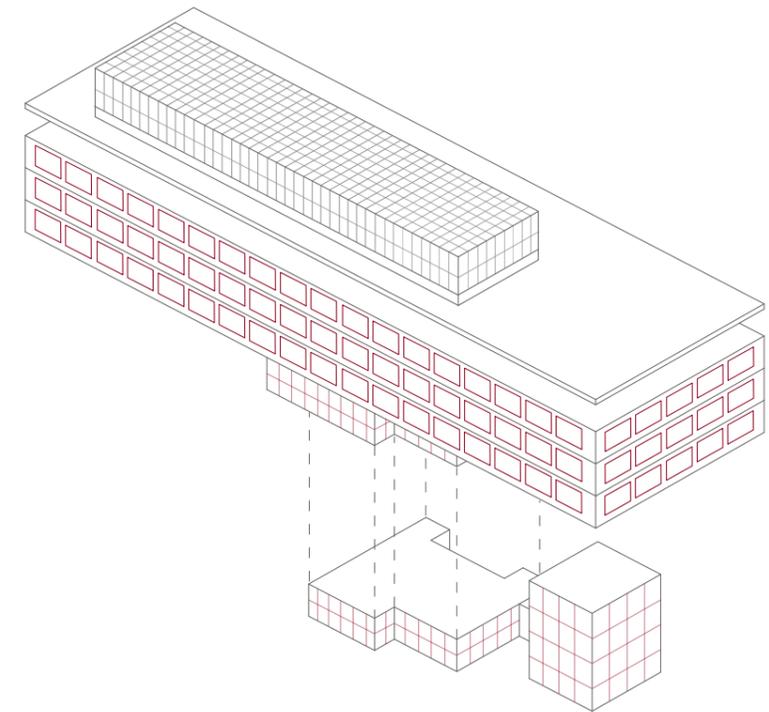
In conclusione:



La sostituzione integrale dei serramenti con la seconda soluzione, ovvero con i profili *Mogs*, migliora notevolmente l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio e comporta notevoli risparmi sui consumi annuali dell'edificio, attestandosi come soluzione preferibile rispetto all'intervento con i profili di *Secco Sistemi*.

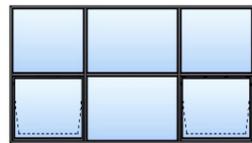
TERZA SOLUZIONE : FRESIALLUMINIO
Serramenti a taglio termico serie *ECO-SLIM72 TT* in alluminio
o
Serramenti a taglio termico serie *SIRIO 50* in alluminio

Nel caso in cui si impiegassero profili in alluminio, si è scelto il sistema dell'azienda *Fresialluminio*, che propone serramenti altamente performanti con uno sguardo attento all'estetica. Il sistema apribile, di seguito analizzato, presenta una trasmittanza U_w del serramento pari a $1.26 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre il sistema tutto fisso presupporrebbe un valore U_w più basso, pari a $1.13 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Serramenti a taglio termico serie *ECO-SLIM72 TT* in alluminio

VARIANTE 1



SISTEMA FISSO + SPORGERE

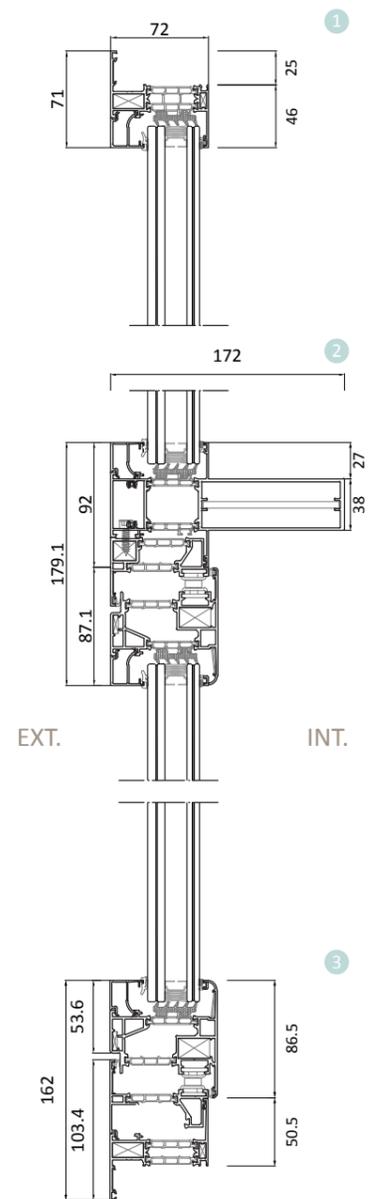
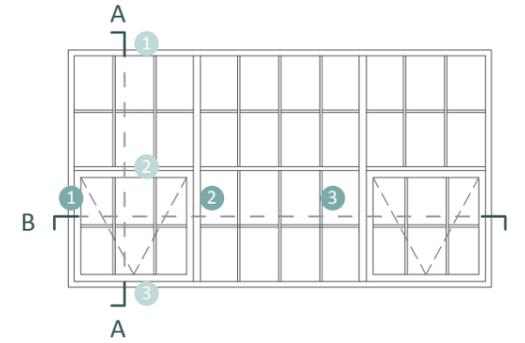
b. 2090 | h. 1500 mm



PRESTAZIONE ACUSTICA R_w 46 dB
 TRASMITTANZA TERMICA U_w 1.25 W/m²K

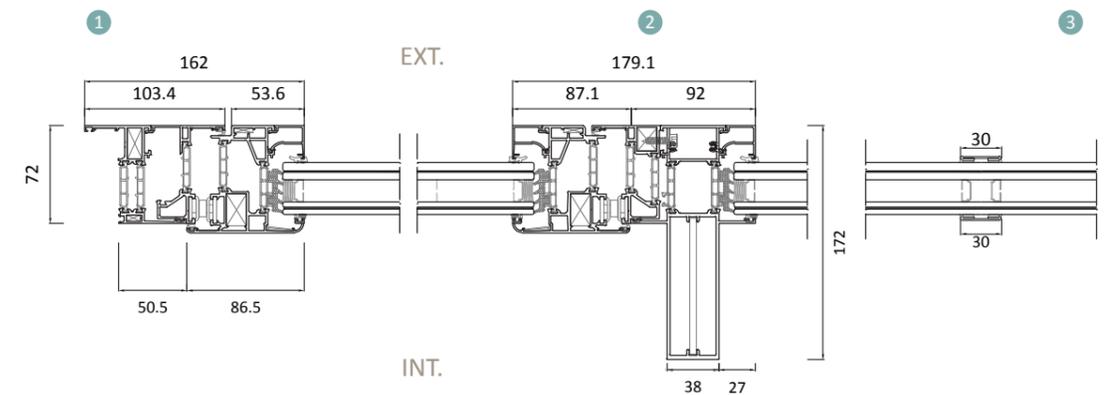
NODI PRINCIPALI

SEZIONE A-A :



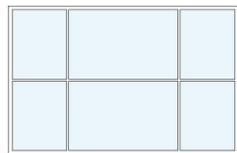
Il sistema *ECOSLIM 72 TT* prevede un sistema fisso con ante inferiori laterali ad apertura a sporgere motorizzata. I montanti intermedi devono prevedere un rinforzo a causa dei carichi ai quali sono soggetti, ma il telaio fisso mantiene una mostra ridotta. La suddivisione delle singole specchiature viene, anche in questo caso, realizzata attraverso l'uso di inglesine incollate sul vetro.

SEZIONE B-B :



Serramenti a taglio termico serie *SIRIO 50* in alluminio

VARIANTE 1



SISTEMA TUTTO FISSO
b. 5500 | h. 3000 mm

NORD / NORD-OVEST

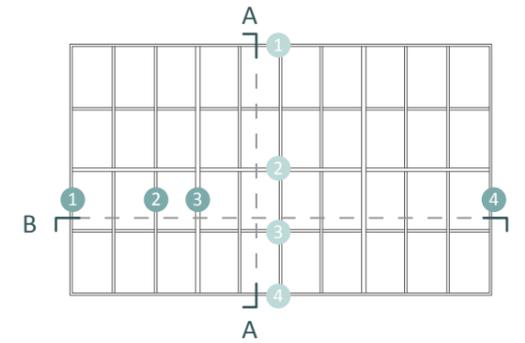


SUD / SUD-EST



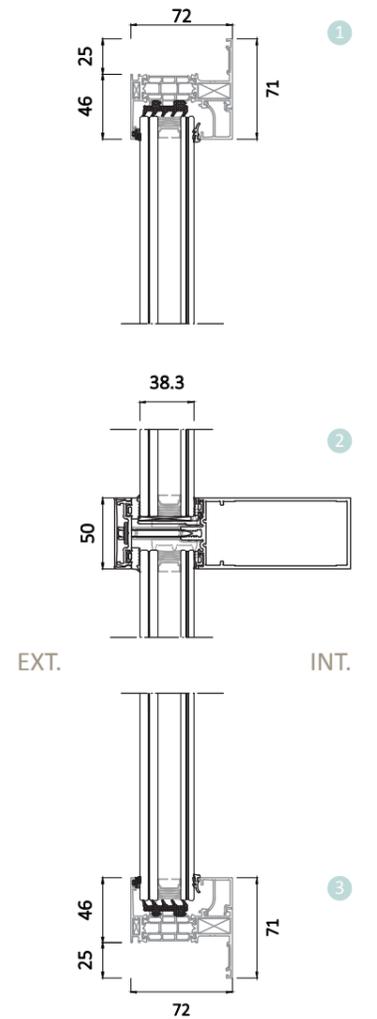
PRESTAZIONE ACUSTICA R_w 46 dB
TRASMITTANZA TERMICA U_w 1.13 W/m²K

NODI PRINCIPALI

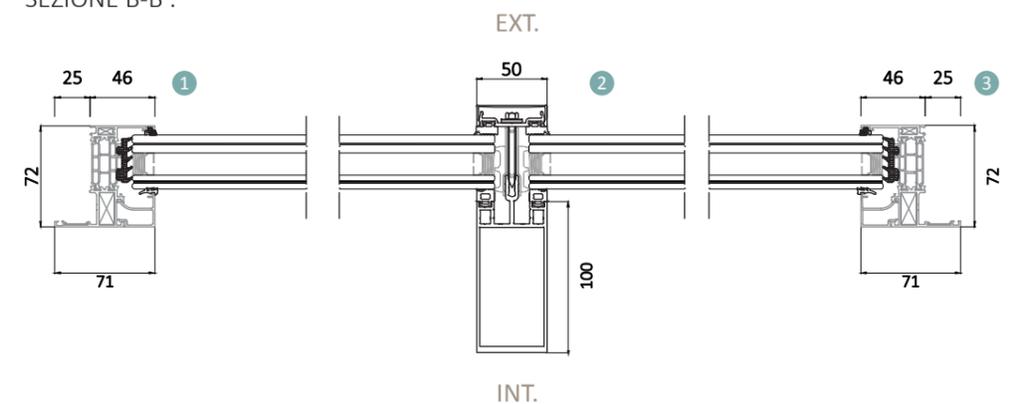


Nell'ipotesi di un sistema interamente fisso, invece, i nuovi serramenti verrebbero realizzati con profili di facciata continua, serie *SIRIO 50*, composti da pressore + copertina. In questo caso, la mostra architettonica risulterebbe notevolmente inferiore e l'aspetto complessivo del serramento rievocherebbe in modo più efficace il *design* originario, con un ulteriore beneficio sulla trasmittanza termica U_w complessiva.

SEZIONE A-A :



SEZIONE B-B :



Stralcio prospetto Nord : ipotesi di installazione sistema apribile *ECO-SLIM72 TT*

C
(Fresialluminio)



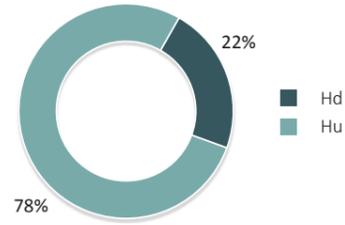
Stralcio prospetto Nord : ipotesi di installazione sistema fisso *SIRIO 50*

C
(Fresialluminio)



ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

INTERO EDIFICIO	
Hd	15 278.70 W/K
Hu	4 400.70 W/K
Ha	0.00 W/K
Hg	0.00 W/K
TOT	19 679.40 W/K



CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

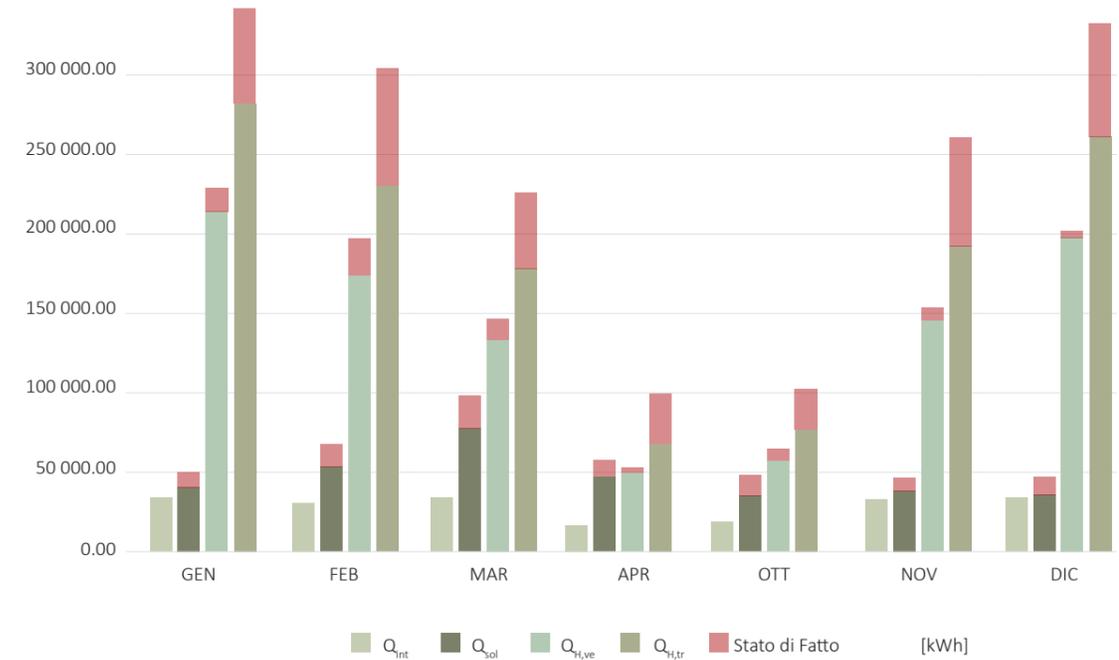
“Intero edificio”

Stagione di Riscaldamento

MESE	PARAMETRI	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
		N_G [-]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	$Q_{sol,op}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]
Gennaio	31	38 852.71	1 804.67	34 081.23	282 130.21	213 925.97	496 056.18
Febbraio	28	50 784.31	2 574.67	30 783.04	229 938.18	173 695.55	403 633.73
Marzo	31	73 549.42	4 072.45	34 081.23	178 130.91	133 134.78	311 265.69
Aprile	15	44 533.29	2 497.16	16 490.92	67 713.74	49 394.04	117 107.78
Ottobre	17	33 382.45	1 779.65	18 689.70	76 693.98	56 905.86	133 599.84
Novembre	30	36 749.59	1 770.84	32 981.83	192 328.80	145 358.07	337 686.87
Dicembre	31	34 208.78	1 573.24	34 081.23	261 083.05	197 995.31	459 078.36

TOTALE	183	312 060.54	16 072.68	201 189.18	1 288 018.88	970 409.57	2 258 428.45
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

367 912.43	16 072.68	201 189.18	1 756 441.01	980 410.57	2 726 850.58
- 15.18%			- 26.67%	- 1.02%	- 17.18%



LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- $Q_{sol,w}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- $Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- $Q_{H,tr}$ = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ve}$ = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ht}$ = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,nd}$ = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

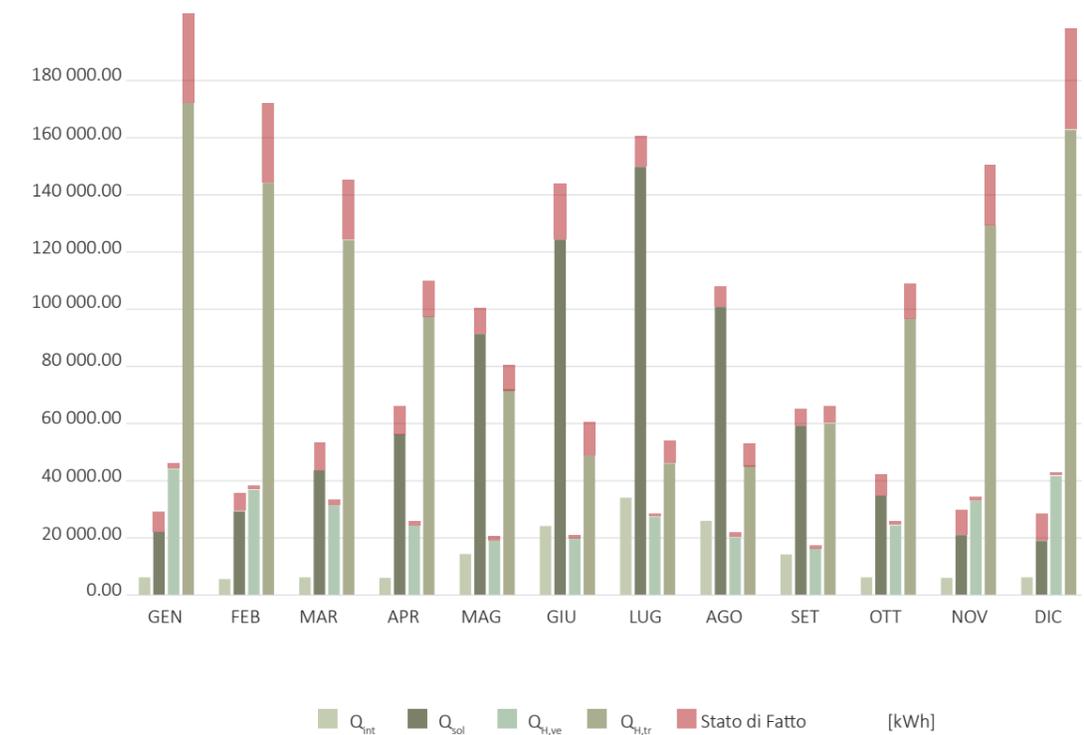
“Intero edificio”

Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	21 882.95	228.27	6 205.56	172 154.52	44 083.10	216 237.63
Febbraio	28	29 052.34	283.58	5 605.02	144 311.44	36 857.59	181 169.03
Marzo	31	43 257.93	396.67	6 205.56	124 195.51	31 540.49	155 736.00
Aprile	30	55 812.25	449.07	6 005.38	97 379.48	24 314.97	121 694.46
Maggio	31	89 603.18	1 683.07	11 578.61	71 958.54	19 122.32	91 080.85
Giugno	30	118 438.18	5 899.92	23 986.27	48 834.48	19 736.45	68 570.93
Luglio	31	142 188.12	7 612.62	34 081.23	46 108.35	27 439.21	73 547.55
Agosto	31	95 303.49	5 481.04	24 701.51	45 306.59	20 253.29	65 559.88
Settembre	30	57 769.47	1 472.76	10 932.91	60 019.79	16 177.78	76 197.58
Ottobre	30	34 440.86	342.90	6 205.56	96 690.87	24 412.69	121 103.57
Novembre	30	20 805.38	209.73	6 005.38	129 373.65	33 109.75	162 483.41
Dicembre	31	18 791.19	208.40	6 205.56	162 743.62	41 697.59	204 441.21

TOTALE	365	727 345.34	24 268.02	155 267.75	1 199 076.85	338 745.24	1 537 822.09
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

821 954.21	24 559.45	156 640.17	1 393 867.26	349 037.12	1 712 904.37
- 11.51%			- 13.97%	- 2.95%	- 10.22%



LEGENDA:

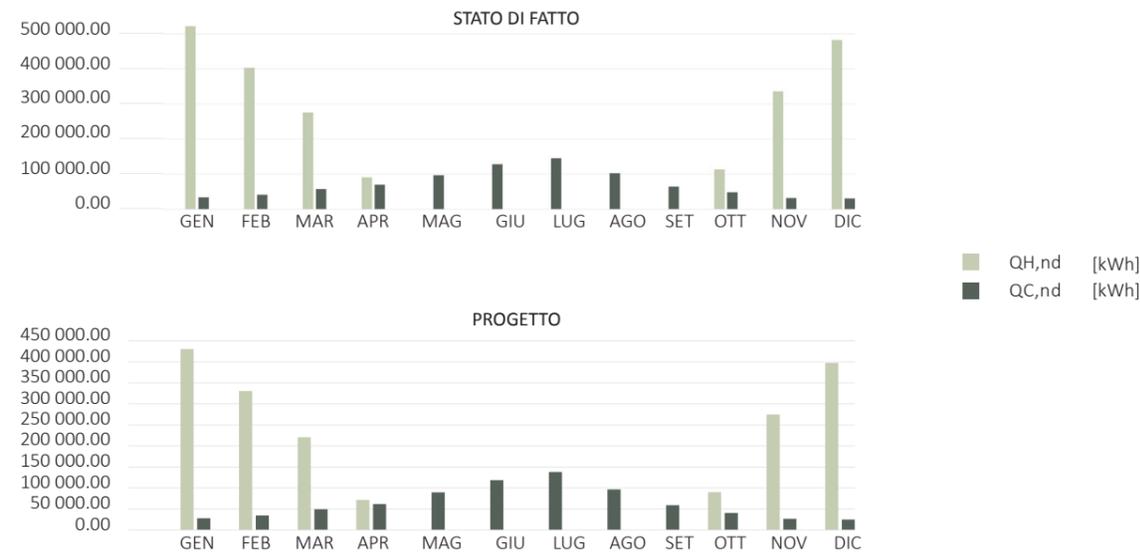
- N_G = numero giorni di raffrescamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti

C
(Fresialuminio)

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Intero edificio

[kWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	423 846.91	325 142.91	216 630.18	70 175.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88 277.26	270 227.73	391 365.25
$Q_{C,nd}$	28 088.50	34 657.36	49 463.49	61 817.63	90 088.6	119 309.8	138 919.7	97 289.7	59 521.96	40 646.41	26 810.76	24 996.74



Dall'analisi emerge in modo evidente come la soluzione con i profili *Fresialuminio* comporti una netta riduzione del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione.

Le dispersioni attraverso il componente serramento diminuiscono del 51%, risultato superiore di 0.6% rispetto a quello ottenuto con i profili *Mogs*, che comportava una riduzione delle dispersioni attraverso gli infissi del 50.4%.

INTERO EDIFICIO: DISPERSIONI PER TIPO DI STRUTTURA [W/K]



H Serramenti: 11 954.10 W/K → 5 897.00 W/K - 51%

C
(Fresialuminio)

Rispetto allo stato di fatto, con i nuovi profili *Fresialuminio* le dispersioni per trasmissione diminuiscono del 26%, comportando così una riduzione anche sui consumi annuali dell'edificio:

$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 1 785 665.8 kWh - 20%

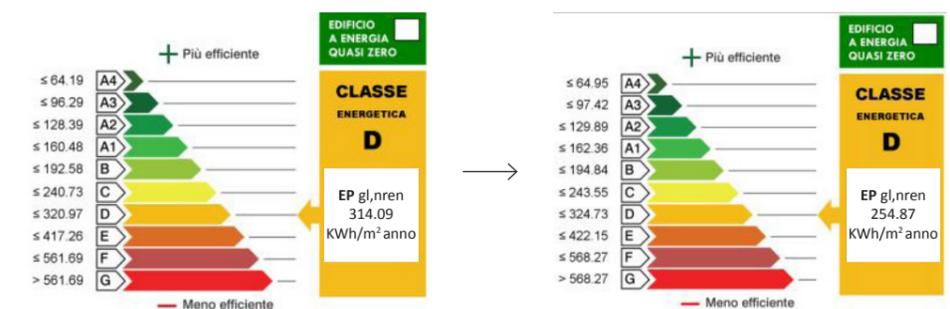
$Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 771 610.7 kWh - 10%

Nell'ipotesi di installare sulle facciate della sede del Politecnico un sistema fisso al posto di quello apribile appena simulato, i benefici sarebbero maggiori, comportando una riduzione della domanda annuale di energia termica:

$Q_{H,nd}$: 1 785 665.8 kWh → 1 770 325.1 kWh - 2%

$Q_{C,nd}$: 771 610.7 kWh → 766 178.5 kWh - 1%

In conclusione:

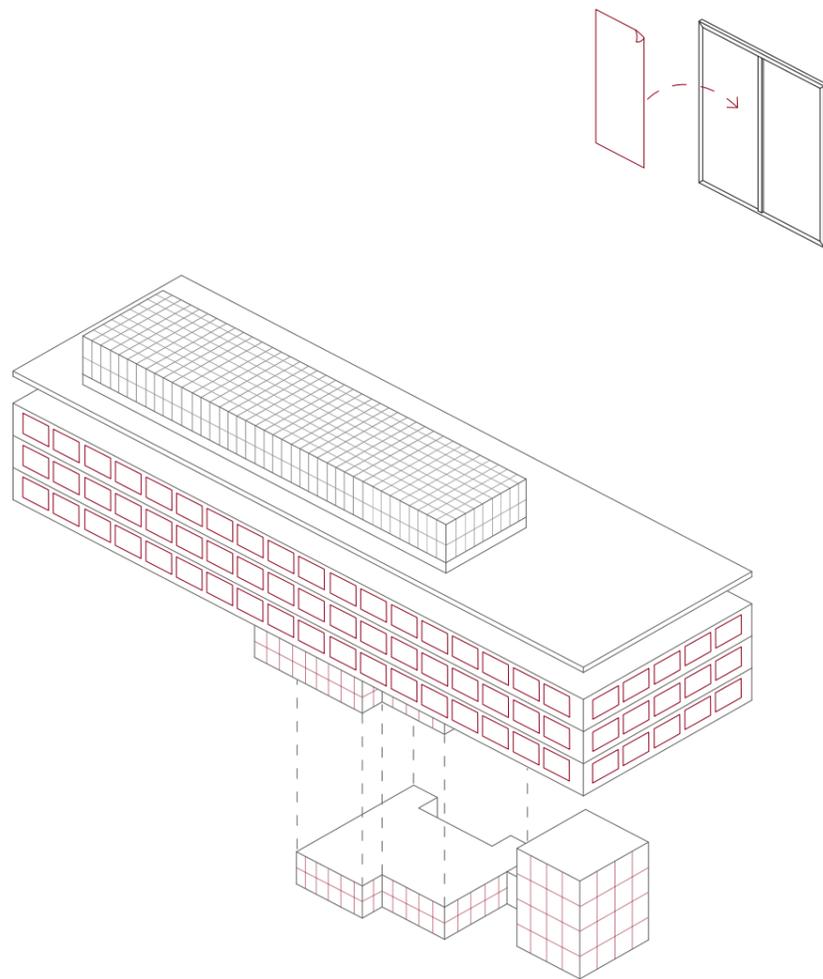


Dall'analisi emerge in modo evidente come la soluzione con i profili *Fresialuminio* sia quella che dal punto di vista energetico migliora maggiormente le performances dell'intera struttura. Da un punto di vista estetico, però, avendo l'alluminio proprietà differenti dall'acciaio e necessitando dunque di sezioni ed ingombri maggiori per sopportare i carichi strutturali, le portate del vento e soddisfare le verifiche, risulta il meno adatto a ricalcare le sezioni e le geometrie dei FerroFinestra originali.

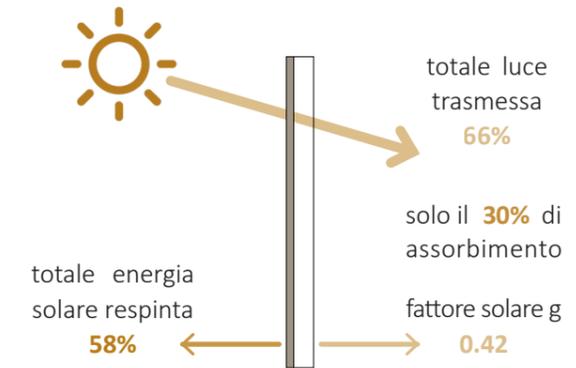
APPLICAZIONE DI PELLICOLE A CONTROLLO SOLARE

In una prospettiva di maggior tutela del Bene, si è anche tentato di valutare la fattibilità ed i possibili benefici di una soluzione che prevedesse il mantenimento degli infissi esistenti e l'applicazione di pellicole a controllo solare sui fronti maggiormente esposti alle radiazioni del sole. Si è cercato di individuare tecnologie che conferissero al vetro esistente una tonalità il più possibile neutra, senza alterare eccessivamente la pigmentazione attuale.

La scelta è ricaduta sulle performanti *Helios XHE 70 ER HPR* della *LLUMAR*, caratterizzate da un'alta trasparenza ed un'alta selettività, senza generare il cosiddetto effetto specchio. La principale caratteristica risiede nel fatto che tale film riflette i raggi IR anziché assorbirli e, in virtù della bassa assorbanza, risulta compatibile con la maggior parte dei vetri esistenti.



Pellicole a controllo solare LLUMAR® modello *Helios XHE 70 ER HPR*

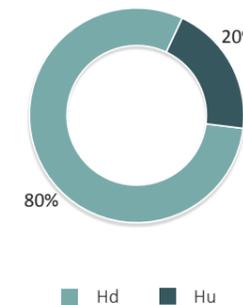


SPECIFICHE TECNICHE

	
Trasmissione energia solare (τ_e)	33%
Riflessione energia solare (ρ_e)	37%
Assorbimento energia solare (α_e)	30%
Respingimento totale energia solare 58%	
	
Trasmissione luminosa (τ_v)	66%
Riflessione luminosa esterna (ρ_{ve})	9%
Riflessione luminosa interna (ρ_{vi})	9%
Riduzione dell'abbagliamento	25%
Coefficiente solare (g)	0.42
Coefficiente di shading (C_s)	0.48

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

INTERO EDIFICIO	
H _d	20 514.28 W/K
H _u	5 005.83 W/K
H _a	0.00 W/K
H _g	0.00 W/K
TOT	25 520.11 W/K



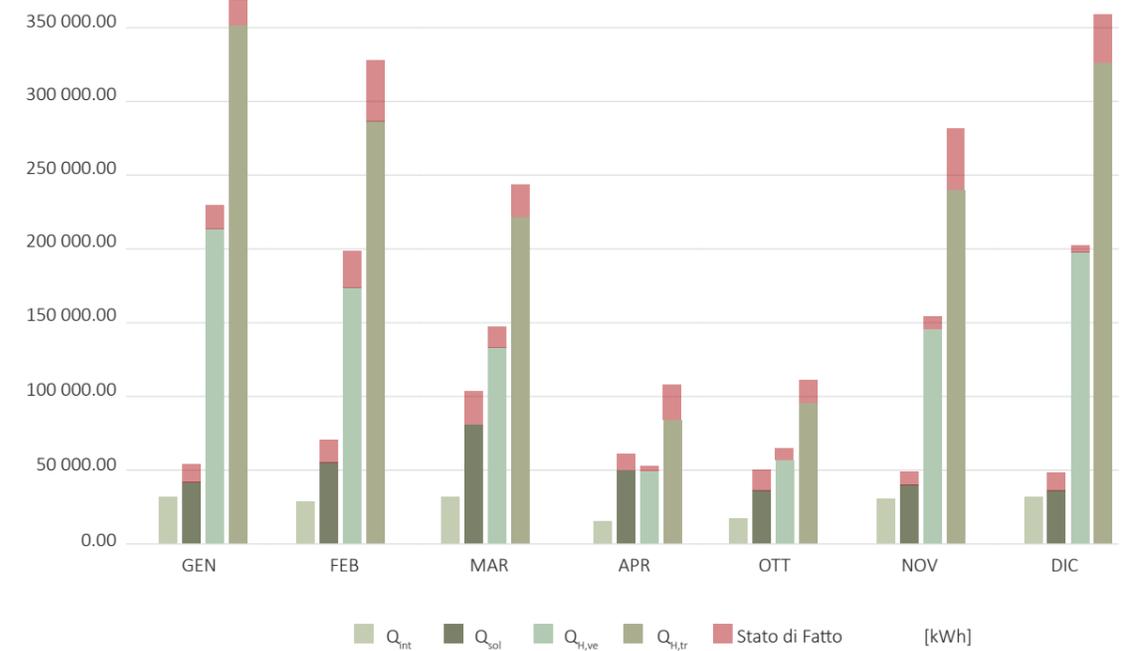
- H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno
- H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati
- H_s = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno
- H_c = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

Fabbisogno di energia termica: "Intero edificio"

Stagione di Riscaldamento

L'applicazione delle pellicole a controllo solare non consente soltanto benefici durante la stagione di raffrescamento. Proprio per la loro caratteristica basso emissiva, secondo cui si riducono gli scambi termici tra esterno ed interno, sono capaci di operare come controllo solare, in estate, ed isolamento termico, in inverno. Pertanto, rispetto allo stato di fatto, con l'applicazione delle pellicole LLUMAR si assiste ad una riduzione sia dell'energia dispersa per trasmissione sia degli apporti solari sulle componenti trasparenti.



PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	42 181.13	1 804.67	34 081.23	366 457.97	213 925.97	580 383.94
Febbraio	28	56 050.06	2 574.67	30 783.04	298 738.80	173 695.55	472 434.35
Marzo	31	81 728.81	4 072.45	34 081.23	231 588.54	133 134.78	364 723.32
Aprile	15	50 933.14	2 497.16	16 490.92	88 169.91	49 394.04	137 563.95
Ottobre	17	36 567.85	1 779.65	18 689.70	99 756.22	56 905.86	156 662.08
Novembre	30	40 420.87	1 770.84	32 981.83	249 868.11	145 358.07	395 226.18
Dicembre	31	36 612.95	1 573.24	34 081.23	339 116.74	197 995.31	537 112.05

TOTALE	183	344 494.80	16 072.68	201 189.18	1 673 696.29	970 409.57	2 644 105.86
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

367 912.43	16 072.68	201 189.18	1 756 441.01	980 410.57	2 726 850.58
- 6.37%			- 4.71%	- 1.02%	- 3.03%

LEGENDA:

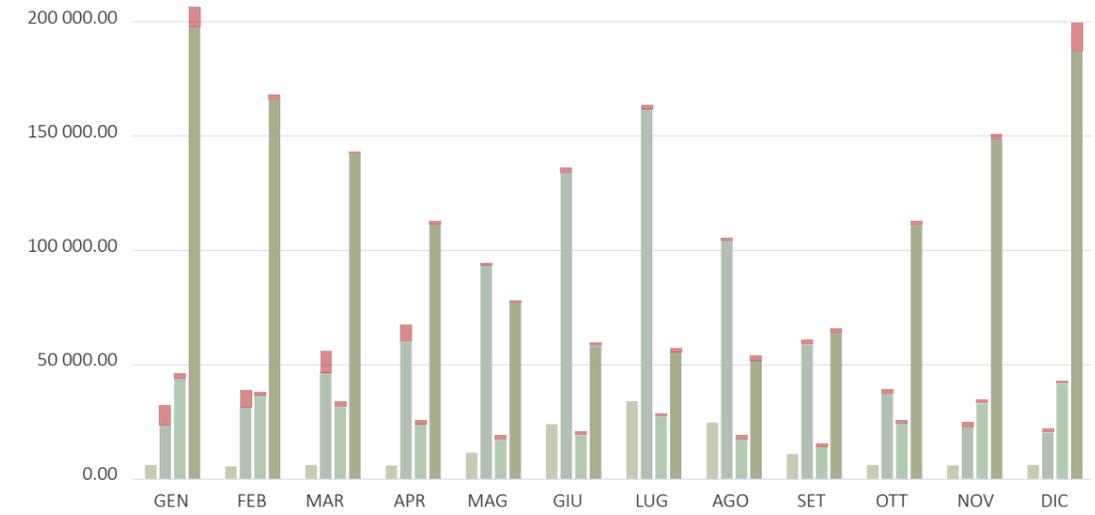
- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

Fabbisogno di energia termica: "Intero edificio"

Stagione di Raffrescamento

Tramite la tecnologia della riflessione dell'energia solare, anche durante la stagione estiva si percepisce una diminuzione sia degli apporti solari incidenti sia delle dispersioni attraverso le superfici vetrate, con la conseguente riduzione del fabbisogno di energia termica dell'involucro per il raffrescamento.



Q_{int} Q_{sol} Q_{sol,w} Q_{sol,op} Q_{int} Q_{c,tr} Q_{c,ve} Q_{c,ht} Stato di Fatto [kWh]

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	23 669.23	228.27	6 205.56	199 189.45	44 083.10	243 272.55
Febbraio	28	31 478.22	283.58	5 605.02	166 952.53	36 857.59	203 810.12
Marzo	31	46 901.97	396.67	6 205.56	143 640.54	31 540.49	175 181.02
Aprile	30	60 420.37	449.07	6 005.38	112 533.24	24 314.97	136 848.21
Maggio	31	93 723.16	1 071.04	11 578.61	78 648.12	17 289.10	95 819.11
Giugno	30	131 470.74	5 879.28	23 986.27	61 305.17	19 271.88	80 624.63
Luglio	31	159 839.72	7 612.62	34 081.23	60 868.94	27 439.21	88 308.14
Agosto	31	101 314.23	5 332.36	24 701.51	54 756.39	17 398.27	72 196.45
Settembre	30	58 540.13	901.47	10 932.91	64 863.01	14 316.17	79 007.93
Ottobre	30	37 448.67	342.90	6 205.56	111 797.68	24 412.69	136 210.37
Novembre	30	22 589.27	209.73	6 005.38	149 686.18	33 109.75	182 795.93
Dicembre	31	20 378.10	208.40	6 205.56	188 306.09	41 697.59	230 003.69

TOTALE	365	787 773.82	22 915.38	147 718.52	1 302 547.34	341 730.82	1 624 078.15
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

821 954.21	24 559.45	156 640.17	1 393 867.26	349 037.12	1 712 904.37
- 4.16%			- 6.55%	- 2.09%	- 5.19%

LEGENDA:

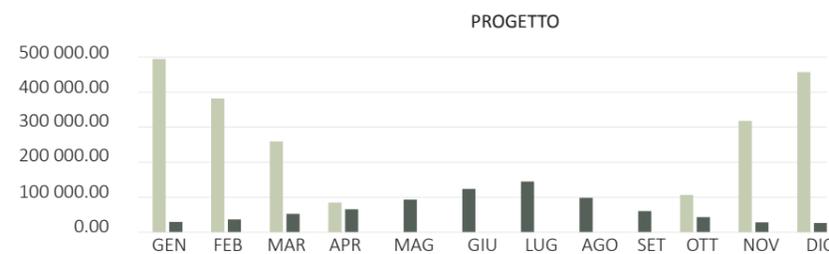
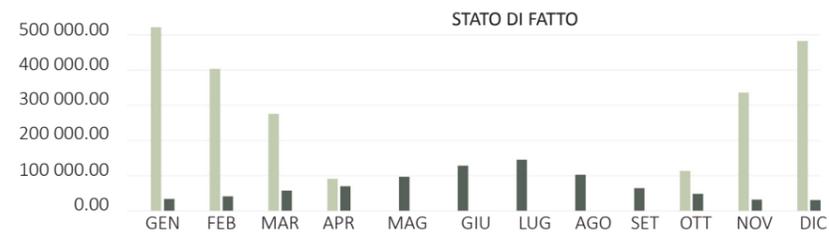
- N_G = numero giorni di raffrescamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti

Pellicole solari

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Intero edificio

[KWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	506 824.70	391 596.06	266 447.23	87 258.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	109 820.44	326 029.92	468 691.20
$Q_{C,nd}$	29 874.79	37 083.24	53 107.52	66 425.75	94 002.4	124 887.7	146 202.3	98 893.5	60 788.87	43 654.23	28 594.65	26 583.65



■ $Q_{H,nd}$ [kWh]
■ $Q_{C,nd}$ [kWh]

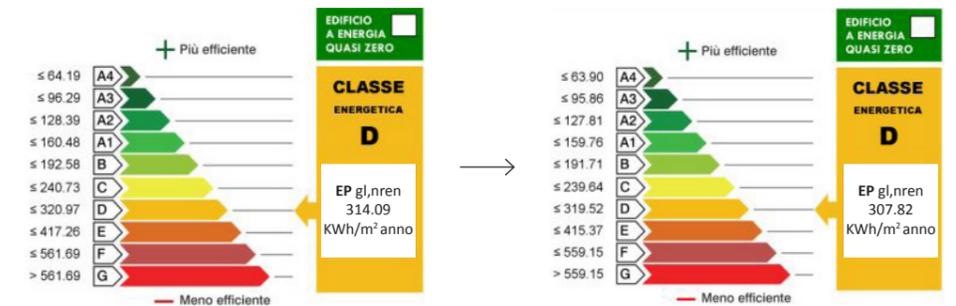
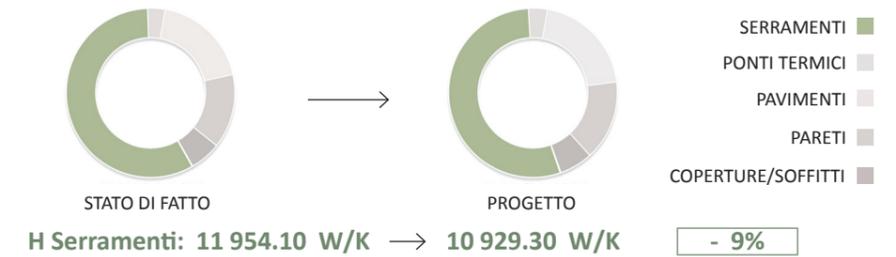
Dall'analisi dei risultati, si può comprendere come l'applicazione delle pellicole a controllo solare garantisca un miglioramento delle *performances* del sistema vetrato e quindi, in una valutazione complessiva, comporti una riduzione delle dispersioni verso l'esterno ed una riduzione degli accumuli termici dovuti all'energia solare incidente. Tali risultati incidono così sui consumi finali di energia termica per la climatizzazione: proprio per la tecnologia dei *film* selettivi, i benefici più apprezzabili si riscontrano nella stagione estiva anche se si può assistere ad un miglioramento anche durante il periodo di riscaldamento:

$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 2 156 667.9 kWh - 2%

$Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 810 098.6 kWh - 5%

Pellicole solari

INTERO EDIFICIO: DISPERSIONI PER TIPO DI STRUTTURA [W/K]



Rielaborando i risultati, si potrebbe concludere che l'applicazione delle pellicole a controllo solare mantiene inalterata l'estetica degli attuali serramenti migliorandone le prestazioni termiche e quindi, da un punto di vista conservativo, sembrerebbe la soluzione preferibile. Tuttavia, i benefici energetici stimati fanno riferimento al momento in cui le pellicole vengono installate, e non tengono ad esempio in considerazione tutta una serie di condizioni al contorno che valutate nel lungo periodo comporterebbero la progressiva perdita delle prestazioni del prodotto, come ad esempio l'elasticità e la riflettanza tipica della metallizzazione interna. Essendo applicate esternamente alla superficie vetrata, le pellicole sono continuamente esposte all'azione di agenti atmosferici e all'usura. Inoltre, se in facciata sono presenti zone parzialmente ombreggiate a causa di aggetti od ostruzioni esterne, si potrebbero generare tensioni interne alla lastra vetrata, tali da provocare uno *shock* termico: se, infatti, solo una porzione del vetro è in ombra, con l'applicazione di una pellicola selettiva che assorbe molto di più rispetto ad un vetro trasparente, la parte esposta al sole si dilaterrebbe maggiormente rispetto a quella in ombra che rimarrebbe fredda, con il rischio che le differenti dilatazioni compromettano la lastra e la portino a rottura.

Normalmente, poi, l'impiego di queste pellicole è più efficace se si deve intervenire su superfici contenute, meno indicato invece se si devono coprire vetrate così ampie. Affinchè lo scenario di progetto non perda di efficacia, è dunque necessaria una corretta e costante manutenzione e, dal momento che tali pellicole hanno vita breve, l'intervento dev'essere replicato ad intervalli regolari, ogni 10 o 15 anni circa.

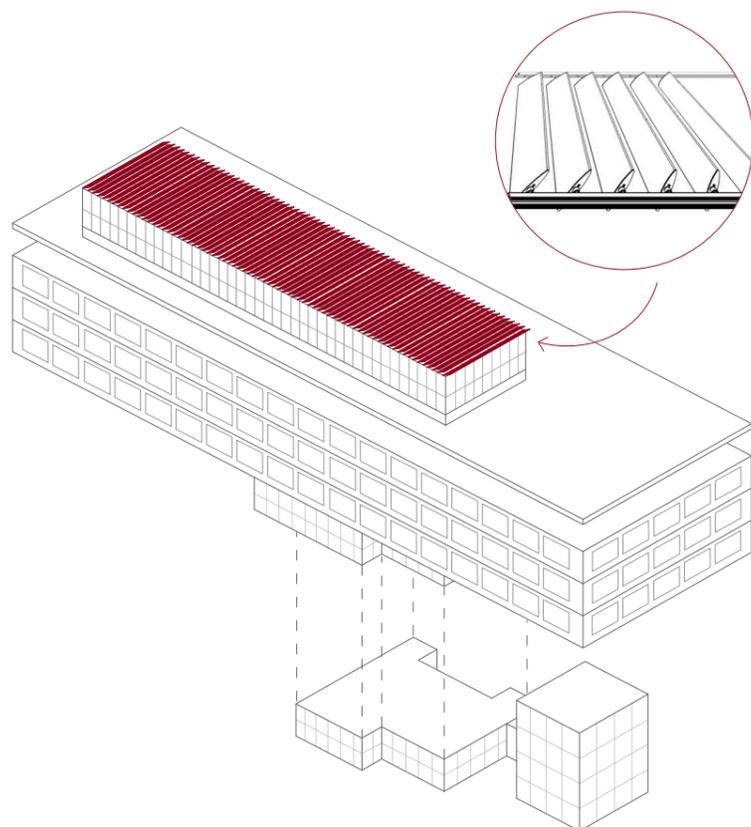
Tali considerazioni non sono da intendersi come critiche *tout-court* al prodotto, ma servono a delineare un quadro delle limitazioni e dei possibili rischi tali per cui l'intervento, riferito a questo specifico caso del Lingotto, potrebbe non essere così ottimistico come riportano i risultati di calcolo.

4.2.2 Sostituzione del frangisole in copertura

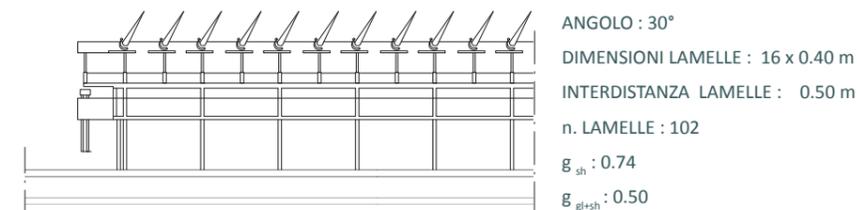
Non potendo prevedere la stessa operazione di sostituzione dei serramenti in copertura, che potrebbe risultare troppo onerosa e di difficile attuazione, si è dunque pensato di intervenire, riprogettandolo, sul sistema di schermature attualmente presente.

Durante la riqualificazione degli anni Duemila, lo Studio Renzo Piano aveva progettato un sistema di frangisole automatizzato ad inseguimento solare. Le lamelle si sarebbero quindi orientate meccanicamente, inseguendo il percorso del sole. A causa di una probabile criticità strutturale, oggi il sistema non è funzionante ed è pertanto fisso con le pale del frangisole orientate a 30°. Ritenendo assai oneroso e di dubbia efficacia riprogettare un sistema mobile, si è quindi pensato di intervenire sul sistema delle schermature, fissando un nuovo orientamento e cercando di individuare un valore di angolazione che al tempo stesso potesse consentire un fattore di ombreggiamento ottimale senza ridurre troppo la luce in ingresso. Di questo ultimo aspetto si è tenuto particolar conto, proprio per non compromettere il delicato rapporto tra i risparmi ottenibili sui consumi di climatizzazione ed un aumento inevitabile dei costi derivanti dai maggiori consumi elettrici a seguito del conseguente funzionamento dell'impianto di illuminazione artificiale.

Nella prospettiva di orientare la progettazione verso un uso sempre più razionale delle risorse rinnovabili, si è quindi pensato di integrare al nuovo sistema frangisole dei moduli fotovoltaici per trasformare la funzione schermante delle lamelle in produzione di energia elettrica.



ANALISI DELLO STATO DI FATTO



Attraverso il foglio di calcolo Excell è stato possibile, *in primis*, simulare lo stato di fatto della copertura schermata, individuando il Fattore Solare FS dell'attuale frangisole. In secondo luogo, è stata studiata una nuova configurazione che avrebbe consentito di massimizzare i risultati ed ottenere un nuovo valore di g da imputare sul software di calcolo *Termolog Epix 10* e simulare, così, il nuovo fabbisogno della struttura individuando i possibili risparmi energetici. Sul foglio di calcolo è stato possibile simulare soltanto il fattore solare relativo alla schermatura, o g_{sh} , mentre su Termolog veniva richiesto il fattore solare complessivo, che teneva conto sia del contributo della schermatura che di quello del vetro, $g_{gl,sh}$. Per prima cosa è stato individuato sul foglio di calcolo il valore di g_{sh} ottimale, impostando la valutazione sulla modalità "monthly average performance", o comportamento medio mensile, all'orario convenzionale delle h: 12.00. In seguito, tale valore è stato moltiplicato per il fattore solare del vetro g_{gl} , pari a 0.67, per ottenere il fattore solare complessivo $g_{gl,sh}$. Avendo modellato l'intero edificio della sede del Politecnico in regime semi-stazionario, e non potendo pertanto calcolare mese per mese i valori relativi al fattore solare della schermatura, è stata sviluppata una media ponderata sui giorni, per poter ottenere un valore rappresentativo sulla stagione di estiva:

MESE	gg	g_{sh}			$g_{gl,sh}$		
		TOTALE g_{sh}	DIRETTA $g_{sh,b}$	DIFFUSA $g_{sh,d}$	TOTALE $g_{gl,sh}$	DIRETTA $g_{gl,sh,b}$	DIFFUSA $g_{gl,sh,d}$
Giugno	9	0.64	0.70	0.52	0.43	0.47	0.35
Luglio	31	0.67	0.74	0.52	0.45	0.50	0.35
Agosto	31	0.78	0.91	0.52	0.52	0.61	0.35
Settembre	21	0.83	1.00	0.52	0.56	0.67	0.35

MEDIA PONDERATA SUI GIORNI ESTIVI

$$g_{gl,sh, medio} = \frac{(g_{gl,sh, giugno} * gg_{giugno}) + (g_{gl,sh, luglio} * gg_{luglio}) + (g_{gl,sh, agosto} * gg_{agosto}) + (g_{gl,sh, settembre} * gg_{settembre})}{gg_{giugno} + gg_{luglio} + gg_{agosto} + gg_{settembre}}$$

$$g_{gl,sh, medio} = \frac{(0.43*9) + (0.45*31) + (0.52*31) + (0.56*21)}{9 + 31 + 31 + 21} = 0.50$$

$$g_{gl,sh,b \text{ medio}} = \frac{(g_{gl,sh,b \text{ giugno}} * gg_{giugno}) + (g_{gl,sh,b \text{ luglio}} * gg_{luglio}) + (g_{gl,sh,b \text{ agosto}} * gg_{agosto}) + (g_{gl,sh,b \text{ settembre}} * gg_{settembre})}{gg_{giugno} + gg_{luglio} + gg_{agosto} + gg_{settembre}}$$

$$g_{gl,sh,b \text{ medio}} = \frac{(0.47*9) + (0.50*31) + (0.61*31) + (0.67*21)}{9 + 31 + 31 + 21} = 0.57$$

$$g_{gl,sh,d \text{ medio}} = \frac{(g_{gl,sh,d \text{ giugno}} * gg_{giugno}) + (g_{gl,sh,d \text{ luglio}} * gg_{luglio}) + (g_{gl,sh,d \text{ agosto}} * gg_{agosto}) + (g_{gl,sh,d \text{ settembre}} * gg_{settembre})}{gg_{giugno} + gg_{luglio} + gg_{agosto} + gg_{settembre}}$$

$$g_{gl,sh,d \text{ medio}} = \frac{(0.35*9) + (0.35*31) + (0.35*31) + (0.35*21)}{9 + 31 + 31 + 21} = 0.35$$

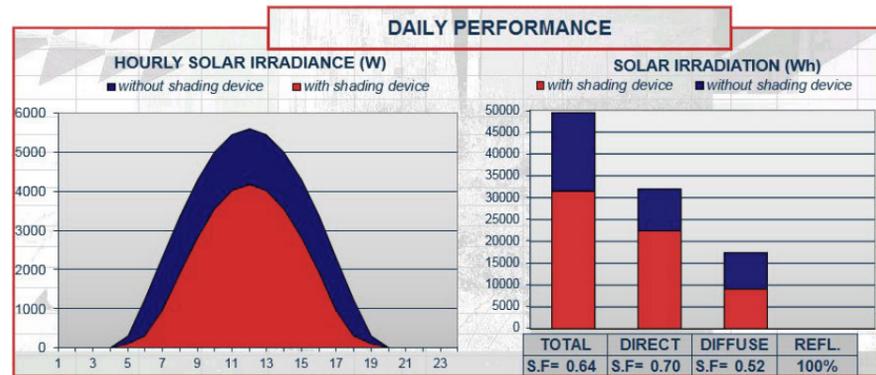
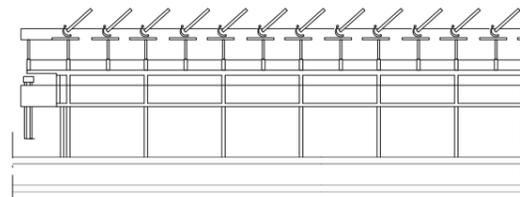


Fig. x Stato di Fatto: esempio del grafico del comportamento medio giornaliero del giorno medio del mese di giugno.

NUOVA PROPOSTA PROGETTUALE



ANGOLO : 50°
 DIMENSIONI LAMELLE : 16 x 0.35 m
 INTERDISTANZA LAMELLE : 0.50 m
 n. LAMELLE : 102
 $g_{sh} : 0.38$
 $g_{gl+sh} : 0.26$

La proposta progettuale prevede l'installazione di un nuovo sistema oscurante, *Frangisole Fotovoltaico METRA*, composto da 102 lamelle di dimensioni 1600x35 cm ed uno spessore di 4 cm, dotate di moduli fotovoltaici integrati.

La potenza dell'impianto raggiunge i 31.5 kWp, comportando una produzione annuale di energia elettrica di circa 33 705 kWh/anno.

MESE	gg	g_{sh}			$g_{gl,sh}$		
		TOTALE g_{sh}	DIRETTA $g_{sh,b}$	DIFFUSA $g_{sh,d}$	TOTALE $g_{gl,sh}$	DIRETTA $g_{gl,sh,b}$	DIFFUSA $g_{gl,sh,d}$
Giugno	9	0.26	0.24	0.28	0.17	0.16	0.19
Luglio	31	0.28	0.27	0.28	0.19	0.18	0.19
Agosto	31	0.38	0.43	0.28	0.25	0.29	0.19
Settembre	21	0.59	0.76	0.28	0.40	0.51	0.19

MEDIA PONDERATA SUI GIORNI ESTIVI

$$g_{gl,sh, \text{ medio}} = \frac{(g_{gl,sh, \text{ giugno}} * gg_{giugno}) + (g_{gl,sh, \text{ luglio}} * gg_{luglio}) + (g_{gl,sh, \text{ agosto}} * gg_{agosto}) + (g_{gl,sh, \text{ settembre}} * gg_{settembre})}{gg_{giugno} + gg_{luglio} + gg_{agosto} + gg_{settembre}}$$

$$g_{gl,sh, \text{ medio}} = \frac{(0.26*9) + (0.28*31) + (0.38*31) + (0.59*21)}{9 + 31 + 31 + 21} = 0.26$$

$$g_{gl,sh,b \text{ medio}} = \frac{(g_{gl,sh,b \text{ giugno}} * gg_{giugno}) + (g_{gl,sh,b \text{ luglio}} * gg_{luglio}) + (g_{gl,sh,b \text{ agosto}} * gg_{agosto}) + (g_{gl,sh,b \text{ settembre}} * gg_{settembre})}{gg_{giugno} + gg_{luglio} + gg_{agosto} + gg_{settembre}}$$

$$g_{gl,sh,b \text{ medio}} = \frac{(0.24*9) + (0.27*31) + (0.43*31) + (0.76*21)}{9 + 31 + 31 + 21} = 0.29$$

$$g_{gl,sh,d \text{ medio}} = \frac{(g_{gl,sh,d \text{ giugno}} * gg_{giugno}) + (g_{gl,sh,d \text{ luglio}} * gg_{luglio}) + (g_{gl,sh,d \text{ agosto}} * gg_{agosto}) + (g_{gl,sh,d \text{ settembre}} * gg_{settembre})}{gg_{giugno} + gg_{luglio} + gg_{agosto} + gg_{settembre}}$$

$$g_{gl,sh,d \text{ medio}} = \frac{(0.19*9) + (0.19*31) + (0.19*31) + (0.19*21)}{9 + 31 + 31 + 21} = 0.19$$

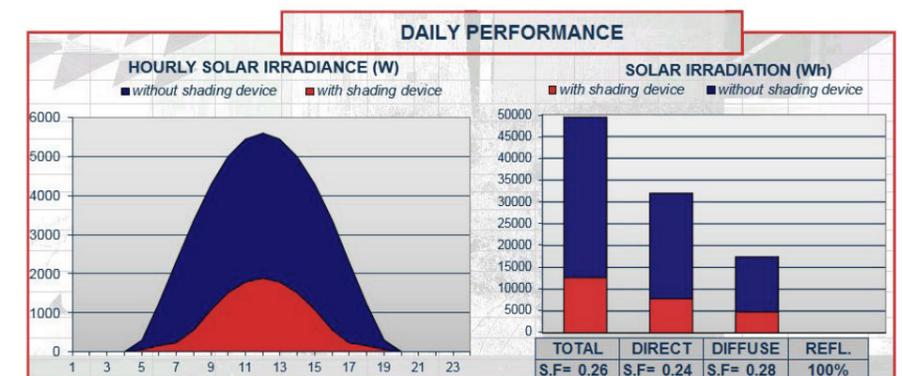


Fig. x Stato di Progetto: esempio del grafico del comportamento medio giornaliero del giorno medio del mese di giugno.

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

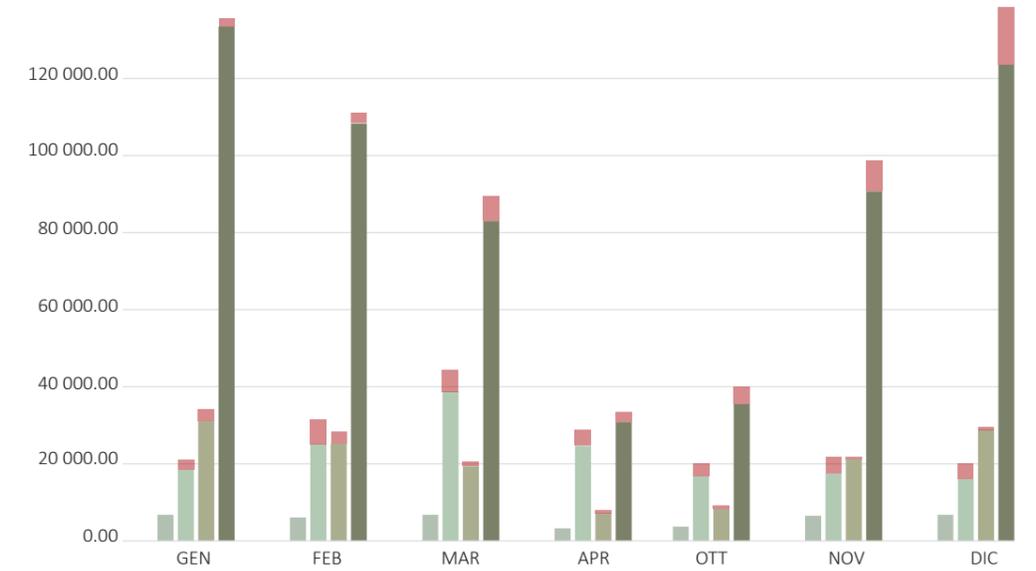
Fabbisogno di energia termica: "Atri"

Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	18 280.00	232.93	6 768.41	133 490.95	31 122.87	164 613.82
Febbraio	28	24 882.77	297.91	6 113.40	108 348.58	25 269.97	133 618.55
Marzo	31	38 344.68	431.23	6 768.41	82 998.17	19 369.02	102 367.19
Aprile	15	24 440.43	253.28	3 275.04	30 832.07	7 186.06	38 018.12
Ottobre	17	16 588.73	199.52	3 711.71	35 505.98	8 278.91	43 784.89
Novembre	30	17 264.88	217.53	6 550.07	90 696.04	21 147.31	111 843.35
Dicembre	31	15 847.79	210.47	6 768.41	123 552.19	28 805.21	152 357.40

TOTALE	183	155 649.28	1 842.87	39 955.43	605 423.97	141 179.34	746 603.32
--------	-----	------------	----------	-----------	------------	------------	------------

190 167.08	1 842.87	39 955.43	639 022.83	141 179.34	780 202.16
- 18.15%			- 5.26%		- 4.31%



Q_{int} Q_{sol} Q_{H,ve} Q_{H,tr} Stato di Fatto [kWh]

LEGENDA:

- N_G = numero giorni di riscaldamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- Q_{H,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

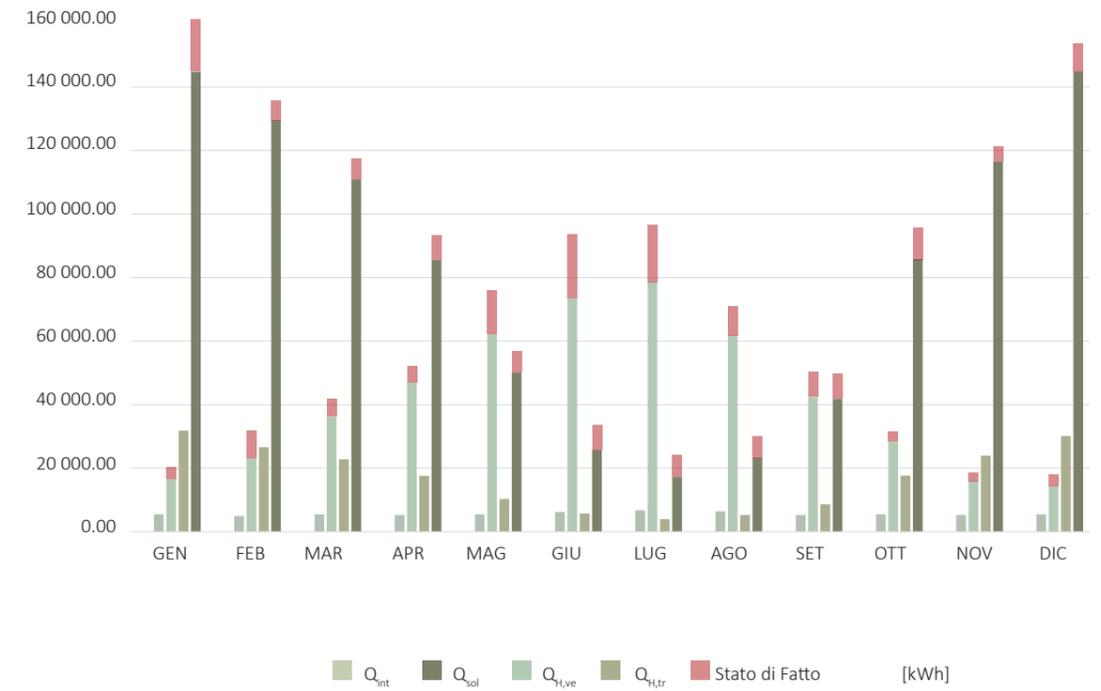
Fabbisogno di energia termica: "Atri"

Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	16 468.17	170.77	5 471.05	154 975.67	31 831.47	186 808.15
Febbraio	28	22 873.30	216.60	4 491.59	129 541.30	26 614.08	156 155.38
Marzo	31	35 968.13	310.52	5 471.05	110 805.36	22 774.72	133 580.07
Aprile	30	46 579.09	359.00	5 294.56	85 480.83	17 557.33	103 038.15
Maggio	31	61 867.01	443.92	5 471.05	50 104.29	10 293.66	60 397.95
Giugno	30	72 734.63	640.07	6 173.42	25 713.91	5 768.08	31 481.99
Luglio	31	77 831.15	759.77	6 768.41	17 133.12	3 973.13	21 106.25
Agosto	31	61 159.49	594.00	6 433.60	23 293.74	5 274.15	28 567.89
Settembre	30	42 017.73	349.84	5 294.56	41 831.44	8 591.88	50 423.32
Ottobre	30	28 044.36	263.81	5 471.05	85 802.70	17 627.89	103 430.59
Novembre	30	15 720.82	157.91	5 294.56	116 376.78	23 907.85	140 284.63
Dicembre	31	14 197.71	154.74	5 471.05	146 585.72	30 108.95	176 694.66

TOTALE	365	495 461.60	4 420.96	67 555.95	987 644.85	204 323.18	1 191 968.03
--------	-----	------------	----------	-----------	------------	------------	--------------

598 176.85	4 420.96	67 555.95	1 151 338.11	204 323.18	1 355 933.63
- 17.17%			- 14.22%		- 12.09%



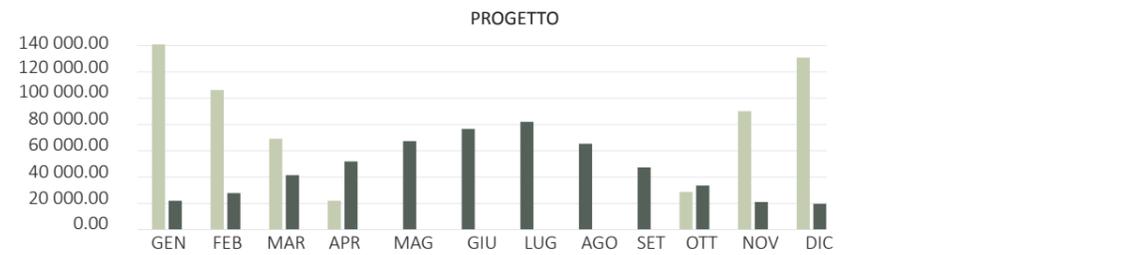
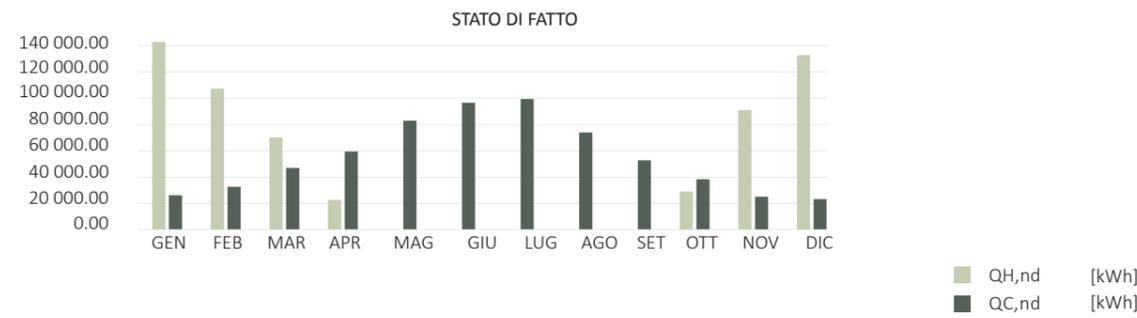
LEGENDA:

- N_G = numero giorni di raffrescamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Zona Termica "Atri"

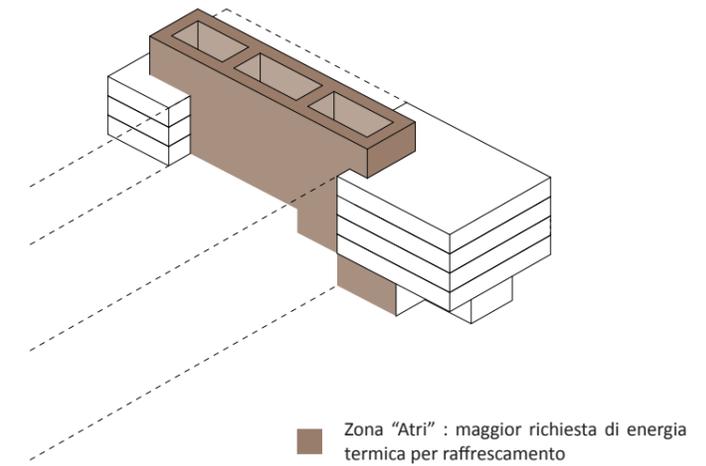
[kWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	140 983.05	106 226.03	69 096.81	21 961.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26 686.83	90 197.80	130 204.81
$Q_{C,nd}$	21 939.22	27 814.90	41 439.18	51 873.65	67 338.06	76 637.9	82 021.7	65 375.3	47 321.29	33 515.41	21 015.38	19 668.76



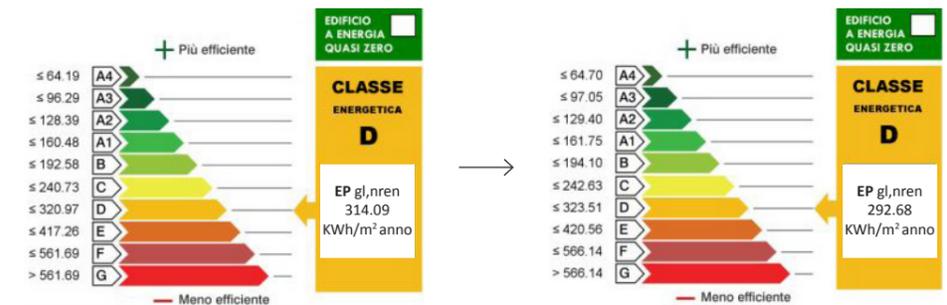
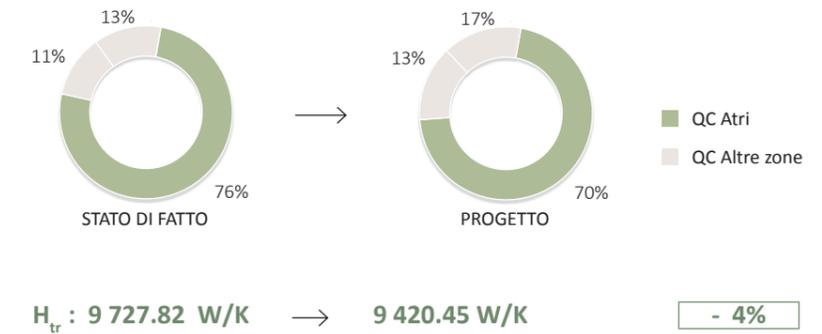
$Q_{H,nd}$: 595 876.70 kWh → 588 057.18 kWh **- 2%**
 $Q_{C,nd}$: 657 469.94 kWh → 555 951.60 kWh **- 15%**

Dall'analisi dei risultati emerge in maniera evidente come la progettazione del nuovo sistema oscurante consenta di ottenere notevoli benefici principalmente nella stagione estiva e garantisca un piccolo miglioramento anche per quanto riguarda la stagione invernale. L'orientamento delle lamelle è stato appositamente studiato per assolvere alla funzione schermante e, al tempo stesso, per garantire il corretto ingresso di luce naturale, evitando quindi il paradosso del ricorso all'impianto di illuminazione artificiale anche in pieno giorno in orario di notevole irraggiamento e luminosità. L'idea di inserire all'interno delle lamelle del frangisole un sistema integrato di elementi fotovoltaici permette inoltre di trasformare la luce solare in energia elettrica, contribuendo a ridurre così il fabbisogno di energia e conseguentemente i costi in bolletta, gravanti sull'intero edificio.

INTERO EDIFICIO: FABBISOGNO ENERGIA RAFFRESCAMENTO [kWh]



ZONA ATRI: RIDUZIONE DELLE DISPERSIONI PER TRASMISSIONE [W/K]

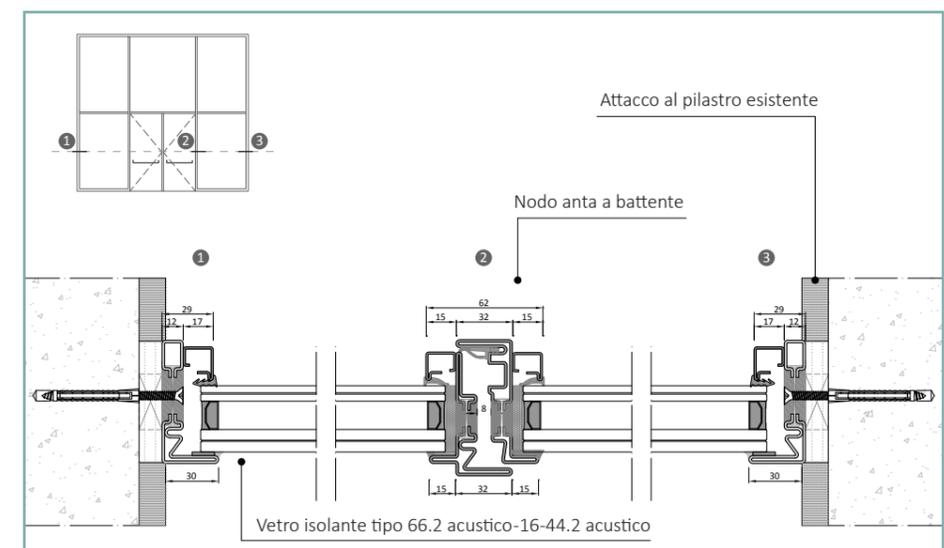
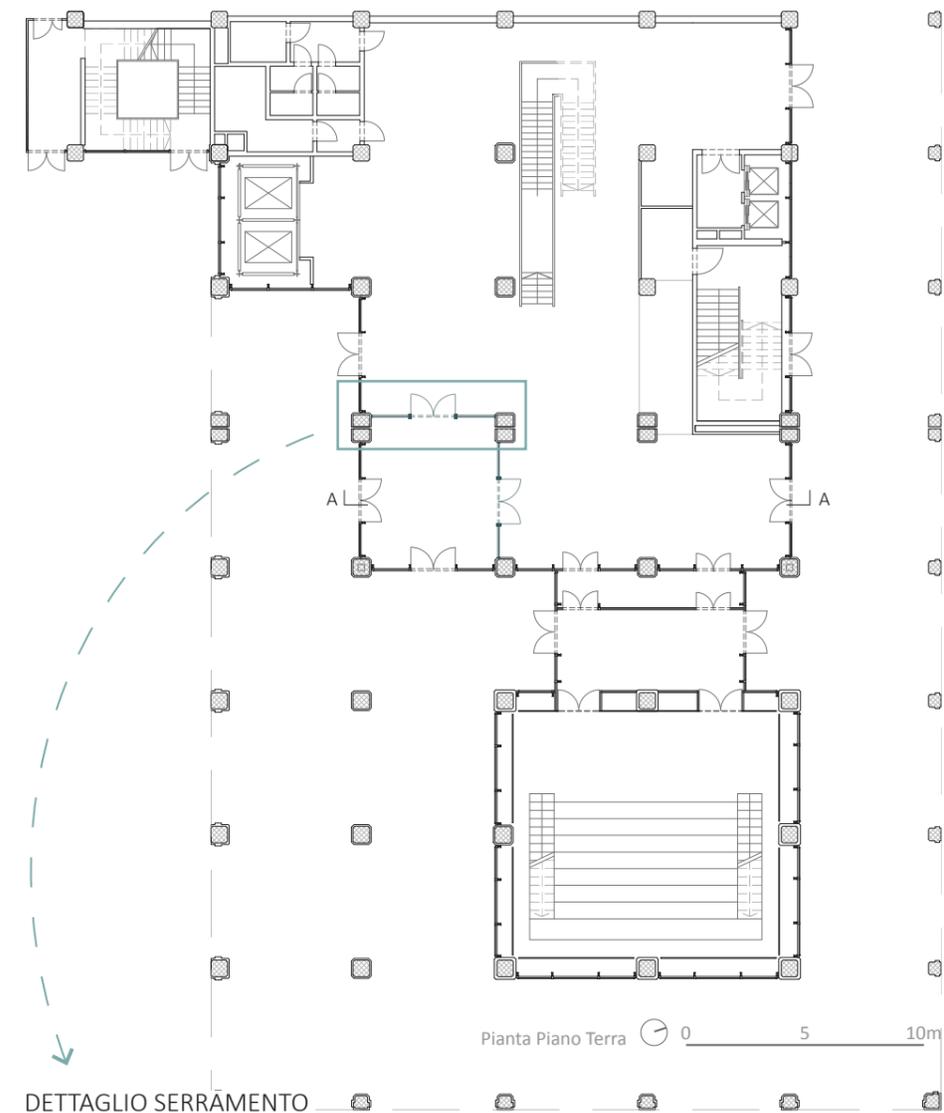
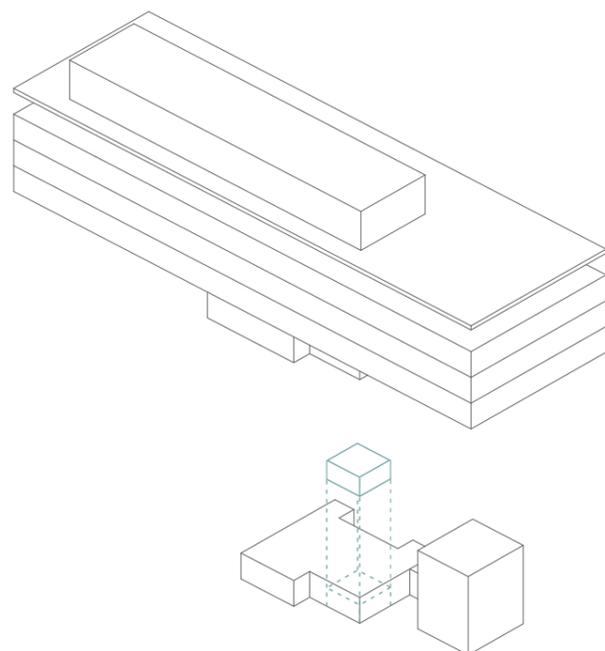


4.2.3 Progettazione di una bussola d'ingresso

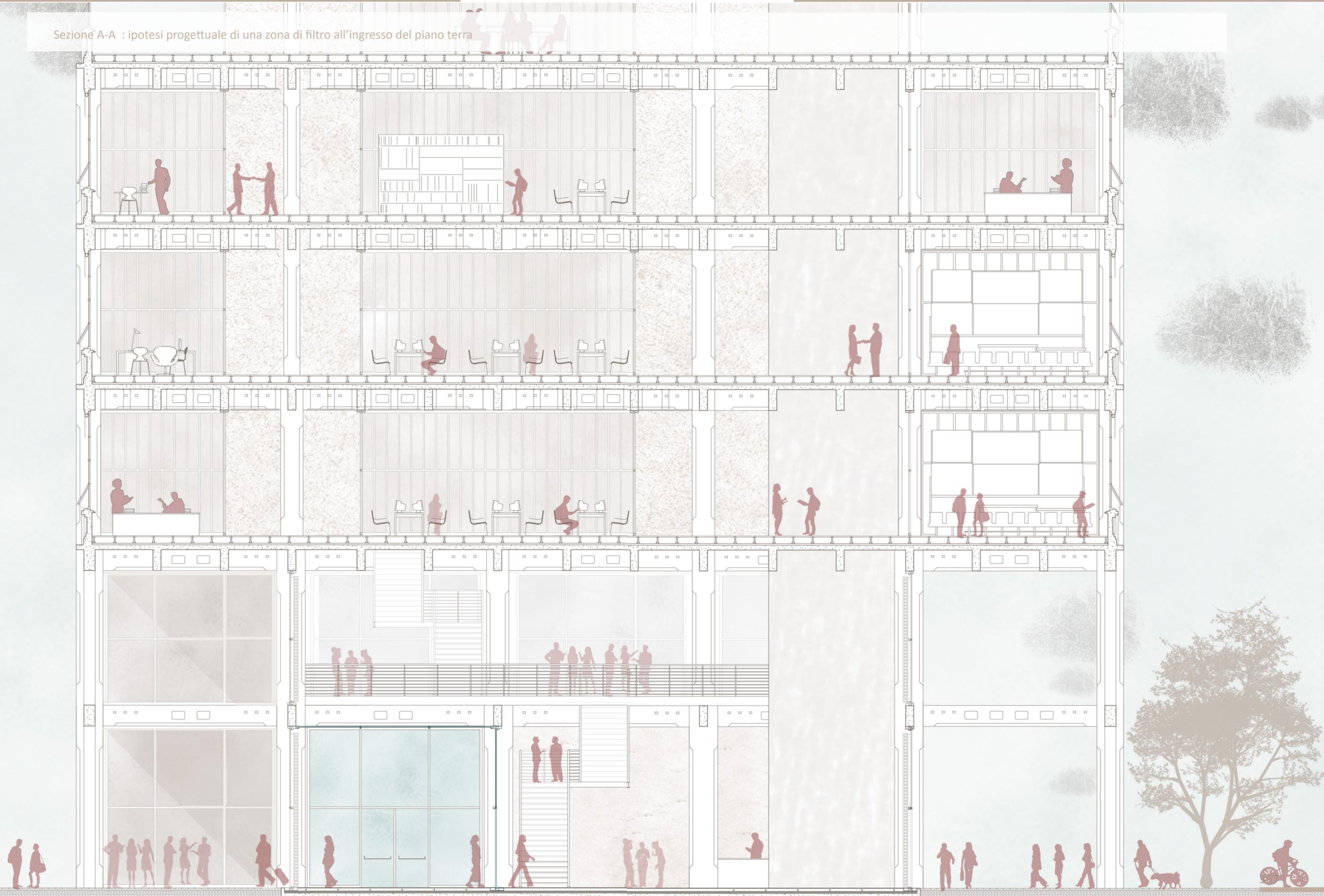
Dall'analisi dello stato di fatto, è emerso come l'ampio vuoto centrale della sede del Politecnico costituisca un elemento energeticamente problematico nella *performance* complessiva dell'edificio. Nello specifico, durante la stagione estiva, la copertura interamente vetrata favorisce notevoli accumuli termici che, non potendo essere dissipati a causa di un'esigua superficie disperdente, comportano il surriscaldamento degli ambienti ed un conseguente aumento del fabbisogno di energia termica per il raffrescamento. Nella stagione invernale, invece, si registra il fenomeno contrario, secondo il quale gli apporti solari incidenti sulla superficie vetrata contribuiscono a definire una temperatura interna più mite, soprattutto ai piani superiori, in prossimità della chiusura. Se dunque la superficie disperdente è ridotta, dal momento che l'atrio centrale confina con i locali riscaldati delle aule e degli uffici, ai piani superiori la domanda di energia termica per il riscaldamento è contenuta. Il principale responsabile delle dispersioni termiche risulta invece il piano terra, a causa della continua apertura e chiusura delle porte d'ingresso dovute al passaggio degli utenti all'interno ed all'esterno della struttura.

Una possibile soluzione a tale criticità potrebbe dunque prevedere l'installazione di una bussola d'ingresso, realizzata con infissi altamente performanti, profili a taglio termico e vetri isolanti. In tal modo si potrebbero contenere le dispersioni non solo durante la stagione invernale, ma anche nel periodo estivo che, unitamente alla riprogettazione di un sistema di schermature orientabili in copertura, garantirebbe una notevole riduzione del fabbisogno energetico per raffrescamento.

Come per lo studio dei serramenti al paragrafo 4.2.1, anche per la progettazione della struttura del filtro sono stati presi in considerazione i tre sistemi in acciaio e in alluminio proposti da *Secco*, *Mogs* e *Fresialluminio*. Sebbene i risultati non si discostino tra loro in maniera significativa, la soluzione che adotta i profili *Mogs* è stata individuata come quella energeticamente più vantaggiosa e pertanto ne sono stati di seguito riportati e valutati i benefici.

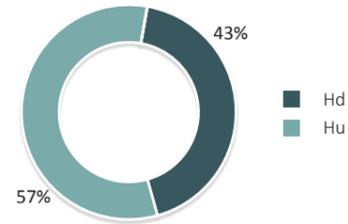


Sezione A-A : ipotesi progettuale di una zona di filtro all'ingresso del piano terra



ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

ATRIO PIANO TERRA	
Hd	359.45 W/K
Hu	478.31 W/K
Ha	0.00 W/K
Hg	0.00 W/K
TOT	837.46 W/K



CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

Zona termica "Atrio Piano Terra"

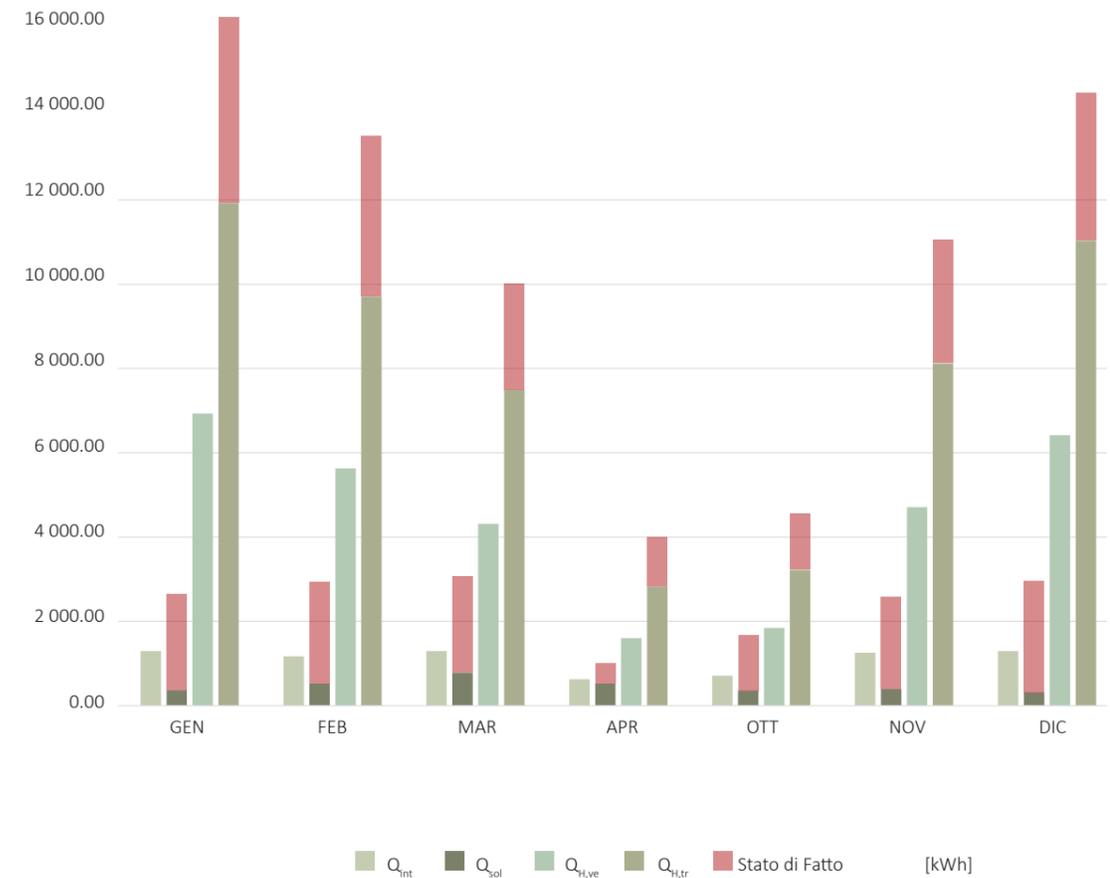
Stagione di Riscaldamento

Rispetto allo Stato di Fatto, la progettazione di una bussola d'ingresso ha consentito una notevole riduzione sia degli apporti solari incidenti sull'involucro, sia della quantità di energia termica dispersa per trasmissione ed ha comportato, di conseguenza, una minore richiesta di energia termica per il riscaldamento.

PARAMETRI	MESE	N _G [-]	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
			Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
	Gennaio	31	304.89	62.15	1 297.36	11 922.48	6 932.77	18 793.11
	Febbraio	28	442.94	81.31	1 171.81	9 706.12	5 629.01	15 253.82
	Marzo	31	664.13	120.71	1 297.36	7 495.77	4 314.54	11 689.60
	Aprile	15	451.60	73.78	627.75	2 829.40	1 600.73	4 356.35
	Ottobre	17	300.47	54.85	711.45	3 220.45	1 844.17	5 009.78
	Novembre	30	333.78	59.63	1 255.51	8 119.76	4 710.67	12 770.79
	Dicembre	31	255.30	55.73	1 297.36	11 033.52	6 416.50	17 394.30

TOTALE	183	2 753.11	508.16	7 658.59	53 819.50	31 448.24	85 267.74
--------	-----	----------	--------	----------	-----------	-----------	-----------

17 672.45	508.16	7 658.59	75 644.36	31 448.24	107 092.76
- 84.42%			- 28.85%		- 20.38%



LEGENDA:

N_G = numero giorni di riscaldamento

H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno

H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno

H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati

H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto

Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati

Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi

Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne

Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento

Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento

Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

Zona termica "Atrio Piano Terra"

Stagione di Raffrescamento

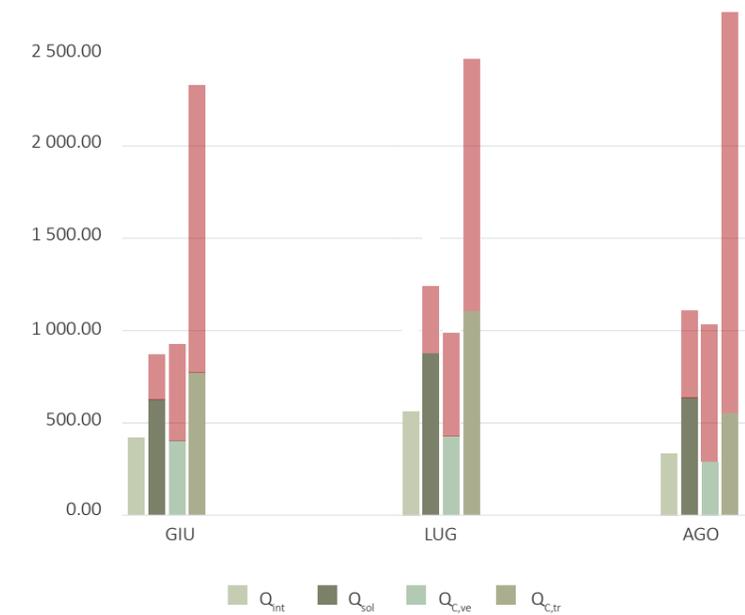
Anche per quanto riguarda la stagione estiva, la nuova soluzione progettuale consentirebbe di ottenere un netto risparmio sulla domanda di energia termica per il raffrescamento da parte dell'Atrio al piano terreno. La realizzazione di un filtro di accesso con nuovi infissi performanti ed un trattamento basso-emissivo sui vetri, infatti, permetterebbe di ridurre i guadagni solari e di conseguenza gli accumuli termici.

In tal modo, riducendo gli apporti gratuiti e le dispersioni attraverso i componenti edilizi, diminuisce anche il fabbisogno di energia termica dell'involucro per il raffrescamento. I giorni di raffrescamento annui per l'Atrio al Piano Terra passerebbero così a 49, contro gli 81 richiesti nella condizione dello Stato di Fatto.

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Giugno	10	553.17	72.38	418.50	771.51	401.48	1 100.60
Luglio	31	1 705.93	1 705.93	1 297.36	1 822.50	885.03	2 476.06
Agosto	8	314.36	48.86	334.80	550.91	289.79	791.84

TOTALE	49	2 573.47	352.72	2 050.66	3 047.82	1 576.31	4 624.13
--------	----	----------	--------	----------	----------	----------	----------

9 242.02	352.72	2 050.66	7 613.79	2 968.52	10 582.31
- 72.15%			- 59.97%	- 46.89%	- 56.30%



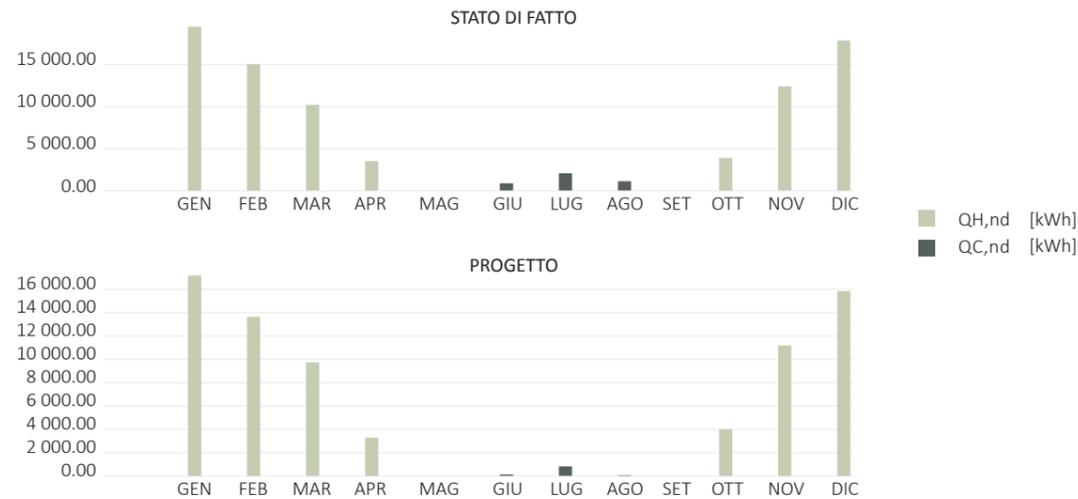
LEGENDA:

- N_G = numero giorni di raffrescamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Zona termica "Atrio Piano Terra"

[KWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	17 192.20	13 641.51	9 738.34	3 292.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4 006.43	11 185.23	15 843.12
$Q_{C,nd}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	141.67	832.80	78.99	0.00	0.00	0.00	0.00



Con la nuova zona di filtro posta all'ingresso dell'edificio, le dispersioni termiche verrebbero notevolmente ridotte. D'inverno, le superfici vetrate del filtro vengono colpite dai raggi del sole, favorendo così un aumento degli apporti solari e, di conseguenza, della temperatura interna alla zona. Gli scambi termici tra l'atrio del piano terra ed il filtro, allora, risulterebbero decisamente minori. Nella stagione estiva, invece, i vetri selettivi delle vetrate riflettono le radiazioni UV del sole, trasmettendo solo una parte del calore all'ambiente interno. Questo fa sì che la zona dell'atrio non si surriscaldi e riduca così la propria domanda di energia termica per il raffrescamento.

In conclusione:

$Q_{H,nd}$: 82 115.92 kWh → 74 899.28 kWh - 9%
 $Q_{C,nd}$: 4 133.62 kWh → 1 053.45 kWh - 75%

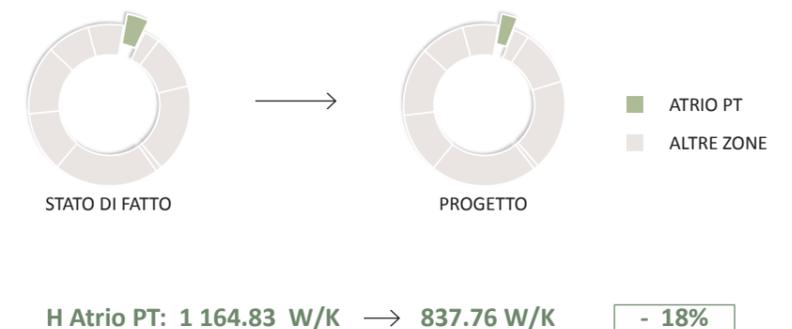
Le nuove vetrate del filtro consentono al Piano Terra di ridurre notevolmente le dispersioni per trasmissione attraverso il componente trasparente. Nello specifico, i nuovi serramenti comportano una diminuzione degli scambi termici di circa il 18%, passando da un coefficiente $H_{tr}=1 164.83$ W/K ad $H_{tr}=837.76$ W/K.

ATRIO PIANO TERRA: DISPERSIONI PER TIPO DI STRUTTURA [W/K]

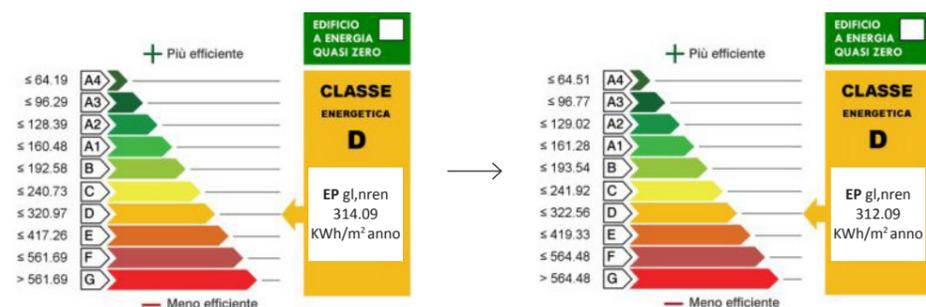


In una valutazione complessiva, con l'installazione di nuovi infissi e la progettazione di un sistema capace di contenere maggiormente le dispersioni, anche la quota del piano terra incide meno sul bilancio complessivo delle dispersioni da parte dell'intero edificio:

DISPERSIONI PER TRASMISSIONE [W/K]



In conclusione:



Sebbene la proposta di intervento non comporti un miglioramento sensibile dell'edificio nel suo complesso, reca notevoli benefici all'Atrio del Piano Terra.

Il calcolo degli apporti e degli scambi termici, così come l'analisi del fabbisogno energetico mensile, sono stati sviluppati solo per questa zona proprio per indagarne puntualmente tutti gli effettivi miglioramenti. È poi evidente che, a fronte di una struttura così ampia ed articolata, l'intervento che localmente assicura consistenti benefici, viene poi mitigato dal resto delle problematiche presenti nell'edificio.

Anche se in misura ridotta, si può tuttavia affermare che la progettazione della bussola d'ingresso comporti un miglioramento sul bilancio annuale dei consumi di tutta la sede del Politecnico:

$Q_{H,nd}$:	2 200 601.4 kWh	→	2 186 549.6 kWh	- 2%
$Q_{C,nd}$:	850 916.7 kWh	→	847 836.5 kWh	- 1.5%

4.2.4 Isolamento degli orizzontamenti

Il componente vetrato, come si è detto, è senza dubbio il responsabile della maggior parte delle dispersioni termiche che hanno luogo nella sede del Politecnico. Tuttavia, una quota di dispersioni per trasmissione è anche dovuta alle strutture opache, e più precisamente per il 14% alle pareti esterne e per il 19% agli orizzontamenti. Tuttavia, intervenire oggi sulle strutture opache costituisce un'impresa delicata e complessa al tempo stesso. Essendo l'edificio un Bene tutelato, ogni intervento svolto all'esterno altererebbe le facciate e comprometterebbe la matericità delle superfici, attestandosi dunque come una soluzione incompatibile ed irrealizzabile.

Anche l'ipotesi di un intervento di isolamento interno viene esclusa, essendo già stata realizzata in anni precedenti una controparete per risolvere e migliorare le condizioni di *comfort* interno degli ambienti.

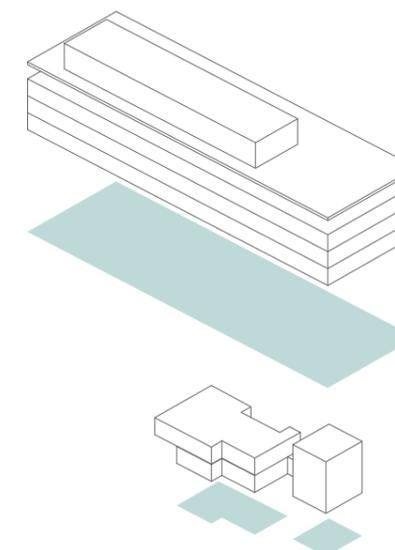
Consultando la documentazione tecnica, si è potuto inoltre verificare che durante la riqualificazione degli anni Duemila siano state isolate anche le chiusure superiori ed inferiori del Politecnico.

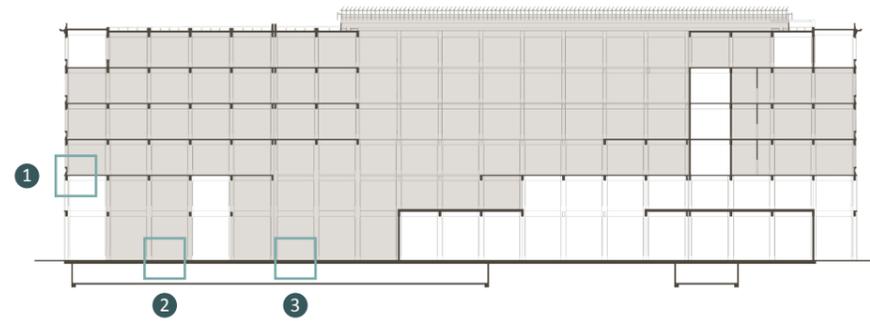
Dall'analisi energetica, emerge chiaramente come le problematiche maggiori siano localizzate al piano terra dell'Aula Magna e nel solaio del secondo piano, che prevede un'ampia superficie non isolata a sbalzo su ambiente esterno.

Per cercare di risolvere la prima criticità, si è pensato di realizzare nell'intradosso del solaio al Piano terreno uno strato di 8 cm di isolante minerale, altamente performante ed ecologico. Tale scelta è stata dettata dal fatto che il locale interrato raggiunge l'altezza massima di 2.50 m, consentendo così la fattibilità dell'intervento senza disattendere i limiti dimensionali consentiti da normativa. In tal modo è stato possibile lasciare inalterato l'estradosso del solaio, soluzione che avrebbe presupposto un intervento molto più complesso ed oneroso dovendo prevedere, per la coibentazione, anche la rimozione ed il successivo riposizionamento della pavimentazione esistente.

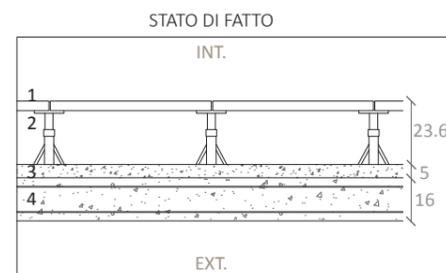
Per contenere, invece, gli scambi termici del secondo piano con l'esterno, si è pensato di intervenire sull'estradosso tramite la posa di 6 cm di isolante, dal momento che la stratigrafia del solaio prevede un sistema di pavimentazione flottante posizionato, rispetto alla soletta, ad un'altezza adeguata per ospitare sia l'ingombro delle attuali tubazioni sia lo spessore del nuovo isolante.

L'ipotesi d'intervento prevede la rimozione della pavimentazione esistente, l'alloggiamento di un sistema di pannelli isolanti ed il riposizionamento dei moduli galleggianti sopra una nuova struttura metallica che vanta un'altezza inferiore dei piedini di supporto. Sebbene tale intervento, non risolve del tutto le problematiche esistenti, dal momento che l'operazione migliore avrebbe consistito nella realizzazione di un cappotto esterno per poter meglio risolvere anche i ponti termici, tale soluzione apporta ugualmente consistenti miglioramenti alla trasmittanza termica complessiva del solaio.

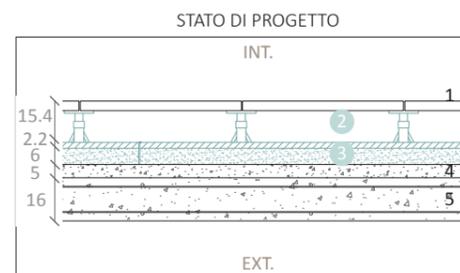




1 STRATIGRAFIE SOLAIO PIANO SECONDO:



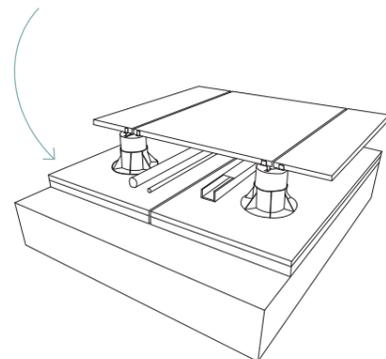
- 1 - Pannelli modulari 60x60cm e rivestimento in pvc, sp. 3.6 cm, *Oddicini ElevFloor* modello P40KN PVC
- 2 - Struttura metallica di sostegno, h. 20 cm
- 3 - Massetto di sottofondo, 5 cm
- 4 - Soletta in cls armato, 16 cm



- 1 - Pannelli modulari 60x60cm e rivestimento in pvc, sp. 3.6 cm, *Oddicini ElevFloor* modello P40KN PVC
- 2 - Nuovi piedini di supporto, h. 11.8 cm
- 3 - Lastra in cementolegno sp. 2.2 cm accoppiata a isolante XPS sp. 6 cm, sistema *BetonStyr XPS*
- 4 - Massetto di sottofondo, 5 cm
- 5 - Soletta in cls armato, 16 cm

Pannelli in polistirene estruso e cementolegno *BetonStyr XPS* isolanti 2.2+6 cm, dimensioni 120x50 cm

POSA: sopra il sottofondo esistente



Lastra in cementolegno

Densità 1350 kg/m³
 Conduttività termica 0,26 W/mK
 Classe di reazione al fuoco A2fl

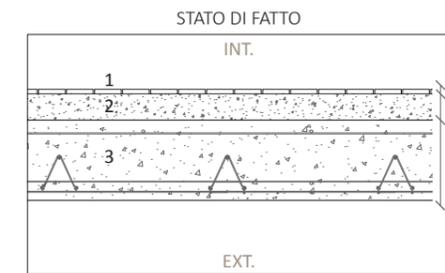
Pannello polistirene estruso

Densità 15-35 kg/m³
 Conduttività termica 0,026-0,036 W/mK

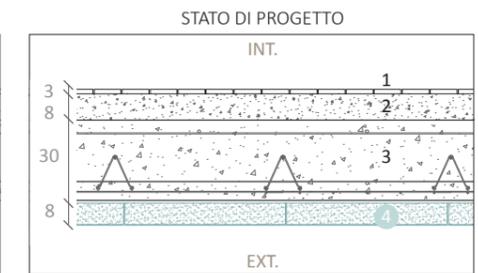
VANTAGGI:

- Ottima resistenza a compressione
- Ottimo isolamento termico ed acustico
- Compatibilità con il passaggio dei tubi impiantistici

STRATIGRAFIE SOLAIO PIANO TERRA (AULA MAGNA): 2



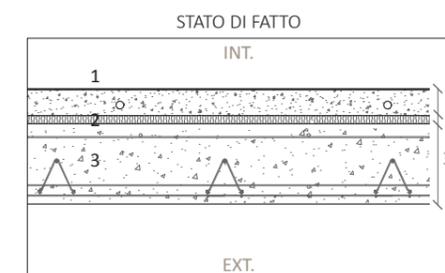
- 1 - Pavimentazione in listelli di ciliegio, sp. 1.5 cm
- 2 - Massetto di sottofondo, 8 cm
- 3 - Solaio in cls armato, 30 cm



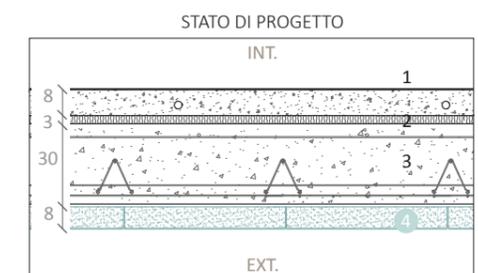
- 1 - Pavimentazione in listelli di ciliegio, sp. 1.5 cm
- 2 - Massetto di sottofondo, 8 cm
- 3 - Solaio in cls armato, 30 cm

4 - Strato di malta leggera con rete d'armatura in fibra di vetro per:
 Pannello isolante minerale *MULTIPOR TOP*, sp. 8cm

STRATIGRAFIE SOLAIO PIANO TERRA (POLITECNICO): 3



- 1 - Massetto autolivellante con pannelli radianti, sp. 8 cm
- 2 - Strato di isolante 3 cm
- 3 - Solaio in cls armato, 30 cm



- 1 - Massetto autolivellante con pannelli radianti, sp. 8 cm
- 2 - Strato di isolante 3 cm
- 3 - Solaio in cls armato, 30 cm

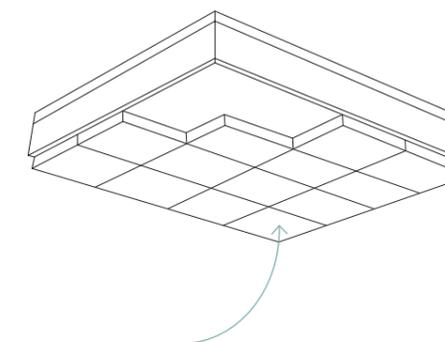
4 - Strato di malta leggera con rete d'armatura in fibra di vetro per:
 Pannello isolante minerale *MULTIPOR TOP*, sp. 8cm

PANNELLO MULTIPOR TOP

Densità 110-115 kg/m³
 Conduttività termica 0,043 W/mK
 Classe di reazione al fuoco A1fl

VANTAGGI:

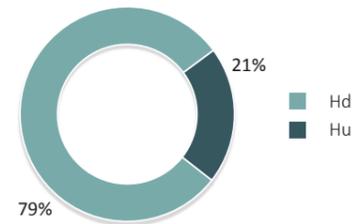
- Compatto e resistente a compressione
- Ottimo isolamento termico ed acustico
- Traspirante
- Ecologico e quindi riciclabile



Pannelli in isolante minerale, sp. 8 cm, dimensioni 60 x 39 cm

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

INTERO EDIFICIO	
Hd	18 500.56 W/K
Hu	4 825.67 W/K
Ha	0.00 W/K
Hg	0.00 W/K
TOT	23 326.23 W/K



CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

“Intero edificio”

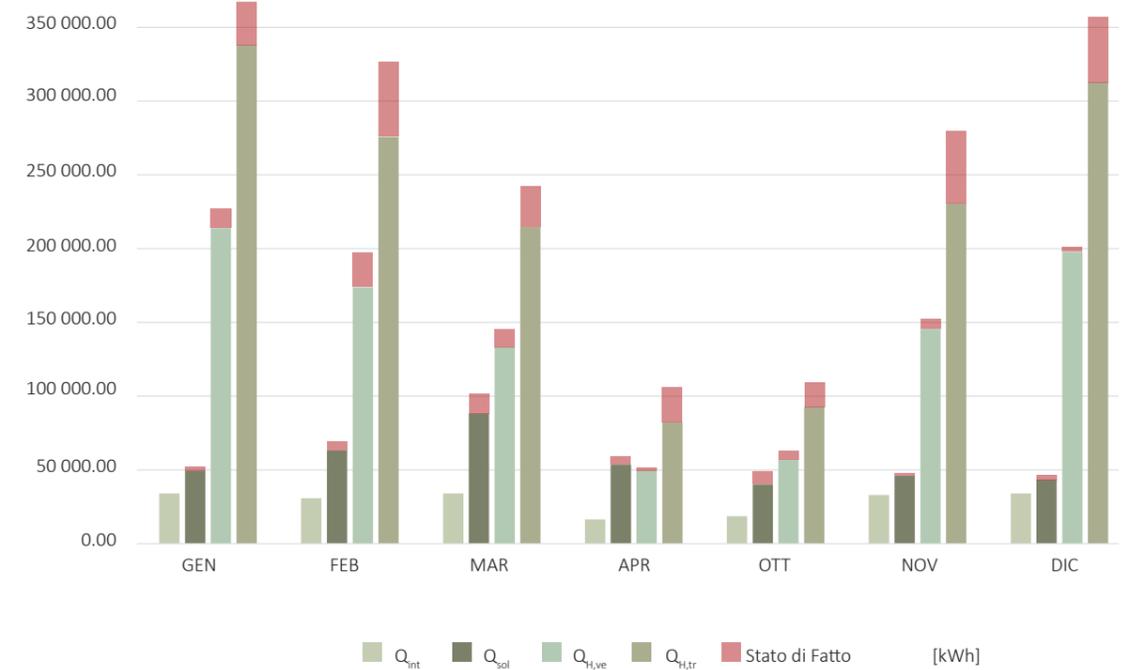
Stagione di Riscaldamento

L'intervento di isolamento dei solai al piano terra e al secondo piano ha consentito notevoli benefici non solo nelle suddette zone termiche ma in tutto l'edificio, comportando minori scambi termici e quindi minore energia dispersa.

PARAMETRI	MESE	N _G [-]	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
			Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
	Gennaio	31	47 612.05	1 804.67	34 081.23	337 914.65	213 925.97	551 840.62
	Febbraio	28	60 605.13	2 574.67	30 783.04	275 832.97	173 695.55	449 528.52
	Marzo	31	84 178.71	4 072.45	34 081.23	214 620.18	133 134.78	347 754.96
	Aprile	15	51 103.81	2 497.16	16 490.92	82381.60	49 394.04	131 775.64
	Ottobre	17	38 373.29	1 779.65	18 689.70	92 676.66	56 905.86	149 582.52
	Novembre	30	44 229.03	1 770.84	32 981.83	230 669.23	145 358.07	376 027.30
	Dicembre	31	41 810.41	1 573.24	34 081.23	312 687.30	197 995.31	510 682.61

TOTALE	183	367 912.43	15 890.88	201 189.18	1 546 782.59	970 409.57	2 517 192.16
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

367 912.43	16 072.68	201 189.18	1 756 441.01	970 409.57	2 726 850.58
	- 1.14%		- 11.93%		- 7.69%



LEGENDA:

N_G = numero giorni di riscaldamento

H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno

H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno

H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati

H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto

Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati

Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi

Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne

Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento

Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento

Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

“Intero edificio”

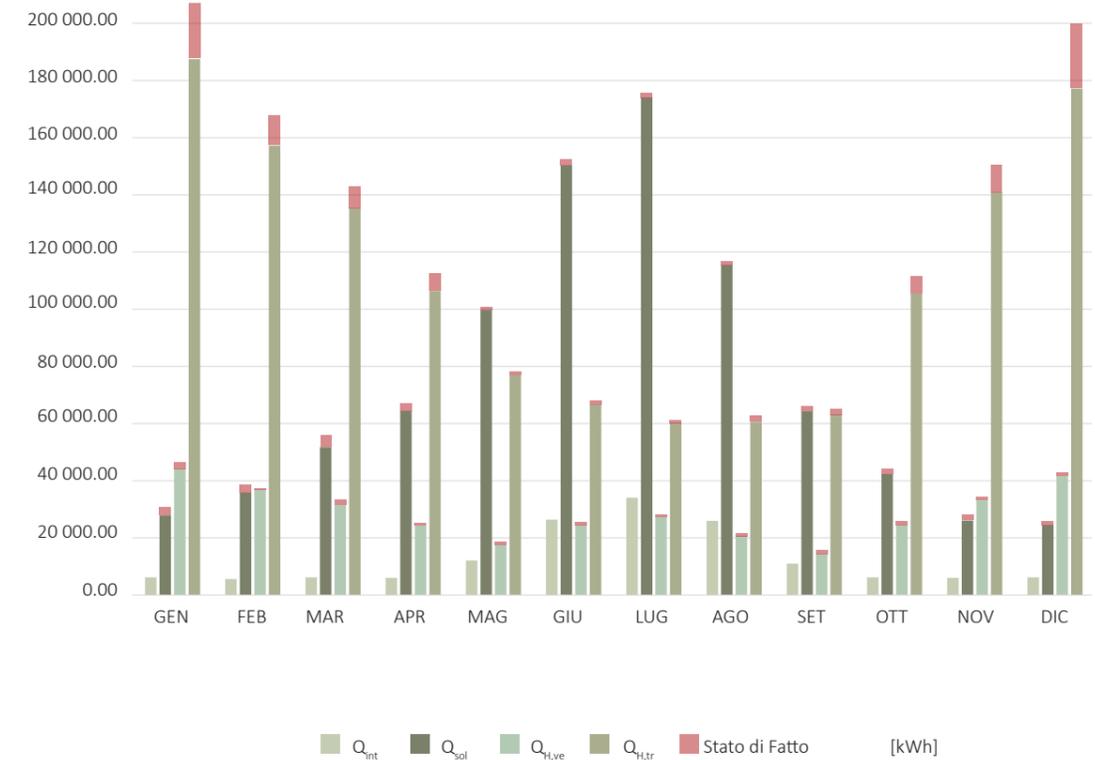
Stagione di Raffrescamento

Proprio come accade durante la stagione di riscaldamento, anche nel periodo estivo le dispersioni di energia termica si riducono. Tuttavia, si nota come i valori degli apporti solari sulle componenti opache subiscano, rispetto allo stato di fatto, un aumento anzichè una riduzione. Questo accade perchè l’isolante continua a svolgere la propria funzione anche durante la stagione estiva, trattenendo quel calore che risulta maggiore se si tengono in considerazione anche tutti gli accumuli termici derivanti dai raggi solari incidenti.

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	27 625.10	228.27	6 205.56	187 468.28	44 083.10	231 551.38
Febbraio	28	35 534.13	283.58	5 605.02	157 191.36	36 857.59	194 048.95
Marzo	31	51 289.43	396.67	6 205.56	135 360.40	31 540.49	166 900.89
Aprile	30	63 917.60	449.07	6 005.38	106 319.64	24 314.97	130 634.62
Maggio	31	98 013.59	1 605.57	12 107.19	76 997.64	17 517.36	94 515.00
Giugno	30	144 111.88	6 178.45	26 392.10	66 619.74	24 435.21	91 054.95
Luglio	31	166 376.83	7 612.62	34 081.23	60 244.29	27 309.70	87 553.90
Agosto	31	109 938.82	5 476.55	26 013.88	60 558.70	20 687.40	81 246.09
Settembre	30	62 926.26	1 340.77	11 015.98	63 172.31	14 283.30	77 455.61
Ottobre	30	41 999.48	342.90	6 205.56	105 447.08	24 412.69	129 859.77
Novembre	30	25 885.87	209.73	6 005.38	140 890.22	33 109.75	173 999.97
Dicembre	31	24 227.46	208.40	6 205.56	177 209.36	41 697.59	218 906.95

TOTALE	365	821 954.21	24 332.57	156 640.17	1 337 479.01	349 037.12	1 677 728.16
--------	-----	------------	-----------	------------	--------------	------------	--------------

821 954.21	24 559.45	156 640.17	1 393 867.26	349 037.12	1 712 904.37
	- 0.92%		- 4.04%		- 2.05%



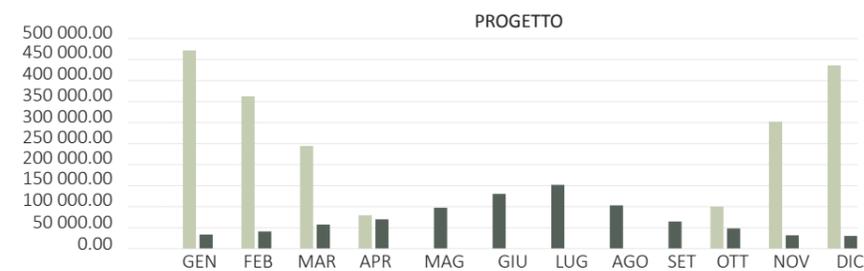
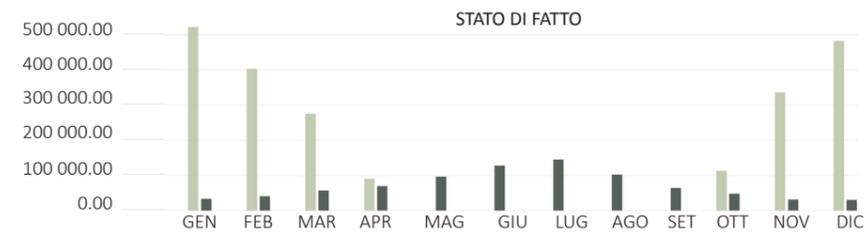
LEGENDA:

- N_G = numero giorni di raffrescamento
- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrate
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opache
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- Q_{c,nd} = fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento degli ambienti

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Intero edificio

[KWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	471 714.47	362 516.03	244 532.91	79 619.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100 288.34	320 008.90	436 156.29
$Q_{C,nd}$	33 830.65	41 139.14	57 494.99	69 922.98	97 473.78	130 524.5	151 919.1	103 188.7	64 885.94	48 205.03	31 891.25	30 433.02



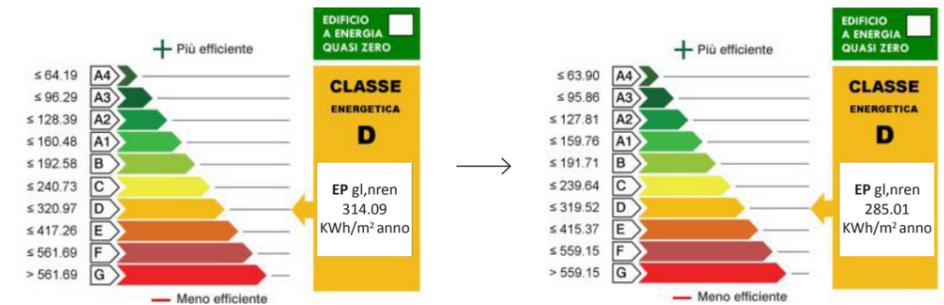
■ $Q_{H,nd}$ [kWh]
■ $Q_{C,nd}$ [kWh]

$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 1 996 836.1 kWh **- 10%**
 $Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 860 909.1 kWh **+ 1%**

INTERO EDIFICIO: DISPERSIONI PER TIPO DI STRUTTURA [W/K]



H Pavimenti: 3 609.70 W/K → 735.90 W/K **- 80%**



Come si è visto, l'isolamento degli orizzontamenti influisce positivamente sulla riduzione degli scambi termici nel periodo di riscaldamento. L'isolamento, infatti, protegge l'involucro dalle possibili perdite di calore nella stagione invernale, migliorandone le condizioni di benessere interno ed abbassando i consumi energetici. Durante la stagione estiva, però, talvolta questo tipo di intervento può rivelarsi peggiorativo perchè riduce le dispersioni di calore che raffredderebbero naturalmente i locali: la conseguenza è l'accensione dell'impianto di climatizzazione ed un aumento dei consumi energetici.

Per risolvere tale criticità, è buona regola bilanciare correttamente i fabbisogni $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$, magari abbinando all'isolamento dell'involucro anche un intervento sui serramenti ed una riprogettazione del sistema delle schermature per ridurre e meglio controllare gli apporti solari entranti. In tal modo si otterrebbero benefici soddisfacenti sia per la stagione di riscaldamento che per quella di raffrescamento.

4.2.5 I pacchetti progettuali

PREMESSA

Come è emerso dalle analisi condotte al capitolo 3, il componente vetrato assume un ruolo centrale nel comportamento energetico complessivo della sede del Politecnico. Per cercare di risolvere tali criticità, ottimizzando così la *performance* globale dell'edificio, si è dunque cercato di orientare la maggior parte delle ipotesi progettuali al miglioramento del sistema dei serramenti. Per tali motivi, sono state elaborate 7 soluzioni alternative solo relativamente alla riqualificazione degli infissi, mentre per risolvere le altre problematiche dell'edificio è stato individuato un'unico scenario progettuale.

L'intervento sui serramenti, l'isolamento degli orizzontamenti e la progettazione di una bussola d'ingresso sono dunque stati valutati come interventi indispensabili per l'efficientamento del fabbricato, ma per capire quale fosse lo scenario più vantaggioso sono stati combinati insieme, sostituendo di volta in volta le diverse alternative sui serramenti, valutando così quale pacchetto di interventi comportasse un maggior risparmio sui consumi energetici.

I pacchetti progettuali sono pertanto i seguenti:

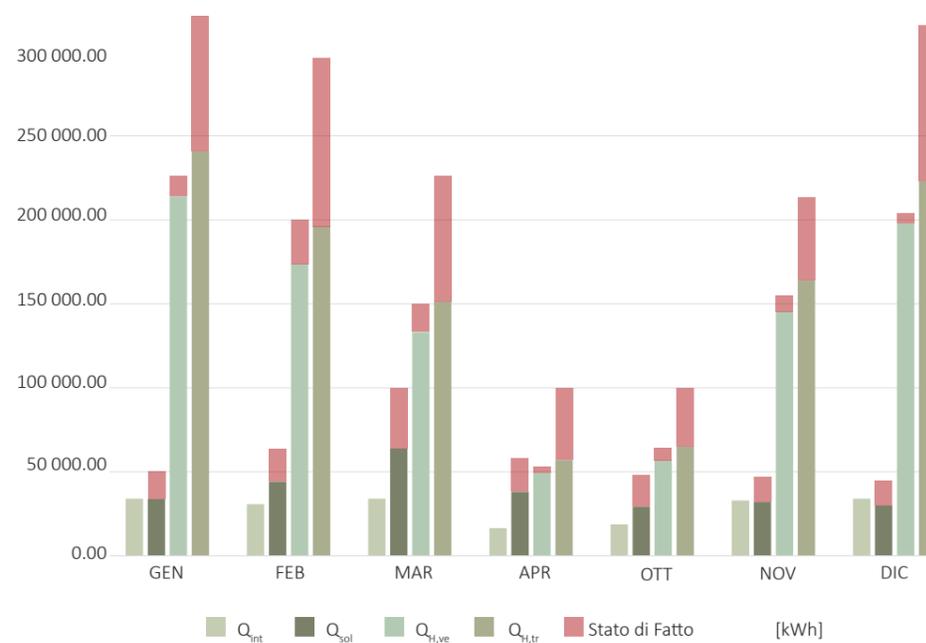
PACCHETTO	COMPOSIZIONE
A (con serramenti <i>Secco Sistemi</i>)	APRIBILE serramenti apribili+schermature +isolamento+bussola
	FISSO serramenti fissi+ schermature +isolamento+bussola
B (con serramenti <i>Mogs</i>)	APRIBILE serramenti apribili+ schermature +isolamento+bussola
	FISSO serramenti fissi+ schermature +isolamento+bussola
C (con serramenti <i>Fresialluminio</i>)	APRIBILE serramenti apribili+ schermature +isolamento+bussola
	FISSO serramenti fissi+ schermature +isolamento+bussola
D (con pellicole a controllo solare)	pellicole solari+ schermature +isolamento+bussola

PACCHETTO A

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

“Intero edificio” , Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
Gennaio	31	31 999.83	1 804.67	34 081.23	240 919.80	213 925.97	454 845.76
Febbraio	28	41 617.88	2 574.67	30 783.04	196 079.76	173 695.55	369 775.31
Marzo	31	59 821.37	4 072.45	34 081.23	151 310.57	133 134.78	284 445.34
Aprile	15	35 596.33	2 497.16	16 490.92	57 015.01	49 394.04	106 409.04
Ottobre	17	27 455.22	1 779.65	18 689.70	64 974.56	56 905.86	121 880.42
Novembre	30	30 248.69	1 770.84	32 981.83	164 038.48	145 358.07	309 396.55
Dicembre	31	28 376.50	1 573.24	34 081.23	222 958.74	197 995.31	420 954.05
TOTALE	183	255 115.80	15 890.88	201 189.18	1 097 296.90	970 409.57	2 067 706.47
		367 912.43	16 072.68	201 189.18	1 756 441.01	980 410.57	2 726 850.58
		- 30.66%	- 1.14%		- 37.53%	- 1.02%	- 24.17%

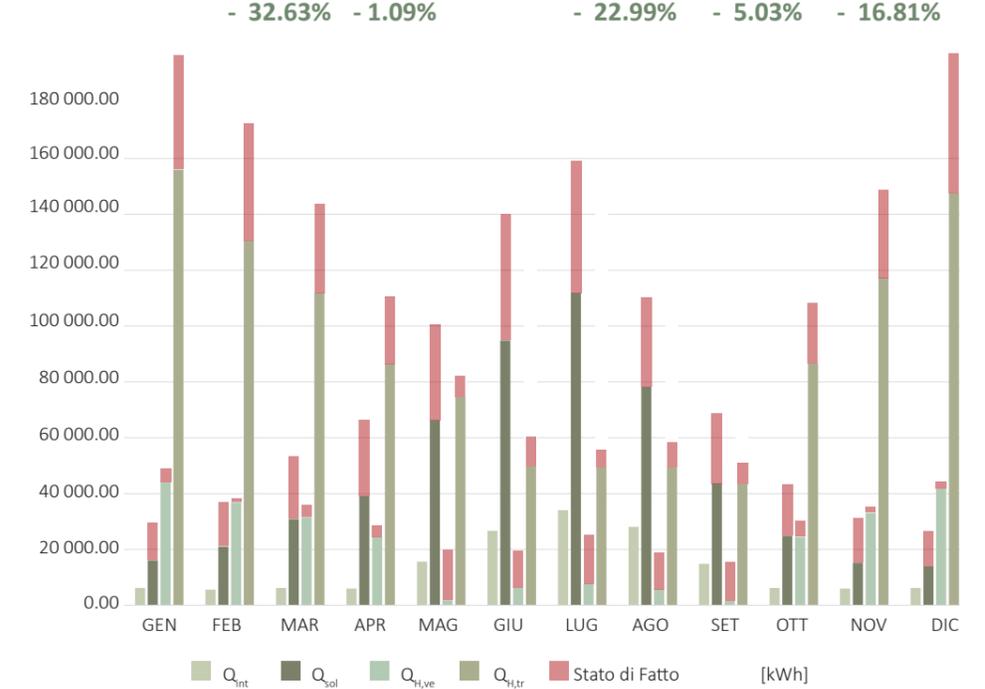


LEGENDA:
 Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
 Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
 Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
 Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
 Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
 Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento

Stagione di Raffrescamento

PACCHETTO A

PARAMETRI		APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
MESE	N _G [-]	Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{c,tr} [kWh]	Q _{c,ve} [kWh]	Q _{c,ht} [kWh]
Gennaio	31	15 850.78	228.27	6 205.56	156 050.77	44 083.10	200 133.88
Febbraio	28	20 730.06	283.58	5 605.02	130 524.45	36 857.59	167 382.04
Marzo	31	30 429.78	396.67	6 205.56	111 791.47	31 540.49	143 331.95
Aprile	30	38 641.06	449.07	6 005.38	86 406.32	24 314.97	110 721.30
Maggio	31	66 310.07	1 777.64	15 615.11	81 925.18	1 777.64	83 702.83
Giugno	30	94 844.72	6 187.50	26 682.90	121 527.62	6 187.50	127 715.12
Luglio	31	111 846.24	7 612.62	34 081.23	145 927.46	7 612.62	153 540.08
Agosto	31	78 230.52	5 684.34	28 082.75	106 313.27	5 684.34	111 997.61
Settembre	30	43 606.87	1 511.84	14 830.14	58 437.02	1 511.84	59 948.86
Ottobre	30	24 537.30	342.90	6 205.56	86 605.13	24 412.69	111 017.82
Novembre	30	14 972.11	209.73	6 005.38	117 215.93	33 109.75	150 325.68
Dicembre	31	13 733.09	208.40	6 205.56	147 593.20	41 697.59	189 290.79
TOTALE	365	553 732.60	24 292.56	156 640.17	1 073 469.60	331 470.26	1 424 939.85
		821 954.21	24 559.45	156 640.17	1 393 867.26	349 037.12	1 712 904.37
		- 32.63%	- 1.09%		- 22.99%	- 5.03%	- 16.81%



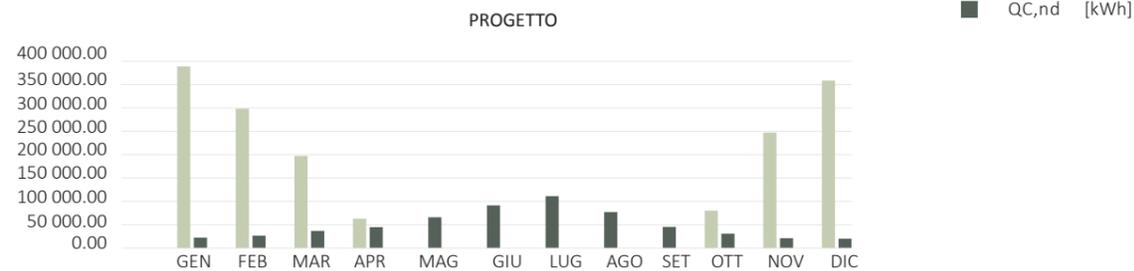
LEGENDA:
 Q_{c,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
 Q_{c,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
 Q_{c,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento

PACCHETTO A

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Intero edificio

[kWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	388 504.79	298 098.34	197 112.22	62 737.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79 854.29	247 019.02	358 323.49
$Q_{C,nd}$	22 056.34	26 335.08	36 635.33	44 646.43	65 772.33	91 131.3	111 033.5	76 896.5	45 155.61	30 742.85	20 977.49	19 938.64



$Q_{H,nd} : 2\,200\,601.4 \text{ kWh} \rightarrow 1\,631\,650.1 \text{ kWh} \quad \text{- 25.9\%}$

$Q_{C,nd} : 850\,916.7 \text{ kWh} \rightarrow 591\,321.4 \text{ kWh} \quad \text{- 30.5\%}$

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

INTERO EDIFICIO	
H_d	12 694.72 W/K
H_u	4 264.43 W/K
H_a	0.00 W/K
H_g	0.00 W/K
TOT	16 959.15 W/K

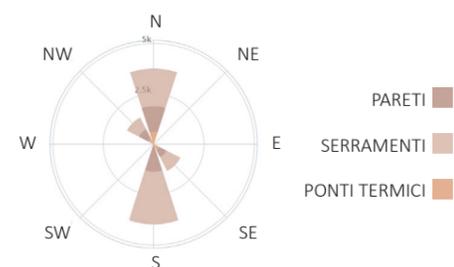
H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno

H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati

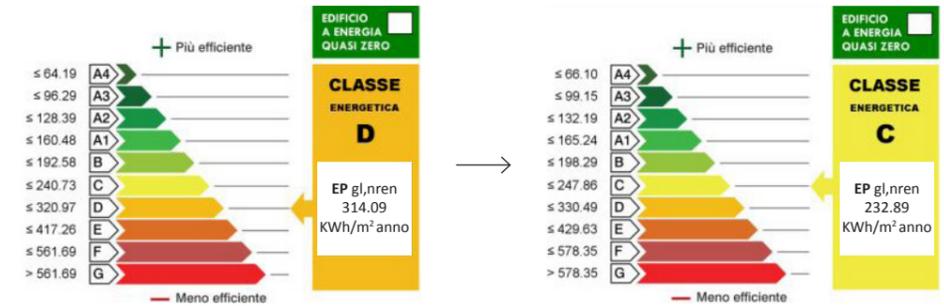
H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno

H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO PER ORIENTAMENTO [W/K]



PACCHETTO A



Optando per la soluzione **2**, ossia sistema "tutto fisso":

$Q_{H,nd} : 2\,200\,601.4 \text{ kWh} \rightarrow 1\,622\,223.7 \text{ kWh} \quad \text{- 26.3\%}$

$Q_{C,nd} : 850\,916.7 \text{ kWh} \rightarrow 592\,524.5 \text{ kWh} \quad \text{- 30.4\%}$

PACCHETTO B

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

“Intero edificio”, Stagione di Riscaldamento

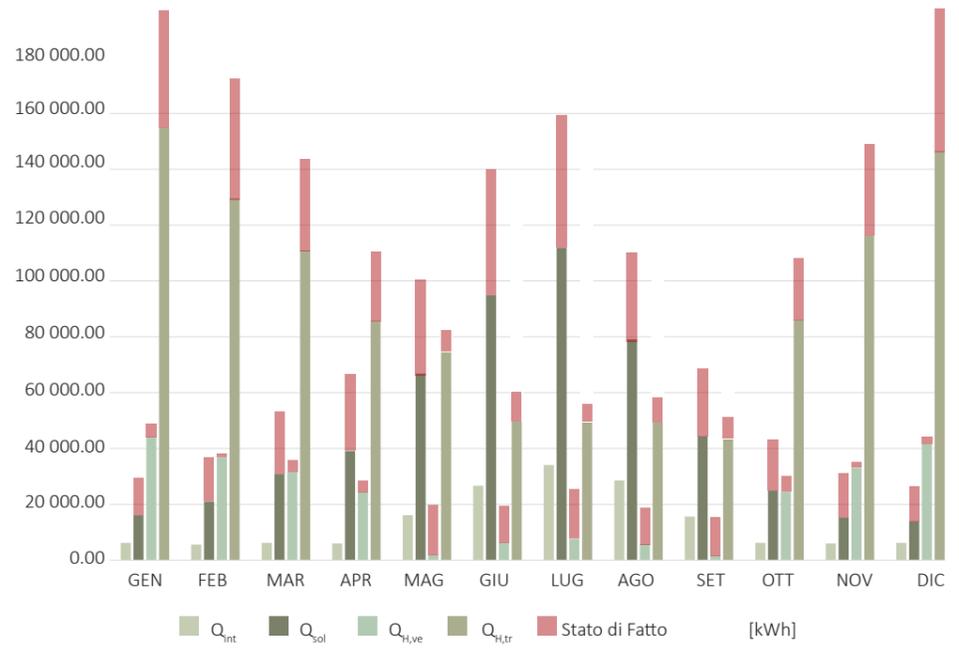
PARAMETRI	MESE	N _G [-]	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
			Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
	Gennaio	31	31 999.83	1 804.67	34 081.23	234 657.39	213 925.97	448 583.36
	Febbraio	28	41 617.88	2 574.67	30 783.04	190 993.17	173 695.55	364 688.72
	Marzo	31	59 821.37	4 072.45	34 081.23	147 407.68	133 134.78	280 542.45
	Aprile	15	35 596.33	2 497.16	16 490.92	55 563.47	49 394.04	104 957.51
	Ottobre	17	27 455.22	1 779.65	18 689.70	63 305.13	56 905.86	120 210.99
	Novembre	30	30 248.69	1 770.84	32 981.83	159 781.95	145 358.07	305 140.02
	Dicembre	31	28 376.50	1 573.24	34 081.23	217 162.77	197 995.31	415 158.08
TOTALE	183	255 115.80	15 890.88	201 189.18	1 068 871.56	970 409.57	2 039 281.13	
			367 912.43	16 072.68	201 189.18	1 756 441.01	980 410.57	2 726 850.58
			- 30.66%	- 1.14%		- 39.16%	- 1.02%	- 25.24%



LEGENDA:
 Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
 Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
 Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
 Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
 Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
 Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento

Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI	MESE	N _G [-]	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
			Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{C,tr} [kWh]	Q _{C,ve} [kWh]	Q _{C,ht} [kWh]
	Gennaio	31	15 850.78	228.27	6 205.56	154 839.38	44 083.10	198 922.48
	Febbraio	28	20 730.06	283.58	5 605.02	129 511.43	36 857.59	166 369.02
	Marzo	31	30 429.78	396.67	6 205.56	110 924.25	31 540.49	142 464.73
	Aprile	30	38 641.06	449.07	6 005.38	85 736.98	24 314.97	110 051.95
	Maggio	31	66 310.07	1 912.92	16 088.32	82 909.93	1 912.92	84 822.85
	Giugno	30	94 844.72	6 187.50	26 682.90	121 527.62	6 187.50	127 715.12
	Luglio	31	111 846.24	7 612.62	34 081.23	145 927.46	7 612.62	153 540.08
	Agosto	31	79 037.30	5 735.26	28 508.76	107 546.06	5 735.26	113 281.32
	Settembre	30	44 374.72	1 633.92	15 609.59	59 984.31	1 633.92	61 618.23
	Ottobre	30	24 537.30	342.90	6 205.56	85 933.62	24 412.69	110 346.31
	Novembre	30	14 972.11	209.73	6 005.38	116 306.04	33 109.75	149 415.79
	Dicembre	31	13 733.09	208.40	6 205.56	146 447.40	41 697.59	188 144.99
TOTALE	365	555 818.77	24 200.83	156 640.17	1 064 804.63	333 237.04	1 418 041.66	
			821 954.21	24 559.45	156 640.17	1 393 867.26	349 037.12	1 712 904.37
			- 32.38%	- 1.46%		- 23.61%	- 4.53%	- 17.21%



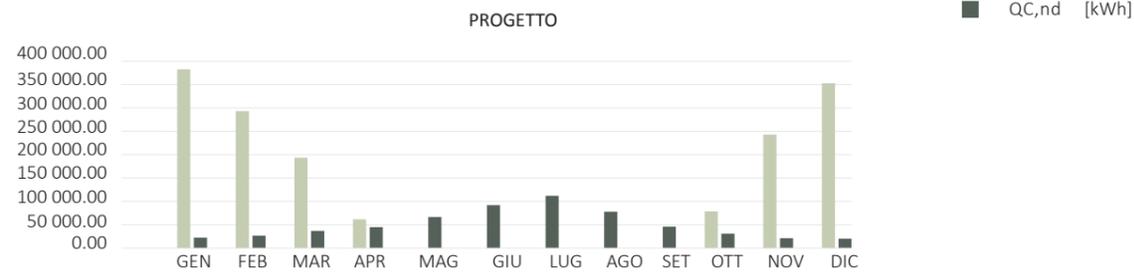
LEGENDA:
 Q_{C,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
 Q_{C,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
 Q_{C,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento

PACCHETTO B

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Intero edificio

[kWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	382 247.84	293 031.62	193 326.43	61 407.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78 275.85	242 786.27	352 533.67
$Q_{C,nd}$	22 056.34	26 335.08	36 635.33	44 646.43	66 299.22	91 702.2	111 642.7	77 595.2	45 734.06	30 742.85	20 977.49	19 938.64



$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 1 603 608.9 kWh **- 27.1%**

$Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 594 305.6 kWh **- 30.2%**

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

INTERO EDIFICIO	
H_d	12 252.5 W/K
H_u	4 260.0 W/K
H_a	0.00 W/K
H_g	0.00 W/K
TOT	16 512.5 W/K

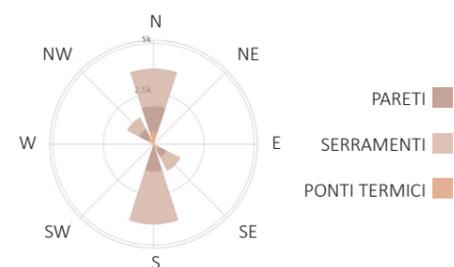
H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno

H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati

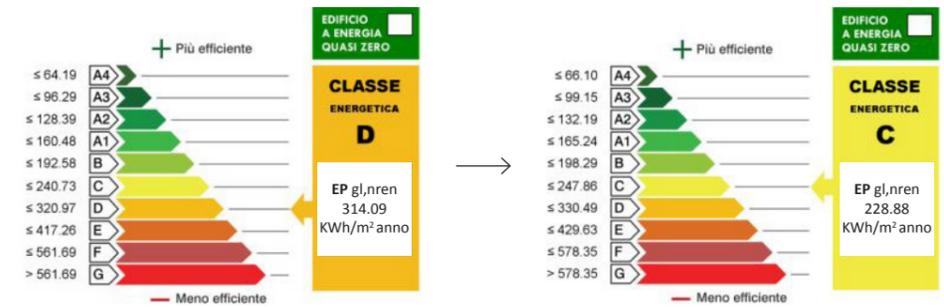
H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno

H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO PER ORIENTAMENTO [W/K]



PACCHETTO B



Optando per la soluzione **2**, ossia sistema "tutto fisso":

$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 1 598 902.4 kWh **- 27.4%**

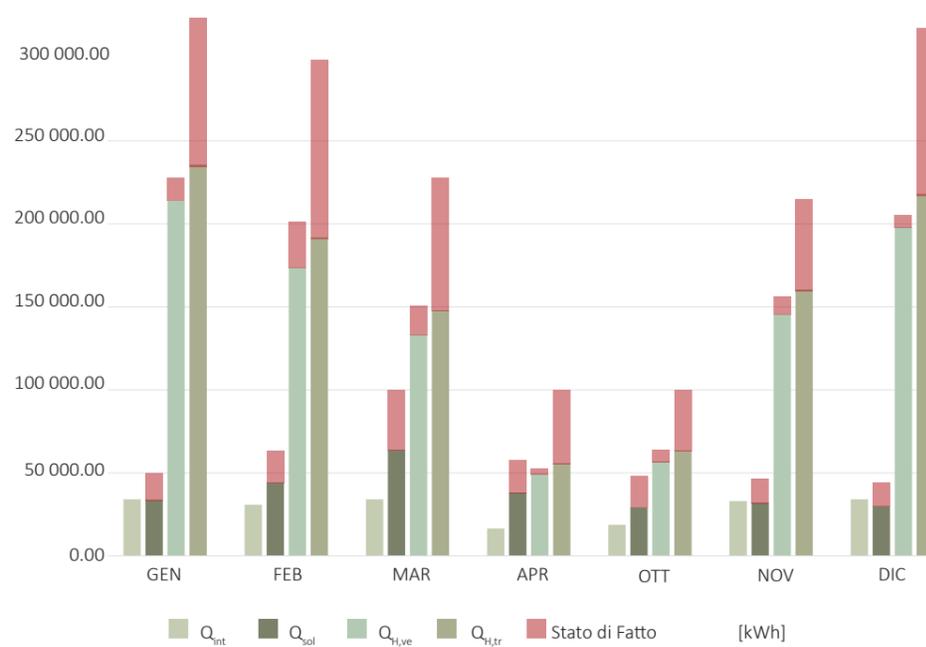
$Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 595 009.9 kWh **- 30.1%**

PACCHETTO C

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

“Intero edificio”, Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI	MESE	N _G [-]	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
			Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
	Gennaio	31	31 999.83	1 804.67	34 081.23	235 618.24	213 925.97	449 544.20
	Febbraio	28	41 617.88	2 574.67	30 783.04	191 773.52	173 695.55	365 469.07
	Marzo	31	59 821.37	4 072.45	34 081.23	148 006.22	133 134.78	281 141.00
	Aprile	15	35 596.33	2 497.16	16 490.92	55 785.90	49 394.04	105 179.94
	Ottobre	17	27 455.22	1 779.65	18 689.70	63 561.10	56 905.86	120 466.96
	Novembre	30	30 248.69	1 770.84	32 981.83	160 434.96	145 358.07	305 793.03
	Dicembre	31	28 376.50	1 573.24	34 081.23	218 052.05	197 995.31	416 047.36
TOTALE	183	255 115.80	15 890.88	201 189.18	1 073 231.99	970 409.57	2 043 641.56	
			367 912.43	16 072.68	201 189.18	1 756 441.01	980 410.57	2 726 850.58
			- 30.66%	- 1.14%		- 38.90%	- 1.02%	- 25.05%



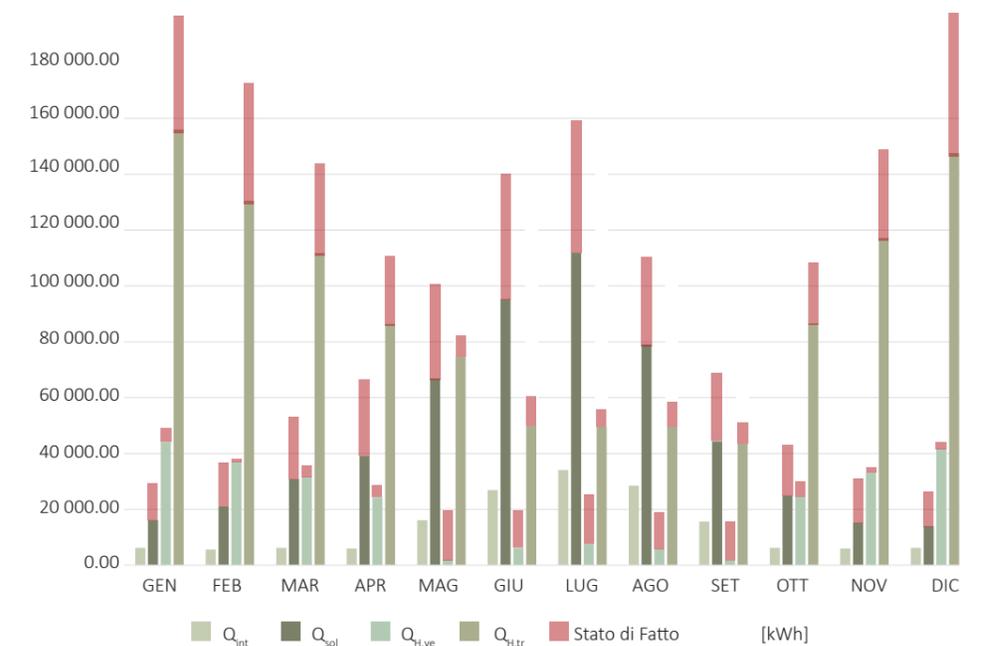
LEGENDA:

Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
 Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
 Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
 Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
 Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
 Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento

Stagione di Raffrescamento

PACCHETTO C

PARAMETRI	MESE	N _G [-]	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
			Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{C,tr} [kWh]	Q _{C,ve} [kWh]	Q _{C,ht} [kWh]
	Gennaio	31	15 850.78	228.27	6 205.56	154 839.38	44 083.10	200 133.88
	Febbraio	28	20 730.06	283.58	5 605.02	129 511.43	36 857.59	167 382.04
	Marzo	31	30 429.78	396.67	6 205.56	110 924.25	31 540.49	143 331.95
	Aprile	30	38 641.06	449.07	6 005.38	85 736.98	24 314.97	110 721.30
	Maggio	31	66 821.61	1 912.92	16 088.32	82 909.93	1 912.92	84 822.85
	Giugno	30	95 821.61	6 215.38	26 874.98	121 527.62	6 215.38	128 372.01
	Luglio	31	111 846.24	7 612.62	34 081.23	145 927.46	7 612.62	153 540.08
	Agosto	31	79 009.59	5 729.15	28 466.91	107 546.06	5 729.15	113 205.65
	Settembre	30	44 374.72	1 633.92	15 609.59	59 984.31	1 633.92	61 618.23
	Ottobre	30	24 537.30	342.90	6 205.56	85 933.62	24 412.69	111 017.82
	Novembre	30	14 972.11	209.73	6 005.38	116 306.04	33 109.75	150 325.68
	Dicembre	31	13 733.09	208.40	6 205.56	146 447.40	41 697.59	189 290.79
TOTALE	365	556 227.99	24 222.60	156 640.17	1 064 804.63	333 717.51	1 426 346.39	
			821 954.21	24 559.45	156 640.17	1 393 867.26	349 037.12	1 712 904.37
			- 32.33%	- 1.37%		- 23.61%	- 4.39%	- 16.73%



LEGENDA:

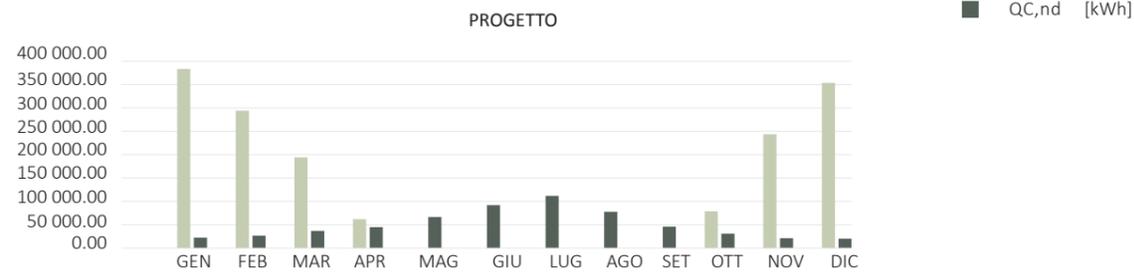
Q_{C,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
 Q_{C,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
 Q_{C,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento

PACCHETTO C

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Intero edificio

[kWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	383 204.37	293 804.80	193 913.30	61 622.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78 525.18	243 434.75	353 418.86
$Q_{C,nd}$	22 056.34	26 335.08	36 635.33	44 646.43	66 331.72	91 732.9	111 634.7	77 550.02	45 759.53	30 742.85	20 977.49	19 938.64



$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 1 599 125.2 kWh **- 27.3%**

$Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 594 652.8 kWh **- 30.1%**

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

INTERO EDIFICIO	
H_d	12 179.1 W/K
H_u	4 261.9 W/K
H_a	0.00 W/K
H_g	0.00 W/K
TOT	16 441.0 W/K

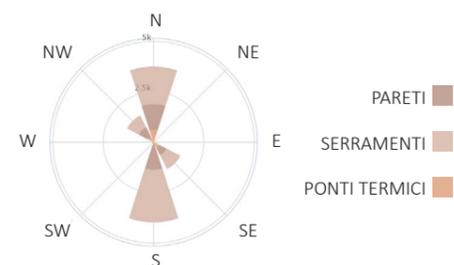
H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno

H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati

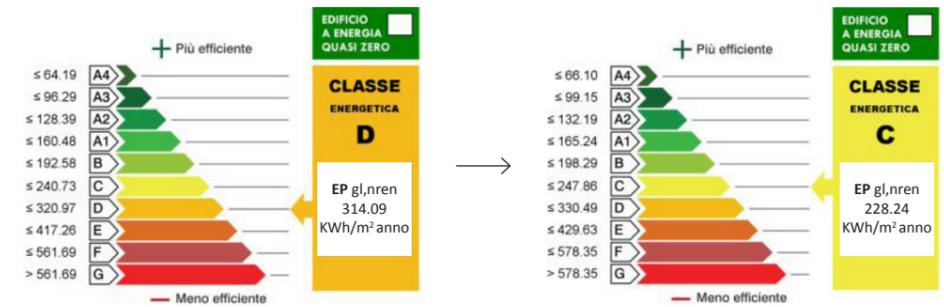
H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno

H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO PER ORIENTAMENTO [W/K]



PACCHETTO C



Optando per la soluzione **2**, ossia sistema "tutto fisso":

$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 1 583 837.5 kWh **- 28.1%**

$Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 596 509.1 kWh **- 29.9%**

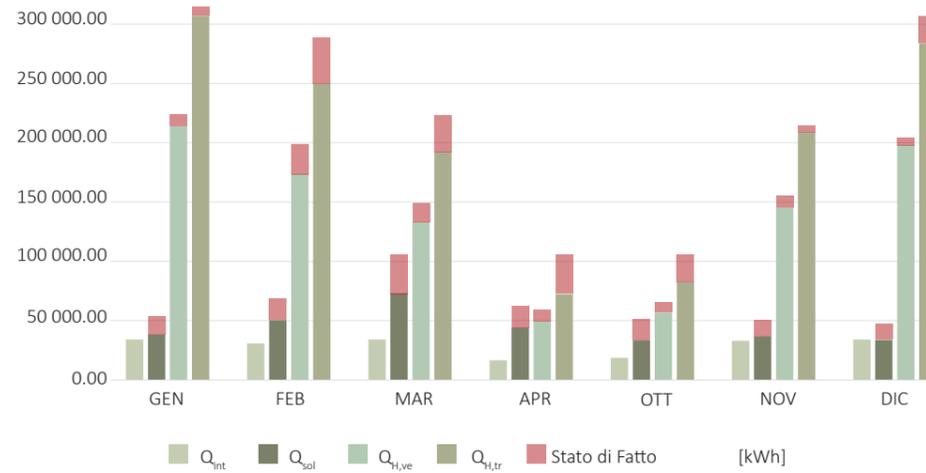
PACCHETTO D

CALCOLO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI DI ENERGIA TERMICA

“Intero edificio”, Stagione di Riscaldamento

PARAMETRI	MESE	N _G [-]	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
			Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{H,tr} [kWh]	Q _{H,ve} [kWh]	Q _{H,ht} [kWh]
	Gennaio	31	36 525.72	1 804.67	34 081.23	306 779.40	213 925.97	520 705.37
	Febbraio	28	47 931.91	2 574.67	30 783.04	249 573.78	173 695.55	423 269.33
	Marzo	31	68 981.75	4 072.45	34 081.23	192 356.08	133 134.78	325 490.86
	Aprile	15	41 615.12	2 497.16	16 490.92	72 280.46	49 394.04	121 674.50
	Ottobre	17	31 534.37	1 779.65	18 689.70	82 531.39	56 905.86	139 437.25
	Novembre	30	34 864.94	1 770.84	32 981.83	208 803.03	145 358.07	354 161.10
	Dicembre	31	32 165.78	1 573.24	34 081.23	283 913.05	197 995.31	481 908.36
TOTALE	183	293 619.60	15 890.88	201 189.18	1 396 237.19	970 409.57	2 366 646.76	

367 912.43 16 072.68 201 189.18 1 756 441.01 980 410.57 2 726 850.58
 - 20.19% - 1.14% - 20.51% - 1.02% - 13.21%



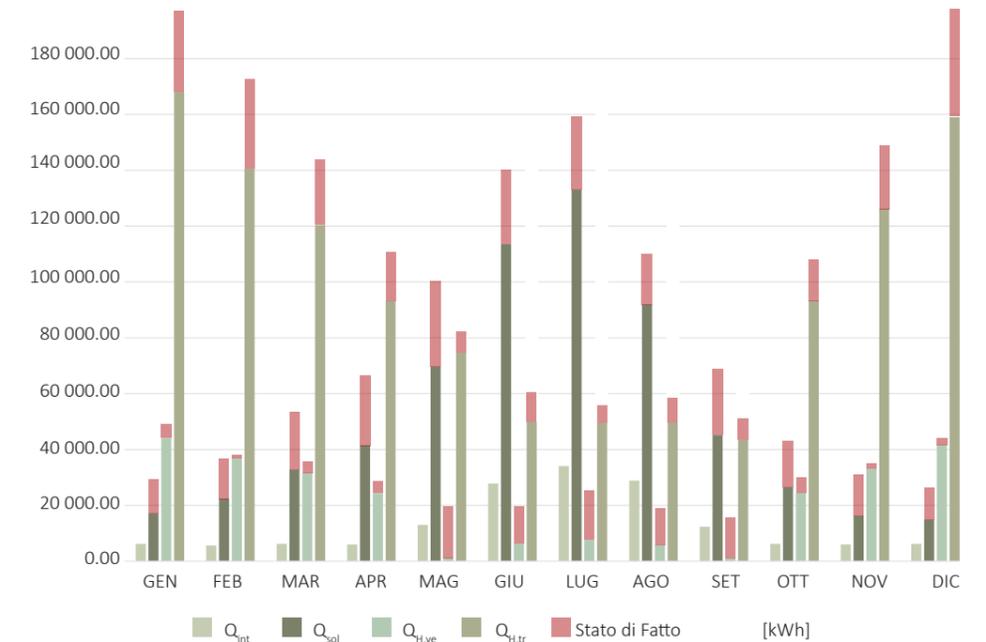
LEGENDA:

- Q_{sol,w} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
- Q_{sol,op} = apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
- Q_{int} = apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- Q_{H,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- Q_{H,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento

Stagione di Raffrescamento

PARAMETRI	MESE	N _G [-]	APPORTI GRATUITI			ENERGIA TERMICA DISPERSA		
			Q _{sol,w} [kWh]	Q _{sol,op} [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{C,tr} [kWh]	Q _{C,ve} [kWh]	Q _{C,ht} [kWh]
	Gennaio	31	16 925.51	228.27	6 205.56	168 084.60	44 083.10	212 167.70
	Febbraio	28	22 113.76	283.58	5 605.02	140 587.62	36 857.59	177 445.21
	Marzo	31	32 389.02	396.67	6 205.56	120 406.24	31 540.49	151 946.73
	Aprile	30	41 073.42	449.07	6 005.38	93 055.31	24 314.97	117 370.28
	Maggio	31	69 729.80	1 277.24	12 970.54	82 700.34	1 277.24	83 977.58
	Giugno	30	113 492.10	6 354.48	27 827.87	141 319.97	6 354.48	147 674.44
	Luglio	31	133 027.72	7 612.62	34 081.23	167 108.95	7 612.62	174 721.57
	Agosto	31	91 977.48	5 874.12	28 843.56	120 821.04	5 874.12	126 605.16
	Settembre	30	45 145.63	1 062.63	12 324.84	57 470.47	1 062.63	58 533.10
	Ottobre	30	26 153.47	342.90	6 205.56	93 275.73	24 412.69	117 688.42
	Novembre	30	16 012.43	209.73	6 005.38	126 254.59	33 109.75	159 364.34
	Dicembre	31	14 651.98	208.40	6 205.56	158 975.38	41 697.59	200 672.97
TOTALE	365	622 692.33	24 209.71	156 640.17	1 176 265.09	331 879.33	1 528 144.42	

821 954.21 24 559.45 156 640.17 1 393 867.26 349 037.12 1 712 904.37
 - 24.24% - 1.42% - 15.61% - 4.92% - 10.79%



LEGENDA:

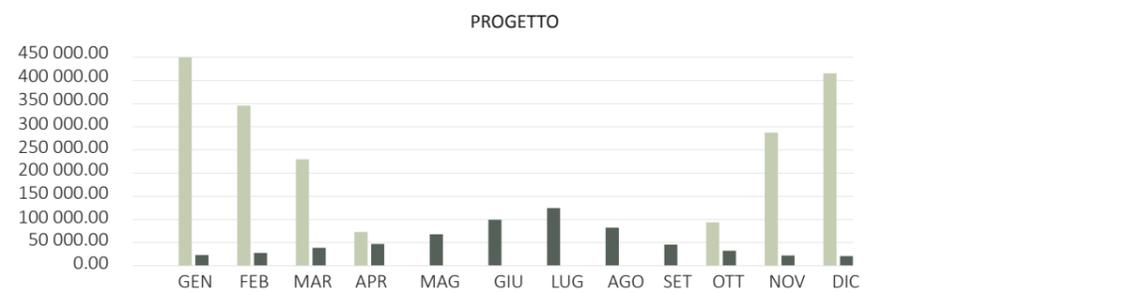
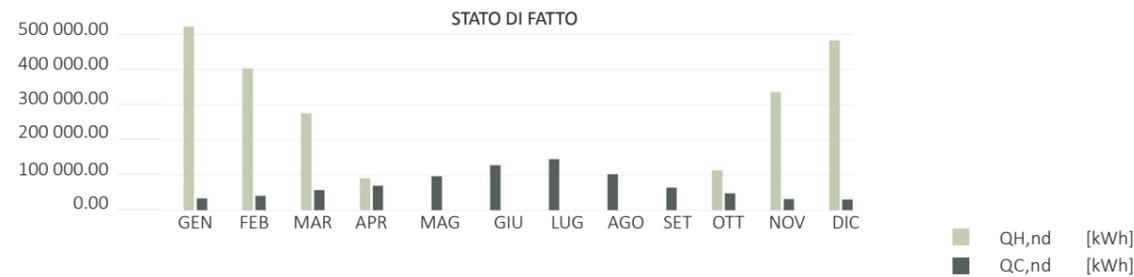
- Q_{C,tr} = scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- Q_{C,ve} = scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- Q_{C,ht} = scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento

PACCHETTO D

FABBISOGNO TERMICO MENSILE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO [kWh]

Intero edificio

[kWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
$Q_{H,nd}$	450 040.77	345 674.70	229 909.74	72 945.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93 662.13	287 432.61	415 655.86
$Q_{C,nd}$	23 131.07	27 718.78	38 594.58	47 078.80	68 022.31	99 344.5	124 587.3	82 253.7	45 609.31	32 359.02	22 017.80	20 857.54



$Q_{H,nd}$: 2 200 601.4 kWh → 1 895 320.8 kWh **- 13.9%**

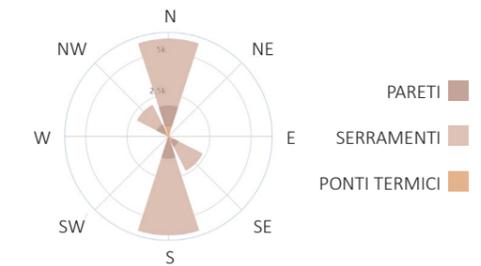
$Q_{C,nd}$: 850 916.7 kWh → 631 574.6 kWh **- 23.8%**

PACCHETTO D

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO

INTERO EDIFICIO	
H _d	17 321.6 W/K
H _u	4 334.8 W/K
H _a	0.00 W/K
H _g	0.00 W/K
TOT	21 656.4 W/K

ANALISI DEI COEFFICIENTI DI SCAMBIO TERMICO PER ORIENTAMENTO [W/K]



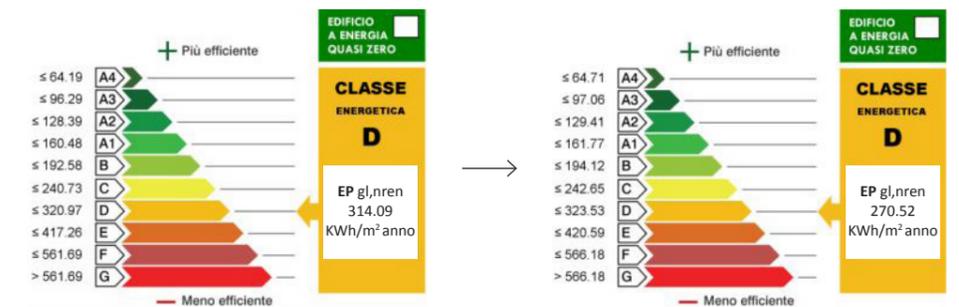
LEGENDA :

H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione con l'esterno

H_u = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti non climatizzati

H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno

H_a = coefficiente di scambio termico per trasmissione con ambienti confinanti climatizzati da altro impianto



4.2.6 Considerazioni conclusive

PACCHETTO A (con serramenti Secco Sistemi)

1 APRIBILE
 $U_w = 1.48 \text{ W/m}^2\text{K}$



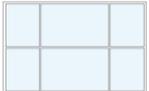
+

BUSSOLA + ISOLANTE + SCHERMATURE

EPgl,nren = **314.09** kWh/m² anno
 EPgl,nren = **232.89** kWh/m² anno

NUOVI FABBISOGNI	RISPARMI
$Q_{H,nd} = 1\,631\,650.1 \text{ KWh}$	- 25.9%
$Q_{C,nd} = 591\,321.4 \text{ KWh}$	- 30.5%

2 FISSO
 $U_w = 1.40 \text{ W/m}^2\text{K}$



+

BUSSOLA + ISOLANTE + SCHERMATURE

EPgl,nren = **314.09** kWh/m² anno
 EPgl,nren = **231.54** kWh/m² anno

NUOVI FABBISOGNI	RISPARMI
$Q_{H,nd} = 1\,622\,223.7 \text{ KWh}$	- 26.3%
$Q_{C,nd} = 592\,524.5 \text{ KWh}$	- 30.4%

PACCHETTO B (con serramenti Mogs)

1 APRIBILE
 $U_w = 1.28 \text{ W/m}^2\text{K}$



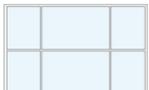
+

BUSSOLA + ISOLANTE + SCHERMATURE

EPgl,nren = **314.09** kWh/m² anno
 EPgl,nren = **228.88** kWh/m² anno

NUOVI FABBISOGNI	RISPARMI
$Q_{H,nd} = 1\,603\,608.9 \text{ KWh}$	- 27.1%
$Q_{C,nd} = 594\,305.6 \text{ KWh}$	- 30.2%

2 FISSO
 $U_w = 1.24 \text{ W/m}^2\text{K}$



+

BUSSOLA + ISOLANTE + SCHERMATURE

EPgl,nren = **314.09** kWh/m² anno
 EPgl,nren = **228.21** kWh/m² anno

NUOVI FABBISOGNI	RISPARMI
$Q_{H,nd} = 1\,598\,902.4 \text{ KWh}$	- 27.4%
$Q_{C,nd} = 595\,009.9 \text{ KWh}$	- 30.1%

PACCHETTO C (con serramenti Fresialluminio)

1 APRIBILE
 $U_w = 1.26 \text{ W/m}^2\text{K}$



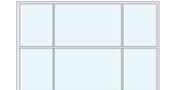
+

BUSSOLA + ISOLANTE + SCHERMATURE

EPgl,nren = **314.09** kWh/m² anno
 EPgl,nren = **228.24** kWh/m² anno

NUOVI FABBISOGNI	RISPARMI
$Q_{H,nd} = 1\,599\,125.2 \text{ KWh}$	- 27.3%
$Q_{C,nd} = 594\,652.8 \text{ KWh}$	- 30.1%

2 FISSO
 $U_w = 1.13 \text{ W/m}^2\text{K}$



+

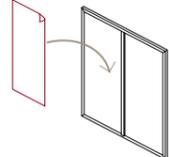
BUSSOLA + ISOLANTE + SCHERMATURE

EPgl,nren = **314.09** kWh/m² anno
 EPgl,nren = **226.06** kWh/m² anno

NUOVI FABBISOGNI	RISPARMI
$Q_{H,nd} = 1\,583\,837.5 \text{ KWh}$	- 28.1%
$Q_{C,nd} = 596\,509.1 \text{ KWh}$	- 29.9%

PACCHETTO D (con pellicole a controllo solare)

$g = 0.42$



+

BUSSOLA + ISOLANTE + SCHERMATURE

EPgl,nren = **314.09** kWh/m² anno
 EPgl,nren = **270.52** kWh/m² anno

NUOVI FABBISOGNI	RISPARMI
$Q_{H,nd} = 1\,895\,320.8 \text{ KWh}$	- 13.9%
$Q_{C,nd} = 631\,574.6 \text{ KWh}$	- 23.8%

In riferimento a tale quadro riassuntivo si potrebbe dunque concludere che:

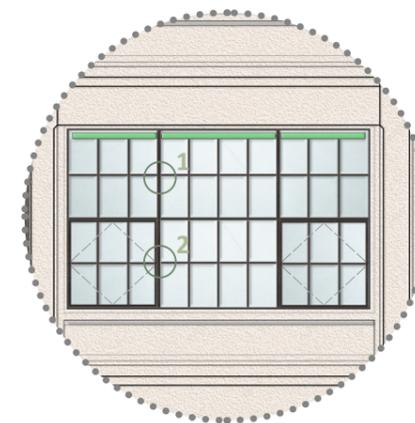
- con il pacchetto D si raggiungono i maggiori fabbisogni energetici e di conseguenza i minori risparmi sui consumi rispetto allo stato di fatto. Si attesta dunque come lo scenario progettuale meno vantaggioso
- confrontando i pacchetti progettuali che prevedono, tra gli interventi, l'impiego di nuovi serramenti in acciaio, il pacchetto B risulta più vantaggioso rispetto al pacchetto A
- il pacchetto C risulta in assoluto il più vantaggioso, apportando allo scenario base i maggiori benefici energetici
- tutte le soluzioni che prevedono un sistema di serramenti fisso risultano più vantaggiose rispetto agli scenari con porzioni vetrate apribili

Mantenendo invariati gli interventi di isolamento e di progettazione di una bussola d'ingresso, appare evidente come ad influenzare il risultato finale sia proprio la scelta dei serramenti. Se si scegliesse il pacchetto progettuale C, che prevede l'impiego di serramenti in alluminio, si raggiungerebbero i migliori risultati, sia nell'opzione "sistema apribile" sia in quella "tutto fisso". Se da un punto di vista energetico tale soluzione risulta essere la più conveniente, non si può fare la stessa considerazione se si valuta l'aspetto estetico e legato alla conservazione dell'immagine originaria dei FerroFinestra. Il sistema apribile, infatti, date le prestazioni e le caratteristiche dell'alluminio, presenta una mostra architettonica non troppo rispondente all'esigenza di snellezza e leggerezza tipiche dei serramenti degli anni '30. Si dovrebbe, allora, preferire un sistema interamente fisso che, tra l'altro, consentirebbe maggiori benefici in termini di risparmio energetico. Tuttavia, tale valutazione si può operare nella condizione in cui venga mantenuta la stessa destinazione d'uso dell'edificio, mentre nell'ottica di una ipotetica e futura rifunzionalizzazione, bisogna valutare con più cautela che l'assenza di una ventilazione naturale non disattenga i requisiti normativi vigenti.

Il pacchetto B, allora, si potrebbe attestare come una valida soluzione di compromesso, capace di apportare notevoli benefici energetici ed, al contempo, garantire alle facciate dell'edificio un *design* più rispondente all'immagine storica. Tali considerazioni sono valide per entrambe le alternative, sia che si impieghi un sistema "tutto fisso", sia che si scelga di installare serramenti con porzioni apribili, essendo stato possibile ridurre lo spessore a vista dei nodi tra parte fissa e parte apribile.

PACCHETTO B (con serramenti Mogs)

1 $EP_{gl,nren} = 228.88 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$



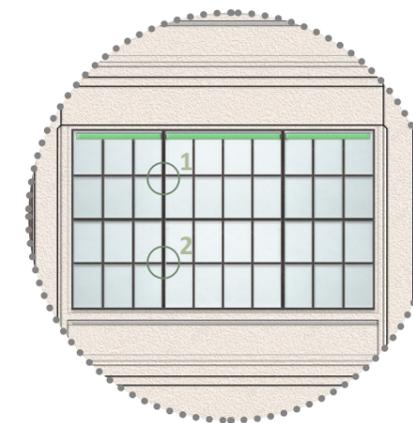
NODO 1

Mostra architettonica = 54 mm

NODO 2

Mostra architettonica = 98 mm

2 $EP_{gl,nren} = 228.21 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$



NODO 1

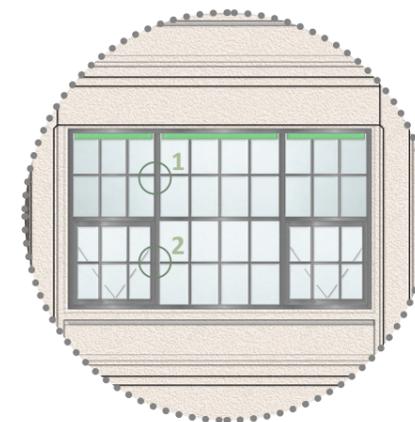
Mostra architettonica = 54 mm

NODO 2

Mostra architettonica = 54 mm

PACCHETTO C (con serramenti Fresialluminio)

1 $EP_{gl,nren} = 228.24 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$



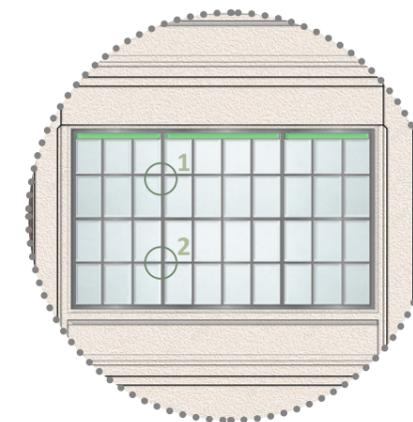
NODO 1

Mostra architettonica = 92 mm

NODO 2

Mostra architettonica = 181.5 mm

2 $EP_{gl,nren} = 226.06 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$



NODO 1

Mostra architettonica = 50 mm

NODO 2

Mostra architettonica = 50 mm

4.3 Ipotesi d'intervento sul sistema impiantistico

4.3.1 Premessa

La sede del Lingotto prevede un sistema impiantistico complesso ed articolato. Relativamente alla climatizzazione, i continui interventi migliorativi eseguiti sui sottosistemi di generazione, distribuzione e regolazione hanno reso l'impianto, nel corso degli anni, efficiente e caratterizzato da alti rendimenti. Anche per quanto riguarda l'illuminazione artificiale, che costituisce circa il 30% dei consumi elettrici complessivi¹, si è assistito ad alcuni (ma ancora pochi e circoscritti) interventi di sostituzione delle sorgenti più energivore con nuove sorgenti LED ad alta efficienza. Da tali considerazioni emerge in modo chiaro ed evidente come il problema degli alti consumi registrati dalla sede del Politecnico, sia connesso non tanto alla tipologia dell'impianto, quanto piuttosto alla sua modalità di gestione e di controllo, principalmente legata alle immancabili *bad practises* degli utenti.

Nella prospettiva poi di rendere l'edificio sempre più autonomo dal punto di vista energetico, riducendone così anche il suo impatto sull'ambiente, si è pensato di inserire sistemi che sfruttano le fonti rinnovabili per la produzione di energia.

Essendo il sistema impiantistico del Lingotto assai complesso e strutturato, come già anticipato anche al paragrafo 3.5.1, si è scelto di non simularlo sul *software* e di modellare invece il solo involucro edilizio. Non potendo quindi inserire nel modello energetico la parte impiantistica e valutare così i benefici rispetto allo stato di fatto, le valutazioni energetiche contenute in questo capitolo fanno riferimento ad una stima dei nuovi valori di consumo annuale. Contrariamente ai capitoli precedenti, infatti, non sarà più presente l'analisi dettagliata dell'andamento energetico mensile dell'edificio, ma soltanto un valore complessivo riferito all'anno intero e non al singolo mese.

4.3.2 Relamping

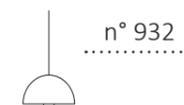
La sede del Politecnico prevede un sistema di illuminazione di tipo tradizionale, progettato in accordo con la normativa dell'epoca UNI 10380:1994 sulla "Illuminazione di interni con luce artificiale".

Nelle aule, nei laboratori e negli uffici sono installati apparecchi ad incasso equipaggiati da sorgenti fluorescenti lineari, mentre "nei percorsi e negli atrii si impiegano apparecchi a sospensione con lampade a vapori di alogenuri da 70 W. Nella hall d'ingresso e nello spazio vuoto su esposizione si impiegano i medesimi apparecchi a sospensione ma con lampade a vapori di alogenuri da 250 W e da 400 W. L'Aula Magna è illuminata con faretti con lampade alogene a bassissima tensione, con riflettore dicroico, regolabili".¹

Il sistema di illuminazione, attualmente molto energivoro, costituisce circa il 30% di tutti i consumi elettrici del Politecnico. Nella prospettiva di ridurre i consumi, e quindi i costi, si è pensato ad un intervento di sostituzione delle sorgenti tradizionali con nuovi prodotti LED. È noto che recentemente alcune sorgenti siano state sostituite con nuovi LED, ma non essendo stato possibile effettuare un sopralluogo in campo², si è assunta la condizione peggiorativa in cui tutte le lampade fossero ancora di tipo tradizionale, al fine di stimare i possibili risparmi energetici ed economici.

ATRI E CORRIDOI

A

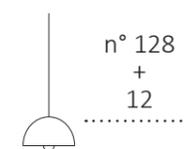


n° 932

Apparecchi a sospensione con sorgenti a vapori di alogenuri (70 W)

HALL D'INGRESSO E
VUOTO CENTRALE

B C

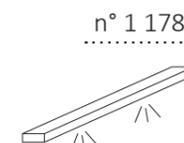


n° 128
+
12

Apparecchi a sospensione con sorgenti a vapori di alogenuri (250 W e 400 W)

AULE, LABORATORI
ED UFFICI

D



n° 1 178

Apparecchi ad incasso con sorgenti fluorescenti lineari (36 W)

1. COMUNE DI TORINO, 10_2018 Diagnosi Energetica Nizza 230 Lingotto, ELETTRONICO, 2018, p.21

1. ARCHIVIO EDILIZIO DI TORINO, *Comune di Torino*, Centro Polifunzionale del Lingotto III Fase di Intervento, Relazione Tecnica descrittiva generale, Pratica RT_1999_1_03883_RT_02, p. 67

2. Disposizioni di legge in seguito alla pandemia COVID-19.

ILLUMINAZIONE POLITECNICO STATO DI FATTO

TIPO	n°	POTENZA (KW)	FUNZ. h/gg	FUNZ. h/anno	CONSUMI KWh/anno
A	933.00	0.070	12	2880	188092.80
B	12.00	0.250	12	2880	8640.00
C	128.00	0.400	12	2880	147456.00
D uffici	580.00	0.036	9	2160	45100.80
D aule	597.00	0.036	12	2880	389289.60
TOTALE	2250.00				590486.40

Consumi annuali per l'illuminazione = 590 486.40 KWh / anno

Consumi annuali per l'illuminazione = 30% dei consumi elettrici totali

Consumi elettrici annuali = 1 968 288.00 KWh / anno

Se le sorgenti luminose installate nella sede del Politecnico fossero tutte di tipo tradizionale, i consumi annuali dell'edificio ammonterebbero a 590 486 KWh/anno, mentre i consumi elettrici complessivi corrisponderebbero circa a 1 968 288 KWh all'anno.

In accordo con la normativa tecnica di riferimento sull'illuminazione dei posti di lavoro (UNI EN 12464-1) è stata elaborata una proposta di *relamping* LED all'interno dei locali del Politecnico, considerando nello specifico i seguenti requisiti di progetto:

- A** Illuminazione aree di circolazione e corridoi: $E_m = 100lx$; $U_0 = 0.40$
- B** Illuminazione aule didattiche e laboratori: $E_m = 300lx$; $U_0 = 0.60$
- C** Illuminazione spazi comuni (ingressi, saloni): $E_m = 100lx$; $U_0 = 0.40$
- D** Illuminazione uffici (spazi scrittura, lettura ed elaborazione dati) $E_m = 500lx$;
Sale conferenze e riunioni $U_0 = 0.40$

dove:

Em è l'illuminamento medio mantenuto, ossia il minimo valore di illuminamento medio consentito per la zona in cui dev'essere svolto un certo compito visivo. "Mantenuto" perchè esprime il livello di progetto ridotto di un fattore di manutenzione per considerare l'invecchiamento dell'impianto di illuminazione. Unità di misura: [lumen/m²] [lx]

U_0 è l'uniformità di illuminamento ed esprime il rapporto tra il valore minimo e il valore medio di illuminamento su una data superficie.

$$U_0 = E_{\min} / E_m \quad \text{con } E_{\min} = \text{Illuminamento minimo [lx]} \\ E_m = \text{Illuminamento medio [lx]}$$

Tali requisiti sono stati verificati per locali tipo (A, B, C e D) effettuando delle valutazioni di calcolo e quindi delle simulazioni con il *Software* illuminotecnico *DIALux evo 8.1*.

ILLUMINAZIONE POLITECNICO STATO DI PROGETTO

TIPO	n°	POTENZA (KW)	FUNZ. h/gg	FUNZ. h/anno	CONSUMI KWh/anno
A	945.00	0.005	12	2880	13608.00
B	597.00	0.014	12	2880	24071.04
C	128.00	0.032	12	2880	11796.48
D	580.00	0.019	9	2160	23803.20
TOTALE	2250.00				73278.72

Consumi annuali per l'illuminazione = 73 278.72 KWh / anno

Consumi annuali per l'illuminazione = 30% dei consumi elettrici totali

Consumi elettrici annuali = 244 262.40 KWh / anno

I nuovi consumi annuali per l'illuminazione della sede del Politecnico verrebbero pertanto ridotti dell'87%, corrispondendo circa a 73 279 KWh/anno. Di conseguenza, anche i consumi complessivi di energia elettrica verrebbero abbattuti, raggiungendo un valore di circa 244 262 KWh all'anno.

4.3.3 Sistemi di regolazione, gestione e controllo

Nella prospettiva di introdurre ulteriori soluzioni per massimizzare il controllo sui consumi energetici della sede del Politecnico, una interessante proposta potrebbe essere costituita dall'installazione di un impianto di *Building Automation*. Con la progettazione e successiva posa in opera dei sensori nei locali interni all'edificio si otterrebbero non solamente notevoli risparmi in termini energetici globali, ma anche un'efficace barriera di protezione passiva e videosorveglianza dell'edificio stesso, aspetti questi ultimi tutt'altro che trascurabili, in un'ottica di migliore conservazione dell'edificio e della sua funzionalità. L'automazione potrebbe assicurare un supporto importante alla gestione dell'edificio, suggerendo soluzioni efficaci a problematiche complesse e diversificate. In effetti, dato il vincolo di Tutela a cui è sottoposto l'edificio, potrebbe risultare complesso raggiungere i requisiti di prestazione energetica imposti dalle normative vigenti, tuttavia con il concorso di un adeguato progetto impiantistico per la gestione intelligente degli ambienti si potrebbero agevolmente raggiungere i maggiori benefici che il solo involucro non potrebbe assicurare.

Il controllo automatico di gestione degli spazi consente di ridurre sensibilmente i consumi energetici proprio perché non è soggetto al controllo degli utenti e di conseguenza alle immancabili *bad practises*. Non sfugge che tale sistema potrebbe venire percepito come una limitazione della propria libertà personale, per tale motivo sarebbe preferibile progettare una modalità di controllo integrato-misto che preveda una gerarchia tra i comandi per cui il controllo manuale dell'utente avrà sempre la preminenza rispetto al sistema automatizzato.

Non avendo a supporto *software* di calcolo specifici, né la possibilità di effettuare sopralluoghi ed indagini strumentali in campo, tale progetto è stato volutamente lasciato in forma di suggestione, funzionale alla valutazione dei possibili ulteriori risparmi energetici ed economici che la sede del Politecnico potrebbe raggiungere.

La trattazione del tema è stata principalmente focalizzata sul controllo dell'illuminazione artificiale, essendo più difficoltoso formulare utili proposte sull'impianto di climatizzazione, che prevede un sistema di regolazione ben più complesso rispetto alla semplice modalità di accensione/spegnimento della luce.

Nella progettazione di un sistema di controllo automatizzato è stato innanzitutto necessario individuare il profilo d'uso dei locali del fabbricato per conoscere il reale utilizzo degli spazi da parte degli utenti e formulare scenari progettuali efficaci.

Sono stati di conseguenza proposti degli scenari in percentuale che mostrassero i differenti profili di utilizzo per calcolarne così i possibili risparmi.

INDIVIDUAZIONE DEL PROFILO DI UTILIZZO DEI LOCALI

La sede del Politecnico presenta due differenti destinazioni d'uso: il piano terra ed i primi tre piani sono adibiti a sede universitaria, mentre gli ultimi due piani ospitano gli uffici delle Autorità di Regolazione dei Trasporti di Torino.

Il profilo di utilizzo degli ambienti è pertanto diversificato: per quanto riguarda gli uffici ARTT, il profilo di occupazione degli ambienti è noto (*Predictable scheduling*) ed è pertanto possibile programmare l'accensione e lo spegnimento dell'impianto evitando possibili sprechi energetici dovuti a luci accese in locali non occupati.

Per quanto invece riguarda la gestione degli ambienti universitari, ci si inoltra in un percorso più complesso, dal momento che l'occupazione risulta discontinua e variabile nel corso dell'anno (*Unpredictable scheduling*).



 *Predictable scheduling*
LUN- VEN 9:00 - 18:00



 *Unpredictable scheduling*
OCCUPAZIONE DISCONTINUA

L'*Unpredictable scheduling* che contraddistingue la sede universitaria del Politecnico deriva dal fatto che a causa dello svolgimento-coabitazione di corsi didattici e masters, l'utilizzo delle aule al Lingotto avviene necessariamente per orari che spesso non rispettano canoni di rigidità, risultando talvolta imprevedibili. Allo scopo di delineare un profilo di utilizzo dei locali il più possibile rispondente alla situazione reale, è stato quindi chiesto al referente degli spazi della sede del Lingotto un calendario d'uso delle aule.

La sede del Politecnico, come si anticipava poc'anzi, ospita due tipologie di corsi: i corsi di laurea di architettura e corsi master. Mentre per i primi è più semplice elaborare modelli predittivi sull'effettivo utilizzo, per quanto riguarda i secondi tale formulazione risulta ben più complessa, dovendo necessariamente tener conto, tra le variabili, dell'effettivo svolgimento delle attività Master, strettamente legato al raggiungimento del numero sufficiente di iscritti.

Per poter tracciare un calendario d'uso degli spazi è necessario stabilire una distinzione tra I° e II° Periodo Didattico: fermo restando che l'utilizzo delle aule destinate ai corsi master è saltuario e variabile lungo tutto l'anno accademico, l'occupazione dei locali per i corsi didattici varia a seconda che si ricada nel primo o nel secondo periodo didattico, per via della diversa definizione del carico didattico in ogni piano carriera.



Corsi di laurea di Architettura



Aule studio



Corsi Master

I° PERIODO DIDATTICO :

Utilizzo (100%) LUN - VEN :



Aule Piano Secondo: 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207,208
Aule Piano Terzo: 301, 300/1N



Sale Piano Secondo: "Marconi", "Le Corbusier"
Sale Piano Terzo: "Eiffel", "Tesla"



Aule Piano Secondo: 210, 213¹
Aule Piano Terzo: 302, 304, 307²

Utilizzo saltuario



Aule Piano Terzo: LAIB1N



Aule Piano Secondo: 209, 211, 212
Aule Piano Terzo: 303, 305, 306, 308, 309

II° PERIODO DIDATTICO :



Sale Piano Secondo: "Marconi", "Le Corbusier"
Sale Piano Terzo: "Eiffel", "Tesla"

Per il resto delle aule, dato il loro utilizzo non sempre pieno ma anche di soli 3 giorni a settimana, si può considerare la stessa proiezione del I° P.D. ridotta del 30%.

1. Se le aule non vengono destinate al master, vengono utilizzate come sale studio di emergenza.
2. Aule destinate all'unico master sicuro *Energy Engineering and Operations*, riproposto annualmente con durata Settembre- Luglio.

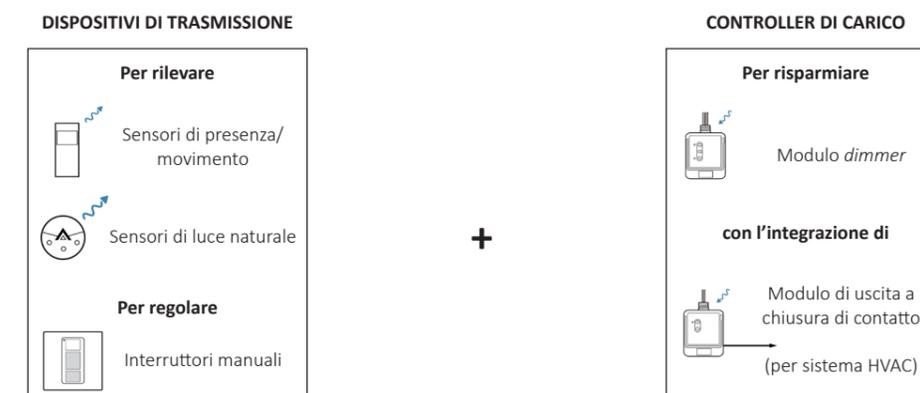
STRATEGIE DI CONTROLLO DELL'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE

Dopo aver definito un profilo di occupazione degli spazi della sede del Lingotto, si è pensato a quali strategie adottare per un maggiore e migliore controllo dei consumi di energia elettrica per illuminazione.

Ci si è pertanto orientati su tre diverse tipologie di sensori, a seconda della destinazione d'uso ed al profilo di utilizzo degli ambienti:

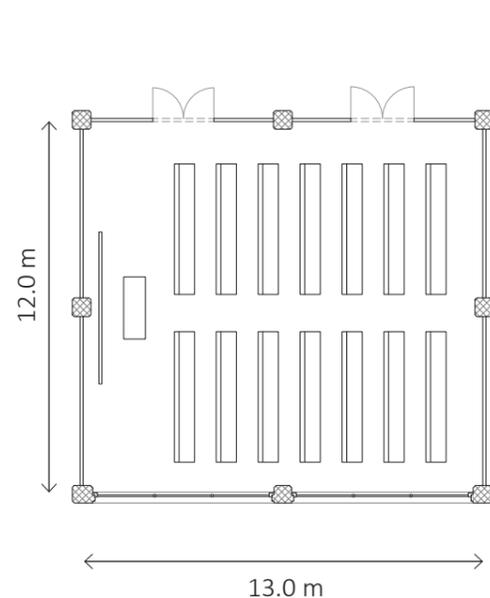
<p>SENSORI DI MOVIMENTO</p> 	<p>Per atri, spazi comuni, zone di passaggio, corridoi e vani scale. L'impianto di illuminazione artificiale viene attivato non appena viene registrato uno spostamento all'interno del <i>range</i> visivo dei sensori.</p>
<p>SENSORI DI PRESENZA</p> 	<p>Per aule ed uffici. Grazie a delle lenti particolarmente sensibili, i sensori riescono ad intercettare anche i movimenti più piccoli dettati dalla presenza di uno o più utenti all'interno di un locale.</p>
<p>SENSORI DI LUMINOSITÀ</p> 	<p>Per aule, uffici e spazi comuni. Per ottimizzare i risparmi sui consumi, si è pensato di abbinare ai precedenti sensori un sistema di fotocellule in grado di rilevare l'illuminamento interno agli ambienti in modo da regolare l'impianto artificiale in funzione della disponibilità di luce naturale.</p>

Per realizzare il sistema di automazione, è stata individuata la gamma di prodotti *Energi TriPak* di *Lutron* che permette di raggiungere livelli elevati di risparmio energetico. Per ogni ambiente si è pensato di installare:

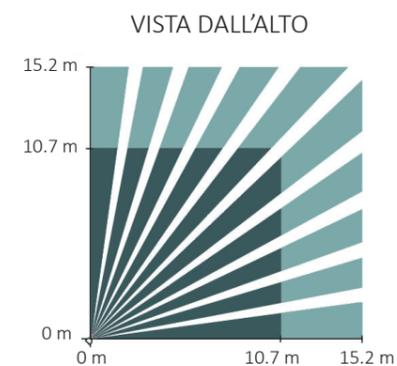


Nella sede del Politecnico esistono due tipologie di aule:

TIPO A :

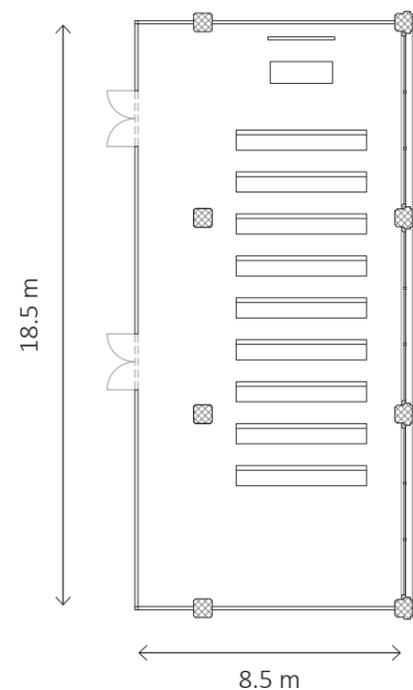


Nelle quali si è pensato di installare un sensore di presenza con montaggio ad angolo ad altezza 2.10 m.

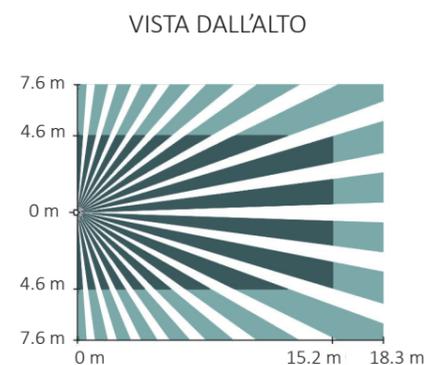


113.8 m² — movimento minimo
232.3 m² — movimento significativo

TIPO B :

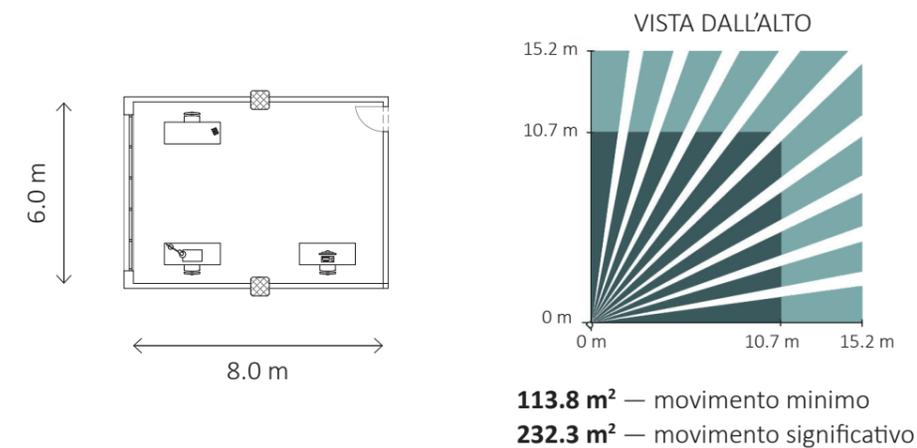


Nelle quali si è pensato di installare un sensore di presenza con montaggio a parete ad altezza 2.10 m.



139.0 m² — movimento minimo
278.7 m² — movimento significativo

Per quanto riguarda gli uffici al quarto e quinto piano, si potrebbe individuare un unico locale tipo, nel quale si è pensato di installare un sensore di presenza con montaggio ad angolo ad altezza 2.10 m:



Per i corridoi e gli spazi comuni si è pensato di installare dei sensori di movimento, con un montaggio a parete, sempre ad altezza 2.10 m:

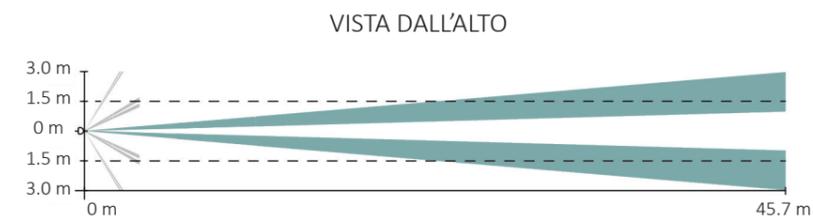
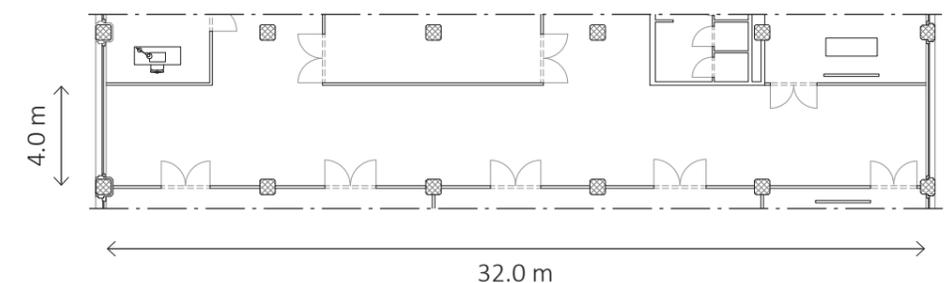
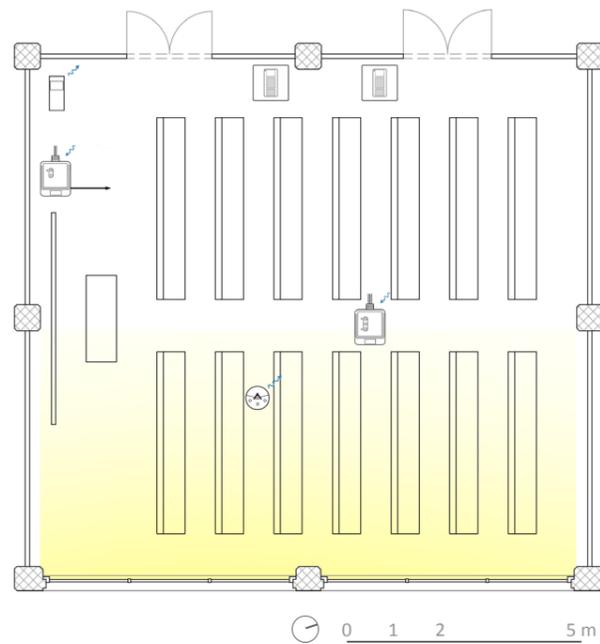


Grafico della lunghezza massima consigliata del sensore in corridoio (sensore centrato nel corridoio)

LARGHEZZA CORRIDOIO	LUNGHEZZA CORRIDOIO
≤ 1.6 m	15.2 m
2.4 m	30.5 m
≥ 3.0 m	45.7 m

1. Diagrammi della copertura dei sensori tratti dalla documentazione reperibile online sul sito di Lutron Prodotti per il risparmio energetico.

AULA TIPO A :



Luce naturale in ingresso



Interruttori montati a parete per garantire sempre il controllo manuale da parte degli utenti



Sensore di presenza montato ad angolo che base alla presenza o assenza di persone invia un segnale ai *controller* per regolare l'intensità luminosa



Sensore di luce diurna che comunica con i *controller* per l'accensione, lo spegnimento e la regolazione dell'illuminazione artificiale in funzione della disponibilità di luce naturale

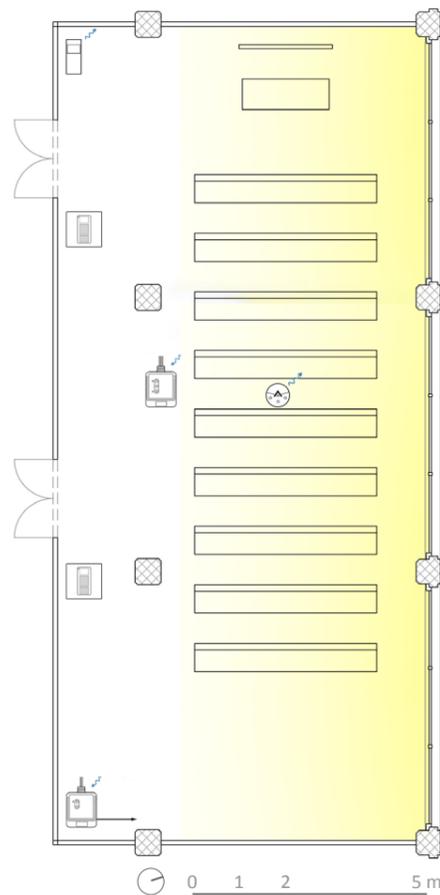


Modulo *dimmer* che regola la potenza da erogare alle sorgenti in risposta al segnale dei sensori

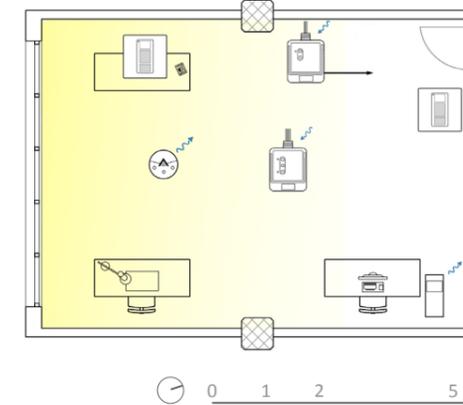


Modulo di uscita a chiusura di contatto che si integra con il sistema HVAC per la regolazione della climatizzazione

AULA TIPO B :

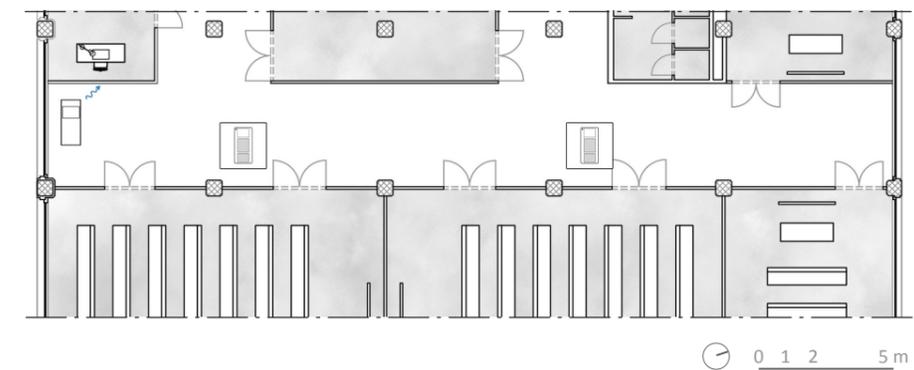


UFFICIO TIPO :



Luce naturale in ingresso

CORRIDOIO TIPO :



Sensore di presenza montato ad angolo che base alla presenza o assenza di persone invia un segnale ai *controller* per regolare l'intensità luminosa

Sensore di luce diurna che comunica con i *controller* per l'accensione, lo spegnimento e la regolazione dell'illuminazione artificiale in funzione della disponibilità di luce naturale

Interruttori montati a parete per garantire sempre il controllo manuale da parte degli utenti

Modulo di uscita a chiusura di contatto che si integra con il sistema HVAC per la regolazione della climatizzazione

Modulo *dimmer* che regola la potenza da erogare alle sorgenti in risposta al segnale dei sensori

Per massimizzare il controllo dell'illuminazione artificiale, si è ritenuto necessario abbinare ai sensori di occupazione un sistema di fotosensori in grado di rilevare la disponibilità di luce naturale in ingresso dalle componenti finestrate nei locali.

In tale maniera ogni fotocellula rileva il valore di illuminamento, trasmettendolo in forma digitale ad un *controller*, il quale a sua volta restituisce, elaborato, l'appropriato comando all'unità di dimmeraggio, utile alla corretta regolazione della potenza delle sorgenti luminose.

Tale costante dialogo tra i sistemi complessi anzidetti permette non solo la semplice accensione/ spegnimento dell'impianto, ma può anche consentire, grazie ad un preciso algoritmo di dimmeraggio, una costante ottimale regolazione dell'intensità della luce artificiale.

L'obiettivo perseguito è quello di garantire un valore di illuminamento medio costante ottimale, rispettoso dei previsti requisiti normativi, semplicemente modificando e rapportando il flusso luminoso generato, in funzione dell'illuminamento naturale rilevato dai fotosensori.

Nello specifico caso della sede del Politecnico, se ad esempio nelle aule viene richiesto dalla UNI EN 12464-1 un valore di illuminamento medio pari a 300 lux, il grafico che mette in relazione l'illuminamento da luce artificiale (EA) con quello da luce naturale (EN) risulta essere:

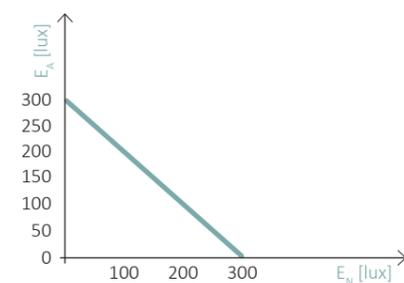


Fig. 76: Illuminamento da luce artificiale, necessario per mantenere un valore costante di 300 lux sul piano di lavoro, in funzione dell'illuminamento disponibile da luce naturale.¹

Il sistema di dimmerazione consente, allora, di adattare l'apporto di luce artificiale al requisito tenendo conto della disponibilità, anche minima, di luce naturale.

1. Fonte: G. Guglielmo, *Interazione tra luce naturale e luce artificiale nella simulazione energetica dinamica mediante il software Radiance*, tesi di master.

Tenuto conto che i risparmi energetici conseguibili dipendono da una molteplicità di variabili, come ad esempio l'esposizione all'irraggiamento e la forma dell'edificio, la posizione geografica, l'orientamento e le condizioni climatiche esterne, non va posto in secondo piano il ruolo dello strategico posizionamento dei terminali di captazione della luce al suo interno, proprio al fine di ottenerne l'ottimale resa ed evitare onerose dispersioni.

Non avendo a disposizione un *Software* di calcolo e non avendo potuto eseguire sopralluoghi né campagne di misure *in situ*, si è proceduto alla consultazione di una bibliografia di riferimento e sono stati approfonditi alcuni *report* di esperienze, per i quali è stato possibile prevedere un ulteriore risparmio energetico del **15 - 20%** circa rispetto allo scenario con i soli sensori di occupazione.



Fig. 77: Accensione dell'impianto di illuminazione artificiale grazie ai sensori di occupazione che rilevano la presenza di utenti nei locali.



Fig. 78: Nonostante la presenza di utenti, l'impianto di illuminazione resta spento grazie all'installazione di sensori di intensità di luce che rilevano una sufficiente disponibilità di luce naturale per consentire il regolare svolgimento del compito visivo.

Dato l'orientamento dell'edificio, la composizione architettonica e le tecnologie costruttive che prevedono un largo impiego del componente vetrato, è poco realistico considerare la possibilità di raggiungere risparmi energetici di circa il 20%. È molto più verosimile pensare che dovendo abbassare le schermature solari nelle ore diurne in cui l'irraggiamento è più intenso, si debba accendere l'impianto di illuminazione artificiale per raggiungere la soglia minima prevista dalla normativa vigente. Su tale osservazione il range del risparmi si restringerebbe ad un più realistico **5 - 10%**.



Fig. 79: Durante le ore di elevato irraggiamento solare, per evitare l'abbagliamento, le schermature vengono abbassate, non consentendo più la stessa disponibilità di luce naturale e pertanto l'impianto di illuminazione artificiale resta acceso.

I° PERIODO DIDATTICO :

Aule / Uffici

PROFILO DI UTILIZZO	n° LOCALI	CONSUMI [kWh]	PERCENTUALE INCIDENZA
NOTO (uso al 100%)	63	20 944.98	87.50%
VARIABILE	9	2 992.14	12.50%
TOTALE	72	23 937.12	100.00%

ANALISI LOCALI CON PROFILO D'UTILIZZO VARIABILE

PERCENTUALE DI UTILIZZO	CONSUMI [kWh]	RISPARMI SUI CONSUMI TOTALI DEL I°P.D. [kWh]
100%	2 992.14	0.00
95%	2 842.53	149.61
80%	2 393.71	598.43
65%	1 944.89	1 047.25
50%	1 496.07	1 496.07
35%	1 047.25	1 944.89
20%	598.43	2 393.71
5%	149.61	2 842.53

Risparmi conseguibili sui consumi elettrici dell'intero edificio: fino a 2 842.53 kWh

36 639.36 - 2 842.53 = 33 796.83 kWh nel primo periodo didattico **- 7.76%**

Atri / Corridoi

TIPO DI AMBIENTE	CONSUMI [kWh]	PERCENTUALE INCIDENZA
ATRI	5 898.24	53.50%
CORRIDOI	6 804.00	46.50%
TOTALE	12 702.24	100.00%

ANALISI SPAZI CON PROFILO D'UTILIZZO VARIABILE

PERCENTUALE DI UTILIZZO	CONSUMI [kWh]	RISPARMI SUI CONSUMI TOTALI DEL I°P.D. [kWh]
100%	6 804.00	0.00
85%	5 783.40	1 020.60
50%	3 402.00	3 402.00
25%	1 701.00	5 103.00

Risparmi conseguibili sui consumi elettrici dell'intero edificio: fino a 5 103.00 kWh

36 639.36 - 5 103.00 = 31 536.36 kWh nel primo periodo didattico **- 13.93%**

II° PERIODO DIDATTICO :Aule / Uffici

PROFILO DI UTILIZZO	n° LOCALI	CONSUMI [kWh]	PERCENTUALE INCIDENZA
NOTO (uso al 100%)	44	14 628.24	61.00%
VARIABILE	28	9 308.88	39.00%
TOTALE	72	23 937.12	100.00%

ANALISI LOCALI CON PROFILO D'UTILIZZO VARIABILE

PERCENTUALE DI UTILIZZO	CONSUMI [kWh]	RISPARMI SUI CONSUMI TOTALI DEL II°P.D. [kWh]
100%	9 308.88	0.00
95%	8 843.44	465.44
80%	7 447.10	1 861.78
65%	6 050.77	3 258.11
50%	4 654.44	4 654.44
35%	3 258.11	6 050.77
20%	1 861.78	7 447.10
5%	465.44	8 843.44

Risparmi conseguibili sui consumi elettrici dell'intero edificio: fino a 8 843.44 kWh

36 639.36 - 8 843.44 = 27 795.92 kWh nel secondo periodo didattico **- 24.14%**

Atri / Corridoi

Non presentando un profilo di utilizzo sensibilmente differente nel corso dell'anno, si può prendere a riferimento la previsione valida per il I° Periodo Didattico.

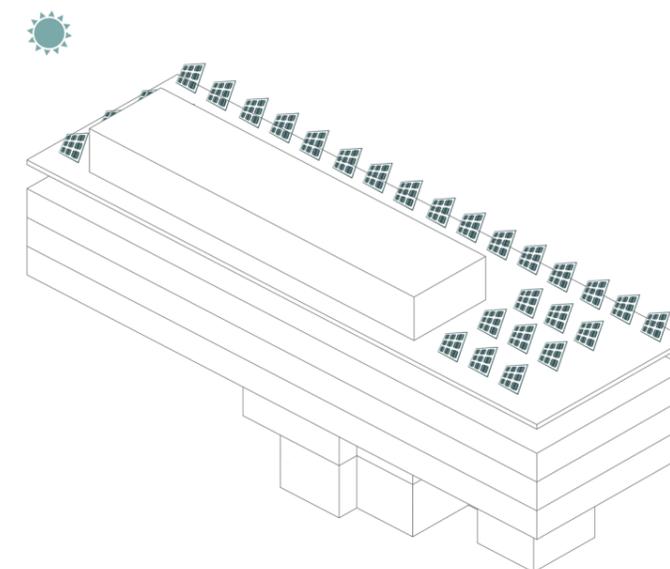
**4.3.4 Installazione di un impianto fotovoltaico**

Nella prospettiva di rendere la sede del Politecnico sempre più autosufficiente dal punto di vista energetico, si è pensato di installare sulla copertura piana dell'edificio un impianto fotovoltaico in grado di produrre energia elettrica. I vantaggi del sistema sono molteplici: innanzitutto il risparmio in bolletta e poi il guadagno derivante dalla cessione al GSE dell'energia non utilizzata.

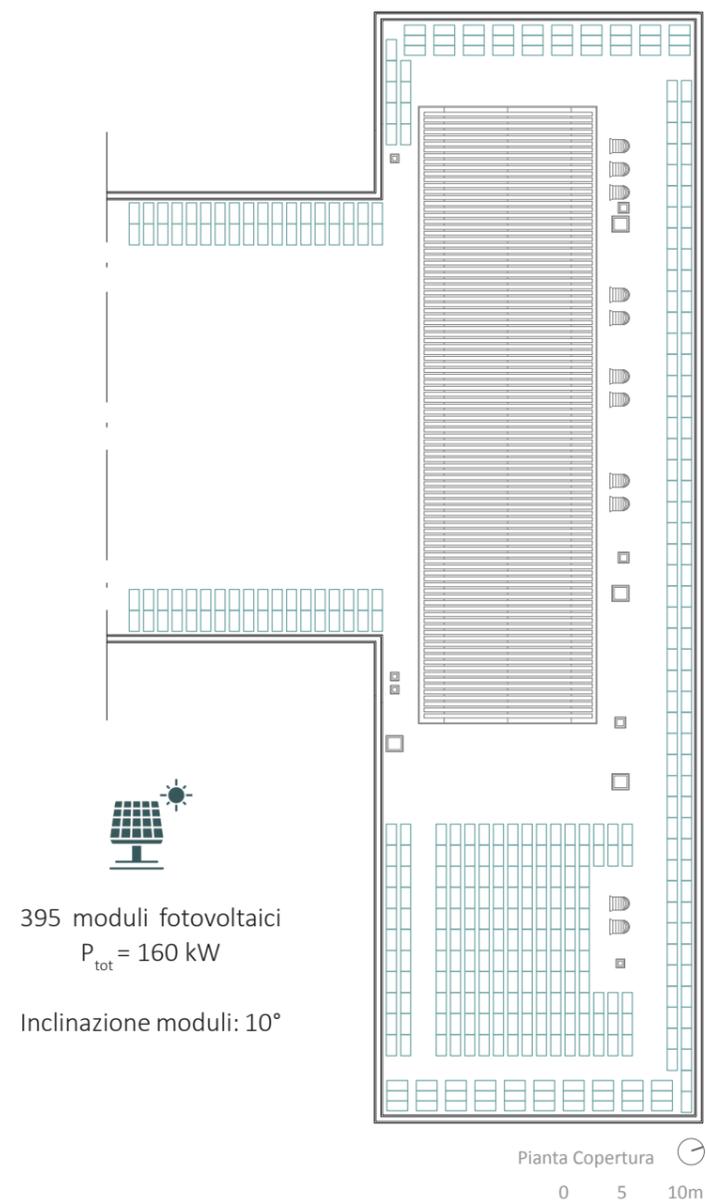
Esistono poi incentivi fiscali che rendono tale investimento ancora più conveniente. Di concerto con l'azienda torinese *Im-el Osasio*, è stato dimensionato un impianto fotovoltaico di 160 kWp, scegliendo moduli SunPower® ad alta prestazione con pannelli monocristallini e vetri temperati antiriflesso.

Per cercare di massimizzare la produzione energetica e quindi coprire il più possibile i consumi elettrici della struttura, si è pensato di sfruttare anche parte della copertura della Rampa Nord, con funzione di collegamento tra la sede del Politecnico e la Galleria commerciale.

Data la copertura piana, i moduli sono stati inclinati di 10°, utilizzando strutture di sostegno di SunBallast® ed inserendo un distanziamento tra una fila di pannelli e l'altra, cosicché i moduli non si ombreggiassero a vicenda.



Planimetria con disposizione dei moduli fotovoltaici SunPower® P19-405-COM



$$d = [\sin(\beta) - \cos(\beta) \cdot \tan(\gamma)] / [\tan(\delta) + \tan(\gamma)] \cdot L$$

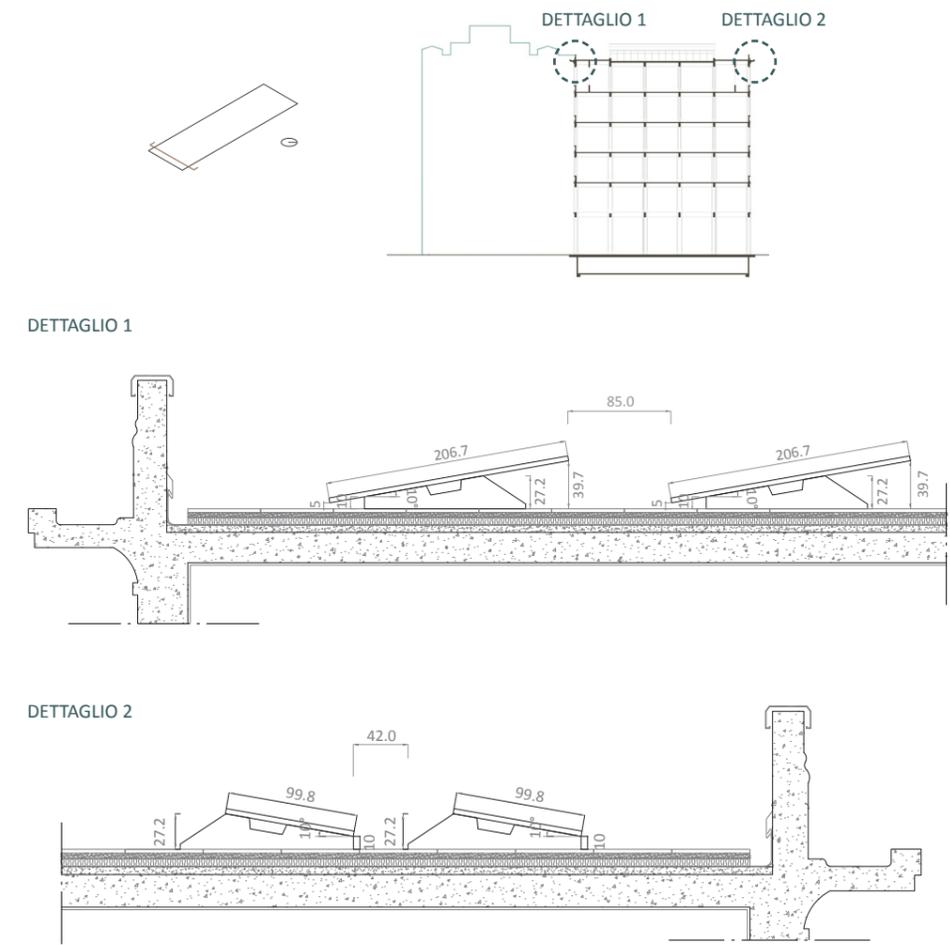
dove:

- d = distanza minima del pannello successivo affinché non si ombreggi
- β = angolo di inclinazione del pannello rispetto all'orizzontale
- γ = angolo di inclinazione del terreno rispetto all'orizzontale
- δ = angolo di declinazione al solstizio d'inverno
- L = lunghezza della sezione del pannello in esame

Distanza tra pannelli, orizzontale = 42 cm ; Distanza tra pannelli, verticale = 85 cm

SISTEMA DI POSIZIONAMENTO DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI

Data la copertura piana dell'edificio, sono stati individuati dei sistemi per consentire l'inclinazione dei pannelli e rendere quindi ottimale la produzione energetica. Sono state scelte zavorre *SunBallast* in cemento non armato che consentono una pendenza di 10° . In caso la copertura fosse stata inclinata la potenza sarebbe stata sicuramente maggiore, in quanto i moduli sarebbero stati a filo copertura, senza quindi dover mantenere un distanziamento tra loro.



AZIENDA :	SUNPOWER	AZIENDA :	SUNBALLAST
MODELLO :	P19-405-COM	MODELLO :	ZAVORRA 10°
TIPO DI PANNELLO :	MONOCRISTALLINO	MATERIALE :	CALCESTRUZZO NON ARMATO
VETRO :	TEMPERATO ANTIRIFLESSO	INCLINAZIONE MODULI:	10°
POTENZA NOMINALE :	405 W	APPLICAZIONE :	TETTI PIANI PENDENZA MAX 5°
DIMENSIONI :	998 x 2 067 x 40 mm	DIMENSIONI :	100 x 1 300 x 500 mm
PESO :	23.1 kg	PESO :	53 kg

In fase di progettazione dell'impianto fotovoltaico, si è dovuto tenere anche in considerazione l'ingombro di tutti quei componenti presenti in copertura, come le unità esterne impiantistiche ed il sistema di chiusura vetrato, che non solo avrebbero ridotto la superficie utile per l'installazione dei pannelli, ma che con il percorso del sole nell'arco della giornata avrebbero potuto generare dei coni d'ombra sulle superfici dei fotovoltaici. La porzione dell'impianto che resta in ombra, com'è noto, non può funzionare 100% delle proprie possibilità, comportando un calo complessivo nella produzione energetica dal momento che tutti i pannelli vengono collegati in serie. Si è dunque pensato di installare sul retro dei moduli fotovoltaici degli ottimizzatori di potenza, collegati a loro volta ad un inverter e ad un sistema di monitoraggio in remoto, capaci di ottimizzare produzione, gestione e manutenzione dell'impianto. Il sistema di monitoraggio, infatti, individua il *deficit* di rendimento, localizza l'eventuale pannello guasto, sporco o ombreggiato, e ne aumenta la produzione elettrica per riportare l'impianto al suo *standard*.

Non è stato ritenuto necessario, al contrario, installare un sistema di accumulo, valutando tale soluzione poco vantaggiosa per la sede del Politecnico da un punto di vista sia energetico che economico. Tale sistema, per definizione, consente di immagazzinare l'energia prodotta in eccesso durante le ore diurne per poterla poi riutilizzare in assenza di luce, ovvero quando l'impianto fotovoltaico non può più produrre energia. Tuttavia, data la destinazione d'uso dell'edificio, non è plausibile sopporre consumi nelle ore serali e tale investimento, pertanto, risulterebbe molto oneroso senza apportare consistenti benefici.

SISTEMA DI OTTIMIZZAZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO



STIMA PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA DA IMPIANTO FOTOVOLTAICO

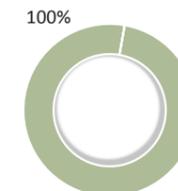


Potenza nominale modulo fotovoltaico: 405 W
 n. moduli: 395
 Località: Torino
 Energia media annua prodotta: 1070 kWh per kW installati

POTENZA NOMINALE MODULO (W)	n. MODULI	POTENZA IMPIANTO (kWp)	ENERGIA PRODOTTA STIMATA (kWh / anno)
405	395	160	171 200

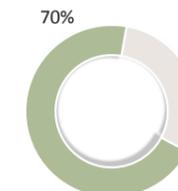
Come si riscontra dalle analisi al paragrafo 4.3.2, ipotizzando di installare un nuovo sistema di illuminazione LED, si otterrebbe un consumo annuale di energia elettrica pari a circa 73 278.72 kWh. Dal momento che i consumi dovuti all'illuminazione corrispondono a circa il 30% delle utenze complessive di energia elettrica, i consumi elettrici totali ammontano ogni anno a circa 244 262.40 kWh. Installando un impianto fotovoltaico di 160 kWp in grado di produrre 171 200 kWh all'anno, si potrebbero coprire interamente i consumi per l'illuminazione dell'edificio, e si riuscirebbe a coprire il 70% dei consumi globali di elettricità.

COPERTURA CONSUMI ILLUMINAZIONE



CONSUMI ANNUALI PER ILLUMINAZIONE = 73 279 kWh

COPERTURA CONSUMI ELETTRICI



CONSUMI ANNUALI ELETTRICI = 244 262 kWh

■ ENERGIA DA IMPIANTO FOTOVOLTAICO ■ CONSUMI ENERGETICI EDIFICIO

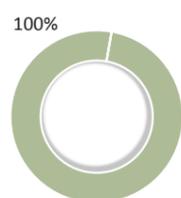
Se si optasse per la soluzione del frangisole fotovoltaico, si potrebbe aggiungere, alla potenza installata in copertura, anche il contributo del frangisole fotovoltaico:



Superficie lamella frangisole: 3.2 m²
 n. lamelle frangisole: 102
 Potenza impianto: 31.5 kWp
 Energia prodotta stimata: 33 678 kWh/anno

La potenza massima installabile, allora, corrisponderebbe a **191.5 kWp** con una produzione totale di energia pari a **204 878 kWh/anno**, riuscendo così a coprire quasi interamente il fabbisogno di energia elettrica dell'edificio.

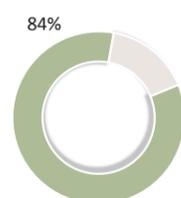
COPERTURA CONSUMI ILLUMINAZIONE



CONSUMI ANNUALI PER ILLUMINAZIONE = 73 279 kWh

■ ENERGIA DA IMPIANTO FOTOVOLTAICO

COPERTURA CONSUMI ELETTRICI



CONSUMI ANNUALI ELETTRICI = 244 262 kWh

■ CONSUMI ENERGETICI EDIFICIO

Nell'eventualità in cui venisse installato un efficiente impianto automatizzato per la gestione dell'edificio, la copertura energetica da parte dell'impianto fotovoltaico aumenterebbe, consentendo il raggiungimento di notevoli benefici energetici ed economici. Infatti, escludendo lo scenario riportato al paragrafo 4.3.3, laddove venga previsto un profilo di occupazione definito al 5%, che potrebbe risultare una previsione forse troppo ottimistica, si potrebbero valutare i risparmi conseguibili secondo lo scenario definito al 50%: i nuovi consumi energetici per illuminazione ammonterebbero a **60 324 kWh/anno**, con una conseguente riduzione dei consumi elettrici complessivi che raggiungerebbero all'incirca un valore di **201 081 kWh/anno**. Al di là dei meri numeri, l'aspetto importante è legato al fatto che il fabbisogno energetico si riduce e l'Amministrazione Pubblica potrebbe valutare, in quelle condizioni, di stipulare con il proprio GSE un contratto di **scambio sul posto**, per poter vendere l'energia prodotta e non consumata e rientrare in minor tempo dalle spese sostenute per l'acquisto del fotovoltaico.

4.4 Strumenti estimativi per la valorizzazione degli interventi

4.4.1 Introduzione al tema

PREMESSA

Nel 1969, il critico d'arte e teorico dell'architettura britannico Reyner Banham afferma che *“l'architettura cosciente, a differenza della costruzione spontanea, dovrebbe essere in grado di fornire in modo razionale soluzioni particolari a problemi specifici”*. Per poter risolvere le criticità in maniera efficace, un progetto di architettura dev'essere *integrato*, deve cioè coinvolgere una molteplicità di aspetti, non solo di tipo tecnico e tecnologico ma anche conservativo, estetico, sociale, economico ed ambientale. Proprio quest'ultimo parametro ha assunto, negli anni, un ruolo sempre più centrale nella progettazione degli interventi, sia *ex novo* sia di riqualificazione. Il concetto di sostenibilità appare per la prima volta nel 1987, quando si definisce lo sviluppo sostenibile come *“uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri.”*¹ Il concetto di sostenibilità, allora, è strettamente legato al benessere delle persone, e quindi alla *qualità* dell'ambiente, più che all'ambiente in quanto tale.

In seguito agli impatti ambientali sempre più dannosi ed alle conseguenti politiche di decarbonizzazione sempre più restrittive, il tema della sostenibilità sta diventando imprescindibile e, in un progetto integrato, va ad affiancarsi ai più tradizionali concetti di costo, tempo e qualità, secondo i quali un intervento è efficace se riesce ad impiegare soluzioni tecnologiche vantaggiose che al tempo stesso permettano di ridurre i tempi, e quindi i costi, di realizzazione.

*“La complessità sempre maggiore richiesta al progetto per raggiungere gli obiettivi di qualità e sostenibilità, che interessa in egual misura la committenza, i progettisti e le imprese, implica un ripensamento del processo progettuale.”*² Per elaborare progetti integrati e sostenibili è allora necessario considerare, insieme ai vincoli economici, anche le ricadute sociali ed il rispetto della sfera ambientale, valutandone così la sostenibilità globale, calcolata sulla base del loro intero ciclo di vita. Queste operazioni, da un lato consentirebbero di stabilire in anticipo i possibili costi di gestione e di fine vita orientando il progetto a scelte più consapevoli, dall'altro garantirebbero un uso più efficiente degli edifici. Nell'ambito specifico del restauro, infatti, l'approccio di tipo *life cycle* permette non solo di individuare soluzioni capaci di valorizzare il patrimonio costruito, ma anche di poterle confrontare per scegliere così la migliore strategia di recupero che apporti benefici all'intero ciclo di vita di un edificio. Prima ancora della riqualificazione, allora, assume un ruolo di primaria importanza la valorizzazione, che si raggiunge allorquando si riesca ad individuare un sistema strategico di variabili che, combinate correttamente tra loro, conducano alla soluzione progettuale più vantaggiosa, capace di ridurre il più possibile i rischi e massimizzare gli investimenti.

La definizione di tali strategie multicriteriali, basate su aspetti economici, ambientali, energetici e socio-culturali, *“nasce dal fatto che si è individuato un possibile progetto,*

1. Rapporto Brundtland, pubblicato nel 1987 dalla WCED Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo

2. V. Marino, F. Thiébat, *Integrazione dei requisiti di sostenibilità ambientale nel progetto di architettura*, «Techne»,

18, 2019, p. 183

*che per dimensione economica, complessità dell'intervento, incertezza sui requisiti, presenza di possibili alternative, richiede un approfondimento prima che possa esserne avviata la realizzazione, pena un elevato rischio di insuccesso. L'obiettivo non è quindi quello di individuare potenziali progetti, bensì quello di dare concretezza a un progetto preidentificato, fornendo tutti gli elementi per l'avvio della fase realizzativa.*¹

Questi strumenti sono a disposizione di tutti gli *stakeholders* presenti sul mercato, coinvolti nella compravendita o che desiderino semplicemente conoscere le potenzialità inespresse di luoghi o edifici soggetti a trasformazione.

Il corretto monitoraggio dei multi-criteria, e dunque delle prestazioni complessive delle proposte progettuali, consente di ottenere ancor prima di un vantaggioso intervento di riqualificazione, un efficace intervento di valorizzazione.

L'APPROCCIO DI TIPO LIFE-CYCLE

Le componenti d'incertezza che influenzano il profitto del progetto sono principalmente connesse ai rischi economici, o di mercato, ed ai rischi tecnici e tecnologici. Per quanto riguarda il primo aspetto, si potrebbe affermare che il controllo delle problematiche appaia più complesso, dal momento che è più difficile fare una previsione sicura della domanda, dell'offerta, e più in generale della dinamica dei prezzi. Per quanto invece riguarda il secondo tema, le componenti d'incertezza possono essere maggiormente controllate in quanto la buona riuscita del progetto dipende dalla corretta ed efficace progettazione, organizzazione e gestione esecutiva. Pertanto, per ridurre al minimo le componenti di rischio è necessario poterle prevedere, considerando non solo l'investimento iniziale ma l'intero ciclo di vita del progetto, per stimare così la sostenibilità dell'intervento. Il concetto di *life cycle*, su cui si basa ormai la maggior parte delle strategie estimative, nasce dalla necessità di "estendere la visione (consolidata) dell'orizzonte temporale del progetto, dalla fase di costruzione all'intero arco di vita utile e, di conseguenza, distribuire i metodi di valutazione economica del progetto lungo tutte le fasi del ciclo di vita".²

Il *Life Cycle Thinking* (LCT) si afferma allora come una nuova impostazione di pensiero che considera una molteplicità di aspetti, di tipo economico, ambientale e sociale, lungo l'intero ciclo di vita di un'opera, consentendo di prevederne i costi e le ricadute in modo da orientare le scelte progettuali verso soluzioni più sostenibili.

Tra le metodologie più importanti basate sull'approccio LCT si distinguono:

- *Life Cycle Assessment* (LCA) definita dalle normative ISO 14040/44: 2006, che consiste nella valutazione degli impatti ambientali di un'opera, cercando di quantificarne l'energia impiegata in fase iniziale, dall'estrazione delle materie prime al trasporto, l'energia consumata durante la fase di gestione, nonché il costo ambientale per il suo smaltimento a fine vita.

- *Life cycle cost analysis* (LCCA), descritta dalla norma ISO 15686-5:2008 come "la tecnica che consente una valutazione sistematica dei costi del ciclo di vita in un periodo di analisi".

1. A. Fecchio, E. Casara, *Le competenze gestionali elemento strategico nella fase decisionale della valorizzazione immobiliare*, «Techne», 3, 2012, p. 68

2. Testo originale: "to extend the (consolidated) vision of the time horizon of the project from the construction phase to the entire life cycle, and, consequently, to distribute the project economic evaluation methods along the life cycle phases."

- E. Fregonara, *Methodologies for Supporting Sustainability in Energy and Buildings. The Contribution of Project Economic Evaluation*, «Energy Procedia», 111, 2017, p. 10

L'analisi del *life cycle cost*, adottata e condivisa tra gli Stati membri europei, costituisce in ambito edilizio un valido strumento per la valutazione economica di progetti *ex novo* o di riqualificazioni di strutture esistenti. Attraverso il calcolo di specifici indicatori economici, la LCCA consente di orientare le decisioni progettuali tra soluzioni alternative, prevedendo i costi lungo l'intero ciclo di vita ed i benefici, sia immediati derivanti da finanziamenti o detrazioni fiscali, sia a lungo termine come i possibili risparmi sui costi di gestione.

- *Social Life Cycle Assessment* (SLCA) che valuta gli impatti sociali e quindi la qualità della vita, il soddisfacimento dei bisogni umani ed il benessere sociale garantiti, ad esempio, da edifici caratterizzati da bassi consumi energetici e da tecnologie che assicurano livelli ottimali di *comfort* degli ambienti interni.

- *Environmental Life Cycle Cost* (ELCC), messa a punto nel 2003 da un gruppo di lavoro della Società di Tossicologia ambientale e chimica (SETAC), che costituisce un metodo per la valutazione della sostenibilità delle prestazioni globali dei progetti, calcolate sinergicamente attraverso indicatori economici ed ambientali.

Al giorno d'oggi, esistono poi molti altri approcci sviluppati sulla base del concetto di *life cycle*, spesso pensati come combinazione di più modelli.

Attualmente, la riqualificazione offre molte opportunità in un settore in cui la maggior parte dell'energia viene consumata da edifici esistenti. L'operazione di *retrofit* su larga scala, se correttamente orientata ad un approccio di tipo *life-cycle*, può quindi determinare significativi risparmi energetici, benefici ambientali e sociali.

In questo lavoro di tesi ci si è maggiormente concentrati sulla valutazione della sostenibilità del progetto attraverso lo strumento di LCC, tenendo tuttavia sempre in considerazione tutti quegli aspetti di tipo energetico-ambientale e sociale.

Sono stati pertanto individuati prodotti ecologici, il più possibile riciclabili, è stato introdotto il sistema di energie rinnovabili e sistemi *smart* per ridurre gli sprechi energetici ad aumentare il benessere degli utenti. La potenziale valorizzazione dell'edificio deriva, allora, dall'ottimizzazione delle sue prestazioni energetiche, che non solo contribuiscono al processo di decarbonizzazione, ma consentono inoltre di ottenere minori consumi, e quindi minori costi di utilizzo, gestione e manutenzione nell'intero arco di vita utile dell'edificio.

4.4.2 Categorie di costo ed approcci per la sostenibilità del progetto

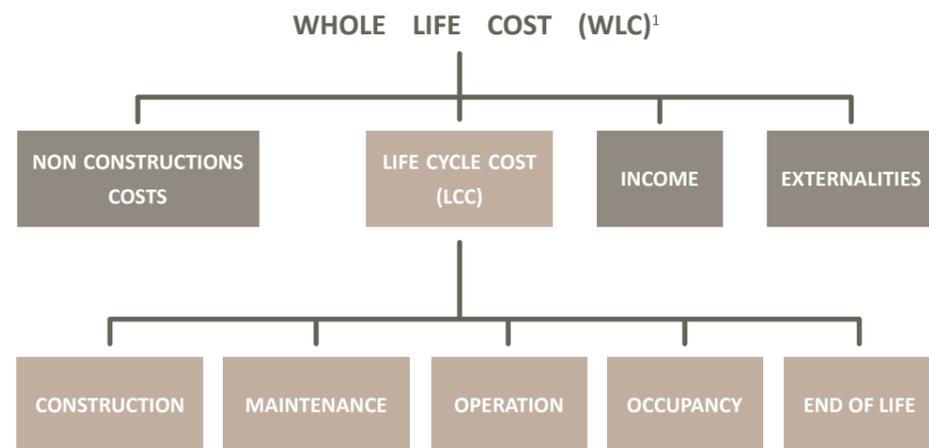
Nella prospettiva *life cycle*, sono tre i concetti di costo più rilevanti: l'intero costo di vita (*Whole Life Cost - WLC*), il costo globale o costo del ciclo di vita (*Life Cycle Cost - LCC*) ed il costo ottimale (*Optimal Cost*).

La prima categoria di costo (WLC) fa riferimento all'intera vita dell'edificio e tiene in considerazione una molteplicità di parametri. Secondo la BS ISO 15686-5, il WLC si può esprimere come "una valutazione economica che considera l'insieme dei flussi di costo rilevanti lungo tutto il periodo di calcolo stabilito. I costi previsti sono quelli necessari al raggiungimento di precisi livelli di prestazione, tra cui affidabilità, sicurezza e disponibilità".

Il costo globale, o LCC, considera invece tutti i costi sostenuti durante ciascuna fase del ciclo di vita dell'edificio, come ad esempio i costi di investimento iniziali, i costi di gestione e di manutenzione annuali, ed i costi di fine vita e smaltimento.

Il parametro del costo globale assume un ruolo centrale nella scelta degli interventi da realizzare perchè, da un lato, consente di valutarne la fattibilità economica, dall'altro, permette di confrontare più scenari tecnicamente fattibili, caratterizzati da diversa efficienza energetica, per individuare quello più vantaggioso dal punto di vista economico.

Per il calcolo del costo globale si adotta la metodologia della *Life Cycle Cost Analysis* o LCCA, finalizzata a supportare gli utenti in fase di valutazione dell'investimento, considerando le fasi di progettazione, costruzione, gestione e dismissione dell'edificio.



1. Schema elaborato sulla base delle definizioni della norma BS ISO 15686-5:2017 e tratto da: Willmott Dixon, *What is Whole Life Costing, Life Cycle Analysis and Life Cycle Costing?*, p.3

La LCCA, se abbinata a tecniche di *Life Cycle Assessment* consente inoltre di individuare i costi cosiddetti esterni, che dipendono cioè da variabili escluse dalle fasi del ciclo di vita, come ad esempio le spese sostenute per assistenza sanitaria in seguito ad un impatto dannoso del progetto sull'ambiente e sulla salute delle persone. È bene infatti tenere sempre in conto che ogni attività può determinare un certo danno ambientale a cui può essere associato un costo economico.

Esiste infine una metodologia di calcolo standardizzata che individua il livello ottimale di prestazione energetica in relazione ai costi e definisce, così, il Costo ottimale di un progetto. Il livello ottimale di costo rappresenta il livello di prestazione energetica che consente di raggiungere il minor costo durante l'intero ciclo di vita stimato e, di conseguenza, il minor impatto ambientale e sociale, ottenuto da un lato con la riduzione delle emissioni climalteranti e dall'altro con un miglioramento del benessere degli utenti.

SCHEMI DI CICLO DI VITA¹

CICLO DI VITA TRADIZIONALE
con produzione di materie di scarto



CICLO DI VITA «SOSTENIBILE»
con applicazione di tecnologie *end of pipe* per ottenere il «ciclo chiuso»



1. Tratto e rielaborato da: S. Stanghellini, *Life cycle cost analysis con esempi applicativi*, dispense di Valutazione economica del progetto, I.U.A.V., p.6

4.4.3 Il metodo LCCA e gli indicatori economici

Il metodo di valutazione LCCA consente di determinare il costo globale di un'opera considerandone il suo intero ciclo di vita. Risulta di fondamentale importanza allorquando si debbano valutare più soluzioni progettuali che garantiscono un determinato livello di prestazione ma che presentano diversi costi o diversi cicli di vita. Può anche costituire un valido strumento per dimostrare come progetti apparentemente poco sostenibili per via degli elevati costi d'investimento, possano tuttavia manifestarsi assai vantaggiosi, assicurando nel corso del tempo una riduzione dei consumi e quindi dei costi di gestione, con conseguenti risparmi energetici ed economici rispetto ad un ipotetico scenario base.

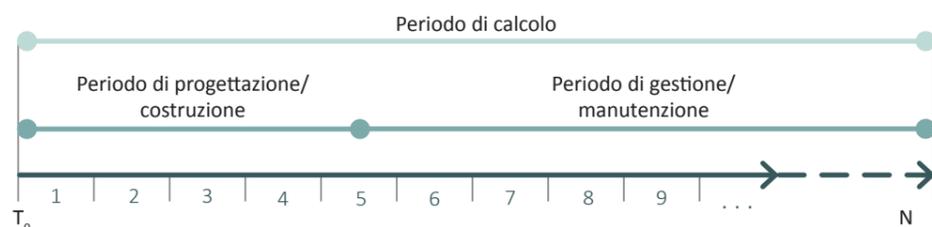
Per l'applicazione di tale metodo estimativo è necessario, per prima cosa, definire gli obiettivi di progetto per orientare verso precise direzioni le eventuali scelte progettuali. In secondo luogo è importante elaborare scenari d'intervento verosimili, che tengano conto dei vincoli economici, tecnici, conservativi, costruttivi e normativi, ed allo stesso tempo proposte efficaci, che prevedano soluzioni tecnologiche per le quali sia possibile accedere ad agevolazioni fiscali come detrazioni o finanziamenti.

È inoltre fondamentale definire un periodo di calcolo, ossia un intervallo temporale a cui riferire le ricadute dei costi e dei benefici del progetto, ed è altresì importante individuare i costi "rilevanti", ossia tutte quelle spese da considerare e valutare lungo tutto il periodo di calcolo.

IL PERIODO DI CALCOLO

Il periodo di calcolo viene determinato in relazione al ciclo di vita dell'edificio e dei suoi componenti tecnologici, sulla base delle prescrizioni all'Allegato I del Regolamento Delegato (UE) della Commissione 244/2012. Il periodo di calcolo è caratterizzato da:

- un tempo zero, o t_0 , che corrisponde solitamente al momento in cui si valuta la fattibilità di un investimento. Si tratta, infatti, del momento in cui tutti i flussi di costo futuri vengono attualizzati tramite un saggio di sconto, definendo così il valore di costo globale del progetto;
- un periodo di progettazione/costruzione, che costituisce l'arco temporale in cui vengono sostenute le spese d'investimento iniziale, legate all'attività di progettazione e costruzione dell'edificio o riqualificazione dell'esistente;
- un periodo di gestione e manutenzione, successivo alla fase di progettazione, in cui si sostengono spese legate, per l'appunto, alla gestione e corretta manutenzione dell'immobile;
- l'anno N che rappresenta l'ultimo anno analizzato e segna quindi la fine del periodo di studio. Tale periodo, per i progetti edilizi, corrisponde generalmente ad un numero compreso tra i 20 e i 30 anni.



I COSTI RILEVANTI

Con l'espressione "costi rilevanti" s'intendono tutte quelle voci di spesa che variano da uno scenario d'intervento all'altro e che quindi influenzano il valore di costo globale dei progetti. Generalmente, sono classificate in tre macro-categorie:

- Costi di investimento, che comprendono le spese di progettazione, acquisto, costruzione o riqualificazione.
- Costi operativi, che coinvolgono sia le spese annuali di esercizio legate ai consumi energetici sia le spese periodiche di manutenzione e sostituzione.
- Costi di fine vita, che comprendono le spese per smaltimento e dismissione dei componenti edilizi al termine del loro ciclo di vita.

A tali costi si aggiunge poi il valore residuo, ossia il valore che riporta l'immobile al termine del suo ciclo di vita. Tale parametro può essere positivo o negativo a seconda dello stato di conservazione dell'edificio: se viene preceduto dal segno + si ricade nella condizione in cui il bene abbia mantenuto un certo valore e possa quindi essere riproposto sul mercato. Se riporta segno -, al contrario, l'edificio dovrà essere rifunzionalizzato o smaltito.

La formula matematica che esprime il costo globale e riporta tutte le voci di costo ed il valore residuo è la seguente:

$$LCC = C_i + \sum_{t=0}^N \frac{C_g + C_m}{(1+r)^t} \pm V_r \left(\frac{1}{(1+r)^N} \right)$$

dove:

LCC	=	costo globale o costo del ciclo di vita riferito all'anno iniziale t_0
C_i	=	costi di investimento iniziali
C_g	=	costi di gestione annuali
C_m	=	costi periodici di manutenzione
t	=	periodo di calcolo o arco temporale di studio
r	=	saggio di sconto
V_r	=	valore residuo alla fine del periodo di calcolo
N	=	numero di anni del periodo di calcolo

GLI INDICATORI ECONOMICI

Per valutare la sostenibilità e la convenienza di un progetto, l'indicatore principale è l'NPV o *Net Present Value*, tradotto in lingua italiana come VAN o Valore Attuale Netto. Tale parametro esprime l'ammontare dei flussi di cassa futuri di una soluzione progettuale, attualizzati nel tempo t_0 tramite il saggio di sconto r e relativi alle sole voci di costo rilevanti. "L'NPV consente di valutare le singole voci di costo indicate alle diverse fasi del ciclo di vita, compresa la fase di fine vita. Permette di scomporre nei dettagli ed analizzare il singolo importo delle voci di costo rilevanti. Per tale motivo, l'indicatore è adatto non solo per analizzare l'investimento nel suo insieme, ma anche l'impatto che ciascuna componente di costo ha sul risultato finanziario complessivo."¹ L'NPV consente di individuare il valore di costo globale di un progetto e stabilire, di conseguenza, la fattibilità dell'investimento. Nella valutazione di più alternative progettuali, è possibile inoltre confrontare i diversi indicatori NPV per determinare la soluzione più vantaggiosa in termini economici, ossia quella caratterizzata dal valore NPV più basso.

Tale parametro è descritto dalla seguente espressione matematica:

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

dove:

- N = numero di anni del periodo di calcolo
- t = periodo di calcolo o arco temporale di studio
- C_t = somma dei costi rilevanti
- r = saggio di sconto

Per conoscere di quanto sia più conveniente una soluzione progettuale rispetto alle altre, si ricorre all'indicatore economico di NS o *Net Saving*, in lingua italiana Risparmio Netto.

Tale parametro è dato dalla differenza tra l'NPV dello scenario base e quello dell'alternativa di progetto. Dal momento che il VAN individua il costo globale di una soluzione progettuale, l'indicatore di risparmio netto si può anche esprimere come:

$$NS = LCC_{\text{scenario base}} - LCC_{\text{alternativa}}$$

Un'alternativa progettuale si definisce conveniente rispetto allo scenario base quando il parametro è positivo, ovvero $NS > 0$. È poi importante tenere in considerazione che

1. Testo originale: "NPV permits to consider the single cost items referred to the different life cycle stages, including the end-of-life stage. It permits to breakdown into detail and analyze the single amount of relevant cost items. For this reason, NPV is indicated to analyze not only the investment as a whole, but also each cost component impact on the overall financial result."

- E. Fregonara, R. Giordano, D. G. Ferrando, S. Pattono, *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage*, «Buildings», 2017, p.8

quando le alternative progettuali vengono confrontate, gli scenari devono fare riferimento allo stesso periodo di calcolo e allo stesso saggio di attualizzazione.

Altri importanti indicatori economici per la valutazione della sostenibilità di un progetto sono:

SIR

Il *Saving to investment ratio*, o Risparmio in rapporto all'investimento, esprime il rapporto tra quanto risparmiato in fase di gestione e l'importo sostenuto per l'investimento. Se tale parametro è maggiore di 1, allora la soluzione progettuale analizzata si può definire conveniente rispetto allo scenario base.

Anche in questo caso, per ottenere un risultato verosimile è necessario che ogni operazione di confronto venga eseguita considerando lo stesso arco temporale di studio e lo stesso saggio di attualizzazione.

$$SIR = \frac{O_s}{A_i}$$

dove:

- O_s = *operational saving* o risparmio in fase di gestione
- A_i = *additional investment costs* o costi aggiuntivi d'investimento

AIRR

L' *Adjusted Internal Rate of Return* o Tasso interno di rendimento, definisce il rendimento annuale di un progetto calcolato lungo tutto il periodo di calcolo stabilito. Essendo, di nuovo, una misura relativa è necessario uniformare tutte le alternative soggette a confronto, utilizzando gli stessi periodo di studio e saggi di attualizzazione. Una soluzione è vantaggiosa rispetto al caso base quando l'indicatore è maggiore rispetto al saggio di sconto, vale a dire $AIRR > r$.

$$AIRR = 1 + r (SIR)^{\frac{1}{N}} - 1$$

dove:

- r = saggio di sconto
- N = numero di anni del periodo di calcolo

PayBack Period

Il Periodo di rimborso definisce il tempo necessario per rientrare delle spese d'investimento iniziali e costituisce un valido strumento per comprendere la fattibilità di un intervento e quindi accettare o rifiutare una certa soluzione progettuale.

Tale parametro può essere di due tipi, semplice (SPB) o scontato (DPB).

Dato un certo risparmio annuale, il *Simple Payback Period* esprime il tempo necessario per ritornare dell'investimento senza valutare l'effetto dello sconto all'attualità dei valori annuali di risparmio.

Al contrario, il *Discounted Payback Period* tiene conto del saggio di sconto nel calcolo degli anni necessari per coprire l'investimento iniziale.

$$SPB = \frac{U_i}{Em_a}$$

dove:

U_i = investimento iniziale

Em_a = entrate medie annue

$$DPB = F + \frac{A}{NO}$$

dove:

F = valore del flusso di cassa cumulato scontato dell'ultimo periodo negativo

A = valore assoluto del valore di cassa scontato alla fine del periodo F

NO = valore del flusso di cassa scontato non cumulato immediatamente successivo all'ultimo periodo negativo F

4.5 Analisi economica degli scenari di progetto

4.5.1 Quadro metodologico

In questo lavoro di tesi, l'adozione di un approccio multidisciplinare è stata di fondamentale importanza per poter individuare soluzioni progettuali che non fossero vantaggiose solamente da un punto di vista energetico, ma che fossero convenienti anche sotto il profilo economico, dei costi vivi, con ricadute positive sul benessere degli utenti ed allo stesso tempo con basso impatto ambientale. Per tale ragione, accanto ad una simulazione energetica dettagliata è stata affiancata una valutazione economica accurata di tutti gli scenari progettuali, ponendo la necessaria attenzione alle fasi iniziali, di gestione e di fine vita dell'edificio stesso.

Tale metodologia multicriteriale è stata utile per selezionare soluzioni preferibili tra diverse alternative progettuali e per raggiungere così il livello ottimale di costo, inteso "come il livello di prestazione energetica che porta al minor costo durante il ciclo di vita economico stimato."¹

La presente valutazione economica è stata quindi condotta tenendo costantemente in considerazione gli orientamenti del Regolamento Delegato (UE) della Commissione n. 244/2012, che integra la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia.

Preliminarmente è stato definito un periodo di calcolo lungo il quale sviluppare l'analisi di costo globale, che è stato fissato a 30 anni nel rispetto dalla normativa vigente.²

È stato poi definito il fattore di sconto per attualizzare al tempo zero i flussi di cassa futuri e poter in tal modo prevedere il costo globale di ciascuno scenario progettuale. Definiti tali parametri si è poi proceduto nella realizzazione di una LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*) dello scenario base, simulando i soli costi di gestione ed individuando così un NPV (*Net Present Value*) a cui sottoporre a confronto tutti gli scenari alternativi proposti. Nella definizione dei diversi pacchetti d'intervento è stata posta grande attenzione sia agli aspetti economici sia a quelli ambientali, prediligendo la scelta di prodotti e soluzioni con un orientamento a basso impatto ambientale. Ove possibile, è stata pertanto richiesta alle aziende fornitrici la Dichiarazione Ambientale di Prodotto (DAP), conforme alla ISO 14025 e alla EN 15804, per conoscere le caratteristiche e le prestazioni ambientali dei prodotti ed orientare le scelte verso soluzioni più sostenibili e consapevoli. Tale strategia è stata dettata dalla necessità di rispondere e rispettare i requisiti minimi ambientali contenuti nelle politiche di approvvigionamento sostenibile che, da un punto di vista economico, si può inoltre tradurre in minori costi operativi lungo il ciclo di vita e di minori costi di smaltimento al termine di utilizzo. In fase di progettazione, allora, insieme ai preventivi utili per definire le voci di costo dell'investimento iniziale, sono state richieste anche le schede tecniche e le prestazioni ambientali dei materiali, per poter orientare le

1. Testo originale: "as the energy performance level which leads to the lowest cost during the estimated economic life cycle."

- C. Becchio, D. G. Ferrando, E. Fregonara, N. Milani, C. Quercia, V. Serra, *The cost optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin*, «Energy Procedia», 78, 2015, p. 1039

2. Testo: "Gli Stati membri utilizzano un periodo di calcolo di 30 anni per gli edifici residenziali e pubblici e un periodo di calcolo di 20 anni per gli edifici commerciali non residenziali."

- Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, *REGOLAMENTO DELEGATO (UE) N. 244/2012 DELLA COMMISSIONE del 16 gennaio 2012*, paragrafo 4.2, p. 25

decisioni verso prodotti più sostenibili e con alta percentuale di riciclabilità, “allo scopo di ridurre - come testualmente impone la normativa - l’impatto ambientale sulle risorse naturali, di aumentare l’uso di materiali riciclati aumentando così il recupero dei rifiuti, con particolare riguardo ai rifiuti da demolizione e costruzione”.¹ Relativamente alle spese da sostenere lungo l’arco di vita dell’edificio, è stata poi ipotizzata una stima dei costi di manutenzione ed una per i costi di gestione.

Per definire l’ammontare dei costi di gestione nelle diverse LCCA, contrariamente a quanto solitamente accade, non è stato utilizzato il fabbisogno teorico ottenuto dal modello energetico, dal momento che la simulazione, svolta secondo il modulo *standard* e quindi sottoposta ad inevitabili semplificazioni, non sarebbe stata del tutto attendibile.

Per ottenere quindi dei risultati efficaci e realistici è stato considerato, come base di chilowattora effettivamente consumati, il dato teorico fornito dal modello e poi normalizzato sulla base dei Gradi Giorno al paragrafo 3.5.8.

Per conoscere i nuovi fabbisogni energetici, e quindi i relativi costi di gestione, di ciascuna alternativa progettuale, tale valore è stato di volta in volta ridotto della percentuale di variazione energetica emersa nei confronti tra fabbisogni al capitolo 4.2.

I cosiddetti *savings* che compaiono nel calcolo del LCC, invece, comprendono da un lato i risparmi sui costi di gestione ottenibili con un nuovo fabbisogno energetico dell’edificio rispetto allo scenario dello stato di fatto; dall’altro, dalle possibili agevolazioni fiscali previste per l’efficientamento energetico. Al termine della compilazione di tutte le voci di costo, si è pertanto potuto stabilire per ogni pacchetto progettuale il valore di costo globale, applicando la metodologia descritta dalla norma EN 15459 ed esprimendolo in funzione della superficie lorda di pavimento dell’edificio.

Per poter valutare la convenienza economica delle diverse alternative, è stato inoltre indispensabile considerare altri indicatori economici, primo tra tutti il *Net Saving*, in grado di descrivere quanto l’Amministrazione Pubblica, investendo nei diversi scenari progettuali, avrebbe potuto risparmiare rispetto al caso base.

È stato valutato imprescindibile, poi, il ricorso ad altri due parametri: il *SIRR*, per poter individuare il miglior rapporto tra investimento e risparmio economico sul fabbisogno energetico annuo dell’immobile, ed il *Simple PayBack Period*, per calcolare il tempo di ritorno dell’investimento e verificare così l’effettiva sostenibilità dell’intervento.

Al termine delle singole valutazioni sugli scenari di progetto, è stato poi elaborato un confronto complessivo orientato a stabilire quale alternativa presentasse il miglior valore ottimale di costo, ossia il livello ottimale di prestazione energetica in relazione ai costi, e ad individuare pertanto quale fosse l’investimento più vantaggioso.

1. Criteri Ambientali Minimi per l’affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici, 2.4 Specifiche tecniche dei componenti edili

4.5.2 Definizione dei pacchetti progettuali

I pacchetti progettuali proposti ed analizzati al paragrafo 4.2.5 comprendono interventi relativi esclusivamente all’involucro dell’edificio e non coinvolgono, ad esempio, le soluzioni tecnologiche descritte al paragrafo successivo. Nella prospettiva di individuare pacchetti progettuali il più possibile completi ed in grado di apportare i maggiori benefici all’intera struttura, si è quindi pensato di definire degli scenari più articolati che comprendessero sia gli interventi sull’involucro sia le soluzioni impiastiche. Tale decisione è stata inoltre dettata dal fatto che i soli interventi sull’involucro sono piuttosto onerosi e sarebbe molto difficile rientrare velocemente dalle spese d’investimento. Abbinando a tali scelte interventi di carattere impiantistico ad alto risparmio energetico, come *Relamping* ed impianto fotovoltaico, si potrebbero ottenere risparmi maggiori in tempi minori. Con tali proposte, inoltre, non si ottimizzerebbero soltanto i consumi di energia termica, ma anche quelli di energia elettrica che, data la destinazione d’uso della sede del Politecnico, attualmente sono considerevoli e non possono essere trascurati.

Tutti gli interventi proposti sono stati valutati come indispensabili per un efficace miglioramento delle prestazioni energetiche globali dell’edificio. Essendo tuttavia il *focus* rivolto ai serramenti, si è pensato di studiare pacchetti di soluzioni che avessero degli interventi fissi ed altri variabili, notando proprio come fosse il costo dei serramenti ad influenzare l’esito finale della valutazione economica.

All’interno della macro-voce “costi di efficientamento” di ciascun pacchetto progettuale, si è dunque fatta una distinzione tra interventi cosiddetti “non rilevanti”, ossia che non variano tra le alternative progettuali e quelli invece “rilevanti”, che determinano una sostanziale differenza sui costi totali di investimento tra le varie opzioni.

Per ragioni logistiche e al fine di una migliore comprensione si è pertanto scelto di analizzare singolarmente ognuno di questi costi non rilevanti e di inserire all’interno di ogni pacchetto soltanto la voce di costo complessivo annuale.

I costi cosiddetti “non rilevanti” comprendono il costo dei seguenti interventi:

- Isolamento degli orizzontamenti
- Progettazione di una bussola d’ingresso
- *Relamping* a LED
- Installazione di un impianto fotovoltaico

ISOLAMENTO DEGLI ORIZZONTAMENTI

COSTI DI EFFICIENTAMENTO

	m ²	€/m ²	€/anno
Isolamento solaio P2 con pannelli <i>BetonStyr XPS</i> , sp.6 cm	2 000.00	34.42	68 840.00
Iva (22%)			15 145.00
Prestazione Manodopera (Rimozione pav. flottante, applicazione isolamento, posa pannelli modulari) + acquisto nuovi piedini di supporto	2 000.00	47.25	94 500.00
Isolamento intradosso solaio PT Politecnico e Aula Magna con pannelli <i>Multipor</i> , sp. 8 cm (fornitura materiale + trasporto + manodopera)	690.00	63.65	43 919.00
Totale			222 403.00

COSTI OPERATIVI

Costi di manutenzione

		€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>	846.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento	2 224.00
Totale		3 070.00

Costi di gestione

		kWh/anno	€/anno
Costi climatizzazione	riscaldamento e ACS	960 082.20	105 414.00
	raffrescamento	906 567.35	78 933.00
Totale			184 348.00

SAVINGS

Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base

	€/anno
Climatizzazione	10 796.00
Totale	10 796.00

COSTI DI FINE VITA

	m ²	€/m ²	€/anno
Rimozione e smaltimento isolante	2 690.00	2.60	6 994.00
Totale			6 994.00

FLUSSO DEI COSTI

	annuo	equival. di periodo
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%
NPV		4 655 400.81

PROGETTAZIONE DI UNA BUSSOLA D'INGRESSO

COSTI DI EFFICIENTAMENTO

	m ²	€/m ²	€/anno
Nuove vetrate <i>Mogs</i> (sistema apribile)	54.60	570	31 122.00
Nuove vetrate <i>Mogs</i> (porzione fissa)	42.80	460	19 688.00
Installazione (25%)			12 703.00
Totale			63 513.00

COSTI OPERATIVI

Costi di manutenzione

		€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>	275.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento	635.00
Totale		911.00

Costi di gestione

		kWh/anno	€/anno
Costi climatizzazione	riscaldamento e ACS	1 045 422.84	114 785.00
	raffrescamento	882 604.33	76 847.00
Totale			191 631.00

SAVINGS

Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base

	€/anno
Climatizzazione	3 513.00
Totale	3 513.00

COSTI DI FINE VITA

	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti	97.40	30.00	2 922.00
Totale			2 922.00

FLUSSO DEI COSTI

	annuo	equival. di periodo
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%
NPV		4 649 573.16

RELAMPING A LED

COSTI DI EFFICIENTAMENTO

	n°	€/pz	€/anno
Sorgenti Tipo A	945	6.30	5 954.00
Sorgenti Tipo B	597	22.00	13 134.00
Sorgenti Tipo C	128	36.90	4 723.00
Sorgenti Tipo D	580	25.00	14 500.00

Totale **38 311.00**

COSTI OPERATIVI

Costi di manutenzione

		€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>	787.50
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento	383.00

Totale **1 170.50**

Costi di gestione

	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Costi consumi illuminazione	73279	0.25	18 027.00

Totale **18 027.00**

SAVINGS

Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base

	€/anno
Illuminazione	127 233.00

Totale **127 233.00**

Agevolazioni fiscali

		€/anno
Conto Termico 2.0	40% su costi di efficientamento	15 324.00

Totale **15 324.00**

COSTI DI FINE VITA

	kg	€/kg	€/anno
Smontaggio e smaltimento sorgenti luminose	450.00	2.25	1 013.00

Totale **1 013.00**

FLUSSO DEI COSTI

	annuo	equival. di periodo
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%

NPV **- 2 454 729.89**

INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO

COSTI DI EFFICIENTAMENTO

	KW	€/KW	€/anno
Impianto fotovoltaico <i>SunPower</i>	160.00	1 100.00	176 000.00
Frangisole fotovoltaico <i>Metra</i>	31.50	2 000.00	63 000.00

Totale **239 000.00**

COSTI OPERATIVI

Costi di manutenzione

		€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>	1 400.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	per i primi 25 anni	00.00

Totale **1 400.00**

Costi di gestione

	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Costi consumi elettrici	1 271 338.00	0.25	312 749.00

Totale **312 749.00**

SAVINGS

Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base

	€/anno
Elettricità	50 400.00

Totale **50 400.00**

COSTI DI FINE VITA

	€/anno
Smontaggio pannelli fotovoltaici	2 252.00
Smaltimento pannelli fotovoltaici	00.00

Totale **2 252.00**

FLUSSO DEI COSTI

	annuo	equival. di periodo
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%

NPV **6 639 989.42**

Una volta definiti i costi rilevanti e quelli non rilevanti, si è proceduto alla definizione dei pacchetti progettuali, la cui composizione viene descritta nella seguente tabella riassuntiva:

PACCHETTO	COMPOSIZIONE
PACCHETTO A (APRIBILE)	serramenti <i>Secco</i> apribili + Costi non Rilevanti (schermature+isolamento+bussola+Relamping LED+Fotovoltaico)
PACCHETTO A (FISSO)	serramenti <i>Secco</i> fissi + Costi non Rilevanti (schermature+isolamento+bussola+Relamping LED+Fotovoltaico)
PACCHETTO B (APRIBILE)	serramenti <i>Mogs</i> apribili + Costi non Rilevanti (schermature+isolamento+bussola+Relamping LED+Fotovoltaico)
PACCHETTO B (FISSO)	serramenti <i>Mogs</i> fissi + Costi non Rilevanti (schermature+isolamento+bussola+Relamping LED+Fotovoltaico)
PACCHETTO C (APRIBILE)	serramenti <i>Fresialuminio</i> apribili+Costi non Rilevanti (schermature+isolamento+bussola+Relamping LED+Fotovoltaico)
PACCHETTO C (FISSO)	serramenti <i>Fresialuminio</i> fissi+Costi non Rilevanti (schermature+isolamento+bussola+Relamping LED+Fotovoltaico)
PACCHETTO D (PELLICOLE)	Pellicole solari + Costi non Rilevanti (schermature+isolamento+bussola+Relamping LED+Fotovoltaico)

Per quanto invece riguarda lo scenario di domotica, proposto in forma di suggestione ed utile a comprendere le ulteriori possibilità di massimizzare il controllo sulla gestione dei consumi, si è valutato *a latere*, senza quindi includere il suo contributo all'interno dei pacchetti progettuali appena definiti.

4.5.3 Valutazione economica dei pacchetti progettuali

Per poter individuare la soluzione più vantaggiosa è stato necessario confrontare le diverse opzioni con il caso base. È stata quindi sviluppata un'analisi del LLC dello stato di fatto considerando i costi di gestione attuali, lo stesso periodo di calcolo e lo stesso saggio di attualizzazione.

Come detto, ogni pacchetto è stato pertanto confrontato con lo scenario base, senza tuttavia mai perdere di vista i requisiti minimi di legge e nel massimo rispetto parametrico possibile, tenuto ben conto che l'intervento riguarda un Bene Culturale e quindi soggetto a vincoli di tutela.

SCENARIO BASE				
COSTI DI COSTRUZIONE / RISTRUTTURAZIONE				
				-
Totale				-
COSTI OPERATIVI				
Costi di gestione				
		kWh/anno	€/kWh	€/anno
Costi climatizzazione	riscaldamento e ACS	1 066 758.02		117 127.00
	raffrescamento	896 044.63		78 017.16
Costi consumi elettrici		590 486.40	0.25	145 260.00
Totale				340 404.16
COSTI DI FINE VITA				
				-
Totale				-
FLUSSO DEI COSTI				
	annuo	equival. di periodo		
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%		
NPV				8 111 209.97

PACCHETTO A (APRIBILE)			
COSTI DI EFFICIENTAMENTO			
Costi non rilevanti			
			€/anno
Isolamento orizzontamenti			222 403.00
Bussola d'ingresso			63 513.00
Relamping a LED			38 311.00
Impianto fotovoltaico			239 000.00
Totale			563 227.00
Costi rilevanti			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti attuali	3 403.70	50.00	170 185.00
Serramenti <i>Secco Sistemi</i>	2 340.00	965.00	2 258 100.00
Vetrata <i>Secco Sistemi P1</i>	545.00	880.00	479 600.00
Vetrata <i>Secco Sistemi PT</i>	518.70	920.00	477 204.00
Installazione (25%)			803 726.00
Totale			4 188 815.00
COSTI OPERATIVI			
Costi di manutenzione			
			€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>		10 915.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento		47 520.00
Totale			58 436.00
Costi di gestione			
		kWh/anno	€/kWh
Costi climatizzazione	riscaldamento e ACS	791 001.06	86 850.00
	raffrescamento	622 661.7	54 214.00
Costi consumi elettrici		9 688.56	0.25
Totale			143 447.00
SAVINGS			
Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base			
			€/anno
Climatizzazione			54 080.00
Elettricità			68 427.00
Totale			122 507.00
Agevolazioni fiscali			
			€/anno
Conto Termico 2.0	40% su Relamping		15 324.00
Totale			15 324.00
COSTI DI FINE VITA			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti	3 501.10	30.00	105 033.00
Rimozione e smaltimento isolante	2 690.00	2.60	6 994.00
	kg	€/kg	
Smontaggio pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.30	2 252.00
Smaltimento pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.00	0.00
Smontaggio e smaltimento sorgenti luminose	450.00	2.25	1 013.00
Totale			115 291.00
FLUSSO DEI COSTI			
	annuo		equival. di periodo
Saggio di attualizzazione	2.50%		2.50%
NPV			6 400 315.51

VALUTAZIONE DELLA CONVENIENZA ECONOMICA RISPETTO ALLO SCENARIO BASE

Calcolo del Net Saving

$$NS = LCC_{\text{scenario base}} - LCC_{\text{pacchetto A (apribile)}}$$

$$NS = 8\,111\,209.97 - 6\,400\,315.51$$

$$NS = 1\,710\,894.46$$

Calcolo del Saving to investment ratio

$$SIR = \frac{O_s}{A_i} \quad \text{€}$$

$$SIR = \frac{122\,507}{4\,736\,718} \quad \text{€}$$

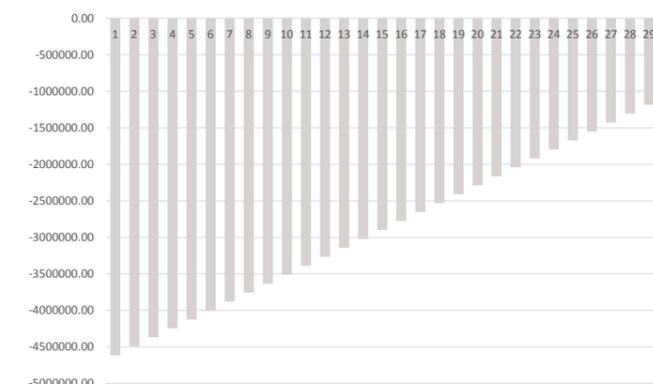
$$SIR = 0.026$$

Calcolo del Pay Back Period

ANNO	INVESTIMENTO INIZIALE	RISPARMIO PROGRESSIVO
1	4736718.00	122507.00
2	4736718.00	245014.00
3	4736718.00	367521.00
4	4736718.00	490028.00
5	4736718.00	612535.00
6	4736718.00	735042.00
7	4736718.00	857549.00
8	4736718.00	980056.00
9	4736718.00	1102563.00
10	4736718.00	1225070.00
11	4736718.00	1347577.00
12	4736718.00	1470084.00
13	4736718.00	1592591.00
14	4736718.00	1715098.00
15	4736718.00	1837605.00
16	4736718.00	1960112.00
17	4736718.00	2082619.00
18	4736718.00	2205126.00
19	4736718.00	2327633.00
20	4736718.00	2450140.00
21	4736718.00	2572647.00
22	4736718.00	2695154.00
23	4736718.00	2817661.00
24	4736718.00	2940168.00
25	4736718.00	3062675.00
26	4736718.00	3185182.00
27	4736718.00	3307689.00
28	4736718.00	3430196.00
29	4736718.00	3552703.00
30	4736718.00	3675210.00

Copertura dei costi d'investimento

$$SPB = \frac{4\,736\,718}{122\,507} = 38.66 \text{ anni}$$



A fronte di un investimento iniziale di 4 736 718 € ed un risparmio medio annuale di 122 507 €, il pacchetto progettuale presenta un periodo di rientro superiore all'arco temporale preso in esame.

PACCHETTO A (FISSO)			
COSTI DI EFFICIENTAMENTO			
Costi non rilevanti			
			€/anno
Isolamento orizzontamenti			222 403.00
Bussola d'ingresso			63 513.00
Relamping a LED			38 311.00
Impianto fotovoltaico			239 000.00
Totale			563 227.00
Costi rilevanti			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti attuali	3 403.70	50.00	170 185.00
Serramenti "tutto-fisso" <i>Secco Sistemi</i>	2 340.00	750.00	1 775 000.00
Vetrata <i>Secco Sistemi</i> P1	545.00	880.00	479 600.00
Vetrata <i>Secco Sistemi</i> PT	518.70	920.00	477 204.00
Installazione (25%)			677 951.00
Totale			3 559 940.00
COSTI OPERATIVI			
Costi di manutenzione			
			€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>		15 650.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento		41 232.00
Totale			56 882.00
Costi di gestione			
		kWh/anno	€/kWh
Costi climatizzazione	riscaldamento e ACS	786 413.99	86 346.00
	raffrescamento	623 916.13	54 323.00
Costi consumi elettrici		9 688.56	0.25
Totale			143 053.00
SAVINGS			
Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base			
			€/anno
Climatizzazione			54 475.00
Elettricità			68 427.00
Totale			122 902.00
A agevolazioni fiscali			
			€/anno
EcoBonus (50%)	detrazione massima :		60 000.00
Conto Termico 2.0	40% su Relamping		15 324.00
Totale			75 324.00
COSTI DI FINE VITA			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti	3 501.10	30.00	105 033.00
Rimozione e smaltimento isolante	2 690.00	2.60	6 994.00
	kg	€/kg	
Smontaggio pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.30	2 252.00
Smaltimento pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.00	0.00
Smontaggio e smaltimento sorgenti luminose	450.00	2.25	1 013.00
Totale			115 291.00
FLUSSO DEI COSTI			
	annuo		equival. di periodo
Saggio di attualizzazione	2.50%		2.50%
NPV			5 602 465.78

VALUTAZIONE DELLA CONVENIENZA ECONOMICA RISPETTO ALLO SCENARIO BASE

Calcolo del *Net Saving*

$$NS = LCC_{\text{scenario base}} - LCC_{\text{pacchetto A (apribile)}}$$

$$NS = 8\,111\,209.97 - 5\,602\,465.78$$

$$NS = 2\,508\,744.19$$

Calcolo del *Saving to investment ratio*

$$SIR = \frac{O_s}{A_i} \quad \text{€}$$

$$SIR = \frac{122\,902}{4\,047\,843} \quad \text{€}$$

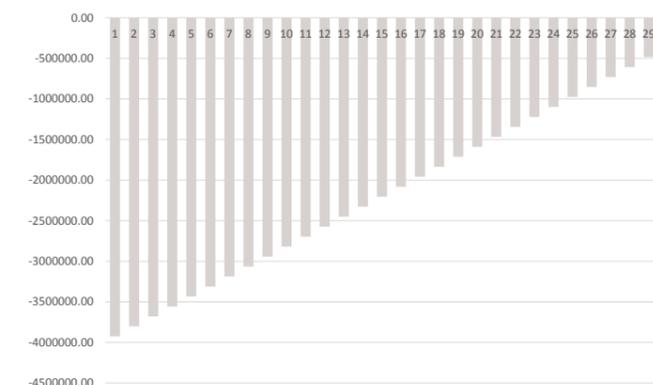
$$SIR = 0.030$$

Calcolo del *Pay Back Period*

ANNO	INVESTIMENTO INIZIALE	RISPARMIO PROGRESSIVO
1	4047843.00	122902.00
2	4047843.00	245804.00
3	4047843.00	368706.00
4	4047843.00	491608.00
5	4047843.00	614510.00
6	4047843.00	737412.00
7	4047843.00	860314.00
8	4047843.00	983216.00
9	4047843.00	1106118.00
10	4047843.00	1229020.00
11	4047843.00	1351922.00
12	4047843.00	1474824.00
13	4047843.00	1597726.00
14	4047843.00	1720628.00
15	4047843.00	1843530.00
16	4047843.00	1966432.00
17	4047843.00	2089334.00
18	4047843.00	2212236.00
19	4047843.00	2335138.00
20	4047843.00	2458040.00
21	4047843.00	2580942.00
22	4047843.00	2703844.00
23	4047843.00	2826746.00
24	4047843.00	2949648.00
25	4047843.00	3072550.00
26	4047843.00	3195452.00
27	4047843.00	3318354.00
28	4047843.00	3441256.00
29	4047843.00	3564158.00
30	4047843.00	3687060.00

Copertura dei costi d'investimento

$$SPB = \frac{4\,047\,843}{122\,902} = 32.94 \text{ anni}$$



I costi di investimento ammontano a 4 047 843 €, notevolmente ridotti rispetto alla soluzione "apribile" proprio grazie alle agevolazioni fiscali previste dall'Ecobonus. A fronte di un risparmio medio annuale di 122 902 €, il pacchetto progettuale presenta un periodo di rientro superiore all'intervallo temporale considerato, che corrisponde infatti a 32.94 anni.

PACCHETTO B (APRIBILE)			
COSTI DI EFFICIENTAMENTO			
Costi non rilevanti			
			€/anno
Isolamento orizzontamenti			222 403.00
Bussola d'ingresso			63 513.00
Relamping a LED			38 311.00
Impianto fotovoltaico			239 000.00
Totale			563 227.00
Costi rilevanti			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti attuali	3 403.70	50.00	170 185.00
Serramenti Mogs	2 340.00	780.00	1 825 200.00
Vetrare Mogs P1	545.00	460.00	250 700.00
Vetrare Mogs PT	518.70	570.00	295 659.00
Installazione (25%)			592 890.00
Totale			3 134 634.00
COSTI OPERATIVI			
Costi di manutenzione			
			€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>		15 718.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento		36 979.00
Totale			52 697.00
Costi di gestione			
		kWh/anno	€/kWh
Costi climatizzazione	riscaldamento e ACS	777 346.55	85 351.00
	raffrescamento	625 439.41	54 456.00
Costi consumi elettrici		9 688.56	0.25
Totale			142 190.00
SAVINGS			
Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base			
			€/anno
Climatizzazione			55 337.00
Elettricità			68 427.00
Totale			123 764.00
Agevolazioni fiscali			
			€/anno
EcoBonus (50%)	detrazione massima :		60 000.00
Conto Termico 2.0	40% su Relamping		15 324.00
Totale			75 324.00
COSTI DI FINE VITA			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti	3 501.10	30.00	105 033.00
Rimozione e smaltimento isolante	2 690.00	2.60	6 994.00
	kg	€/kg	
Smontaggio pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.30	2 252.00
Smaltimento pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.00	0.00
Smontaggio e smaltimento sorgenti luminose	450.00	2.25	1 013.00
Totale			115 291.00
FLUSSO DEI COSTI			
	annuo	equival. di periodo	
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%	
NPV			5 071 560.11

VALUTAZIONE DELLA CONVENIENZA ECONOMICA RISPETTO ALLO SCENARIO BASE

Calcolo del Net Saving

$$NS = LCC_{\text{scenario base}} - LCC_{\text{pacchetto A (apribile)}}$$

$$NS = 8\,111\,209.97 - 5\,071\,560.11$$

NS = 3 039 649.86

Calcolo del Saving to investment ratio

$$SIR = \frac{O_s}{A_i} \quad \text{€}$$

$$SIR = \frac{123\,764}{3\,622\,537} \quad \text{€}$$

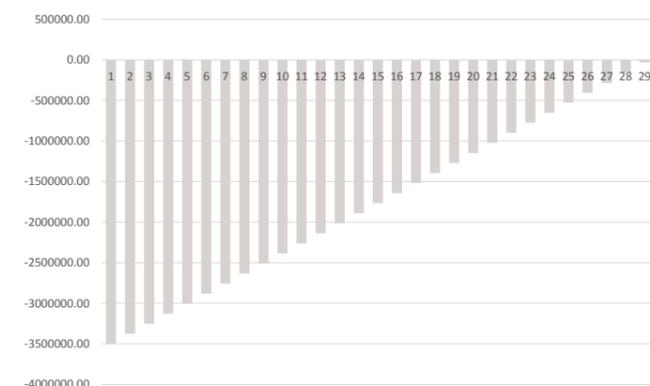
SIR = 0.034

Calcolo del Pay Back Period

ANNO	INVESTIMENTO INIZIALE	RISPARMIO PROGRESSIVO
1	3622537.00	123764.00
2	3622537.00	247528.00
3	3622537.00	371292.00
4	3622537.00	495056.00
5	3622537.00	618820.00
6	3622537.00	742584.00
7	3622537.00	866348.00
8	3622537.00	990112.00
9	3622537.00	1113876.00
10	3622537.00	1237640.00
11	3622537.00	1361404.00
12	3622537.00	1485168.00
13	3622537.00	1608932.00
14	3622537.00	1732696.00
15	3622537.00	1856460.00
16	3622537.00	1980224.00
17	3622537.00	2103988.00
18	3622537.00	2227752.00
19	3622537.00	2351516.00
20	3622537.00	2475280.00
21	3622537.00	2599044.00
22	3622537.00	2722808.00
23	3622537.00	2846572.00
24	3622537.00	2970336.00
25	3622537.00	3094100.00
26	3622537.00	3217864.00
27	3622537.00	3341628.00
28	3622537.00	3465392.00
29	3622537.00	3589156.00
30	3622537.00	3712920.00

Copertura dei costi d'investimento

$$SPB = \frac{3\,622\,537}{123\,764} = 29.27 \text{ anni}$$



Rispetto al pacchetto A, il pacchetto B prevede dei costi d'investimento sensibilmente più contenuti, grazie anche al contributo delle agevolazioni fiscali per il risparmio energetico. I costi di investimento ammontano a 3 622 537 €, mentre il risparmio medio annuale è di 123 764 €. Il tempo di ritorno dell'investimento è di 29.27 anni.

PACCHETTO B (FISSO)			
COSTI DI EFFICIENTAMENTO			
Costi non rilevanti			
			€/anno
Isolamento orizzontamenti			222 403.00
Bussola d'ingresso			63 513.00
Relamping a LED			38 311.00
Impianto fotovoltaico			239 000.00
Totale			563 227.00
Costi rilevanti			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti attuali	3 403.70	50.00	170 185.00
Serramenti "tutto-fisso" Mogs	2 340.00	495.00	1 158 300.00
Vetrata Mogs P1	545.00	460.00	250 700.00
Vetrata Mogs PT	518.70	570.00	295 659.00
Installazione (25%)			426 165.00
Totale			2 301 009.00
COSTI OPERATIVI			
Costi di manutenzione			
			€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>		15 737.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento		28 642.00
Totale			44 379.00
Costi di gestione			
		kWh/anno	€/kWh
Costi climatizzazione	riscaldamento e ACS	774 466.31	85 034.00
	raffrescamento	626 335.46	54 534.00
Costi consumi elettrici		9 688.56	0.25
Totale			141 952.00
SAVINGS			
Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base			
			€/anno
Climatizzazione			55 576.00
Elettricità			68 427.00
Totale			124 003.00
Agevolazioni fiscali			
			€/anno
EcoBonus (50%)	detrazione massima :		60 000.00
Conto Termico 2.0	40% su Relamping		15 324.00
Totale			75 324.00
COSTI DI FINE VITA			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti	3 501.10	30.00	105 033.00
Rimozione e smaltimento isolante	2 690.00	2.60	6 994.00
	kg	€/kg	
Smontaggio pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.30	2 252.00
Smaltimento pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.00	0.00
Smontaggio e smaltimento sorgenti luminose	450.00	2.25	1 013.00
Totale			115 291.00
FLUSSO DEI COSTI			
	annuo	equival. di periodo	
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%	
NPV			4 096 801.40

VALUTAZIONE DELLA CONVENIENZA ECONOMICA RISPETTO ALLO SCENARIO BASE

Calcolo del *Net Saving*

$$NS = LCC_{\text{scenario base}} - LCC_{\text{pacchetto A (apribile)}}$$

$$NS = 8\,111\,209.97 - 4\,096\,801.40$$

$$NS = 4\,014\,408.57$$

Calcolo del *Saving to investment ratio*

$$SIR = \frac{O_s}{A_i} \quad \text{€}$$

$$SIR = \frac{124\,003}{2\,788\,912} \quad \text{€}$$

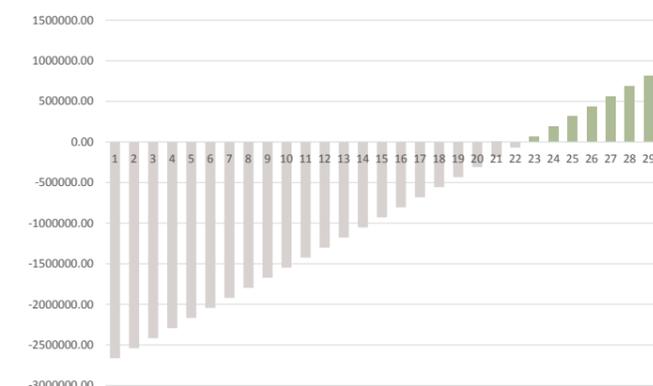
$$SIR = 0.044$$

Calcolo del *Pay Back Period*

ANNO	INVESTIMENTO INIZIALE	RISPARMIO PROGRESSIVO
1	2788912.00	124003.00
2	2788912.00	248006.00
3	2788912.00	372009.00
4	2788912.00	496012.00
5	2788912.00	620015.00
6	2788912.00	744018.00
7	2788912.00	868021.00
8	2788912.00	992024.00
9	2788912.00	1116027.00
10	2788912.00	1240030.00
11	2788912.00	1364033.00
12	2788912.00	1488036.00
13	2788912.00	1612039.00
14	2788912.00	1736042.00
15	2788912.00	1860045.00
16	2788912.00	1984048.00
17	2788912.00	2108051.00
18	2788912.00	2232054.00
19	2788912.00	2356057.00
20	2788912.00	2480060.00
21	2788912.00	2604063.00
22	2788912.00	2728066.00
23	2788912.00	2852069.00
24	2788912.00	2976072.00
25	2788912.00	3100075.00
26	2788912.00	3224078.00
27	2788912.00	3348081.00
28	2788912.00	3472084.00
29	2788912.00	3596087.00
30	2788912.00	3720090.00

Copertura dei costi d'investimento

$$SPB = \frac{2\,788\,912}{124\,003} = 22.49 \text{ anni}$$



A fronte di un investimento iniziale pari a 2 788 912 € ed un risparmio medio annuale di 124 003 €, è possibile rientrare delle spese iniziali nell'arco temporale di 22.49 anni.

PACCHETTO C (APRIBILE)			
COSTI DI EFFICIENTAMENTO			
Costi non rilevanti			
			€/anno
Isolamento orizzontamenti			222 403.00
Bussola d'ingresso			63 513.00
Relamping a LED			38 311.00
Impianto fotovoltaico			239 000.00
Totale			563 227.00
Costi rilevanti			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti attuali	3 403.70	50.00	170 185.00
Serramenti <i>Fresialluminio</i>	2 340.00	450.00	1 053 000.00
Vetrate <i>Fresialluminio</i> P1	545.00	350.00	190 750.00
Vetrate <i>Fresialluminio</i> PT	518.70	470.00	243 789.00
Installazione (25%)			371 885.00
Totale			2 029 609.00
COSTI OPERATIVI			
Costi di manutenzione			
			€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>		15 728.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento		25 928.00
Totale			41 656.00
Costi di gestione			
	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Costi climatizzazione	riscaldamento e ACS	775 533.07	85 151.00
	raffrescamento	626 335.46	54 534.00
Costi consumi elettrici	9 688.56	0.25	2 383.00
Totale			142 069.00
SAVINGS			
Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base			
			€/anno
Climatizzazione			55 459.00
Elettricità			68 427.00
Totale			123 886.00
Agevolazioni fiscali			
			€/anno
EcoBonus (50%)	detrazione massima :		60 000.00
Conto Termico 2.0	40% su Relamping		15 324.00
Totale			75 324.00
COSTI DI FINE VITA			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti	3 501.10	30.00	105 033.00
Rimozione e smaltimento isolante	2 690.00	2.60	6 994.00
	kg	€/kg	
Smontaggio pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.30	2 252.00
Smaltimento pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.00	0.00
Smontaggio e smaltimento sorgenti luminose	450.00	2.25	1 013.00
Totale			115 291.00
FLUSSO DEI COSTI			
	annuo	equival. di periodo	
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%	
NPV			3 788 274.58

VALUTAZIONE DELLA CONVENIENZA ECONOMICA RISPETTO ALLO SCENARIO BASE

Calcolo del Net Saving

$$NS = LCC_{\text{scenario base}} - LCC_{\text{pacchetto A (apribile)}}$$

$$NS = 8\,111\,209.97 - 3\,788\,274.58$$

$$NS = 4\,322\,935.39$$

Calcolo del Saving to investment ratio

$$SIR = \frac{O_s}{A_i} \quad \text{€}$$

$$SIR = \frac{123\,886}{2\,517\,512} \quad \text{€}$$

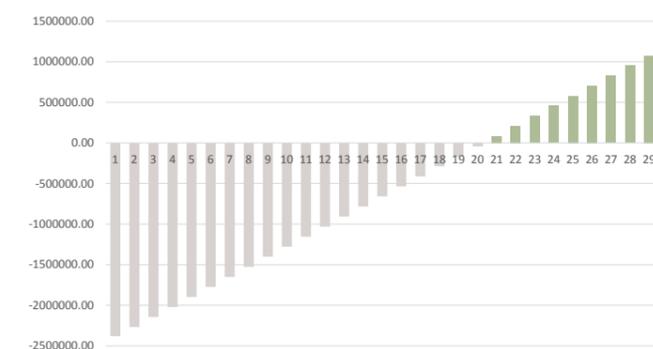
$$SIR = 0.049$$

Calcolo del Pay Back Period

ANNO	INVESTIMENTO INIZIALE	RISPARMIO PROGRESSIVO
1	2517512.00	137036.00
2	2517512.00	247772.00
3	2517512.00	371658.00
4	2517512.00	495544.00
5	2517512.00	619430.00
6	2517512.00	743316.00
7	2517512.00	867202.00
8	2517512.00	991088.00
9	2517512.00	1114974.00
10	2517512.00	1238860.00
11	2517512.00	1362746.00
12	2517512.00	1486632.00
13	2517512.00	1610518.00
14	2517512.00	1734404.00
15	2517512.00	1858290.00
16	2517512.00	1982176.00
17	2517512.00	2106062.00
18	2517512.00	2229948.00
19	2517512.00	2353834.00
20	2517512.00	2477720.00
21	2517512.00	2601606.00
22	2517512.00	2725492.00
23	2517512.00	2849378.00
24	2517512.00	2973264.00
25	2517512.00	3097150.00
26	2517512.00	3221036.00
27	2517512.00	3344922.00
28	2517512.00	3468808.00
29	2517512.00	3592694.00
30	2517512.00	3716580.00

Copertura dei costi d'investimento

$$SPB = \frac{2\,517\,512}{123\,886} = 20.32 \text{ anni}$$



Rispetto a tutte le soluzioni progettuali precedenti, il pacchetto C prevede un periodo di ritorno più breve e, pertanto, un numero minore di anni per rientrare dalle spese iniziali d'investimento. A fronte di un investimento iniziale pari a 2 517 512 € ed un risparmio medio annuale di 123 886 €, il *PayBack Period* corrisponde a 20.32 anni.

PACCHETTO C (FISSO)			
COSTI DI EFFICIENTAMENTO			
Costi non rilevanti			
			€/anno
Isolamento orizzontamenti			222 403.00
Bussola d'ingresso			63 513.00
Relamping a LED			38 311.00
Impianto fotovoltaico			239 000.00
Totale			563 227.00
Costi rilevanti			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti attuali	3 403.70	50.00	170 185.00
Serramenti "tutto-fisso" <i>Fresialluminio</i>	2 340.00	350.00	819 000.00
Vetrata <i>Fresialluminio</i> P1	545.00	350.00	190 750.00
Vetrata <i>Fresialluminio</i> PT	518.70	470.00	243 789.00
Installazione (25%)			313 385.00
Totale			1 737 109.00
COSTI OPERATIVI			
Costi di manutenzione			
			€/anno
Spese per manutenzione ordinaria	8% su <i>savings</i>		15 789.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento		23 003.00
Totale			38 792.00
Costi di gestione			
	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Costi climatizzazione	riscaldamento e ACS	766 999.00	84 214.00
	raffrescamento	628 127.55	54 690.00
Costi consumi elettrici	9 688.56	0.25	2 383.00
Totale			141 288.00
SAVINGS			
Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base			
			€/anno
Climatizzazione			56 240.00
Elettricità			68 427.00
Totale			124 667.00
Agevolazioni fiscali			
			€/anno
EcoBonus (50%)	detrazione massima :		60 000.00
Conto Termico 2.0	40% su Relamping		15 324.00
Totale			75 324.00
COSTI DI FINE VITA			
	m ²	€/m ²	€/anno
Smontaggio e smaltimento serramenti	3 501.10	30.00	105 033.00
Rimozione e smaltimento isolante	2 690.00	2.60	6 994.00
	kg	€/kg	
Smontaggio pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.30	2 252.00
Smaltimento pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.00	0.00
Smontaggio e smaltimento sorgenti luminose	450.00	2.25	1 013.00
Totale			115 291.00
FLUSSO DEI COSTI			
	annuo	equival. di periodo	
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%	
NPV			3 414 653.85

VALUTAZIONE DELLA CONVENIENZA ECONOMICA RISPETTO ALLO SCENARIO BASE

Calcolo del Net Saving

$$NS = LCC_{\text{scenario base}} - LCC_{\text{pacchetto A (apribile)}}$$

$$NS = 8\,111\,209.97 - 3\,414\,653.85$$

NS = 4 696 556.12

Calcolo del Saving to investment ratio

$$SIR = \frac{O_s}{A_i} \quad \text{€}$$

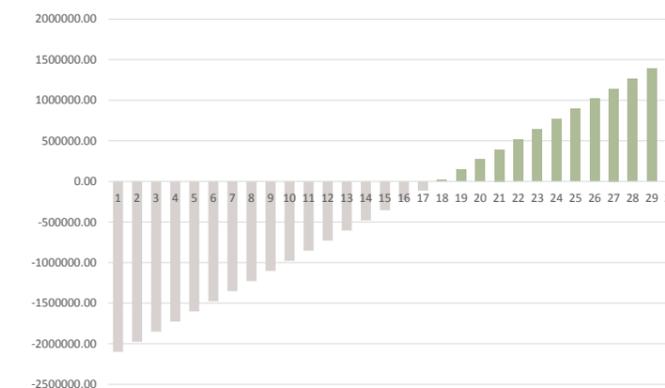
$$SIR = \frac{124\,667}{2\,225\,012} \quad \text{€}$$

SIR = 0.056

Calcolo del Pay Back Period

ANNO	INVESTIMENTO INIZIALE	RISPARMIO PROGRESSIVO
1	2225012.00	124667.00
2	2225012.00	249334.00
3	2225012.00	374001.00
4	2225012.00	498668.00
5	2225012.00	623335.00
6	2225012.00	748002.00
7	2225012.00	872669.00
8	2225012.00	997336.00
9	2225012.00	1122003.00
10	2225012.00	1246670.00
11	2225012.00	1371337.00
12	2225012.00	1496004.00
13	2225012.00	1620671.00
14	2225012.00	1745338.00
15	2225012.00	1870005.00
16	2225012.00	1994672.00
17	2225012.00	2119339.00
18	2225012.00	2244006.00
19	2225012.00	2368673.00
20	2225012.00	2493340.00
21	2225012.00	2618007.00
22	2225012.00	2742674.00
23	2225012.00	2867341.00
24	2225012.00	2992008.00
25	2225012.00	3116675.00
26	2225012.00	3241342.00
27	2225012.00	3366009.00
28	2225012.00	3490676.00
29	2225012.00	3615343.00
30	2225012.00	3740010.00

Copertura dei costi d'investimento

$$SPB = \frac{2\,225\,012}{124\,667} = 17.85 \text{ anni}$$


Rispetto alla soluzione "apribile", lo scenario "tutto-fisso" del pacchetto C consente benefici maggiori. A fronte di un vantaggioso investimento di 2 225 012 € ed un risparmio medio annuale di 124 667 €, il tempo di rientro delle spese iniziali corrisponde a 17.85 anni.

PACCHETTO D (PELLICOLE SOLARI)			
COSTI DI EFFICIENTAMENTO			
Costi non rilevanti			
			€/anno
Isolamento orizzontamenti			222 403.00
Bussola d'ingresso			63 513.00
Relamping a LED			38 311.00
Impianto fotovoltaico			239 000.00
Totale			563 227.00
Costi rilevanti			
	m ²	€/m ²	€/anno
Pellicole a controllo solare (prezzo prodotto montato+costo piattaforme per installazione+ore di lavoro manodopera+rischio lavorazione)	2 269.00	180.00	408 420.00
Totale			408 420.00
COSTI OPERATIVI			
Costi di manutenzione			
			€/anno
Spese per manutenzione ordinaria			9 404.00
Accantonamento per riparazioni/sostituzioni	1% su costi efficientamento		9 716.00
Totale			19 120.00
Costi di gestione			
	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Costi climatizzazione riscaldamento e ACS	918 799.67		100 882.00
	raffrescamento		59 465.00
Costi consumi elettrici	9 688.56	0.25	2 383.00
Totale			162 730.00
SAVINGS			
Risparmi sui costi di gestione rispetto allo Scenario Base			
			€/anno
Climatizzazione			34 798.00
Elettricità			68 427.00
Totale			103 225.00
Agevolazioni fiscali			
			€/anno
Conto Termico 2.0	40% su Relamping		15 324.00
Totale			75 324.00
COSTI DI FINE VITA			
	m ²	€/m ²	€/anno
Rimozione e smaltimento isolante	2 690.00	2.60	6 994.00
Rimozione e smaltimento pellicole	ogni 10 anni		499 180.00
	kg	€/kg	
Smontaggio pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.30	2 252.00
Smaltimento pannelli fotovoltaici	7 505.00	0.00	0.00
Smontaggio e smaltimento sorgenti luminose	450.00	2.25	1 013.00
Totale			509 438.00
FLUSSO DEI COSTI			
	annuo	equival. di periodo	
Saggio di attualizzazione	2.50%	2.50%	
NPV			5 652 920.41

VALUTAZIONE DELLA CONVENIENZA ECONOMICA RISPETTO ALLO SCENARIO BASE

Calcolo del Net Saving

$$NS = LCC_{\text{scenario base}} - LCC_{\text{pacchetto A (aprile)}}$$

$$NS = 8\,111\,209.97 - 5\,652\,920.41$$

NS = 2 458 289.56

Calcolo del Saving to investment ratio

$$SIR = \frac{O_s}{A_i} \quad \text{€}$$

$$SIR = \frac{36\,668}{956\,323} \quad \text{€}$$

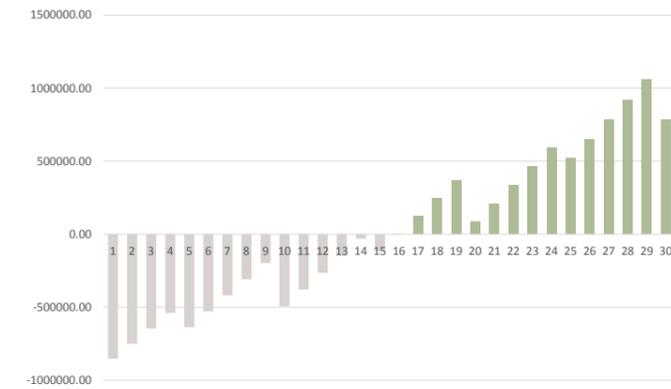
SIR = 0.038

Calcolo del Pay Back Period

ANNO	INVESTIMENTO INIZIALE	RISPARMIO PROGRESSIVO
1	956323.00	103609.00
2	956323.00	206839.51
3	956323.00	311813.37
4	956323.00	417836.97
5	956323.00	524010.80
6	956323.00	630385.47
7	956323.00	736960.69
8	956323.00	843737.27
9	956323.00	950715.13
10	956323.00	1057894.31
11	956323.00	1165284.96
12	956323.00	1272987.32
13	956323.00	1380901.77
14	956323.00	1489028.78
15	956323.00	1597368.95
16	956323.00	1705922.99
17	956323.00	1814691.73
18	956323.00	1923675.12
19	956323.00	2032873.22
20	956323.00	2142286.23
21	956323.00	2251914.44
22	956323.00	2361758.30
23	956323.00	2471818.36
24	956323.00	2582094.29
25	956323.00	2692586.92
26	956323.00	2803296.17
27	956323.00	2914222.11
28	956323.00	3025365.95
29	956323.00	3136728.00
30	956323.00	3248309.73

Copertura dei costi d'investimento

$$SPB = \frac{956\,323}{36\,668} = 26.08 \text{ anni}$$



A fronte di un costo d'investimento decisamente più basso (956 323 €), il pacchetto D prevede un tempo di ritorno dell'investimento molto lungo. Questo fenomeno è dettato dal fatto che uno degli interventi previsti nel pacchetto progettuale richiede di essere eseguito ogni 10 anni, abbattendo così i progressivi risparmi accumulati. Il pacchetto D presenta un *PayBack Period* di 26.08 anni.

4.5.4 Confronto tra gli scenari

Dopo aver analizzato tutte le alternative progettuali, è stato sviluppato un confronto complessivo per stabilire quale fosse la soluzione più vantaggiosa.

Per valutare *in primis* quale fosse l'alternativa più conveniente, sono stati considerati i costi globali attualizzati al tempo t_0 di ciascun pacchetto progettuale e ne sono stati individuati quelli contraddistinti dal valore più basso:

Flusso dei costi

	saggio di attualizzazione	NPV
SCENARIO BASE	2.50%	8 111 209.97
PACCHETTO A (APRIBILE)	2.50%	6 400 315.51
PACCHETTO A (FISSO)	2.50%	5 602 456.78
PACCHETTO B (APRIBILE)	2.50%	5 071 560.11
PACCHETTO B (FISSO)	2.50%	4 096 801.40
PACCHETTO C (APRIBILE)	2.50%	3788 274.58
PACCHETTO C (FISSO)	2.50%	3 414 653.85
PACCHETTO D (PELLICOLE)	2.50%	5 652 920.56

Per capire, invece, quale soluzione apportasse un maggior risparmio economico rispetto allo scenario base, si è cercato di individuare le due alternative progettuali contraddistinte dal più alto valore di *Net Saving*, inteso come la differenza tra il costo globale del caso base e quello delle diverse alternative progettuali:

Net Saving

	NS (rispetto allo scenario base)
PACCHETTO A (APRIBILE)	1 710 894.46
PACCHETTO A (FISSO)	2 508 744.19
PACCHETTO B (APRIBILE)	3 039 649.86
PACCHETTO B (FISSO)	4 014 408.57
PACCHETTO C (APRIBILE)	4 322 935.39
PACCHETTO C (FISSO)	4 696 556.12
PACCHETTO D (PELLICOLE)	2 458 289.56

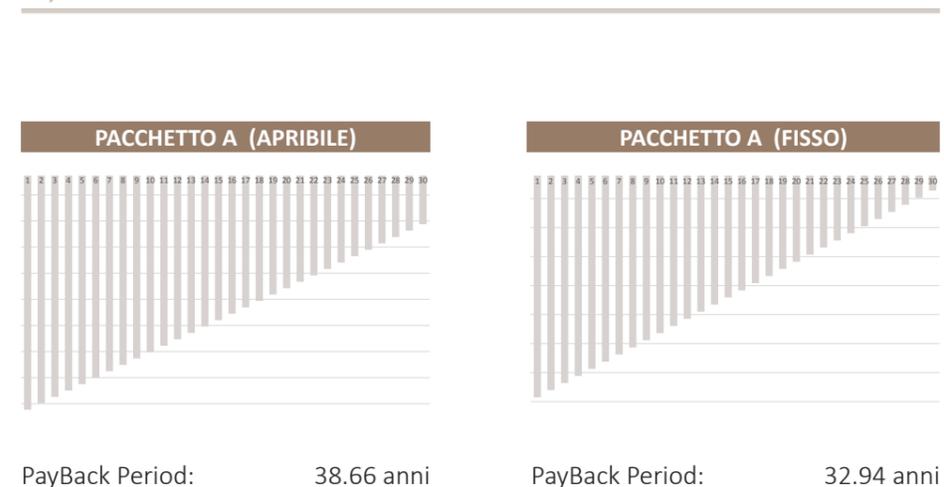
Per valutare, poi, quale soluzione fornisse il maggior risparmio in rapporto all'investimento, sono state individuate tra le diverse alternative quelle con il valore più elevato di SIR, ossia il rapporto tra quanto risparmiato in fase di gestione e l'importo sostenuto per l'investimento:

Saving to investment ratio

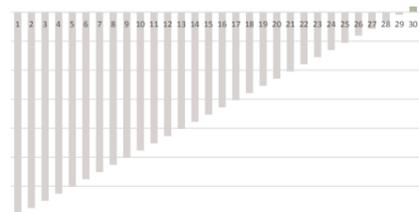
	SIR
PACCHETTO A (APRIBILE)	0.026
PACCHETTO A (FISSO)	0.030
PACCHETTO B (APRIBILE)	0.034
PACCHETTO B (FISSO)	0.044
PACCHETTO C (APRIBILE)	0.049
PACCHETTO C (FISSO)	0.056
PACCHETTO D (PELLICOLE)	0.038

Infine si è cercato di prevedere l'arco temporale per rientrare dalle spese iniziali di investimento, scoprendo che in taluni casi il *Pay Back Period* si sarebbe prolungato oltre il periodo di calcolo fissato a 30 anni. Di nuovo, sono state individuate le due soluzioni con il tempo di ritorno più breve:

PayBack Period

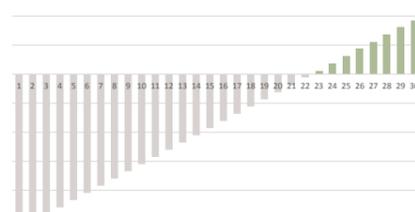


PACCHETTO B (APRIBILE)



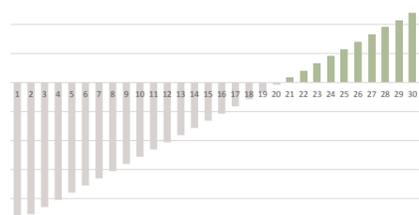
PayBack Period: 29.27 anni

PACCHETTO B (FISSO)

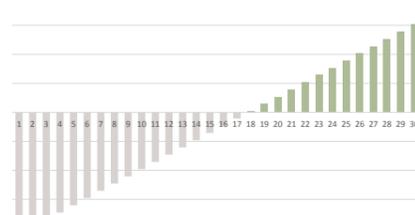


PayBack Period: 22.49 anni

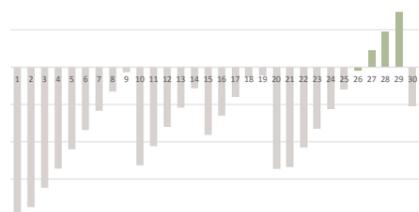
PACCHETTO C (APRIBILE)

PayBack Period: **20.32 anni**

PACCHETTO C (FISSO)

PayBack Period: **17.85 anni**

PACCHETTO D (PELLICOLE)



PayBack Period: 26.08 anni

Da tale confronto emerge in modo evidente che l'alternativa economicamente più vantaggiosa sia la soluzione "tutto-fisso" del pacchetto C. Tale scenario consente di ottenere il maggior risparmio economico rispetto allo scenario base, prevede il valore più elevato del rapporto tra investimento e risparmio economico annuo e consente di rientrare delle spese di investimento iniziali nel più breve tempo possibile.

Osservando le singole voci di costo si può inoltre comprendere come tale pacchetto progettuale presenti i minori costi d'investimento e i minori costi operativi, attestandosi dunque come la soluzione preferibile rispetto a tutte le altre alternative.

Sebbene sotto i profili energetici ed economici tale pacchetto parrebbe la soluzione più vantaggiosa, un sistema "tutto-fisso" può comportare, tuttavia, alcune limitazioni. Considerando ad esempio l'aspetto del benessere interno, l'impossibilità di aprire i serramenti e consentire un naturale ricambio d'aria può provocare una sensazione di *discomfort* agli utenti che quotidianamente vivono quegli spazi. Inoltre, nell'eventualità in cui si decidesse di installare un sistema fisso, risulterebbe opportuno migliorare la potenza dell'impianto di VMC attualmente presente, per massimizzare i benefici legati al trattamento dell'aria interna ed assicurare così adeguate condizioni di benessere termoigrometrico e di *comfort* termico negli ambienti.

Inoltre, sebbene per tale destinazione d'uso non vi sia nessuna normativa che vieti l'installazione di un sistema di serramenti fissi, valutando al contrario la possibilità di una rifunzionalizzazione dell'edificio, tale pacchetto progettuale potrebbe non rispondere più ai requisiti previsti dai regolamenti edilizi per ottenere l'agibilità dell'immobile, come ad esempio i rapporti aeroilluminanti.

Da tali considerazioni, si potrebbe allora concludere che la soluzione apribile possa essere preferibile rispetto alla soluzione tutto fisso.

Il pacchetto progettuale più vantaggioso che, tra gli interventi, comprende l'installazione di nuovi serramenti apribili risulta, di nuovo, il pacchetto C. Se sotto il profilo dei costi e delle prestazioni energetiche tale soluzione potrebbe garantire i maggiori benefici, considerando invece l'aspetto estetico, l'impatto dei profili apribili dei serramenti in alluminio sulle facciate esistenti altererebbe sensibilmente l'immagine complessiva della struttura.

Date le caratteristiche proprie del materiale, infatti, la mostra architettonica del telaio risulterebbe decisamente più "ingombrante" rispetto agli esili profili caratterizzanti i serramenti originari degli anni '30 del Movimento Moderno.

In conclusione, se ci si trovasse di fronte ad un progetto *ex novo*, si potrebbe optare per il pacchetto C, ma dovendo intervenire su un edificio esistente, appartenente al patrimonio architettonico moderno e protetto da un vincolo di tutela, l'aspetto della conservazione non può essere trascurato ed è pertanto necessario individuare una soluzione che possa garantire il più possibile il mantenimento dei caratteri propri ed originari dell'edificio, comportando al contempo miglioramenti nelle *performances* energetiche e costi d'investimento sostenibili.

Una valida alternativa al pacchetto C, allora, potrebbe diventare la soluzione apribile del pacchetto B (*Mogs*), che prevede tra le operazioni di efficientamento energetico l'installazione di esili e performanti profili in acciaio. Tale proposta progettuale potrebbe al contempo assicurare un'ottima adesione al *design* dell'epoca e garantire un miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio, risultando fattibile dal punto di vista economico, nonostante i costi d'investimento decisamente più elevati rispetto al pacchetto C.

4.5.5 Valutazione economica delle proposte di gestione e controllo

Come si anticipava al paragrafo 4.3.3, il sistema impiantistico della sede del Lingotto risulta complesso ed articolato. I rendimenti dei sottosistemi di generazione, distribuzione e regolazione sono quasi massimi e nel corso degli ultimi anni il sistema impiantistico è stato sottoposto a continue migliorie. Per tale motivo, gli alti consumi riportati dalla sede del Politecnico non sono tanto riferiti alla tipologia d'impianto, quanto piuttosto al suo sistema di gestione e di controllo. L'occupazione degli spazi interni, inoltre, non sempre rispetta la calendarizzazione annuale prevista per lezioni e corsi didattici. Di fondamentale importanza, allora, è stata la disponibilità di un calendario d'uso aggiornato degli spazi del Politecnico, fornito dal referente degli spazi di Ateneo, che ha permesso innanzitutto di poter analizzare il reale profilo di occupazione degli ambienti, per poter successivamente elaborare delle proposte di gestione, regolazione e controllo degli impianti attraverso dei sistemi domotici, limitando così gli sprechi energetici e massimizzando i risparmi economici.

Tale tema, volutamente proposto soltanto in forma di suggestione, è stato affrontato con il principale obiettivo di poter meglio comprendere gli ulteriori potenziali risparmi che il solo involucro non potrebbe assicurare, data la complessità dell'edificio e la sussistenza di un vincolo di Tutela.

Per valutare la sostenibilità economica delle proposte d'intervento, si sono preliminarmente stimati i costi iniziali e quelli operativi, per poi calcolare i potenziali risparmi ed il tempo di ritorno delle spese sostenute per la realizzazione del progetto. Per quanto riguarda i costi di investimento, sono stati calcolati i costi complessivi relativi all'acquisto dei sensori ed è stato successivamente chiesto un preventivo per la loro posa ed installazione all'azienda torinese *ADM Impianti*, specializzata nella progettazione e nella realizzazione di impianti elettrici.

Per stimare, invece, i nuovi potenziali costi di gestione derivanti dalla regolazione degli impianti attraverso sistemi automatizzati, sono stati analizzati diversi scenari, variando progressivamente la percentuale di occupazione degli ambienti interni all'edificio.

Adottando tali strategie, allora, il concetto di gestione supera il mero significato etimologico, ed assume un significato più ampio: quello di tutela, intesa come conservazione del bene, ma anche di valorizzazione, intesa come la capacità di cogliere le opportunità fornite dalle nuove tecnologie per intervenire con operazioni volte a migliorare gli aspetti funzionali, energetici ed economici dell'edificio.

Accanto ad un accurato programma di interventi migliorativi sull'involucro edilizio, la sede del Politecnico potrebbe pertanto essere valorizzata anche attraverso la dotazione di nuovi elementi di controllo impiantistico per raggiungere importanti benefici come la riduzione dei costi di gestione, il risparmio energetico e l'incremento dei rendimenti economici.

1° PERIODO DIDATTICO :

Aule / Uffici

PROFILO DI UTILIZZO	n° LOCALI	CONSUMI [kWh]	PERCENTUALE INCIDENZA
NOTO (uso al 100%)	63	20 944.98	87.50%
VARIABILE	9	2 992.14	12.50%
TOTALE	72	23 937.12	100.00%

ANALISI LOCALI CON PROFILO D'UTILIZZO VARIABILE

PERCENTUALE DI UTILIZZO	CONSUMI [kWh]	TARIFFA GSE [€/kW]	RISPARMI SUI COSTI TOTALI DEL 1°P.D. [€]
100%	2 992.14	0.25	0.00
95%	2 842.53	0.25	37.40
80%	2 393.71	0.25	149.61
65%	1 944.89	0.25	261.81
50%	1 496.07	0.25	374.02
35%	1 047.25	0.25	486.22
20%	598.43	0.25	598.43
5%	149.61	0.25	710.63

Risparmi economici conseguibili sui nuovi consumi elettrici dell'intero edificio: fino a 710.63 € nel primo periodo didattico

9 159.84 - 710.63 = 8 449.21 € nel primo periodo didattico

- 7.76%

Atri / Corridoi

TIPO DI AMBIENTE	CONSUMI [kWh]	PERCENTUALE INCIDENZA
ATRI	5 898.24	53.50%
CORRIDOI	6 804.00	46.50%
TOTALE	12 702.24	100.00%

ANALISI SPAZI CON PROFILO D'UTILIZZO VARIABILE

PERCENTUALE DI UTILIZZO	CONSUMI [kWh]	TARIFFA GSE [€/kW]	RISPARMI SUI COSTI TOTALI DEL 1°P.D. [€]
100%	6 804.00	0.25	0.00
85%	5 783.40	0.25	255.15
50%	3 402.00	0.25	850.50
25%	1 701.00	0.25	1 275.75

Risparmi economici conseguibili sui nuovi consumi elettrici dell'intero edificio: fino a 1 275.75 € nel primo periodo didattico

9 159.84 - 1 275.75 = 7 884.09 € nel primo periodo didattico

- 13.93%

II° PERIODO DIDATTICO :Aule / Uffici

PROFILO DI UTILIZZO	n° LOCALI	CONSUMI [kWh]	PERCENTUALE INCIDENZA
NOTO (uso al 100%)	44	14 628.24	61.00%
VARIABILE	28	9 308.88	39.00%
TOTALE	72	23 937.12	100.00%

ANALISI LOCALI CON PROFILO D'UTILIZZO VARIABILE

PERCENTUALE DI UTILIZZO	CONSUMI [kWh]	TARIFFA GSE [€/kW]	RISPARMI SUI COSTI TOTALI DEL II°P.D. [€]
100%	9 308.88	0.25	0.00
95%	8 843.44	0.25	116.36
80%	7 447.10	0.25	465.44
65%	6 050.77	0.25	814.53
50%	4 654.44	0.25	1 163.61
35%	3 258.11	0.25	1 512.69
20%	1 861.78	0.25	1 861.78
5%	465.44	0.25	2 210.86

**Risparmi economici conseguibili sui nuovi consumi elettrici dell'intero edificio:
fino a 2 210.86 € nel secondo didattico**

9 159.84 - 2 210.86 = 6 948 € nel secondo periodo didattico

- 24.14%

Atri / Corridoi

Non presentando un profilo di utilizzo sensibilmente differente nel corso dell'anno, si può prendere a riferimento la previsione valida per il I° Periodo Didattico.

**RISPARMI ECONOMICI CONSEGUIBILI
ATTRAVERSO L'INSTALLAZIONE DI SENSORI DI PRESENZA/MOVIMENTO**



Si potrebbe dunque concludere che l'installazione di un impianto di *Building Automation* nella sede del Politecnico, consentirebbe all'Amministrazione Pubblica di conseguire notevoli risparmi sui costi di gestione dell'immobile. A fronte di un investimento oneroso, i risparmi economici rispetto allo scenario base sarebbero elevati a tal punto da assicurare un tempo di rientro delle spese iniziali, in effetti, sostenibile. Non potendosi basare esclusivamente sullo scenario del 5%, perchè potrebbe risultare una previsione troppo ottimistica e poco verosimile, si è pensato di analizzare ipotenziali risparmi nonchè il *Payback Period* dell'investimento prendendo come riferimento tre scenari:

- scenario 80% : con tale previsione si suppone una configurazione annuale per la quale i locali con profilo di occupazione noto vengano utilizzati al 100%, mentre quelli caratterizzati da un uso variabile vengano occupati all'80%.
- scenario 50% : con tale previsione si suppone una configurazione annuale per la quale i locali con profilo di occupazione noto vengano utilizzati al 100%, mentre quelli caratterizzati da un uso variabile vengano occupati all'50%.
- scenario 20% : con tale previsione si suppone una configurazione annuale per la quale i locali con profilo di occupazione noto vengano utilizzati al 100%, mentre quelli caratterizzati da un uso variabile vengano occupati all'20%.

Per ogni valutazione economica, è stata inoltre considerata la possibilità di ridurre i costi di investimento iniziali con la detrazione del 65%, assicurata dal recente *Bonus domotica 2020* che permette di agevolare "l'installazione e messa in opera di sistemi di *Building Automation*, che consentano la gestione automatica personalizzata degli impianti di riscaldamento o produzione di acqua calda sanitaria o di climatizzazione estiva, compreso il loro controllo da remoto attraverso canali multimediali."¹

Per tali agevolazioni fiscali non esiste un limite massimo di detrazione ammissibile, ed è pertanto possibile accedere *tout-court* all'importo corrispondente al 65% delle spese sostenute per l'acquisto, l'installazione e la messa in opera dei dispositivi multimediali. È necessario, tuttavia, accertare che tale agevolazione sia compatibile anche per interventi di automazione che, come quelli proposti in questo studio, consentano al contempo di regolare anche l'impianto di illuminazione artificiale.

1 Agenzia Nazionale Efficienza Energetica ENEA, *Vademecum per l'uso : Building automation*

PAYBACK PERIOD SCENARIO 80%

Costi per la realizzazione dell'impianto di automazione

	€/anno
Acquisto dei sensori	40 650.00
Fornitura e posa di quadro elettrico nuovo di distribuzione, Fornitura e posa di linee nuove a servizio delle zone comuni, aule, uffici	412 332.00
Totale	452 982.00
Totale con Bonus domotica 2020 (65%)	158 544.00

Costi consumi senza impianto automazione

	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Elettricità	244 262.40	0.25	60 088.55
Totale			60 088.55

Costi consumi con impianto automazione

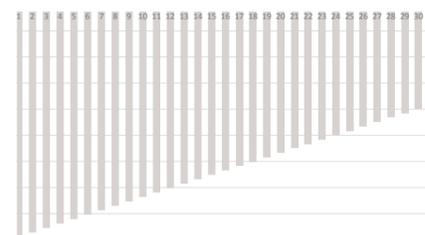
	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Elettricità	209 723.70	0.25	51 592.03
Totale			51 592.03

Risparmio economico annuo 8 496.52



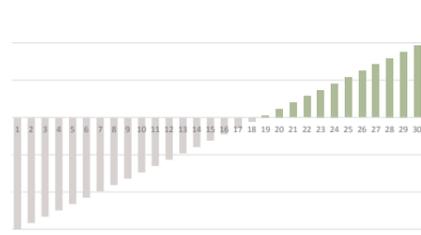
Nello scenario 80%, si potrebbe risparmiare annualmente circa il 14% sui costi per i consumi elettrici complessivi.

SENZA DETRAZIONI 65%



PayBack Period: 53.31 anni

CON DETRAZIONI 65%



PayBack Period: 18.66 anni

PAYBACK PERIOD SCENARIO 50%

Costi per la realizzazione dell'impianto di automazione

	€/anno
Acquisto dei sensori	40 650.00
Fornitura e posa di quadro elettrico nuovo di distribuzione, Fornitura e posa di linee nuove a servizio delle zone comuni, aule, uffici	412 332.00
Totale	452 982.00
Totale con Bonus domotica 2020 (65%)	158 544.00

Costi consumi senza impianto automazione

	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Elettricità	244 262.40	0.25	60 088.55
Totale			60 088.55

Costi consumi con impianto automazione

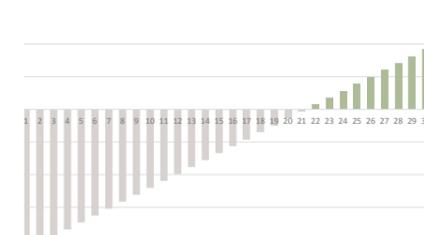
	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Elettricità	157 891.22	0.25	38 841.24
Totale			38 841.24

Risparmio economico annuo 21 247.31



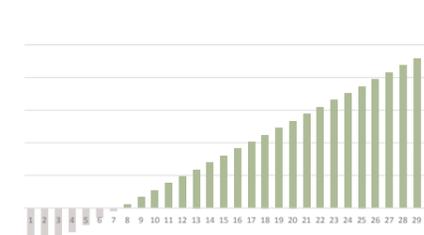
Nello scenario 50%, si potrebbe risparmiare annualmente circa il 35% sui costi per i consumi elettrici complessivi.

SENZA DETRAZIONI 65%



PayBack Period: 21.32 anni

CON DETRAZIONI 65%



PayBack Period: 7.46 anni

PAYBACK PERIOD SCENARIO 20%

Costi per la realizzazione dell'impianto di automazione

	€/anno
Acquisto dei sensori	40 650.00
Fornitura e posa di quadro elettrico nuovo di distribuzione, Fornitura e posa di linee nuove a servizio delle zone comuni, aule, uffici	412 332.00
Totale	452 982.00
Totale con Bonus domotica 2020 (65%)	158 544.00

Costi consumi senza impianto automazione

	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Elettricità	244 262.40	0.25	60 088.55
Totale			60 088.55

Costi consumi con impianto automazione

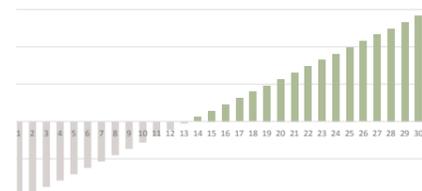
	kWh/anno	€/kWh	€/anno
Elettricità	106 083.16	0.25	26 096.46
Totale			26 096.46

Risparmio economico annuo 33 992.09



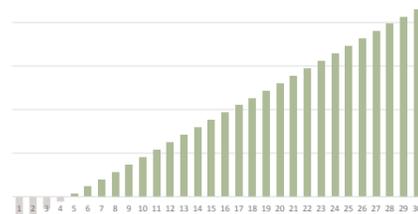
Nello scenario 20%, si potrebbe risparmiare annualmente quasi il 57% sui costi per i consumi elettrici complessivi.

SENZA DETRAZIONI 65%



PayBack Period: 13.33 anni

CON DETRAZIONI 65%



PayBack Period: 4.66 anni

4.5.6 Considerazioni conclusive

La scelta di definire dei pacchetti progettuali, intesi come la composizione ragionata delle diverse proposte d'intervento, è stata dettata dalla necessità di valutare complessivamente i benefici apportati dai diversi scenari di progetto sia da un punto di vista energetico sia sotto il profilo dei costi.

È pertanto emerso come, all'interno di una sequenza fissa di interventi, orientati principalmente sull'involucro edilizio ma riguardanti anche interventi di *relamping* ed installazioni fotovoltaiche, ad incidere sugli esiti finali dei pacchetti progettuali siano proprio state le diverse alternative d'intervento sul sistema dei serramenti. Accanto al pacchetto più "conservativo" che prevede l'installazione di pellicole a controllo solare sui vetri esistenti, sono stati studiati e valutati altri tre pacchetti d'intervento, due dei quali orientati sull'utilizzo di profili in acciaio mentre l'ultimo su telai in alluminio, valutando per ciascuno di essi sia la possibilità di realizzare un sistema di serramenti apribile sia uno interamente fisso.

L'individuazione della soluzione più conveniente è stata poi supportata dall'efficace strumento estimativo della *Life Cycle Cost Analysis*.

La soluzione A, nella sua versione apribile, prevede l'impiego di profili in acciaio *Secco Sistemi*, dall'aspetto leggero con mostre architettoniche snelle e simili per geometrie agli originari FerroFinestra. Le prestazioni energetiche dei serramenti, tuttavia, non rispettano i valori limite imposti da normativa, traducendosi in minor efficienza da un punto di vista energetico e nell'impossibilità di accedere ad agevolazioni fiscali per quanto riguarda l'aspetto economico. L'intero pacchetto potrebbe pertanto beneficiare soltanto degli incentivi del Conto Termico relativamente alle operazioni di *relamping*, senza ottenere l'ingente contributo dell'Ecobonus sulle spese d'investimento. La riproposizione fedele del *design* originario richiede, com'è noto, operazioni onerose, tempi d'installazione ed assemblamento lunghi e costi per la manodopera elevati. Date le prestazioni energetiche non pienamente ottimali, le spese d'investimento non vengono facilmente ammortizzate dai costi operativi e dai conseguenti risparmi economici rispetto allo stato di fatto, prevedendo tempi di ritorno lunghi e poco sostenibili.

Nella versione "tutto-fisso", installare un sistema che non consenta l'apertura delle finestre permette sia di migliorare la prestazioni complessive del serramento, con conseguente riduzione delle dispersioni termiche, sia i costi d'investimento, dal momento che per la realizzazione dei profili è necessaria una quantità inferiore di materiale ed i tempi d'installazione, quindi i costi di manodopera, sono quasi dimezzati. Il nuovo valore di trasmittanza termica dei serramenti, che rientra nei minimi di legge consentiti, permette di accedere alle detrazioni fiscali e ridurre pertanto i costi d'investimento iniziali. Tale opzione, tuttavia, risulta ancora piuttosto onerosa, poco efficace e quindi poco sostenibile.

Il grande vantaggio del pacchetto B, che attesta costi decisamente inferiori e benefici energetici assai superiori rispetto all'alternativa A, deriva da una studiata progettazione dei profili per i nuovi serramenti. La strategia dei piatti riportati dividivetro consente, infatti, di ricreare una ripartizione visiva perfetta del serramento come un reale profilo dividivetro a T, comportando migliori prestazioni energetiche e minori costi. Con molte interruzioni di vetro, dettate dai tanti rettangoli vetrati del disegno originale del serramento, il valore di trasmittanza termica dell'infilso non

sarebbe ottimale, non riuscendo a sfruttare pienamente le ottime caratteristiche del vetro installato all'interno.

Con la soluzione a piatti riportati, la divisione dei vetri viene ridotta al minimo, garantendo un ottimo valore di trasmittanza termica. Inoltre, utilizzando un normale profilo dividivetro a T, si registrerebbero costi molto più alti dettati dalle maggiori lavorazioni necessarie e dal costo superiore del materiale; al contrario con tale strategia si potrebbe raggiungere la medesima soluzione estetica ad un costo inferiore sia per materiale che per ore lavoro.

I costi d'investimento, verrebbero ulteriormente ridotti dalle agevolazioni fiscali di Conto Termico ed Ecobonus, mentre i costi operativi, decisamente inferiori, consentirebbero di raggiungere alti risparmi economici rispetto allo scenario base. Anche nella versione fissa, impiegando i medesimi piatti riportati dividivetro si riuscirebbe a raggiungere un alto livello di adesione alle geometrie ed alle proporzioni estetiche originarie, assicurando al contempo ottime prestazioni energetiche e costi ancora più contenuti.

Il pacchetto D, che tra le proposte d'intervento prevede l'applicazione di pellicole a controllo solare sui vetri maggiormente esposti alle radiazioni del sole, sebbene consenta il minor impatto sulle facciate esistenti, si rivela la soluzione meno vantaggiosa sia da un punto di vista energetico che economico. I costi d'investimento, sicuramente inferiori rispetto ad uno scenario di sostituzione integrale dei serramenti, risultano comunque elevati, non tanto per il prezzo delle pellicole, quanto più per il costo della loro applicazione. Il prezzo della manodopera, infatti, non include soltanto le ore di lavoro degli operai che, tra l'altro, debbono essere necessariamente qualificati ed abilitati a quel tipo di operazioni, ma comprende anche il costo delle piattaforme per raggiungere anche i punti più alti, ed il rischio connesso alla lavorazione nell'eventuale caso in cui venga danneggiata parte del patrimonio architettonico.

I costi di manutenzione, inoltre, concorrono a rendere l'investimento davvero poco sostenibile in quanto il breve ciclo di vita delle pellicole fa sì che non si faccia in tempo a rientrare dalle spese iniziali che sia già il momento di dover sostenere un nuovo investimento per la sostituzione delle vecchie pellicole ammalorate. Tale intervento si deve quindi escludere, ritenendolo da un lato troppo oneroso e dall'altro poco adatto ad apportare consistenti miglioramenti alla sede del Politecnico.

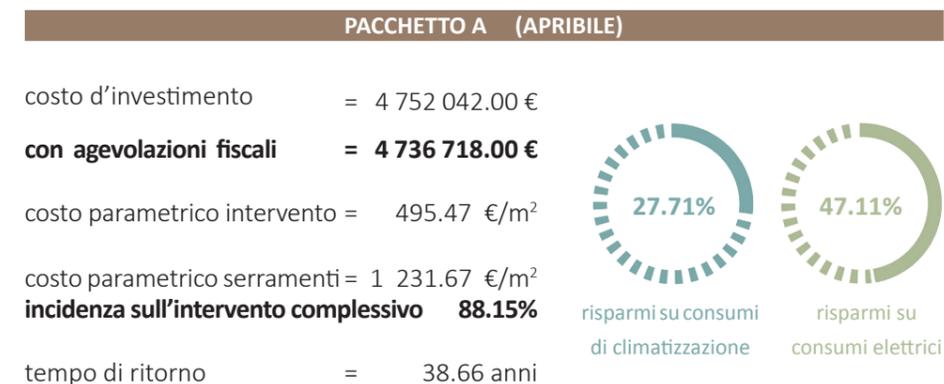
Il pacchetto C, che impiega nuovi e performanti serramenti in alluminio, risulta pertanto quello più conveniente sia nella soluzione apribile sia in quella fissa.

Il costo dell'alluminio decisamente inferiore rispetto all'acciaio, unitamente alle sue elevate prestazioni energetiche, fanno sì che nel complesso tale investimento presenti spese iniziali e costi operativi davvero contenuti e, soprattutto, risparmi economici rispetto ai consumi attuali tali da consentire un brevissimo tempo di ritorno.

Nell'ipotesi, però, dell'installazione di serramenti apribili, la differente immagine dei nuovi serramenti, così lontani dal *design* originario, provocherebbe un forte impatto sulla percezione visiva delle facciate riqualificate.

Se si trattasse di una nuova costruzione si potrebbe affermare con certezza quale sia l'intervento preferibile, ma la condizione della riqualificazione impone necessariamente un alto grado di sensibilità e di profondo rispetto dell'esistente. La soluzione preferibile, in quel caso, potrebbe dunque essere quella che contempra, tra le prerogative, non solo il raggiungimento di benefici energetici ed economici ma anche quelli di tipo estetico-conservativo.

Senza includere le suggestioni in merito ai sistemi di gestione, controllo e regolazione degli impianti attraverso strategie automatizzate, le cui analisi e valutazioni sono state volutamente condotte *a latere* rispetto ai diversi pacchetti progettuali, i risultati conclusivi delle alternative di progetto si potrebbero riassumere proprio come segue:



PACCHETTO B (FISSO)

costo d'investimento	=	2 864 236.00 €
con agevolazioni fiscali	=	2 788 912.00 €
costo parametrico intervento	=	291.73 €/m ²
costo parametrico serramenti	=	676.03 €/m ²
incidenza sull'intervento complessivo		80.34%
tempo di ritorno	=	22.49 anni

**PACCHETTO C (APRIBILE)**

costo d'investimento	=	2 592 836.00 €
con agevolazioni fiscali	=	2 517 512.00 €
costo parametrico intervento	=	263.34 €/m ²
costo parametrico serramenti	=	596.29 €/m ²
incidenza sull'intervento complessivo		78.28%
tempo di ritorno	=	20.32 anni

**PACCHETTO C (FISSO)**

costo d'investimento	=	2 300 336.00 €
con agevolazioni fiscali	=	2 225 012.00 €
costo parametrico intervento	=	232.74 €/m ²
costo parametrico serramenti	=	510.36 €/m ²
incidenza sull'intervento complessivo		75.52%
tempo di ritorno	=	17.85 anni

**PACCHETTO D (PELLICOLE)**

costo d'investimento	=	971 647.00 €
con agevolazioni fiscali	=	956 323.00 €
costo parametrico intervento	=	353.48 €/m ²
costo parametrico pellicole	=	180.00 €/m ²
incidenza sull'intervento complessivo		42.03%
tempo di ritorno	=	26.08 anni



Nella valutazione economica di tutti i pacchetti progettuali, ci si è chiesti come questi avrebbero potuto assumere un carattere ancora più vantaggioso nell'eventualità in cui si fossero applicate le nuove detrazioni al 110% previste dai nuovi *bonus*.

Nella prospettiva di agevolare, infatti, il settore edilizio estremamente compromesso dall'emergenza sanitaria Coronavirus, il Governo ha previsto un nuovo Decreto Legge sulle "Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19."¹

Il D.L., che dev'essere convertito in Legge entro il 18 Luglio 2020 per non perdere di validità, introduce all'articolo 119 (*Incentivi per efficientamento energetico, sisma bonus, fotovoltaico e colonnine di ricarica di veicoli elettrici*) i nuovi fattori percentuali di detrazione ed i nuovi massimali di spesa per gli interventi sostenuti dal 1 luglio 2020 fino al 31 dicembre 2021.

Non essendo ancora usciti i provvedimenti attuativi risulta oggi difficile fare delle previsioni certe. È però vero che, al momento dell'uscita del Decreto Rilancio, le agevolazioni fiscali si sono rivolte esclusivamente all'edilizia residenziale e residenziale-pubblica, facendo scaturire diversi dubbi e dibattiti.

I nuovi *bonus* sono: *Ecobonus 110%*, *Sisma Bonus 110%* e *Bonus Fotovoltaico 110%*, in quanto ammettono una detrazione ripartita in 5 quote annuali pari al 110 per cento delle spese effettivamente sostenute per l'efficientamento energetico. Attualmente l' *Ecobonus 110%* riconosce tre tipologie di interventi definibili "trainanti", nel senso che qualsiasi altro intervento eseguito congiuntamente ad almeno uno di essi può essere detratto al 110%.

Gli interventi agevolabili "trainanti" riguardano l'isolamento di almeno il 25% dell'involucro opaco e/o la sostituzione degli impianti di climatizzazione (sia su parti comuni degli edifici sia su fabbricati unifamiliari) "con impianti centralizzati a condensazione, a pompa di calore, ibridi, geotermici, anche abbinati all'installazione di impianti fotovoltaici e relativi sistemi di accumulo, microgenerazione"², con l'obiettivo di raggiungere il salto di due classi energetiche.

L'isolamento delle strutture opache orizzontali della sede del Politecnico agisce sul 25.14% della superficie disperdente complessiva dell'edificio, consentendo quindi di accedere alle detrazioni fiscali; tuttavia, non consente il miglioramento di due classi energetiche come previsto dalla norma. Questo sarebbe possibile se gli interventi sull'involucro fossero abbinati all'installazione dell'impianto fotovoltaico, anch'esso agevolabile al 110%, che però non riguarda l'edilizia terziaria.

Esistono ancora molti nodi irrisolti, che sicuramente verranno presto sciolti non appena usciranno i decreti attuativi. Tutt'ora resta la profonda speranza che i nuovi *bonus* vengano estesi anche alle Pubbliche Amministrazioni ed all'edilizia terziaria. Se così fosse, il Politecnico di Torino potrebbe rientrare in tempi brevissimi dall'investimento e registrare immediatamente altissimi risparmi economici.

1. Decreto-legge 19 maggio 2020, n. 34, c.d. *Decreto Rilancio*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana 19/05/2020, n. 128- Supplemento ordinario n. 21/L.

2. Art. 119, D.L. n. 34/2020

CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi ha affrontato il complesso tema della riqualificazione energetica del patrimonio industriale del Novecento, portatore di importanti simbolismi e ricco di valori culturali, ineludibili richiami al passato che tuttavia indicano con forza le suggestioni del futuro. Nonostante il non lungo lasso temporale che separa l'epoca costruttiva dall'odierno, questo patrimonio subisce l'attacco del degrado, materico e funzionale, determinato dalla fragilità delle componenti impiantistiche e costruttive, principalmente in quegli involucri edilizi caratterizzati da ampie superfici trasparenti. Il progetto di riqualificazione energetica della Testata Nord del Lingotto, riconosciuto oggi come un bene di elevato valore storico, culturale e architettonico, ma anche come elemento che contraddistingue la città di Torino, è stato condotto tenendo sempre ben in evidenza l'imprescindibile necessità di coniugare, nel modo più armonioso possibile, il profondo rispetto dell'esistente con le opportunità di riqualificazione offerte dalle nuove tecnologie, facendo interagire gli strumenti propri della valutazione economica con le possibilità di miglioramento del *comfort* e di riduzione dei costi operativi legati ai consumi energetici.

Nel suo complesso, l'edificio del Lingotto ha un profondo impatto sulla città in cui è inserito, ne è parte integrante tanto da caratterizzarla, fa parte della sua storia ed è parte della storia industriale del nostro Paese. Un edificio come il Lingotto, quindi, appartiene non solo alla città di Torino ma è patrimonio culturale inestimabile nazionale, ed è per tali ragioni che l'obiettivo della valorizzazione economica della Testata Nord, che oggi accoglie una delle sedi universitarie del Politecnico, ha posto come condizione inderogabile il rispetto dei connotati identitari dell'edificio. Lo strumento finanziario della *Life Cycle Cost Analysis* ha consentito di valutare, attraverso gli *output* degli indicatori economici puntuali¹, scenari d'intervento alternativi per rapportare le scelte tecnologiche e impiantistiche al grado di compatibilità con gli elementi architettonici che connotano la Testata Nord.

Sicuramente l'involucro edilizio, caratterizzato da diffuse superfici vetrate, ha rappresentato un elemento nodale, tanto dal punto di vista del risparmio energetico quanto da quello della tutela, ed è proprio per tali ragioni che tutte le proposte d'intervento sono state volte a mantenerlo il più possibile integro nelle sue forme e nei richiami storici, cercando allo stesso tempo di risolvere con efficacia le sue criticità prestazionali.

Rispetto all'uso, la componente del *comfort* ha assunto un rilievo particolare, così come l'aspetto del risparmio sui consumi energetici, data l'incidenza dei costi sul Bilancio del Politecnico. Ed è per tale motivo che gli interventi impiantistici orientati alla maggiore efficienza energetica, come *relamping* ed il ricorso alle fonti rinnovabili, insieme agli scenari per gestione, controllo e regolazione degli impianti attraverso strategie automatizzate, sono stati proposti nella prospettiva di raggiungere ulteriori potenziali risparmi che, vista la complessità dell'edificio e la presenza di un vincolo di tutela, il solo involucro non avrebbe potuto assicurare.

1. Quali: NPV o *Net Present Value*, NS o *Net Saving*, SIR o *Saving to investment ratio* e SPB o *Simple PayBack Period*.

Tentando dunque di trovare una soluzione conclusiva, si potrebbe affermare che per la riqualificazione della sede del Lingotto, il pacchetto progettuale che consente di ottenere i migliori benefici risulta essere lo scenario che vede l'impiego di serramenti fissi con telaio in alluminio (scenario C fisso). Gli interventi impiantistici, unitamente a quelli sull'involucro opaco e trasparente, consentono di risolvere le problematiche riscontrate in fase di analisi, nel pieno rispetto delle caratteristiche materiche, formali, estetiche e culturali dell'edificio.

Questo scenario presuppone un costo dell'intervento pari a 232.74 €/m² ed un costo globale attualizzato (NPV) pari a 3 414 653.85; il risparmio netto rispetto allo scenario base (NS) corrisponde a 4 696 556.12, mentre il risparmio in rapporto all'investimento (SIR) è pari a 0.056.

A fronte dell'investimento iniziale, l'intervento consentirebbe un risparmio annuo dei costi per i consumi energetici pari a 124 667.00 €, con un tempo di ritorno di soli 17.85 anni.

Nell'ipotesi, al contrario, di installare un sistema di serramenti apribili, la soluzione con profili in alluminio (scenario C apribile), pur dimostrandosi la più conveniente sotto il profilo dei costi e dei miglioramenti energetici, comporta un impatto troppo forte sulle facciate dell'edificio. Le proprietà e le caratteristiche dell'alluminio non permettono di realizzare, in questo caso, profili così snelli e leggeri tali da poter rispettare intimamente la poetica degli originali FerroFinestra dei primi anni '30 del Novecento.

Lo scenario con l'impiego dei serramenti apribili in alluminio avrebbe potuto garantire ricavi maggiori, ma con la sua adozione si sarebbero perduti per sempre alcuni caratteri identitari dell'edificio, le radici storiche, i significati e gli intimi valori che l'edificio custodisce e restituisce.

Per tale motivo, sebbene con costi superiori ed una risposta energetica che appare, forse, un poco meno efficace, in una valutazione complessiva lo scenario che vede l'impiego di serramenti apribili con telaio in acciaio (scenario B apribile) si attesta tuttavia come quello più adatto per la valorizzazione dell'edificio, riuscendo a coniugare felicemente benefici energetici, economici ed estetico-conservativi.

In questo caso il costo dell'intervento corrisponde a 378.93 €/m² ed il costo globale attualizzato (NPV) è pari a 5 071 560.11; il risparmio netto rispetto allo stato di fatto (NS) corrisponde a 3 039 649.86, mentre il risparmio in rapporto all'investimento (SIR) è pari a 0.034.

A fronte dell'investimento iniziale, l'intervento permetterebbe un risparmio economico annuale per i consumi energetici pari a 123 764.00 €, con un tempo di ritorno di 29.27 anni.

Tale scelta è stata dettata dalla profonda convinzione che l'intervento sull'esistente debba porsi in un pieno rispetto dei caratteri identitari dell'edificio, per consentire all'opera di vivere nei cuori e negli animi delle persone. I beni di interesse storico-architettonico, infatti, sono sottoposti nel tempo a processi di deterioramento e degrado, a continui interventi manutentivi, a cambi di destinazione d'uso e sempre più, oggi, ad operazioni volte al miglioramento delle loro prestazioni energetiche. La forza di ciascun progetto, allora, dovrebbe risiedere nella capacità di intervenire sugli edifici senza sottrarre loro importanti ed identitari frammenti di storia e di cultura senza i quali, altrimenti, si restituirebbe alla collettività un'immagine alterata e profondamente distante dall'originale.

I risultati conseguiti consentono di valutare il tema del *retrofit* energetico del patrimonio architettonico liberandolo da ogni pregiudizio, in quanto è compito

del progetto, considerato in tutte le sue componenti compresa quelle economica, ricercare e trovare il giusto equilibrio tra le diverse istanze. Le verifiche di convenienza economica sono state essenziali per valutare la fattibilità e la compatibilità degli interventi, senza i quali non sarebbe stato possibile conservare il bene e consegnarlo in eredità alle generazioni future.

Come esito di questo lavoro, la proposta per la riqualificazione della sede del Politecnico conduce ad un'immagine complessiva dell'edificio che inevitabilmente si discosta dall'originale, in quanto negli anni sono immancabilmente mutate le risorse, i materiali e le soluzioni tecnologiche. Quello che questo studio tenta di non alterare tuttavia, partendo da un approccio economico ma non solo, è l'intimo significato dell'opera, come la filosofia di pensiero che si cela dietro alla maglia strutturale in calcestruzzo, le ispirate visioni di chi lo ha progettato e di chi lo ha rimaneggiato, lo straordinario rapporto tra ambiente interno e realtà esterna attraverso il componente vetrato.

Nella speranza che questa non sia soltanto la conclusione di un percorso di tesi ma anche l'occasione per tenere vivo l'interesse per la cura di un edificio, patrimonio di un territorio e di chi lo vive, con l'intimo auspicio che possa diventare opportunità di stimolo per l'avvio di ulteriori sviluppi.

“Le opere d'architettura che incontriamo già costruite vanno rilette, capite, entro un loro divenire, dentro la vita delle loro forme, e soprattutto amate. Anche l'amore non lascia mai le cose intatte. Un poco dipende da quelle che sono le intenzioni.”¹

1. G. Canella, P. Mellano, *Il diritto alla Tutela: architettura d'autore del secondo Novecento*, Franco Angeli, 2019, p. 191

Prospetto Est : Scenario d'intervento C con sistema di serramenti fisso



Prospetto Est : Scenario d'intervento B con sistema di serramenti apribile



BIBLIOGRAFIA

LE PROBLEMATICHE DELLA CONSERVAZIONE

CANELLA G., MELLANO P., *Il diritto alla tutela. Architettura d'autore del secondo Novecento*, Franco Angeli, 2019

CARUGHI U., *Architettura del '900 a rischio/2: una proposta per il MiBACT*, «Il Giornale dell'Architettura», 2017

CARUGHI U., VISIONE M. (a cura di), *Time Frames: Conservation Policies for Twentieth-Century Architectural Heritage*, Routledge, New York, 2017

CRIPPA M. A., *Il restauro del moderno, problemi e casi di studio d'architettura*, «Arte Lombarda», 146/148, 2006, pp. 285-295

Da spazio industriale a fabbrica di idee, «IoA Costruzioni e Impianti», 37, 2011, pp. 18-19

DOCOMOMO International, *Reframing the Moderns: Substitute Windows and Glass*, Docomomo Preservation Technology Dossier 3, 2000

PRUDON T.H.M., *Preservation of Modern Architecture*, John Wiley & Sons, 2008

LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEL PATRIMONIO ESISTENTE

AGHEMO C., MICONO C., *Light and Architecture: Innovative and Sustainable Design and Architecture*, «Green Energy and Technology», 2015, pp. 211-220

AMBROGIO K., ZUPPIROLI M., *Energia e restauro. Il miglioramento dell'efficienza energetica in sistemi aggregati di edilizia pre-industriale, tra istanze conservative e prestazionali*, Angeli, Milano, 2013

BERRA L., FALZEA A., SOMA D., ZANZOTTERA M., *Esempio di diagnosi energetica oraria di un edificio vetrato ad uso uffici*, «Ingenio», 2019

BOSCOLO M., FABBRI K., *Diagnosi energetica degli edifici. Guida all'uso della strumentazione per il certificatore energetico*, DEI, 2009

BOLICI R., MICONO C., *Schermare dinamicamente. Osservazione, riscontro e progetto*, «Techne», 16, 2018, pp. 164-176

BOTTIGLIONI S., FABBRI R., MINGOZZI A., ROSSI S., *Project Factor 4: Final Brochure Italy. Verso strategie sostenibili per il retrofitting energetico del patrimonio edilizio dell'alloggio sociale*, 2008, pp. 1-32

CLEMENTE C., *Riqualificazione integrata e valorizzazione dell'edilizia universitaria. L'esperienza delle ricerche operative in corso sul patrimonio edilizio della Sapienza*, FUP-Firenze University Press, 2014

CLEMENTE C., *Riqualificazione integrata e valorizzazione dell'edilizia universitaria. L'esperienza delle ricerche operative in corso sul patrimonio edilizio della Sapienza*, «Techne», 8, 2014, pp. 290-291

DAVOLI P., *Il recupero energetico ambientale del costruito*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, 2010

DELL'ISOLA M., *I Ponti Termici e la Termografia*, Dispense a.a. 2013/2014, Università degli studi di Cassino e del Lazio Meridionale- Facoltà di Ingegneria.

Edifici storici. Recupero energetico, «Modulo», 392, Novembre Dicembre 2014

FAROLDI E., *Università e città. Milano paradigma della cultura politecnica*, «Modulo», 421, Ottobre 2019, pp. 58-65

GIACOPELLI E., *Bonus per interventi sui beni vincolati*, Restructura 2019.

La nuova biblioteca dell'università di Udine, «Modulo», 421, Ottobre 2019, pp. 76-77

LANZONI D., *Diagnosi e certificazione energetica. Prove strumentali sugli edifici*, Maggioli Editore, 2012

LANZONI D., *Il quadro normativo nel settore della termografia*, «neo-Eubios», 36, 2011, pp. 5-11

LANZONI D., *Il quadro normativo nel settore della termografia*, «neo-Eubios», 36, 2011, pp. 5-11

LISITANO I.M., *La riqualificazione energetica degli edifici storici: quali le problematiche, quali le soluzioni?*, «Ingenio», 2019

LISITANO I.M., *Perché è così importante riqualificare energeticamente un edificio: i vantaggi economici e ambientali*, «Ingenio», 2019

LISITANO I.M., *Sostituzione degli infissi nella riqualificazione: come progettarli correttamente*, «Ingenio», 2019

LUCCHI E., *Diagnosi energetica strumentale degli edifici: Termografia e analisi non distruttive - Normativa e procedure operative*, Dario Flaccovio Editore, 2014

LUCCHI E., *Diagnosi energetica strumentale dell'edilizia storica*, «CasaClima» 61, Giugno 2016, pp. 38-45

LUCCHI E., *Diagnosi energetica strumentale dell'edilizia storica*, «Casa&Clima», 61, pp. 38-44

LUCCHI E., *Edifici storici*, «Modulo», 392, Novembre Dicembre 2014, pp. 570-583

MICONO C., *Transparent building envelope*, Dispense del corso the architectural sustainable design, a.a. 2019/2020, Politecnico di Torino

MUTANI G., MASSAIA C., RAIMONDO L., *La procedura di certificazione energetica: dal sopralluogo all'attestato*, Maggioli Editore, Rimini, 2010

Speciale Università. Scuole dalla formazione d'architettura alla professione, «Modulo», 399, Febbraio Marzo 2016

METADISTRETTO VENETO DELLA BIOEDILIZIA - METADISTRETTO VENETO DEI BENI CULTURALI, A.T.T.E.S.S. *Edilizia Storica e Sostenibilità Ambientale. Linee guida: la qualità delle prestazioni energetico-ambientali nella manutenzione dell'architettura storica*, Venezia, 2010

MIBACT, *Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani*

TEDESCO S., *Riqualificazione energetico-ambientale degli edifici scolastici*, Alinea, 2010

Termografia per il risanamento energetico, «CasaClima», 02, 2011, pp. 57-61

VAJ F., *Innovation Square Center: la complessa ristrutturazione di un edificio post-industriale del '900*, «Ingenio», 2019

IL LINGOTTO DI TORINO

ARCHIVIO EDILIZIO DI TORINO, *Comune di Torino*, Centro Polifunzionale del Lingotto III Fase di Intervento, Relazione Tecnica secondo art. 28 Legge 10/91, Pratica PE _1999_1_03883_PE.

ARCHIVIO EDILIZIO DI TORINO, *Comune di Torino*, Centro Polifunzionale del Lingotto III Fase di Intervento, Relazione Tecnica integrativa, Pratica RT _1999_1_03883_RT_01.

ARCHIVIO EDILIZIO DI TORINO, *Comune di Torino*, Centro Polifunzionale del Lingotto III Fase di Intervento, Relazione Tecnica descrittiva generale, Pratica RT _1999_1_03883_RT_02.

ARCHIVIO EDILIZIO DI TORINO, *Comune di Torino*, Centro Polifunzionale del Lingotto III Fase di Intervento, Relazione dello stato acustico attuale e linee guida per gli interventi di III Fase, Pratica RA_1999_1_03883_RA.

AUSIELLO G., POLVERINO F., *Renzo Piano. Architettura e tecnica*, CLEAN, 2004

BUCHANAN P., *Renzo Piano Building Workshop: Complete Works*, Vol. 2, Allemandi, Torino, 1996

BUCHANAN P., *Renzo Piano Building Workshop: Complete Works*, Vol. 3, Allemandi, Torino, 2002

BUCHANAN P., *Renzo Piano Building Workshop: Complete Works*, Vol. 5, Phaidon, Londra, 2008

CASTAGNETO F., *Fiat- Lingotto a Torino: Renzo Piano*, Allinea, Firenze, 1999

COMBA M., OLMO C., PRALORMO M. B., *Le metafore e il cantiere : Lingotto 1982-2003*, U. Allemandi Editore, Torino, 2003

COMOLI MANDRACCI V., OLMO C., *Guida di Torino. Architettura*, Allemandi, Torino, 1999

COMUNE DI TORINO, *10_2018 Allegato 1 Scheda Tecnico Patrimoniale Nizza 230 Lingotto*, ELETTRONICO, 2018

COMUNE DI TORINO, *10_2018 Atto di Provenienza Nizza 230 Lingotto*, ELETTRONICO, 2018

COMUNE DI TORINO, *10_2018 Convenzione Quadro Nizza 230 Lingotto*, ELETTRONICO, 2018

COMUNE DI TORINO, *10_2018 Diagnosi Energetica Nizza 230 Lingotto*, ELETTRONICO, 2018

COMUNE DI TORINO, *12_2019 Estratto Urbanistico Nizza 230 Lingotto*, ELETTRONICO, 2019

COMUNE DI TORINO, *10_2018 Decreto Tutela MIBAC Nizza 230 Lingotto*, ELETTRONICO, 2018

CURTO R., MONDINI G., ZORZI F., *La valutazione del Lingotto*, «Genio Rurale», 1, 1991, pp.54-60

DE RITA G., GUIDUCCI R., PIANO R., *Studio avanzato di Fattibilità per le aree del Lingotto, delle Dogane e dei Mercati Generali. Prima Fase*, Torino, 1986

DE RITA G., GUIDUCCI R., PIANO R., *Studio avanzato di Fattibilità per le aree del Lingotto, delle Dogane e dei Mercati Generali. Seconda Fase*, Torino, 1986

GIUSTI M. A., TAMBORRINO R., *Guida all'architettura del Novecento in Piemonte (1902-2006)*, Allemandi, Torino, 2008

Lingotto : anno duemiladue = the year two thousand and two, Allemandi, Torino, Londra, Venezia, 2002

MAGNAGHI A., MONGE M., *Guida all'architettura moderna di Torino*, Lindau, Torino, 1995

MIOTTO L., *Renzo Piano, Centre Georges Pompidou*, Paris, 1987

OLMO C., *Il Lingotto : 1915-1939 : l'architettura, l'immagine, il lavoro*, U. Allemandi Editore, Torino, 1994

PATERNOSTRO M., *Lezioni di Piano. Vent'anni di incontri con l'architetto*, De Ferrari, 2004

PIANO R. (?), *Lingotto, diaframmi luminosi e intelligenti = Lingotto, intelligent shades of light*, Focchi, Rimini, 1995

PIANO R., FRAMPTON K., *Renzo Piano: The Complete Logbook 1966-2016*, Thames & Hudson, 2016

PIANO R., *Giornale di Bordo*, Passigli, Firenze, 1997

PIZZI E., *Renzo Piano*, Zanichelli, 2002

PRUSICKI M., *Renzo Piano: Progetto Lingotto, Torino*, «Domus», 875, 1986, pp.29-37

POZZETTO M., *La Fiat-Lingotto, un'architettura torinese d'avanguardia*, Centro Studi Piemontesi, 1970

RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP, *Architettura & Musica. Architecture & Music. Renzo Piano Building Workshop*, Lybra Immagine, Milano, 2002

Venti progetti per il futuro del Lingotto : [Torino, 19 maggio - 1 luglio 1984], ETAS, Milano, 1984

VALORIZZAZIONE ECONOMICA

BARBERIO G., RIGAMONTI L., ZAMAGNI A., *What is sustainable technology? The role of life cycle-based methods in addressing the challenges of sustainability assessment of technologies*, ENEA, Rome, 2012

BARRECA A., CURTO R.C., FREGONARA E., ROLANDO D., *Economic and cultural value, urban and built heritage, architecture education: the active role of stakeholders*, ELETTRONICO, 2018, pp. 45-46

BARRECA A., CURTO R.C., ROLANDO D., *Restoration, Reuse and Energy retrofit for the enhancement of 20th Century Heritage: a learning experience on the Ivrea Site Inscribed on the UNESCO World Heritage List*, «Valori e Valutazioni», 2018, pp. 41-58

BECCHIO C., FERRANDO D. G., FREGONARA E., SERRA V., *The cost optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin*, «Energy Procedia», 78, 2015, pp. 1039 – 1044

BECCHIO, C.; FERRANDO, D.G.; FREGONARA, E.; MILANI, N.; QUERCIA, C.; SERRA, V., *The cost-optimal methodology for the energy retrofit of an ex-industrial building located in Northern Italy*, «Energy and Buildings»127, 2016, pp. 590–602

CASARA E., FREGONARA E., *Le competenze gestionali elemento strategico nella fase decisionale della valorizzazione immobiliare*, «Techne», 03, 2012, pp. 65-75

CLEMENTE C., CALICE C., MARANDOLA M., *Riqualificazione tecnologica integrata come strumento di valorizzazione e di tutela attiva del patrimonio città consolidata*, «Techne», 12, 2016, pp. 261-268

CURTO R., FREGONARA E., GROSSO M., MELLANO P.; ROLANDO D.; TULLIANI J.M., *Environmental Technology, Materials Science, Architectural Design, and Real Estate Market Evaluation: A Multidisciplinary Approach for Energy-Efficient Buildings*, «The Journal of Urban Technology», 2013, pp. 57-80

FREGONARA E., *Evaluation Sustainability Design. Life Cycle Thinking and international orientations*, FrancoAngeli, 2017

FREGONARA E., FERRANDO D. G., GIORDANO R., PATTONO S., *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage*, «Buildings», 2017, pp. 1-20

FREGONARA E., *Methodologies for supporting sustainability in energy and buildings. The contribution of Project Economic Evaluation*, «Energy Procedia» 111, 2017, pp. 2–11

FREGONARA E.; GIORDANO R.; ROLANDO D.; TULLIANI J.M., *Integrating Environmental and Economic Sustainability in New Building Construction and Retrofits*, «The Journal of Urban Technology», 23, 2016, pp. 3–28

LISITANO I.M., *Come finanziare i lavori di riqualificazione? Quadro dei meccanismi per la giusta valutazione di incentivi e detrazioni*, «Ingenio», 2019

LISITANO I.M., *Valutare la fattibilità tecnico economica delle riqualificazioni su parti comuni di edifici condominiali*, «Ingenio», 2019

MARINO V., THIÉBAT F., *Integrazione dei requisiti di sostenibilità ambientale nel progetto di architettura*, «Techne», 18, 2019, pp. 174-183

PADUOS S., *Analisi economica degli interventi di miglioramento energetico degli edifici*, «Ingenio», Novembre 2015

RUARO V., *Life-cycle cost analysis con esempi applicativi*, Dispense del corso di Valutazione economica del progetto, a.a. 2013/2014, Università IUAV di Venezia

THIÉBAT F., *Life-cycle design for sustainable architecture*, «TECHNE», 5, 2013, pp. 177–183

THIÉBAT F., *Uno strumento di analisi a supporto di valutazioni strategiche per il recupero e la rifunzionalizzazione di aree dismesse*, «Techne», 12, 2016, pp. 238-244

NORMATIVE

DIRETTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 16 dicembre 2002 *sul rendimento energetico nell'edilizia*

DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 192, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*

DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 19 maggio 2010 *sulla prestazione energetica nell'edilizi*

DIRETTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 25 ottobre 2012 *sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE*

DECRETO-LEGGE 4 giugno 2013, n. 63, *Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale*

DECRETO INTERMINISTERIALE 26 giugno 2015, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*

LEGGE 3 agosto 2013, n. 90, *Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale*

UNI EN 12464-1:2011, *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni*

UNI EN ISO 14683:2018, *Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento*

UNI/TS 11300-1:2014, *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*

UNI/TS 11300-2:2019, *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali*

UNI/TS 11300-3:2010, *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva*

UNI/TS 11300-4:2016, *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*

TESI

AMBROGIO K., *Il miglioramento dell'efficienza energetica in sistemi aggregati di edilizia pre-industriale di base, tra istanze conservative e prestazionali. Definizione dei fattori determinanti il comportamento energetico e delle potenzialità d'intervento nel centro urbano di Ferrara*, Tutore Fabbri R., Università degli studi di Ferrara, Tesi di dottorato in Tecnologia dell'Architettura, 2010

ARATO M., BIANCO G., CHIALVA A., *Retrofit del patrimonio architettonico del '900: scenari di riqualificazione della Mensa di I. Gardella*, Rel. Curto R.A., Politecnico di Torino, Tesi di Laurea Magistrale Architettura per il Restauro e Valorizzazione del Patrimonio, 2017

CALICE C., *Riqualificazione energetica nel settore terziario. Casi di studio e strategie d'intervento*, Tutore Clemente C., Università Sapienza di Roma, Tesi di dottorato in Risparmio energetico e microgenerazione distribuita, 2014

GUGLIELMO G., *Interazione tra luce naturale e luce artificiale nella simulazione energetica dinamica mediante il software Radiance*, Tesi di Master

MAROCCO M.V., *Recupero di archeologie industriali. Verifiche preliminari di fattibilità economica per un caso studio a Verbania*, Rel. Rebaudengo M., Prizzon F., Zerbinatti M., Politecnico di Torino, Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, 2017

PICCIONE V., *Recupero fabbrica Somaini*, Rel. Croce B. Politecnico di Milano, Corso di laurea magistrale in Progettazione Architettonica e Urbana, 2010

RUSSO F., *Adaptive reuse per la rigenerazione urbana. Il potenziale della legacy industriale sul waterfront di Catania*, Rel. Robiglio M., Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, 2019

SANFILIPPO E., *Il retrofit energetico. L'edilizia residenziale post-bellica di Palermo*, Tutore Colajanni S., Università degli Studi di Palermo, Tesi di Dottorato in Recupero dei contesti antichi e processi innovativi dell'architettura, 2015

TALARICO A., *Gli Studi di Fattibilità nella valutazione dei grandi progetti: il caso dello stabilimento Fiat-Lingotto a Torino*, Rel. Bravi M. Politecnico di Torino, Corso di laurea in Architettura, 2004

SITOGRAFIA

anit.it

annex36.com

beniculturali.it

docomomo.com

enea.it

gse.it

guidaeuroprogettazione.eu

iea.org

mise.gov.it

pianostrategico.polito.it

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare

il professor Curto, per avermi dato la possibilità di affrontare un tema così complesso e così stimolante, per il suo aiuto e la sua costante disponibilità nonostante la distanza e le mille difficoltà di questo momento;

il professor Micono, per avermi accompagnata in questo percorso di tesi che è stato per me una continua scoperta, un'occasione senza sosta di crescita e di arricchimento;

Rossella e Cristina, per essersi prese a cuore questo lavoro, per la passione che mi hanno trasmesso, per la vicinanza nella lontananza, perché senza il loro supporto non credo sarei potuta arrivare fin qui;

Alice e Diana, per i tanti spunti di riflessione ed i preziosi consigli;

Gabriele, per tutto ciò che mi ha insegnato, per il tempo che mi ha dedicato, per la sua fiducia e le sue attenzioni;

l'ingegnere Marco Pellochiù, per avermi accompagnata nei sopralluoghi, per aver sempre risposto ai miei mille dubbi senza farmi mai mancare il suo sostegno;

l'ingegnere Massimo Procacci, per aver trovato soluzioni ai miei quesiti, per gli stimoli e le occasioni di formazione in cui mi ha coinvolta;

l'Architetto Cristina Natoli, per le parole, i momenti di confronto ed il contributo che questa tesi cerca di custodire;

la mia mamma, che è stata e sarà sempre la mia colonna portante, che ha fatto tanto, troppo. Per l'immenso grazie che vorrei dirle, che a parole si fa fatica a spiegare.

papà, che dietro quei suoi modi un po' taciturni, a volte da me fraintesi, non hai mai smesso di stringermi forte la mano, ricordandomi sempre che non esiste occasione in cui possa sentirmi sola;

Jacopo, per l'ascolto, la comprensione, per avermi sempre spinta a guardare il lato bello delle cose.