

# LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI FACCIATE AD USO UFFICIO: UNA PROPOSTA METODOLOGICA



**DAVIDE DE VITO**



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità  
A.A. 2024/2025

**La riqualificazione energetica  
di facciate di edifici ad uso ufficio:  
una proposta metodologica**

con applicazione progettuale e valutazione degli scenari di intervento

Relatore:  
**prof. Carlo Micono**

Correlatore:  
**Prof.ssa Valentina Serra**

Candidato:  
**Davide De Vito**

*A nonno,  
che sapeva già.*

1

# FACADE

pag. 13

- 1.1 Da involucro a facciata continua 16
- 1.2 La complessità di classificare 22

## LA FACCIATA COME STRUMENTO DI CONTROLLO CLIMATICO

2

- 28 Il comfort 2.1
- 31 Trasmissione di calore 2.2
- 34 Controllo solare 2.3

pag. 25

3

## LA SFIDA ATTUALE: EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

pag. 41

- 3.1 Il retrofit 44
- 3.2 Casi studio 46
- 3.3 Quadro statistico sullo stato di fatto 50
- 3.4 Correlazioni 52

## UNA PROPOSTA METODOLOGICA

4

- 60 Dal prodotto al servizio: toolkit per supporto alla progettazione 4.1
- 68 La metodologia: step procedurali 4.2

pag. 57

5

## APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA: IL CASO STUDIO

pag. 77

- 5.1 Centro Piero della Francesca, Torino 80
- 5.2 Prime analisi 83
- 5.3 Il progetto 86

## ANALISI E RISULTATI

- 100 Strumenti di valutazione fra alternative progettuali 6.1
- 102 Analisi fabbisogno energetico 6.2
- 110 Analisi carbonio incorporato 6.3
- 114 Analisi cantierabilità 6.4

6

pag. 97

7

## CONCLUSIONI

pag. 119

- 7.1 Valutazione scenari 122
- 7.2 Potenzialità e limiti della metodologia 132
- 7.3 Possibili sviluppi futuri 134

Il seguente lavoro di tesi si inserisce nel recente fenomeno di riqualificazione energetica di edifici ad uso uffici costruiti nel secolo scorso. Il patrimonio edilizio ereditato è composto prevalentemente da edifici realizzati tra gli anni '50 e '80, caratterizzati da tipologie costruttive disomogenee, ma accomunati da un'elevata inefficienza energetica e da facciate ormai obsolete, non conformi alle normative vigenti.

A partire dal presente quadro dello stato di fatto, la ricerca sviluppa una metodologia per la riqualificazione delle facciate di edifici ad uso ufficio. La proposta si concretizza in un insieme di linee guida a carattere pratico e procedurale, applicate nella seconda parte della tesi a un caso studio reale. Seguendo la metodologia definita, il progetto esplora tre diversi scenari di intervento, valutandoli attraverso un approccio multidisciplinare.

L'obiettivo della proposta metodologica è fornire ai progettisti uno strumento di supporto nella riqualificazione degli edifici ad uso ufficio, senza però vincolare o limitare la componente creativa del processo progettuale.

Parallelamente ad una ricerca di stampo più teorico, il risultato statistico ottenuto attraverso l'analisi di 30 casi studio ha permesso di definire un quadro dello stato di fatto. Da queste indagini preliminari si definiscono tre scenari tipo di intervento, che diventano uno degli strumenti fondamentali della metodologia. Per il retrofit di questi edifici infatti, non esistendo "soluzioni pronte all'uso", i progetti più riusciti possono concorrere progressivamente a costituire dei precedenti da assumere come good practices.

La proposta metodologica si sviluppa in fasi che permettono inizialmente un'analisi della preesistenza di stampo tecnologico e fisico tecnico, consentendo di assegnare delle priorità d'intervento e individuare criticità, andando così a costituire un quadro esigenziale alla base delle successive scelte operative. Le fasi successive propongono scelte con sempre più gradualità salta di scala fino al dettaglio costruttivo.

Nelle fasi finali, le linee guida sono state strutturate per supportare una valutazione multidisciplinare dell'esito progettuale dei due o più scenari di intervento adottati dal progettista. Questo approccio consente di calibrare la scelta finale, risultante l'esito di un compromesso fra indicatori afferenti a campi diversi. Confinando l'approfondimento di tesi all'ambito tecnologico e fisico-tecnico, le categorie di valutazione riguardano l'analisi della cantierabilità, il nuovo fabbisogno energetico e l'impronta di carbonio.

Il lavoro di tesi si conclude con l'applicazione delle linee guida a un caso studio selezionato tra gli edifici che più potrebbero beneficiare di una riqualificazione energetica. Sono stati quindi sviluppati tre progetti, secondo i tre scenari di intervento -bassa, media, alta intensità- sul Centro Piero della Francesca, a Torino. Il risultato non si è considerato tanto nel risvolto architettonico, quanto negli esiti delle valutazioni prestazionali, che hanno permesso di definire diversi profili afferenti a discipline diverse, fra loro confrontabili. I risultati finali non solo sintetizzano le peculiarità degli interventi, evidenziandone potenzialità e limiti, ma costituiscono essi stessi uno strumento di supporto alla scelta dello scenario più adeguato, rafforzando così l'efficacia della metodologia proposta.

This thesis contributes to the ongoing trend of energy retrofitting in office buildings constructed during the last century. The existing building stock is predominantly composed of structures built between the 1950s and 1980s, featuring diverse typological and construction characteristics. However, these buildings share common issues such as high energy inefficiency and outdated façades that no longer comply with current regulations.

Building upon this context, the research develops a methodology for the refurbishment of office building façades. The proposed approach is structured as a set of practical and procedural guidelines, which are then applied to a real case study in the second part of the thesis. By following the defined methodology, the project explores three different retrofit scenarios, assessing them through a multidisciplinary evaluation framework.

The aim of this methodological proposal is to provide designers with a structured tool to support office building refurbishment while preserving the creative aspects of the design process.

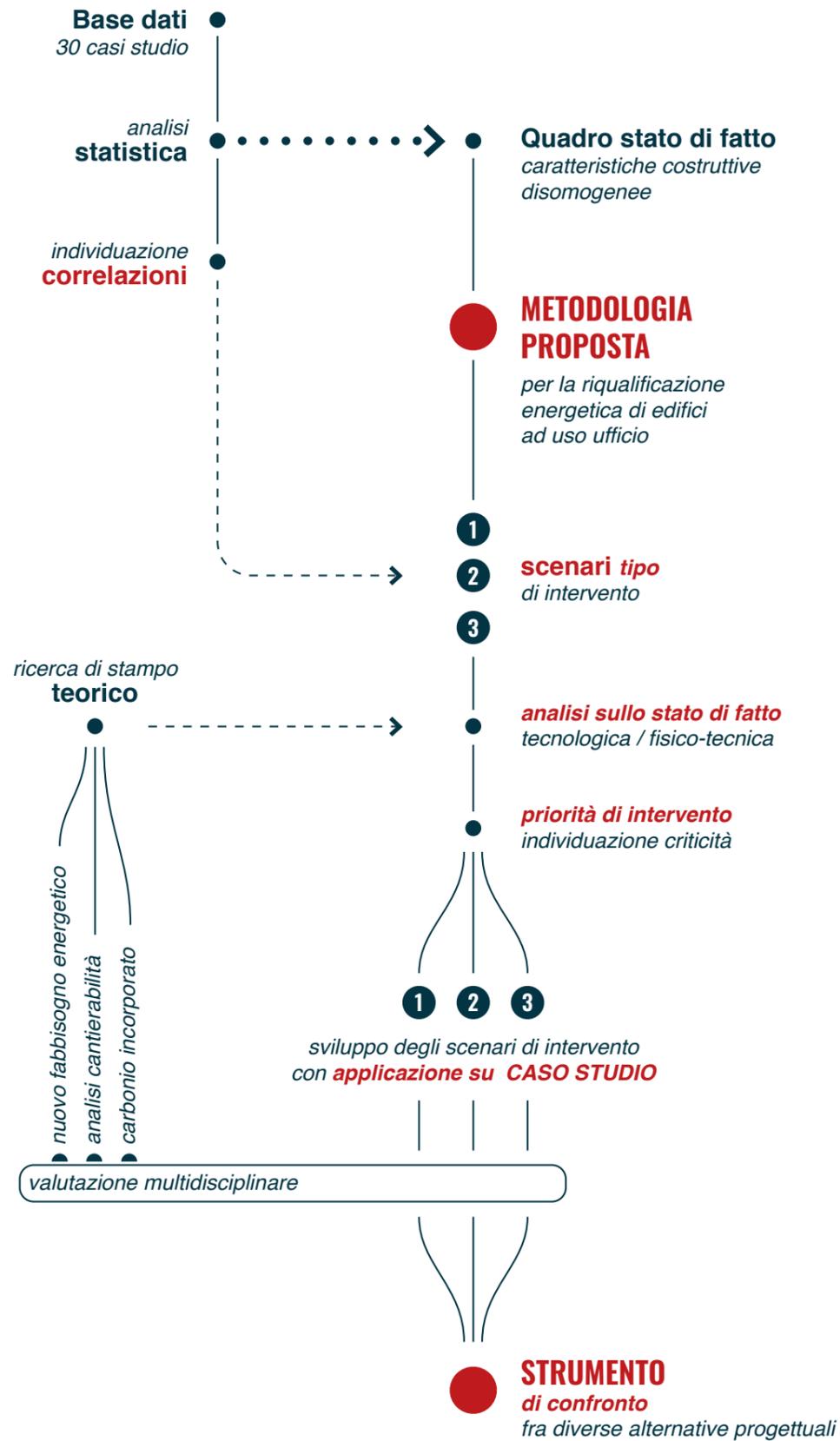
Alongside a theoretical investigation, a statistical analysis of 30 case studies has been conducted to outline the current state of the building stock. These preliminary findings identify three typical intervention scenarios, which form one of the key components of the methodology. Since no "ready-to-use" solutions exist for the retrofit of these buildings, the most successful projects can progressively serve as references and best practices for future interventions.

The proposed methodology is structured into phases, beginning with a technological and physical-technical analysis of the existing building, which helps to establish intervention priorities and identify critical issues. This phase defines the set of requirements that guide subsequent operational choices. The following phases introduce design strategies with progressively finer levels of detail, eventually reaching the construction scale.

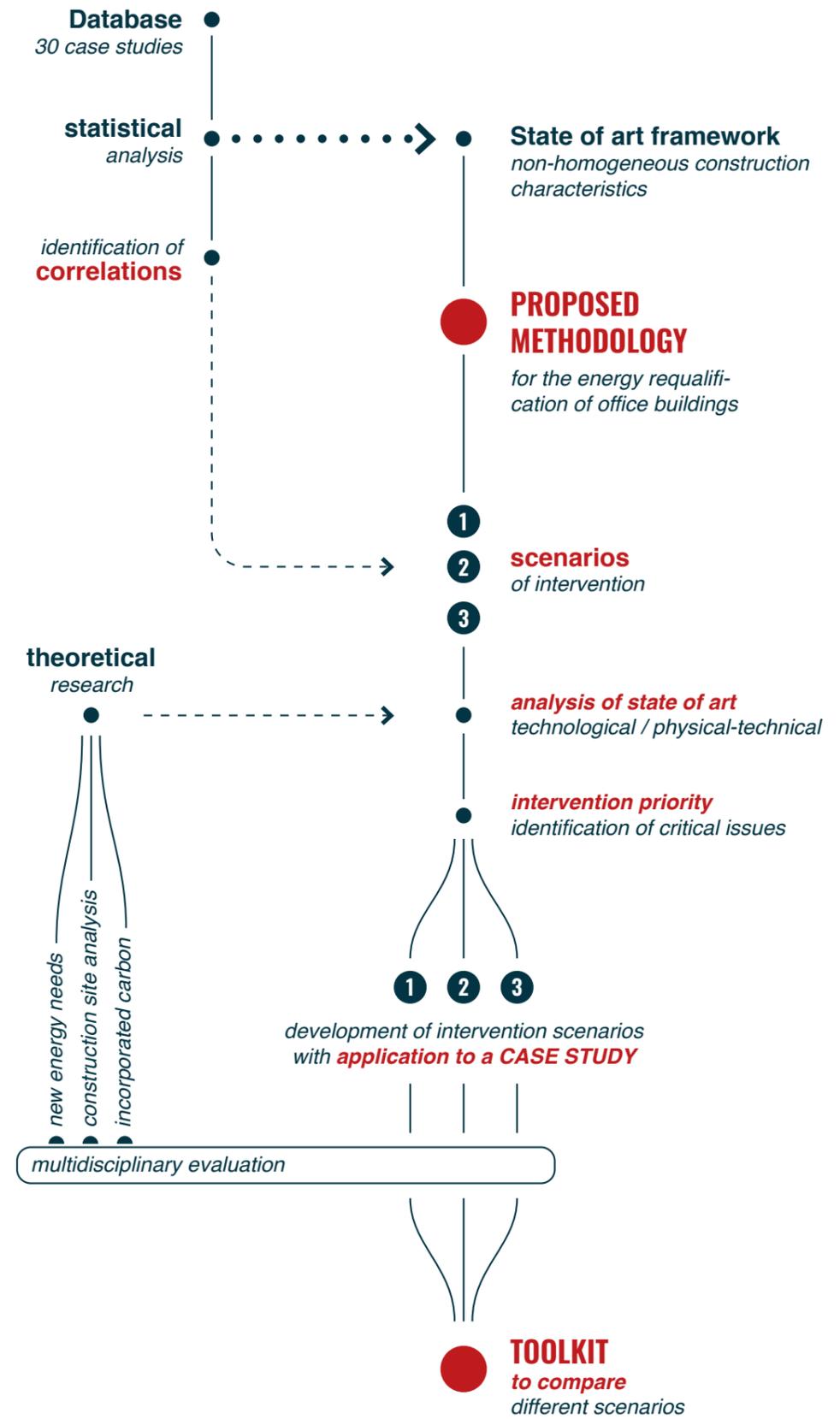
In its final stages, the methodology incorporates a multidisciplinary evaluation framework to compare the performance outcomes of different intervention scenarios. This assessment enables a balanced decision-making process, ensuring that the final choice results from a compromise between multiple performance indicators. Within the technological and physical-technical scope of this research, the evaluation criteria include buildability, revised energy demand, and carbon footprint.

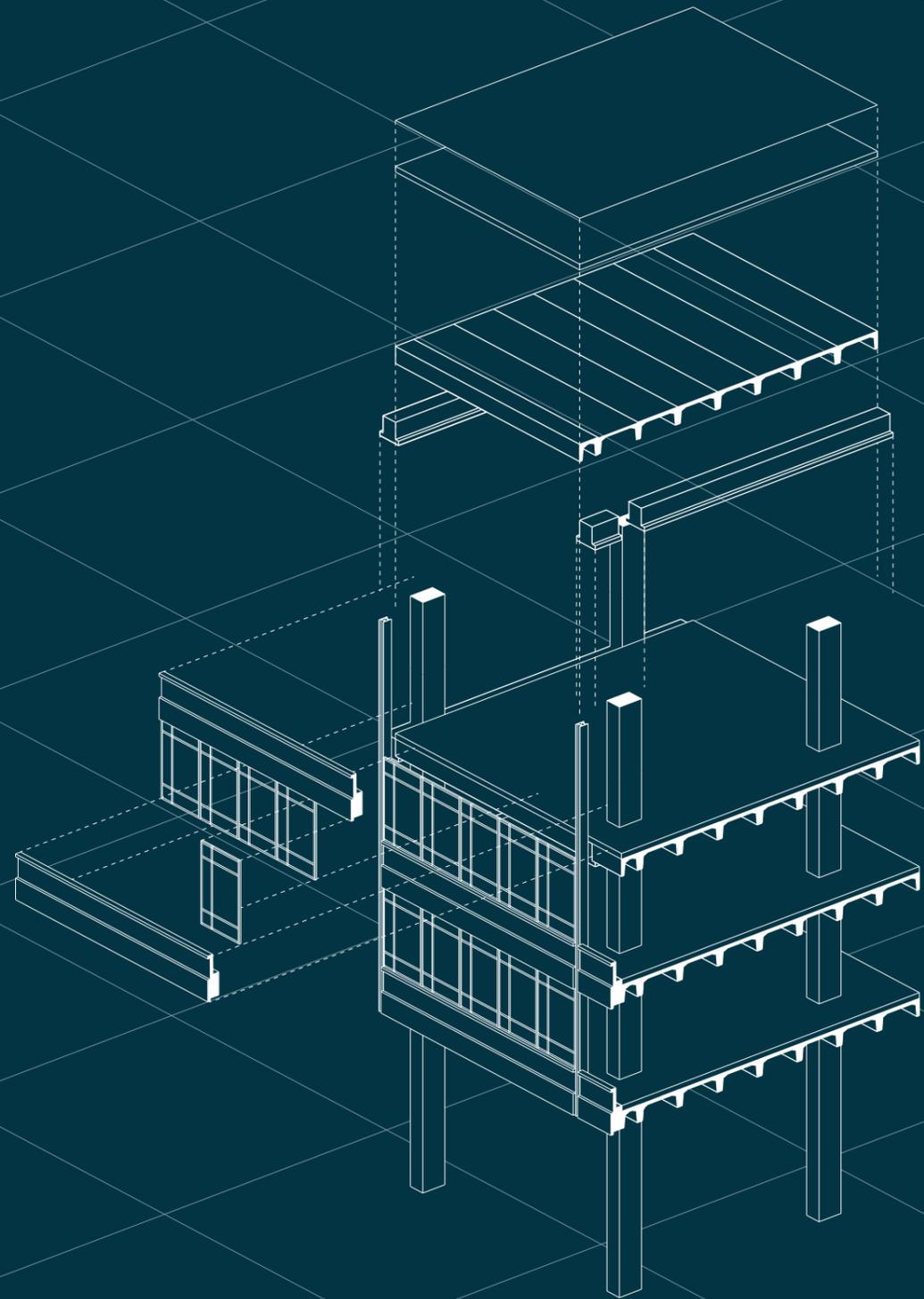
The thesis concludes with the application of the proposed guidelines to a case study selected for its potential to benefit from an energy retrofit. Three design solutions—low, medium, and high intervention intensity—have been developed for the Centro Piero della Francesca in Turin. The focus of the study was not on architectural outcomes but rather on performance evaluations, which allowed for the comparison of different profiles across multiple disciplines. The final results not only summarize the characteristics of the proposed interventions, highlighting their strengths and limitations, but also serve as a decision-making tool to support the selection of the most suitable retrofit scenario, further reinforcing the effectiveness of the proposed methodology.

# ABSTRACT GRAFICO ITA



# GRAPHICAL ABSTRACT ENG





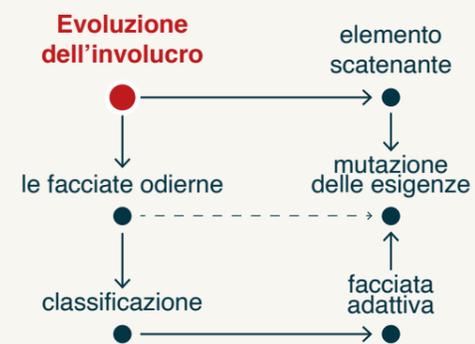
# 1

## FACADE

## CONTENUTI

**1.1** Da involucro a facciata continua

**1.2** La complessità di classificare



# 1.1 Uno sguardo alla storia: da involucro a facciata continua



Fig. 1.0 Schematizzazione metodologia di approccio al capitolo: il filtro di lettura utilizzato per l'analisi dell'evoluzione dell'involucro fino ai giorni odierni.

## 1.1.0 Metodologie

L'involucro è la parte visibile di un'architettura, l'elemento di mediazione fra spazio interno ed esterno e nel corso della storia è spesso diventato strumento di comunicazione, manifesto di movimenti artistici, firma caratterizzante di progettisti<sup>[1]</sup>. Di involucro non ne esiste probabilmente una definizione univoca, è da sempre esistito, subito variazioni a seconda delle tecnologie, dei materiali disponibili e del contesto culturale, ma nel corso del XX secolo "ha visto un'accelerazione in termini di sperimentazioni e innovazioni, un fenomeno che tutt'ora continua"<sup>[2]</sup>.

Per capire come si è giunti alle odierne tipologie e tecnologie di facciata è opportuno ripercorrere le principali tappe della sua evoluzione. La lettura storica dell'evoluzione del concetto di "facciata" che segue, è svolta con l'ottica esigenziale-prestazionale. In tal senso, si cercherà di leggere ogni cambiamento come risposta a delle necessità dell'uomo, tenendo conto parallelamente che tale processo evolutivo è strettamente legato alla conoscenza di nuove tecniche costruttive, della posizione geografica e disponibilità di materiali, nonché al contesto culturale [Fig. 1.0].

[1] Francesco Giovine, "Nascita ed evoluzione dell'involucro", Abec Facade Engineering, NF Architettura, no. 388, 2013, pp. 60-64.

[2] Cucuzzella, C.; Rahimi, N.; Soulikias, A. The Evolution of the Architectural Façade since 1950: A Contemporary Categorization. Architecture 2023, 3, 1-32.

## 1.1.1 Prime esigenze: primi involucri

La prima esigenza dell'uomo di cui l'architettura si fa risoltrice è la necessità di ripararsi dagli agenti atmosferici e di difendersi dagli animali più feroci, oltre quella di delimitare la proprietà privata. Le prime civiltà nomadi avevano la necessità di un riparo facilmente assemblabile e disassemblabile in breve tempo, data la loro permanenza temporanea nei luoghi, ottenuta tramite l'utilizzo di elementi leggeri. Si tratta delle capanne, in cui gli elementi strutturali sono divisi da quelli di tamponamento. Una struttura lignea costituita da pali -fusti e rami decorteggiati- e tamponamenti in altri materiali come pelli e tessuti: questa può essere considerata la prima risposta di involucro a delle esigenze.

Con l'avvento dell'agricoltura e la conseguente nascita della società sedentaria, via via si sviluppano nuove tecniche costruttive volte alla realizzazione di architetture più durevoli nel tempo: si iniziano ad usare altri materiali oltre al legno, a seconda della disponibilità del luogo, come argilla e pietra. La funzione strutturale inizia a non essere più divisa da quella del tamponamento, divenendo questo ultimo portante. Nasce in modo più definito quello che noi oggi intendiamo con il concetto di "involucro": esso inizia ad assumere delle caratteristiche tecniche come resistenza, durabilità, e a rispondere sempre meglio ad esigenze come il riparo da condizioni ambientali esterne come freddo, caldo, agenti

atmosferici. Proprio per questo, a seconda della posizione geografica e dal clima caratterizzante un luogo, cambia la posizione degli insediamenti, la forma delle strutture, l'inclinazione dei tetti e, non di minore importanza, il materiale di cui sono realizzati.



Fig. 1.1 Ricostruzione di una capanna neolitica esposta al Museo Archeologico Nazionale "Domenico Ridola" di Matera [https://www.sassiland.com/eventi\\_matera/evento.asp?id=34597&t=domenica\\_al\\_museo](https://www.sassiland.com/eventi_matera/evento.asp?id=34597&t=domenica_al_museo)

## 1.1.2 L'impero Romano

Se fino ad ora le aperture verso l'esterno, principalmente per questioni tecniche, sono di ridotte dimensioni, è con l'Impero Romano che avviene un uso intensivo -per la prima volta in edifici pubblici- di una tecnologia costruttiva nota sin dall'epoca del bronzo: l'arco. Usato per acquedotti, basiliche, anfiteatri, l'arco ha consentito aperture più ampie senza compromettere la stabilità strutturale, ha permesso di costruire edifici più grandi ottimizzando la quantità di materiale.

Un'altra tecnologia trasportata nell'architettura è l'uso del vetro: nell'era Augustea "le aperture vengono tamponate da pannelli di vetro"<sup>[3]</sup>. Il vetro, "materiale costoso e di difficile uso come elemento per le finestre, rimane comunque poco utilizzato sino alla metà del XII secolo"<sup>[1]</sup>, soprattutto nell'edilizia privata. Ai romani si deve anche la creazione di un nuovo materiale che segna un miglioramento nell'ambito delle qualità e durabilità costruttiva: l'opus caementicium. Ad eccezione di architetture con pali in legno e rivestimento in tessuti, tipiche delle popolazioni nomade, sin ora le facciate hanno avuto funzione strutturale, che ha portato alla produzione di architetture massive con murature portanti. "Un punto di rottura arriva con lo stile gotico"<sup>[3]</sup>.

[3] Sánchez-Ramos I., Javier Francisco R., G., Mese-guer-Garrido F., and Mediavilla-Martín, D. "Energy and comfort. The historical evolution of the façade in Western Architecture." VLC arquitectura 9, no. 2 (October 2022): 179-200.

## 1.1.3 Gotico e Barocco

Con il gotico la muratura massiva tipica del periodo precedente si riduce al minimo necessario per sostenere se stessa, svuotandosi. Le nuove vetrate colorate rispondono principalmente a due esigenze: l'entrata di luce filtrata e la divulgazione religiosa grazie alla rappresentazione su di esse di racconti. Lo svuotamento delle facciate porta alla creazione di nuovi elementi strutturali a supporto come le colonne a grappolo, guglie e pinnacoli, archi rampanti e contrafforti (i primi scaricano ai secondi le spinte degli archi e del tetto). Tutti questi miglioramenti strutturali permettono alle cattedrali di essere gli "edifici più alti al mondo per secoli"<sup>[3]</sup>. Solo successivamente, con le nuove esigenze borghesi, i tamponamenti vetrati si diffonderanno nelle abitazioni<sup>[1]</sup>, permettendo la crescita delle finestrate per un maggior ingresso della luce.

In periodi successivi come il Rinascimento, la facciata diventa occasione per creare armonia, diventa l'elemento caratterizzante per edifici di culto, firma degli architetti ed elemento unico per ogni chiesa. Nel Barocco la facciata è il "manifesto" del movimento artistico, si rompono alcune regole rinascimentali, la facciata diventa lo sfondo teatrale di piazze e luoghi pubblici, entra in comunicazione con l'esterno rompendo la "rigidità" lineare, sviluppandosi con forme concave o convesse [Fig. 1.2].



Fig. 1.2 Francesco Borromini, San Carlo alle quattro fontane, 1634- 1660, Roma <https://maricarte.blogspot.com/2020/08/nel-particolare-si-rivela-dio-francesco.html>

### 1.1.4 La rivoluzione industriale

Con la rivoluzione industriale, l'avvento di nuovi materiali e tecnologie fanno aprire nuovi orizzonti anche per l'architettura dell'involucro. Il miglioramento delle tecniche produttive industriali permette la produzione di grandi quantità di materiali con caratteristiche sino ad allora impensabili -ghisa, poi il ferro e infine l'acciaio- e alla fine del XVIII secolo inizia la realizzazione di strutture a telaio, sfruttando la sua resistenza a trazione, permettendo di liberare sia la pianta che la facciata dell'edificio, perdendo ogni funzione strutturale.

Con il continuo sviluppo industriale, gli edifici di questa tipologia e quelli commerciali, richiedevano sempre più ambienti liberi da elementi portanti e di grandi aperture per il trasporto o l'esposizione della merce<sup>[1]</sup>.

Parallelamente altre spinte vennero durante l'era Georgiana e Vittoriana, "nel quale si richiedevano ambienti adeguati per coltivare specie esotiche in un clima sfavorevole"<sup>[3]</sup>.



**Fig. 1.3** L'interno della struttura di Paxton in una fotografia conservata al Rijksmuseum (1870-1890 ca)  
<https://www.domusweb.it/it/edifici/crystal-palace0.html>

Il ferro ha permesso di soddisfare queste nuove necessità, ne sono un esempio le serre, fra le quali, la più nota, il Crystal Palace [Fig. 1.3]. Progettato da Joseph Paxton nel 1851, nasce come risposta all'esigenza di ospitare la Great Exhibition. Realizzato con 300'000 pannelli di vetro, la progettazione si è focalizzata sul processo costruttivo: dal montaggio alla smontaggio; questo ha permesso alla struttura di essere costruita in 8 giorni e di essere spostata di luogo, sino all'incendio del 1937 che lo ha distrutto.

Le nuove caratteristiche di questi edifici, come leggerezza, luminosità e ampie luci coperte, hanno influenzato altre tipologie di costruzioni. Fra i più evidenti, le coperture di stazioni ferroviarie o gallerie pedonali<sup>[1]</sup>, come ad esempio la galleria Vittorio Emanuele II a Milano.

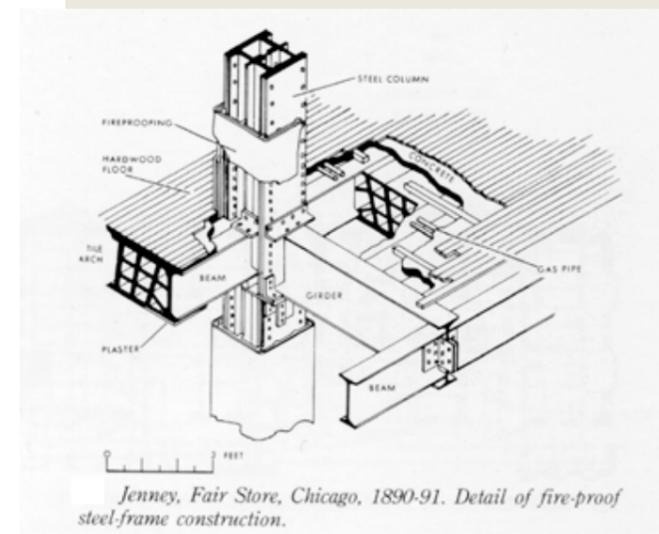
Alla fine del XIX secolo negli USA si inizia a verificare un importante incremento demografico, i prezzi dei terreni edificabili nei centri cittadini aumentano e ciò porta alla realizzazione di grattacieli in acciaio e vetro. Inizialmente rivestiti per il divieto di essere lasciate a vista le strutture metalliche (per problemi di resistenza al fuoco) ad esempio con paramenti in muratura.

Il Fair Store a Chicago [Fig. 1.4; 1.5; 1.6], progettato da William Le Baron Jenny, fu uno dei primi edifici a utilizzare il telaio in acciaio ignifugo, insieme a elementi in acciaio e dettagli di connessione standardizzati. La separazione del pilastro dalla parete esterna libera l'involucro (facciata) dal ruolo portante nei confronti dell'edificio.

Questo concetto è oggi alla base dell'architettura moderna, in cui le pareti possono essere progettate liberamente senza dover più assolvere ruoli strutturali dell'edificio.

[1] Francesco Giovine, "Nascita ed evoluzione dell'involucro", Abec Facade Engineering, NF Architettura, no. 388, 2013, pp. 60-64.

[3] Sánchez-Ramos I., Javier Francisco R., G., Meseguer-Garrido F., and Mediavilla-Martín, D. "Energy and comfort. The historical evolution of the façade in Western Architecture." VLC arquitectura 9, no. 2 (October 2022): 179-200.



**Fig. 1.4** Fair Store, William Le Baron Jenny, Chicago (1891)  
<https://chicagology.com/goldenage/goldenage017/>

**Fig. 1.5** Costruzione del Fair Store, William Le Baron Jenny, Chicago (1891)  
<https://www.britannica.com/technology/skyscraper>

**Fig. 1.6** Esploso assonometrico costruttivo del Fair Store, William Le Baron Jenny, Chicago (1891)  
[https://tboake.com/steel/skyscraper\\_chicago.html](https://tboake.com/steel/skyscraper_chicago.html)



Fig. 1.7 Walter Gropius, Officine Fagus (1911-1925) vista dell'angolo con eliminazione del pilastro: la vetrata come rivestimento. <https://www.teknoing.com/news/progettazione/officine-fagus-manifesto-mondiale-modernita/>

### 1.1.5 Nasce il Curtain Wall

Via via avviene un distacco fra parete esterna e struttura portante dell'edificio, il piano della facciata avanza e questa viene appesa allo scheletro portante, ne consegue una maggiore libertà e la possibilità di essere completamente vetrata: nasce il curtain wall. Anche in questo caso fra i più celebri, prendono posto edifici destinati all'attività produttiva. Questa tipologia di facciata è spesso usata in una specifica tipologia: gli uffici<sup>[3]</sup>. Uno dei primi ad averlo progettato è forse Walter Gropius, architetto del Bauhaus<sup>[2]</sup>.

Nello sviluppo degli involucri sono importanti due movimenti, seppur per aspetti diversi:

- L' **Espressionismo** (1905-1925) che sotto l'influenza del libro *Architettura di Vetro* del poeta Paul Scheerbart, stimola architetti a grandi sperimentazioni con il vetro. Mies van der Rohe ad esempio immagina due involucri completamente vetrati e trasparenti per dei grattacieli per Berlino (1921, 1922). Come vedremo, solo 30 anni dopo, grazie a nuove tecnologie e materiali, inizieranno le prime applicazioni di curtain wall nei grattacieli.

- Il **Movimento Moderno**, che si concentra invece sulla qualità abitativa. Fra i requisiti, quelli a cui una facciata ibera dovrebbe rispondere, rientrano il ricambio d'aria nell'abitazione e la maggiore illuminazione naturale possibile. Tale soluzione è soddisfatta con l'inserimento di finestre a nastro, di Le Corbusier o con la tecnica di vetrate appese per punti.

L'elevato costo della manodopera statunitense porta ad "indirizzarsi in maniera decisa sulla prefabbricazione"<sup>[1]</sup>, questo, insieme allo sviluppo di nuovi materiali (per le guarnizioni e per il fissaggio) e al nuovo procedimento float per la produzione di grandi lastre, fa nascere la facciata continua moderna.

Ne è un esempio il grattacielo Seagram Building (1954-1958) di Mies van der Rohe. Qui i profili metallici esterni vengono portati al piano della superficie vetrata, correndo ininterrotti, accentuando quindi la verticalità.

Con il sistema di facciata indipendente dalla parte strutturale dell'edificio, il termine *pele* meglio sottolinea questa separazione fra ossa e rivestimento. Essa è un organo che rileva la temperatura, sente sensazioni di piacere e dolore. A differenza del curtain wall, la pelle può essere fatta da diversi materiali oltre il vetro, che contraddistingue il primo.

L'involucro dell'edificio è progettato in modo che il tetto e le pareti esterne siano senza soluzione di continuità, ovvero senza interruzioni o giunture visibili, proprio come la pelle per un corpo<sup>[2]</sup>. Per i suoi principi e definizioni, la pelle è spesso associata al concetto di facciata libera.

Alcune sfide della facciata continua come l'impermeabilizzazione dei giunti e la coibentazione dell'edificio vengono migliorate fra gli anni '50 e '60. Vengono realizzati i primi profili a taglio termico che, in abbinata alle vetrate isolanti, contribuiscono all'aspetto energetico della facciata, oltre che il trasferimento in edilizia di una tecnologia logia già ampiamente usata in automobilismo: le guarnizioni profilate in neoprene.

In Europa la necessità di ricostruzione porta ad un boom edilizio. Questo, insieme alla serialità degli elementi, la logica della prefabbricazione e il fenomeno per il quale le facciate vetrate "sembrano diventare lo status symbol di grandi aziende e città dall'economia fiorentina"<sup>[1]</sup>, permette un'enorme diffusione di curtain wall vetrati fino agli inizi degli anni '70.

Alcune sfide che presentava il vetro sono state oggetto di evoluzioni, ne è l'esempio il sistema di appensione delle lastre. Peter Rice, Martin Francis e Ian Ritchie (RFR) pensano ad una retrostruttura fatta di cavi metallici in tensione (Serre del Museo della Scienza e della Tecnica, Parc de la Villette, Parigi, 1986). Il sistema prevede l'utilizzo di molle d'acciaio nella parte superiore ma soprattutto elementi di fissaggio a quattro punti dotati di un giunto sferico per evitare l'insorgere di tensioni eccessive sulle singole lastre.

- [1] Francesco Giovine, "Nascita ed evoluzione dell'involucro", Abec Facade Engineering, NF Architettura, no. 388, 2013, pp. 60-64.
- [2] Cucuzzella, C.; Rahimi, N.; Soulikias, A. The Evolution of the Architectural Façade since 1950: A Contemporary Categorization. *Architecture* 2023, 3, 1-32.
- [3] Sánchez-Ramos I., Javier Francisco R., G., Mese-guer-Garrido F., and Mediavilla-Martín, D. "Energy and comfort. The historical evolution of the façade in Western Architecture." *VLC arquitectura* 9, no. 2 (October 2022): 179-200.

### 1.1.6 Uno sguardo al futuro grazie alla lettura del passato

La trasformazione del concetto di facciata avviene per diversi fattori. Si è cercato di mettere come principale motivazione il cambio di esigenze, che ha spinto l'uomo verso la ricerca di soluzioni più performanti. È da sottolineare il ruolo fondamentale che hanno avuto altri fattori come la disponibilità di nuovi materiali, il miglioramento di processi produttivi e non meno importante il contesto culturale, storico ed economico. Si riscontra, con il miglioramento tecnologico e una più ampia disponibilità materica, un uso sempre maggiore dell'energia elettrica per il controllo dei parametri ambientali e il rispetto del comfort degli ambienti interni, sempre più intervenendo con impianti meccanici e quindi con l'uso di energia elettrica. D'altra parte la modularità degli elementi prefabbricati e le nuove tecniche costruttive sedimentate, hanno permesso a tecnologie e materiali di essere la risposta architettonica in edifici di tutto il mondo, a prescindere dalla località o dalla disponibilità materica del luogo. Rispetto al passato, i nuovi involucri hanno abbandonato l'uso dei materiali disponibili localmente, le tecniche costruttive locali, lo studio di forme per massimizzare il comfort, a favore di ampie vetrate per un ingresso di luce maggiore.

### il settore delle costruzioni.

Con l'affidamento a impianti meccanici per la regolazione dei parametri ambientali negli ambienti interni, gli edifici hanno richiesto sempre di più l'uso di energia elettrica, che attualmente costituisce uno dei problemi maggiori nel settore delle costruzioni. Il consumo energetico è il parametro che è aumentato maggiormente nell'evoluzione delle facciate<sup>[3]</sup>. Secondo il 2022 Global Status Report for Buildings and Construction pubblicato dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), il settore delle costruzioni è responsabile di oltre il 34% della domanda energetica globale e circa il 37% delle emissioni di CO<sub>2</sub> legate all'energia<sup>[4]</sup>. Inoltre, il Sixth Assessment Report dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changes) del 2022 indica che gli edifici hanno contribuito al 21% delle emissioni globali di gas serra nel 2019<sup>[5]</sup>.



FONTE DATI: Global Status Report for Buildings and Construction

- [4] United Nations Environment Programme (UNEP). *Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. UNEP, 2022
- [5] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, 2022

# 1.2

## La complessità di classificare

Con il termine “facade” si indica un ampio ventaglio di soluzioni per quell’elemento che divide l’ambiente interno dall’esterno. Si fa riferimento certamente alla facciata continua ma la sua definizione non è univoca. Esistendone varie tipologie, con diversi comportamenti e possibili componenti annessi, la volontà di classificare nasce come un’esigenza doverosa per distinguere e comprenderne meglio la complessità. In letteratura, quando si fa riferimento al termine “Facade”, ne seguono numerosi e diversi aggettivi che tentano di spiegarne il funzionamento, come: passivo, dinamico, attivo, cinetico, intelligente, commutabile, reattivo, interattivo, mobile, biomimetico, ispirato alle piante e così via.

In merito alla classificazione e ad una possibile nomenclatura delle facciate, si ritiene valido il lavoro di ricerca svolto nella review “*design approaches and typologies of adaptive facades*”<sup>[6]</sup>, riassunto nello **schema 1.2**.

### 1.2.1 La limitatezza della classificazione

Il tentativo di classificare e dividere in diverse tipologie, in modo così preciso le facade, potrebbe generare una sovrapposizione in caso di comportamenti o aspetti simili. Una singola facade quindi potrebbe rientrare sotto più categorie<sup>[7]</sup>. Ad esempio una facade switchable rientrerebbe nella tipologia smart qualora utilizzasse materiali intelligenti per il movimento. Così come una movable ha caratteristiche di una kinetic ma mira a generare energia, la kinetic ha caratteristiche di una responsiva qualora il sistema di controllo fosse tramite elementi schermanti mobili.

### 1.2.2 La sfida attuale: facciate adattive

Con le facciate convenzionali statiche è usuale riscontrare alcuni comportamenti che potrebbero suggerire la presenza di discomfort degli utenti interni, come ad esempio il continuo intervento manuale nell’abbassamento di tendaggi interni per problemi di abbagliamento o rifrazione su videotermini, la percezione di una temperatura del vetro troppo differente dalla temperatura dell’ambiente o l’entrata di raggi solari diretti. Questa tipologia di facciata può compensare i cambiamenti dell’ambiente esterno limitatamente<sup>[8]</sup>. Il livello di comfort interno viene quindi compensato dall’utilizzo di impianti come quello di illuminazione, condizionamento e riscaldamento.

Le diverse performance funzionali di cui la facciata deve tener conto possono essere contraddittorie: ombreggiatura vs illuminazione artificiale, vista vs privacy, guadagno solare vs surriscaldamento, luce naturale vs abbagliamento. L’esigenza di controllare questi fattori ambientali, rispettando i requisiti dell’ambiente interno, richiede la progettazione di una facciata in cui la risposta non può essere più soddisfatta da sistemi di tipo tradizionale<sup>[9]</sup>. Inoltre, i nuovi modi di lavorare e la digitalizzazione, aumentano la domanda per l’interattività<sup>[7]</sup> e per la possibilità di personalizzare gli ambienti.

Una strada che si sta perseguendo nell’ambito della ricerca per migliorare la prestazione dell’involucro è la dinamicità prestazionale, definita “responsività”, cioè la capacità dell’involucro di rispondere a diverse condizioni al contorno con la prestazione energeticamente più efficiente<sup>[10]</sup>. Numerose definizioni nella classificazione delle facade viste precedentemente possono rientrare all’interno di questo più ampio concetto della responsività.

Il termine Facciata adattiva sembra essere utilizzato per la prima volta nell’edizione del 2007 di “*Façades, Principles of Construction*” (Ulrich Knaack, Tillmann Klein, Marcel Bilow and Thomas Auer).

[6] Amir Tabadkani, Astrid Roetzel, Hong Xian Li, Aris Tsangrassoulis, Design approaches and typologies of adaptive facades: A review, Automation in Construction, Volume 121, 2021, 103450, ISSN 0926-5805,

[7] Attia S, Lioure R, Declaude Q. Future trends and main concepts of adaptive facade systems. Energy Sci Eng. 2020;8:3255–3272.

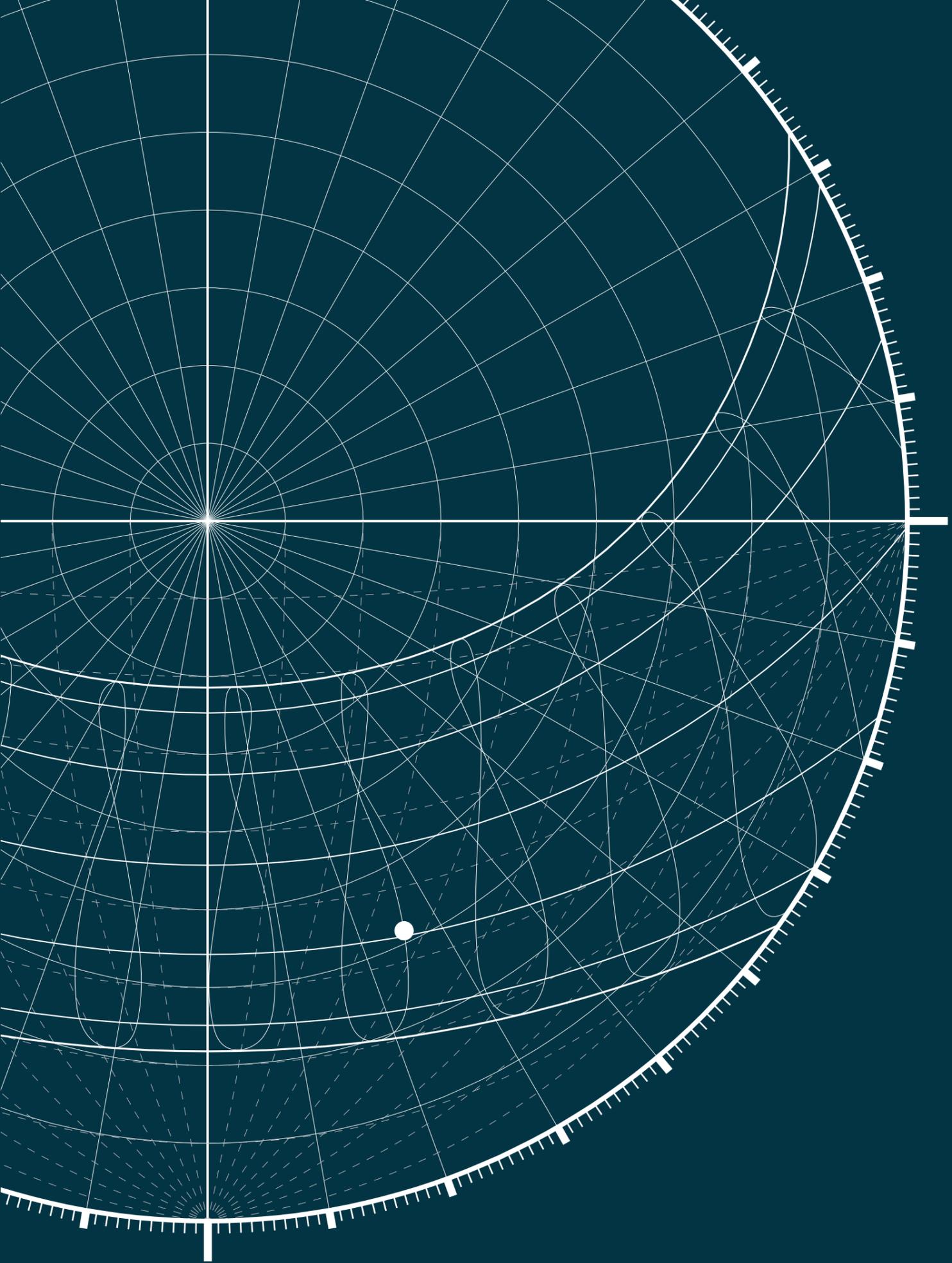
[8] Voigt, M.P.; Roth, D.; Kreimeyer, M. Decision Support for Defining Adaptive Façade Design Goals in the Early Design Phase. Energies 2023, 16, 3411.

[9] Tabadkani, A.; Roetzel, A.; Xian Li, H.; Tsangrassoulis, A.; Attia, S.; Analysis of the impact of automatic shading control scenarios on occupant’s comfort and energy load, Applied Energy, Volume 294, 2021, 116904, ISSN 0306-2619.

[10] Barobetti, C. L’efficienza energetica e la qualità ambientale del patrimonio edilizio esistente. Atti e rassegna tecnica, 1-2-3, 2012.

**Schema 1.2** (destra) Rielaborazione grafica e traduzione dello schema della review “*Design approaches and typologies of adaptive facades*”<sup>[6]</sup>

POSSIBILE CLASSIFICAZIONE SECONDO LA LETTERATURA					
Nome	Requisiti	Limiti	Potenziale	Interazione dell’utente	Versione migliorata
<b>Active</b>	Tecnologie attive senza un’elettronica sofisticata	Non ha come obiettivo il controllo dell’ambiente interno	Auto regolazione della facade che può essere controllato dall’ambiente interno o esterno	No	-
<b>Passive</b>	Progettazione di strategie passive	Minore flessibilità e capacità di adattarsi alle diverse condizioni ambientali	Minor uso di energia elettrica	No	Intelligent facade
<b>Biomimetic</b>	Ispirazione a meccanismi naturali	Solo responsiva a condizioni ambientali esterne a determinate soglie	Minor uso di energia elettrica	No	-
<b>Kinetic</b>	Meccanismi complessi per il movimento di elementi	Uso di energia elettrica	Permette un ampio range di possibili movimenti	No	Responsive facade
<b>Intelligent</b>	Richiede sensori, attuatori per controllare l’ambiente interno e la tecnologia per l’intelligenza	Uso di energia elettrica	Migliora imparando, rispondendo in modo più preciso e real-time	Si	Responsive facade
<b>Interactive</b>	Sensori, attuatori in combinazione con l’intervento umano	Non influenza direttamente il comfort interno	Flessibilità in base all’input dell’utente	Si	-
<b>Movable</b>	Sistemi mobili a scala della facade per rispondere ai cambiamenti delle condizioni climatiche	Non ha come obiettivo il controllo dell’ambiente interno	Generare energia	No	-
<b>Responsive</b>	Sensori, attuatori per il controllo dell’ambiente interno	Serve un’azione per la risposta	Permette la percezione real-time dell’ambiente e operazioni orientate all’utente	Si	-
<b>Smart</b>	Materiali smart per un controllo intrinseco	Limitato ai materiali con proprietà fisiche specifiche che sono dipendenti dal tempo	Non c’è bisogno di energia esterna per generare il cambiamento	No	Intelligent, responsive, switchable facade
<b>Switchable</b>	Materiali adattivi per un controllo intrinseco	Limitato a componenti trasparenti con specifiche proprietà fisiche	Può essere controllato sia attivamente dall’utente che passivamente dalle condizioni ambientali esterne	Si	-



# 2

## **LA FACCIATA COME STRUMENTO DI CONTROLLO CLIMATICO**

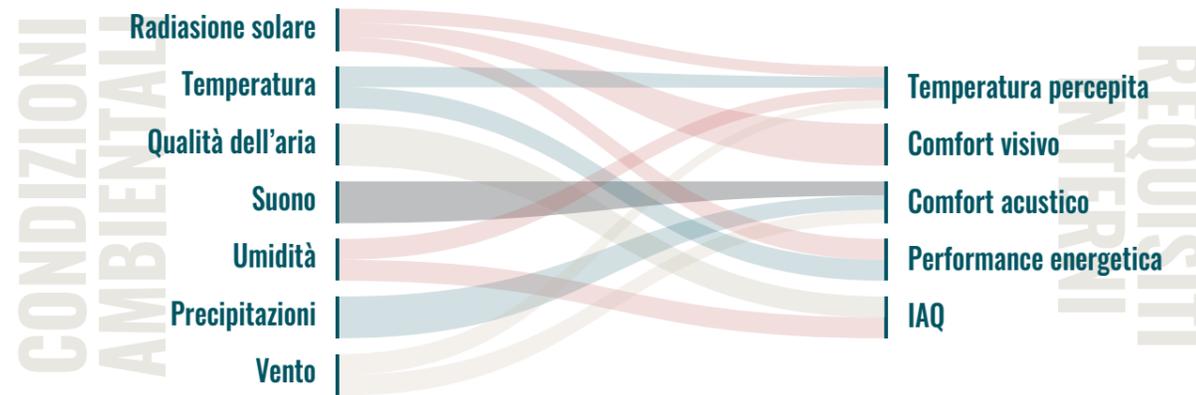
## CONTENUTI

- 2.1** Il comfort
- 2.2** Trasmissione di calore
- 2.3** Controllo solare



## PRINCIPI FISICI

# 2.1 Il comfort



**Grafico 2.1** Schematizzazione correlazioni fra condizioni ambientali e requisiti interni

Il concetto di comfort negli ambienti interni ha radici profonde nella storia dell'umanità, sin da quando la ricerca di un rifugio caldo era essenziale per la sopravvivenza. Oggi, quel desiderio si traduce in una serie di parametri che influenzano la percezione della qualità di un'ambiente, che incide direttamente sul benessere degli occupanti e sulla loro produttività. Il benessere è uno stato psichico e fisico che interessa più sensi, l'idea di comfort sta venendo sempre più interpretata come qualcosa che va oltre i requisiti climatici<sup>[11]</sup> e può includere altre misure, si può parlare quindi di benessere termico, visivo, acustico e per "comfort" si fa riferimento ad una condizione di soddisfazione dell'ambiente di cui l'occupante non vorrebbe modifiche.

## 2.1.1 Comfort termoigrometrico

In termini normativi, secondo la UNI EN ISO 7730, per comfort ambientale si intende una "condizione di neutralità termica in cui il soggetto non richiede condizioni climatiche diverse da quelle presenti". Quando si parla di condizioni ambientali interne è rilevante anche la norma europea EN 16798 in quanto fornisce delle linee guida e più nello specifico tratta di:

- **Condizioni ambientali interne:** temperatura dell'aria, umidità relativa e ventilazione;
- **Standard di comfort:** specifica i livelli di comfort termico e qualità dell'aria per gli occupanti;
- **Classificazione degli edifici:** stabilisce diversi livelli di comfort in base alla destinazione d'uso dell'edificio;

Anche la norma UNI EN ISO 7730 definisce i quattro parametri fisici ambientali che contribuiscono alla determinazione dello stato termico del corpo: temperatura dell'aria, velocità dell'aria, temperatura media radiante, grado igrometrico o umidità relativa, definendo poi anche le cause

del disagio termico localizzato: elevata differenza delle temperature dell'aria, pavimento troppo caldo o troppo freddo, le correnti d'aria, l'elevata asimmetria media radiante, umidità relativa troppo elevata o troppo bassa.

## 2.1.2 Parametri

Nella definizione di comfort si è parlato di una "condizione termica", in riferimento al fatto che il comfort termico non dipenda direttamente da un singolo parametro come la temperatura dell'aria interna, ma piuttosto dalla relazione che questi parametri hanno. I parametri ambientali in gioco per la definizione di un'ambiente più o meno confortevole sono numerosi e in relazione fra loro. La temperatura dell'aria nello spazio interno influenza certamente la percezione di benessere in un'ambiente interno ma non è l'unico parametro che ne influenza la valutazione, il grado di benessere. Il comfort è influenzato simultaneamente dall'umidità relativa, dalla temperatura media radiante e dalla velocità dell'aria, i quali alterano la percezione e concorrono quindi alla definizione di un'ambiente confortevole dal punto di vista termo igrometrico.

[11] Hergoz, T., Krippner, R. Lang, W. Facade Construction Manual. De Gruyter. Edition detail, second edition (settembre 2017).

## temperatura dell'aria

Misurata in gradi Celsius [°C] o Kelvin [K] rappresenta l'energia cinetica media delle molecole d'aria. È un parametro essenziale per la definizione della qualità termo igrometrica di un'ambiente ed è definito e regolato da diverse norme.

## umidità relativa

L'umidità relativa indica il grado di saturazione del vapore acqueo nell'aria. È definita come il rapporto tra la pressione parziale del vapore acqueo presente in un volume d'aria e la pressione di saturazione del vapore acqueo alla stessa temperatura. È espressa in percentuale: un valore di UR di 0% indica un'aria completamente secca, il 100% aria satura, dove il vapore acqueo inizia a condensarsi in forma liquida (nebbia, rugiada, pioggia). Il **grafico 2.2** mostra come l'umidità relativa cambi la percezione del comfort. Le elevate % di umidità sono meglio sopportate a più basse temperature e viceversa.

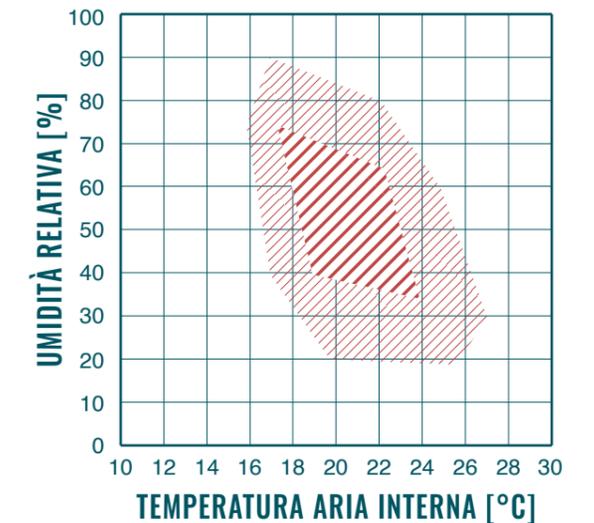
## temperatura media radiante

La temperatura media radiante è la temperatura medie delle superfici interne in un determinato spazio, come pareti, pavimento e soffitto. Secondo le norme, in particolare la ISO 7726, essa è calcolata considerando le temperature di tutte le superfici che influenzano l'ambiente circostante. Questo parametro influisce sulla percezione della temperatura interna. Il **grafico 2.3** mostra la correlazione fra la temperatura media della superficie interna e quella dell'aria, mostrando come superfici fredde sono meglio sopportate da temperature dell'ambiente più calde.

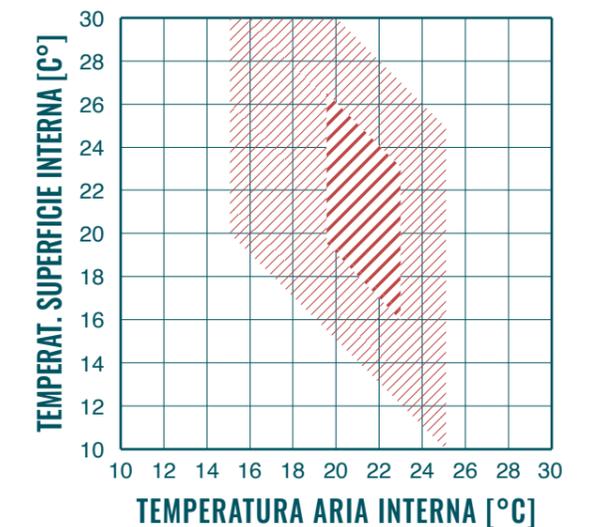
## velocità dell'aria

La velocità dell'aria rappresenta la velocità con cui l'aria si muove all'interno di uno spazio, misurata in m/s. Il movimento dell'aria, favorendo lo scambio di calore dalla superficie della pelle, è un parametro che viene considerato nell'ambito della misurazione e valutazione del comfort termo igrometrico. Un'elevata velocità dell'aria può aumentare, ad esempio, la perdita di calore per convezione e favorire l'evaporazione del sudore, concorrendo ad una sensazione di fresco. Velocità elevate invece possono causare discomfort, soprattutto a temperature basse. La norma UNI 7730, che stabilisce i valori massimi raccomandati, introduce anche il concetto di "Draft Rate" (DR) che misura la percentuale di persone insoddisfatte a causa di correnti d'aria.

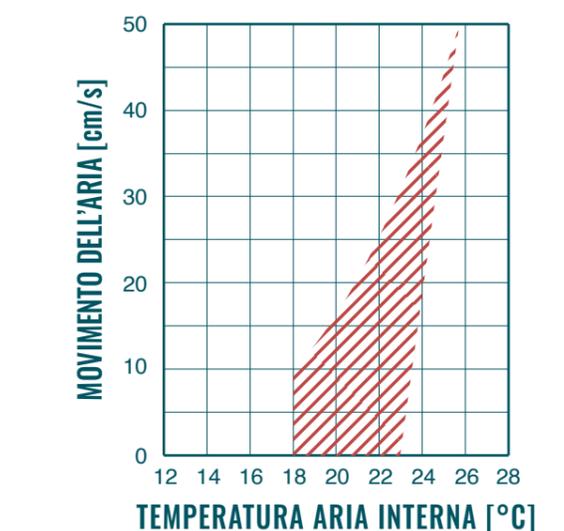
Il **grafico 2.4** conferma quanto un movimento dell'aria più elevato sia sopportato solo da temperature più calde.



**Grafico 2.2**



**Grafico 2.3**



**Grafico 2.4**



2.1.3 Indici di performance termica

Per rendere perseguibile, verificabile e valutabile un dato livello di comfort in un'ambiente interno, la norma europea EN 16798, dapprima suddivide in 4 categorie la qualità di un'ambiente, servendosi poi degli indici di performance termica.

Categoria	Livello di aspettativa
IEQ <sub>I</sub>	Alto
IEQ <sub>II</sub>	Medio
IEQ <sub>III</sub>	Moderato
IEQ <sub>IV</sub>	Basso

Il livello basso presenta il comfort minore mentre quello alto indica un'ambiente molto confortevole, utilizzato in edifici con utenti con particolari necessità come anziani, bambini o persone con disabilità.

Per la valutazione della qualità di un'ambiente dal punto di vista del comfort termico vengono utilizzati i seguenti indici:

- **Temperatura operativa** (ISO 7726)
- **Voto medio previsto PVM** (ISO 7730)
- **Percentuale prevista di insoddisfatti PPD** (ISO 7730)

PMV Voto Medio Previsto (equazione di Fanger)

Esprime lo scostamento della situazione reale dell'ambiente termico da quella di benessere. L'indice PMV valuta l'ambiente termico secondo la tabella sotto riportata.

$$PMV: CT (0,303 \cdot e^{-0,036 M} + 0,028)$$

**CT:** carico termico determinato dalla differenza tra la potenza termica ceduta da un individuo all'ambiente e quella scambiata dallo stesso in condizioni omeoterme

**M:** dispendio metabolico dell'organismo

+3	molto caldo
+2	caldo
+1	abbastanza caldo
0	neutro
-1	abbastanza freddo
-2	freddo
-3	molto freddo

indice ritenuto realistico

PPD Percentuale Prevedibile di Insoddisfatti

E' correlata alla PVM. Quando PVM=0 il PPD è pari al 5%. Si intende quindi che anche in condizioni ottimali (PMV=0) esisterà -ed è ammessa- una percentuale di utenti insoddisfatti.

$$PPD: 100 - 95 \cdot e^{(0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)}$$

Essendo il PPD in funzione del PMV, è possibile tracciare il grafico che le mette in relazione.

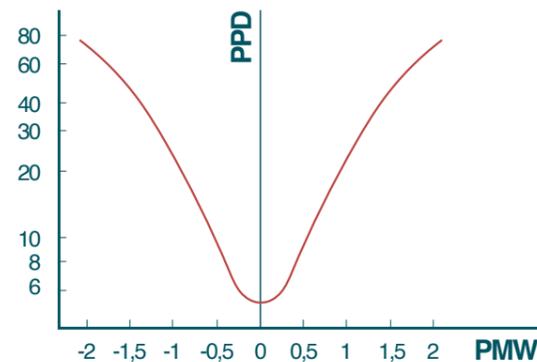


Grafico 2.1 EN 16798

Temperatura operativa

La norma ISO 7726 definisce questo indice come "la temperatura uniforme di un involucro in cui un occupante scambierebbe la stessa quantità di calore per irraggiamento e convezione dell'ambiente, non uniforme, esistente".

$$T_{op}: \frac{h_c \cdot T_a + h_r \cdot T_r}{h_c + h_r}$$

$T_a$ : temperatura dell'aria (°C)

$T_r$ : temperatura radiante (°C)

$h_c$ : coeff. di trasmissione convettiva (W/m²K)

$h_r$ : coeff. di trasmissione radiativa (W/m²K)

La temperatura operativa si può calcolare anche come la media fra la temperatura dell'aria e la radiante se:

$$\begin{aligned} & \text{velocità dell'aria} < 0,2 \text{ m/s} \\ & T_a - T_r < 4^\circ\text{C} \end{aligned}$$

che rappresenta la casistica più comune.

Ma per una maggior precisione e prendere in considerazione diverse velocità dell'aria, vale la formula:

$$Top: A \cdot T_a + (1-A) \cdot T_r$$

$A: 0,5$  se  $V_a < 0,2 \text{ m/s}$

$A: 0,6$  se  $0,2 < V_a < 0,6 \text{ m/s}$

$A: 0,7$  se  $0,6 < V_a < 1 \text{ m/s}$

# 2.2 Trasmissione di calore

2.2.1 Radiazione solare

La Terra riceve dal sole una continua quantità di energia sotto forma di radiazione solare, principale responsabile della vita e delle condizioni climatiche sul pianeta. Si presenta sotto forma elettromagnetica con lunghezze d'onda comprese tra 0,28 e 2,5 micron, suddivise in: radiazione ultravioletta, radiazione visibile e radiazione infrarossa<sup>[12]</sup>. La quantità di energia che la terra riceve dal sole è circa 10000 volte tanto di quanta all'umanità servirebbe<sup>[11]</sup>, questa è una fonte di energia infinita, disponibile e rispettosa dell'ambiente.

Nella progettazione di una facciata si deve tener conto di alcuni fattori da cui dipende la radiazione solare, fra cui:

- Il **percorso del sole**, che dipende dalla posizione geografica e dal periodo dell'anno;
- Livello di **radiazione solare**, che dipende dalla posizione geografica, dal periodo dell'anno, dall'orario, dall'orientamento e inclinazione del piano della facciata, dalle condizioni metereologiche;
- Diversi **tipi di radiazione solare** e la loro diversa distribuzione, che dipende dalla posizione geografica, dal periodo dell'anno, dall'orario, dalle condizioni metereologiche e dall'orientamento del piano della facciata.

La progettazione di una facciata richiede lo studio preliminare delle esigenze, con l'obiettivo di combinare i requisiti di comfort interno a quelli energetici, dove il sole svolge un ruolo fondamentale; lo strumento che ne descrive le caratteristiche geometriche verrà analizzato nel capitolo 2.3.

2.2.2 Trasmissione del calore

Il trasferimento di calore è un fenomeno fondamentale in fisica e avviene principalmente attraverso tre meccanismi: conduzione, convezione e irraggiamento.

- **Conduzione:** il trasferimento avviene senza movimento macroscopico della materia, il calore si trasferisce attraverso un materiale solido da una zona a temperatura più elevata a una a temperatura inferiore. Dipende dalle proprietà intrinseche del materiale, come la conducibilità termica, uno dei principali valori di riferimento per la scelta, ad esempio, di un materiale isolante.
- **Convezione:** il trasferimento avviene attraverso il movimento di massa del fluido (liquidi o gas). Quando una parte del fluido viene riscaldata, la sua densità diminuisce e tende a salire, mentre le parti più fredde e dense scendono. Questo movimento porta a correnti convettive, che in un'ambiente interno potrebbero contribuire ad una diversa percezione della temperatura.
- **Irraggiamento:** il trasferimento avviene tramite radiazioni elettromagnetiche, non richiedendo un mezzo per propagarsi. Tutti i corpi emettono e assorbono radiazioni elettromagnetiche in funzione della loro temperatura. Questo fattore deve essere valutato, ad esempio, perchè una vetrata con una superficie troppo fredda, potrebbe creare disagio facendo percepire un ambiente più freddo di quanto in realtà lo è realmente. La UNI EN ISO 7730 suggerisce che la differenza di temperatura tra l'aria interna e le superfici non dovrebbe superare i 2-3°C.

[11] Hergoz, T., Krippner, R. Lang, W. Facade Construction Manual. De Gruyter. Edition detail, second edition (settembre 2017).

[12] Brivio, S. F. (2010). Schermature solari e tende tecniche: Metodi e soluzioni di progetto, tipologie, risparmio energetico. Milano: Il Sole 24 ORE S.p.A.

In ambito architettonico e ingegneristico, per valutare l'efficienza termica degli edifici, si utilizza il coefficiente di trasmittanza termica (U), espresso in  $W/(m^2K)$ . Questo coefficiente misura la quantità di calore che attraversa una superficie unitaria di un elemento edilizio (come una parete o una finestra) per una differenza di temperatura di 1 K tra l'interno e l'esterno. In altre parole, indica quanto un materiale o una struttura permetta il passaggio di calore: valori più bassi di U rappresentano una migliore capacità isolante.

Il Decreto Ministeriale 26 giugno 2015, noto come "Decreto Requisiti Minimi", stabilisce i criteri generali e i requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici. In particolare, l'Allegato 1, Appendice A, Capitolo 3, definisce i valori limite di trasmittanza termica per le diverse componenti dell'involucro edilizio.

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

Tabella 2.2 Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra.

Zona climatica	U ( $W/m^2K$ )	
	2015	2019/2021
A e B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	<b>0,25</b>	<b>0,22</b>
F	0,23	0,20

Tabella 2.3 Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati.

Zona climatica	U ( $W/m^2K$ )	
	2015	2019/2021
A e B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	<b>0,30</b>	<b>0,26</b>
F	0,28	0,24

Tabella 2.4 Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra.

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

Tabella 2.5 Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati

Zona climatica	U ( $W/m^2K$ )	
	2015	2019/2021
	0,8	0,8

Tabella 2.6 Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti

### 2.2.3 Il vetro

Il vetro è uno dei materiali più utilizzati negli edifici moderni per finestre, facciate continue, lucernari e serre, giocando un ruolo cruciale sia nella regolazione termica che nel comfort visivo. Il motivo per cui è importante trattarlo separatamente risiede nella sua duplice natura: permette il passaggio della luce naturale e contemporaneamente è anche uno degli elementi più critici in termini di isolamento termico. La posizione e la dimensione di un'apertura dovrebbe essere sempre influenzata dall'ambiente interno. Queste due variabili influenzano infatti la quantità di luce naturale, la ventilazione e la vista dell'utente verso l'esterno. I fattori esterni che invece influenzano l'illuminazione interna sono l'orientamento, l'ora del giorno e le condizioni locali della radiazione solare (ostruzioni da parte di altri edifici o oggetti come la vegetazione, condizioni climatiche)<sup>[11]</sup>. Il vetro se pur considerato tale, non è del tutto trasparente e si comporta in modo diverso a seconda del tipo di radiazione da cui è colpito. I coefficienti misurati per valutare la capacità di risposta solare di una vetrata secondo lo spettro totale sono definiti Coefficienti Energetici<sup>[12]</sup>.

[11] Hergoz, T., Krippner, R. Lang, W. Facade Construction Manual. De Gruyter. Edition detail, second edition (settembre 2017).

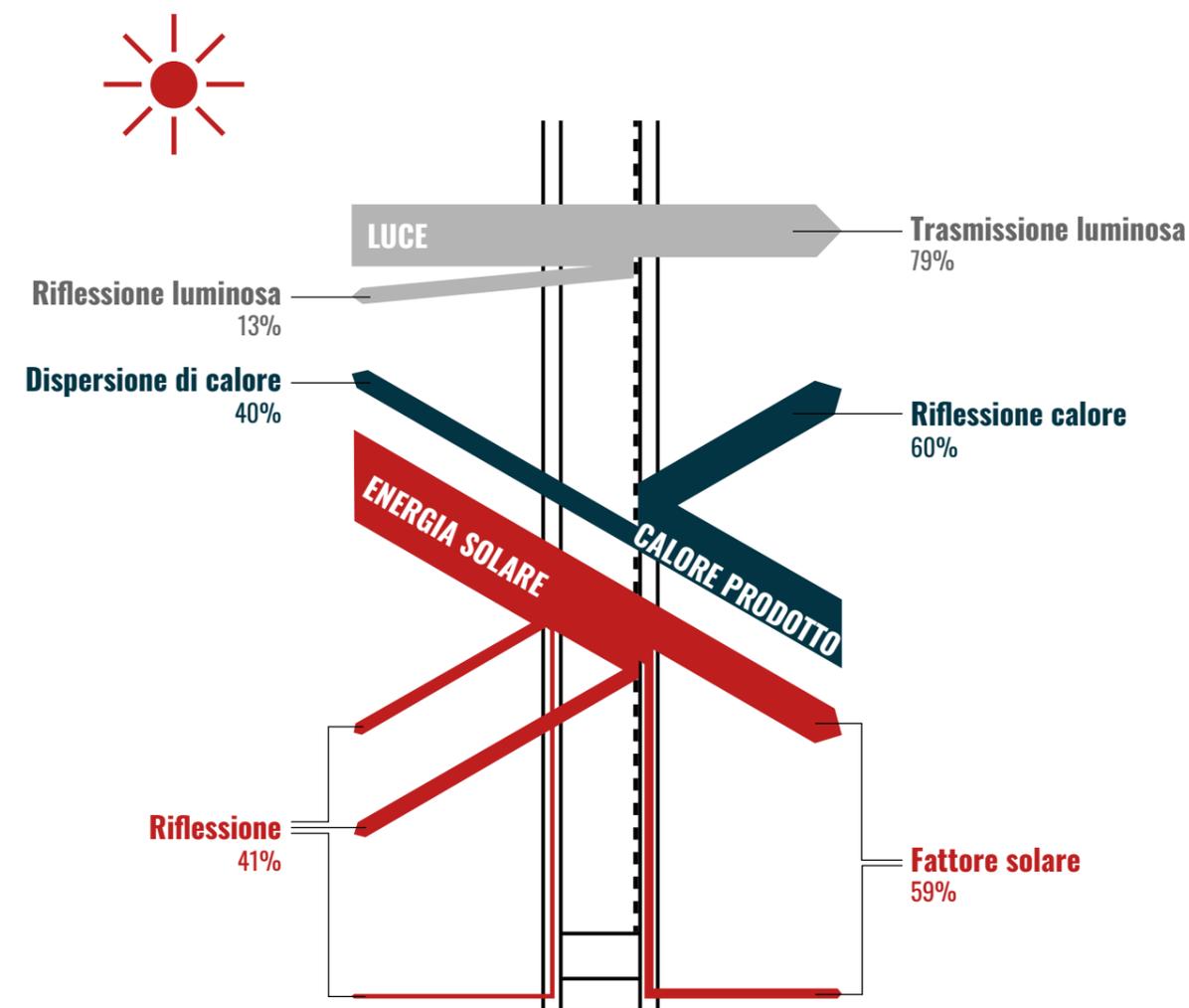
[12] Brivio, S. F. (2010). Schermature solari e tende tecniche: Metodi e soluzioni di progetto, tipologie, risparmio energetico. Milano: Il Sole 24 ORE S.p.A.

[13] Ripamonti E. R., Dolce F. C., (2011). Ponti termici. Analisi e ipotesi risolutive. Milano: Dario Flaccovio Editore s.r.l.

### Coefficienti

Sono indicatori della prestazione energetica: il fattore di riflessione solare, il fattore di trasmissione solare, il fattore di assorbimento solare, il fattore solare o di guadagno solare passivo, il fattore di ombreggiatura e il fattore di trasmittanza termica.

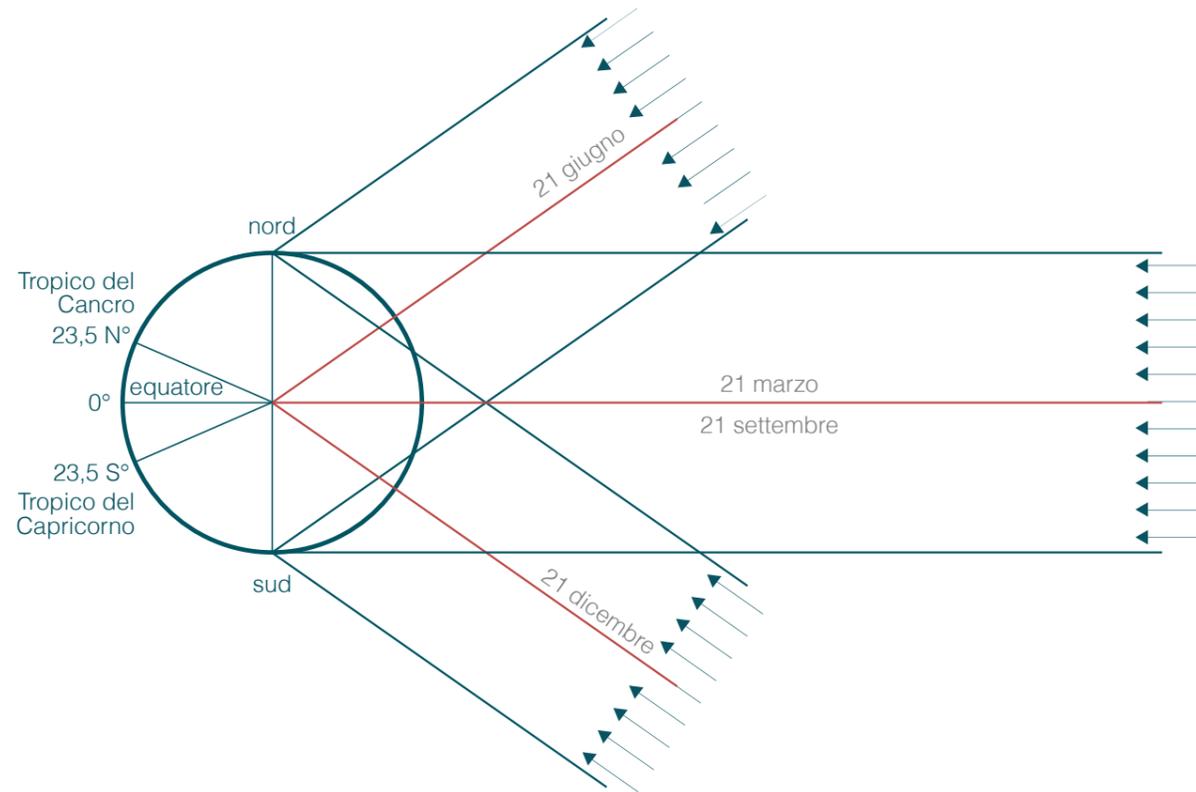
- Fattore di riflessione solare  $\rho$ : rappresenta la quota parte di radiazione solare incidente che viene riflessa dalla superficie vetrata; può variare tra 0 e 1;
- Fattore di trasmissione solare  $\tau$ : rappresenta la quota parte di radiazione solare incidente che viene trasmessa per via diretta dalla superficie vetrata; può variare tra 0 e 1;
- Fattore di assorbimento solare  $\alpha$ : rappresenta la quota parte di radiazione solare incidente che viene assorbita dalla superficie vetrata, poi in parte riemessa verso l'interno ( $q(i)$ ). Il valore di  $\alpha$  si ottiene per differenza dalla seguente equazione:  $1 = \alpha + \rho + \tau$  e può variare tra 0 e 1;
- Fattore solare o di guadagno solare passivo  $g$ : è il rapporto fra l'energia solare trasmessa attraverso un vetro ( $\tau + q$ ) e quella totale incidente sulla superficie esterna dello stesso; può variare tra 0 e 1;
- Fattore di ombreggiatura SC o CS: è il rapporto fra il fattore solare del vetro in esame con il vetro di riferimento (benchmark) con  $g$ : 0,87 (vetro chiaro da 3mm);
- Fattore di trasmittanza termica U: misura lo scambio energetico in  $W/m^2K$  e si calcola:  $Q = U \times S \times \Delta T$  dove U rappresenta il calore scambiato, S la superficie e  $\Delta T$  la differenza di temperatura tra le due facce della superficie di scambio.



Schema 2.2.3 Rielaborazione<sup>[13]</sup> del funzionamento di un vetrocamera basso emissivo

# 2.3

## Controllo solare



Il controllo solare rappresenta un aspetto fondamentale nella progettazione delle facciate architettoniche, in quanto influenza direttamente il comfort termico, visivo ed energetico degli edifici. Le facciate, essendo l'interfaccia tra l'ambiente interno ed esterno, svolgono un ruolo cruciale nel regolare l'ingresso della radiazione solare, contribuendo a mitigare il surriscaldamento estivo e a massimizzare il guadagno solare invernale. Con l'evolversi delle tecnologie e delle normative energetiche, il controllo solare si è trasformato in un elemento chiave per la riduzione dei consumi energetici degli edifici, specialmente nei contesti urbani ad alta densità, dove il riscaldamento e il raffrescamento rappresentano una quota significativa del fabbisogno energetico complessivo. Questi costi energetici, affermano la Whole Building Design Guide (WBDG) e il National Institute of Building Science's (NIBS), possono ridursi fino ad un terzo grazie a strategie di ombreggiamento e di illuminazione naturale efficaci<sup>[14]</sup>. Le strategie di controllo solare si suddividono in approcci passivi e attivi. Tra i sistemi passivi rientrano schermature come frangisole, brise-soleil e pannelli ombreggianti, spesso progettati per ottimizzare l'orientamento e la geometria della facciata.

I sistemi attivi, invece, includono tecnologie avanzate come vetri elettrocromici, pellicole termocromiche e dispositivi meccanici motorizzati, capaci di adattarsi dinamicamente alle condizioni ambientali.

### 2.3.1 Il percorso del sole

L'orbita ellittica e l'inclinazione dell'asse terrestre genera variazioni nel tempo che portano all'alternarsi delle stagioni, ad una variazione dell'altezza del sole rispetto all'orizzonte e a durate del dì e della notte diversi.

La terra raggiunge orientamenti opposti durante l'arco dell'anno: quando il polo nord è più vicino al sole, il 21 Giugno, conosciuto come solstizio d'estate, in cui il dì è il più lungo dell'anno e al contrario, quando il polo sud è più vicino al sole, il 21 Dicembre, il solstizio d'inverno, in cui si ha la notte più lunga dell'anno. Il giorno è uguale alla notte nell'equinozio di primavera e autunno, rispettivamente il 21 marzo e il 23 settembre.

[14] Ander, Gregg D. "Daylighting." World Building Design Guide. 15 September 2016. Web. 20 July 2020.

[15] Castelli, S., (2015). Schermature solari e architettura (Tesi di laurea magistrale). Politecnico di Milano

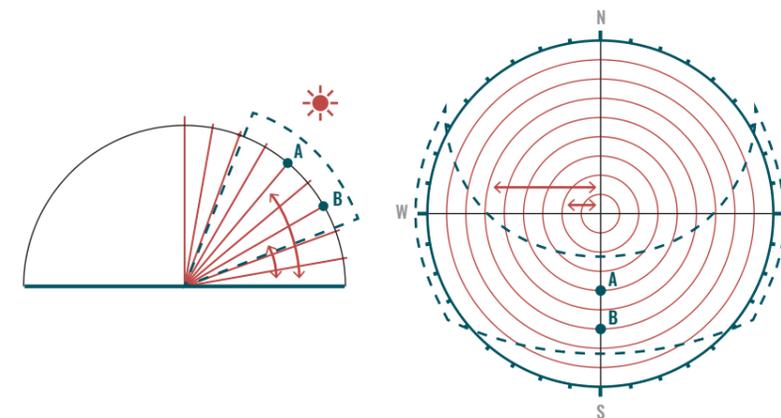
### 2.3.2 La carta solare

L'esatta posizione del sole in un dato orario è descrivibile tramite due grandezze: altezza zenitale e l'angolo azimutale. La prima è l'ampiezza in gradi dell'angolo creatosi fra il raggio solare e un piano tangente -orizzontale- al punto in cui il raggio tocca la superficie terrestre.

L'azimut è invece l'ampiezza dell'angolo fra la linea orizzontale tracciata da nord a sud e la proiezione sul piano del raggio solare; l'ampiezza si legge partendo da sud.

Conosciute le unità di grandezza per descrivere la posizione del sole, il suo percorso può essere proiettato su una superficie piana tracciando un diagramma che prende il nome di Carta Solare o diagramma solare. La superficie piana su cui è proiettata la volta celeste è il piano dell'orizzonte. La carta solare è un sistema utile per vedere se, ad una determinata ora del giorno ed in parti colare in un dato giorno dell'anno, una certa superficie dell'edificio riceve la radiazione solare<sup>[15]</sup>.

Questo strumento consente di valutare con precisione come la radiazione solare incida sulle superfici dell'edificio durante l'anno, supportando l'ottimizzazione delle soluzioni di controllo solare.

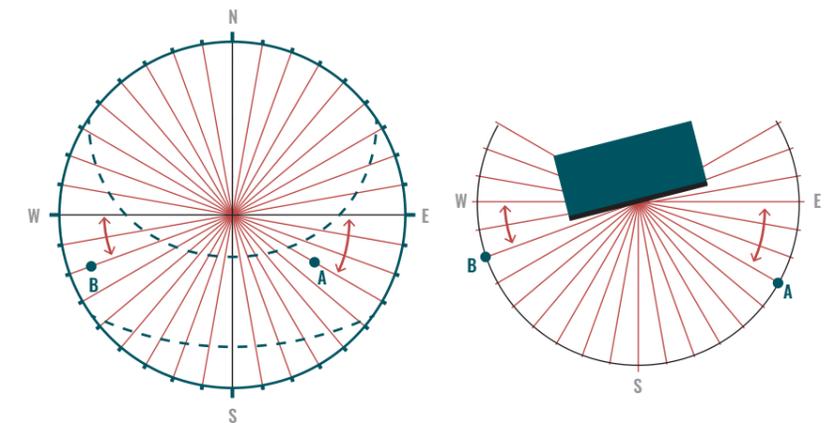


#### Altezze zenitali

Le circonferenze concentriche rappresentano le altezze zenitali, con incrementi di 10° a partire dalla circonferenza di bordo che rappresenta l'alba e/o il tramonto con valore 0°.

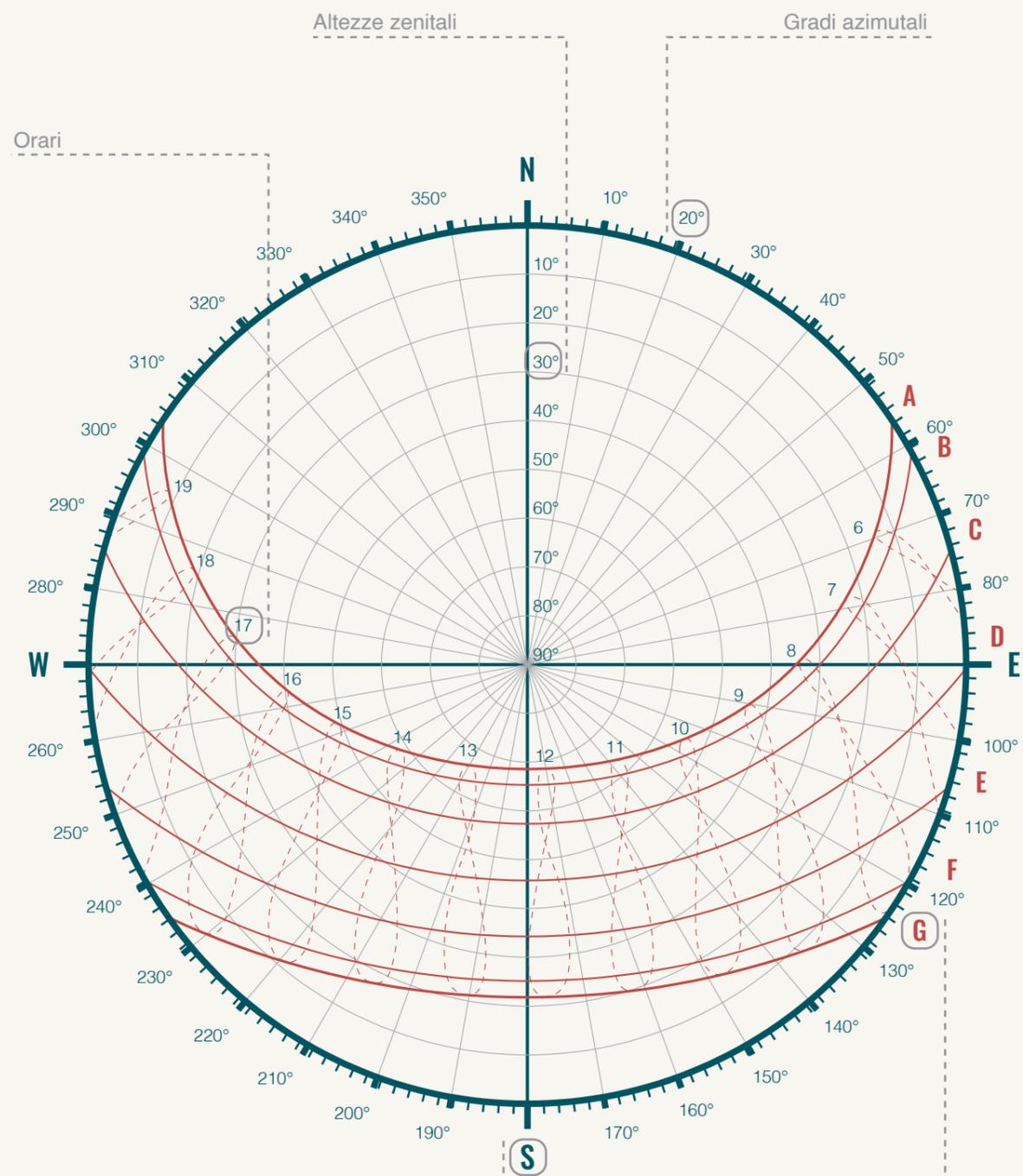
#### Gradi Azimutali

Il fascio di rette a formare una raggiera, con incrementi di 10°, rappresenta l'azimut. Troviamo infatti le due rette di riferimento nord-sud e est-ovest.



#### Altezze zenitali

Essendo gli equinozi e solstizi il 21 del mese, ed essendo il moto del sole simmetrico rispetto ai solstizi, nella carta solare vengono tracciati i percorsi solari di ogni 21 del mese e ogni percorso (tranne il 21 Giugno e 21 Dicembre) rappresenta due mesi. Vengono poi rappresentati gli orari.



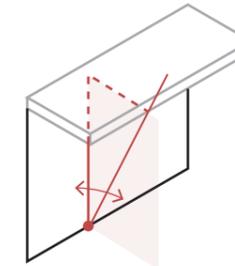
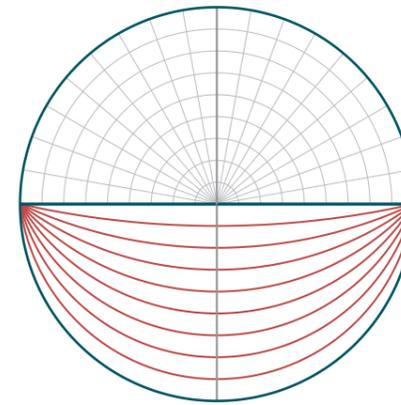
Punti cardinali

Mesi

- 21 giugno A
- 21 maggio - luglio B
- 21 aprile - agosto C
- 21 marzo - settembre D
- 21 febbraio - ottobre E
- 21 gennaio - novembre F
- 21 dicembre G

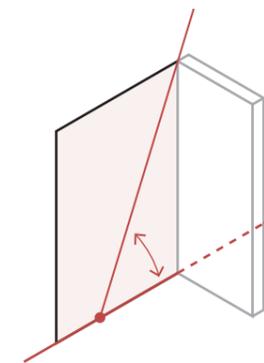
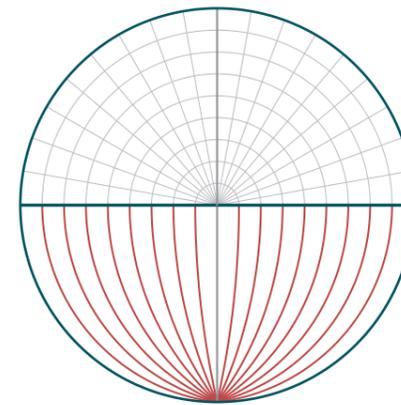
### 2.3.4 Goniometro solare

Disegnati i percorsi solari con latitudine e longitudine del lotto d'interesse e determinati i periodi da schermare, questi si possono riportare sulla carta solare. Sarà possibile, con la sovrapposizione del goniometro solare, o maschera dell'ombreggiamento, disegnare delle aree seguendo le linee del goniometro in modo da coprire la più alta % dell'area individuata sulla carta solare. Con la lettura del goniometro si estrapoleranno i dati geometrici per ottenere il risultato progettato in piano.



#### Linee radiali

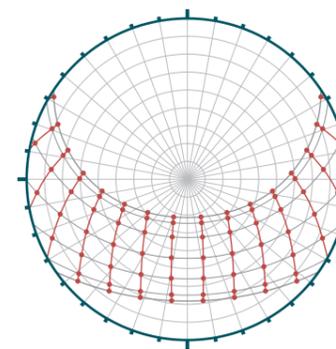
Corrispondono agli angoli d'ombra orizzontali (in pianta). Sulla maschera d'ombreggiamento le linee radiali si ripetono con intervalli di 10°.



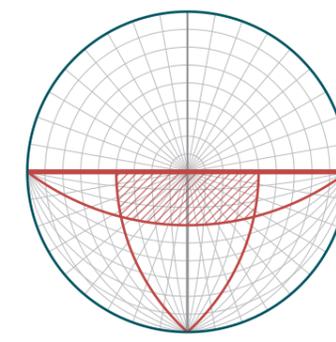
#### Linee curve

Corrispondono agli angoli d'ombra verticali, generati cioè da spigoli orizzontali.

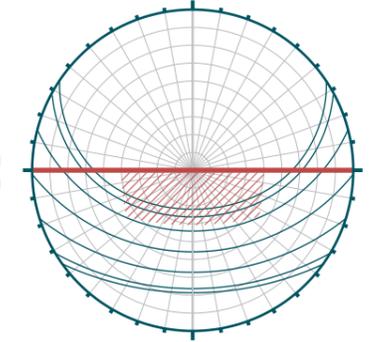
La carta solare in sovrapposizione con il goniometro solare, diventa uno strumento che permette di ottenere, a partire da una lettura critica dello storico dei dati climatici, dei dati geometrici utili al dimensionamento dei sistemi schermanti.



+



=



CARTA SOLARE

GONIOMETRO SOLARE

MASCHERA OMBRE

### 2.3.4 I coefficienti delle schermature

I coefficienti delle schermature sono fondamentali indicatori della prestazione energetica di superfici trasparenti o schermate, in quanto descrivono il comportamento delle strutture nel modulare l'ingresso di radiazione solare negli ambienti interni. Tra questi, il fattore di riflessione solare, il fattore di assorbimento solare, il fattore solare totale, l'indice di protezione solare e il coefficiente di ombreggiatura rappresentano parametri chiave per valutare la capacità delle schermature di controllare il flusso di energia solare.

■ **Fattore di trasmissione solare** della tenda  $\tau$ : rappresenta la quota parte di radiazione solare incidente sullo schermo che viene trasmessa per via diretta; può variare tra 0 e 1.

■ **Fattore di riflessione solare** della tenda  $\rho$ : rappresenta la quota parte di radiazione solare incidente dallo schermo che viene riflessa dalla superficie vetrata; può variare tra 0 e 1.

■ **Fattore di assorbimento solare** della tenda  $\alpha$ : rappresenta la quota parte di radiazione solare incidente che viene assorbita dallo schermo, poi in parte riemessa verso l'interno ( $q(i)$ ). L'assorbimento di un corpo è in genere in funzione della massa, nel caso dei teli solari dello spessore. Il valore di  $\alpha$  si ottiene per differenza dalla seguente equazione:  $1 = \alpha + \rho + \tau$  e può variare tra 0 e 1.

■ **Fattore Solare Totale  $g_{tot}$** : è il rapporto fra l'energia solare trasmessa attraverso un vetro + schermo e quella totale incidente sulla superficie esterna degli stessi; può variare tra 0 e 1.

Ad un valore di  $g_{tot}$  vicino allo zero corrisponde una minore capacità di trasmissione o di guadagno solare e quindi un'ottima prestazione solare della tenda. Questo indice cambia a seconda del posizionamento della tenda: se interna, integrata o esterna.

$$g_{tot} = \tau_{tot} + Q_{(i) tot}$$

$\tau_{tot}$ : trasmissione diretta totale vetro con tenda

$Q_{(i) tot}$ : trasmissione secondaria totale vetro con tenda

■ **Indice di Protezione Solare IPS**: rappresenta in percentuale la quota di flusso solare incidente eliminato grazie all'installazione della tenda e si ottiene con il reciproco del fattore solare  $g_{tot}$ . Questo indicatore potrebbe risultare più immediato per la comprensione e la valutazione della prestazione solare del dispositivo scelto.

$$IPS: (1 - g_{tot})$$

■ **Coefficiente di Ombreggiatura** o Shading Coefficient **CS**: è il rapporto fra il fattore solare totale del vetro con schermo con il vetro di riferimento (benchmark) con  $g:0,87$  (vetro chiaro da 3mm).

$$CS: g_{tot} / 0,87$$

### 2.3.5 Esterna o interna

La posizione delle schermature rispetto al vetro, che può essere esterna o interna, rappresenta un aspetto cruciale nella progettazione e nell'efficacia delle soluzioni per il controllo solare e termico. La scelta tra una schermatura esterna o interna non è solo una questione estetica, ma ha un impatto diretto sulle prestazioni energetiche, sul comfort interno e sulla durabilità del sistema.

Nella ricerca condotta da Barbara Horwitz-Bennett<sup>[16]</sup> viene mostrata la differenza dello stesso sistema schermante (telo a trama intrecciata bianca con apertura del 3%) applicato esternamente e poi internamente.

Il vetro scelto per il calcolo è un doppio vetro con un valore di trasmissione luminosa del 68%, con rivestimento low-e nella superficie interna del vetro esterno.

Nello studio vengono calcolati 3 scenari:

- Fattore  $g$  di **0.38** (con 33% dell'energia solare che passa attraverso la finestra + schermatura);
- Fattore  $g$  di **0.16** (con 5% dell'energia solare che passa attraverso la finestra + schermatura);
- Fattore  $g$  di **0.10** (con 5% dell'energia solare che passa attraverso la finestra + schermatura);

[16] Horwitz-Bennett, B. (2019). Mitigating glare and solar heat gain with exterior shading systems. Architectural Products, 17(4), 42-45.

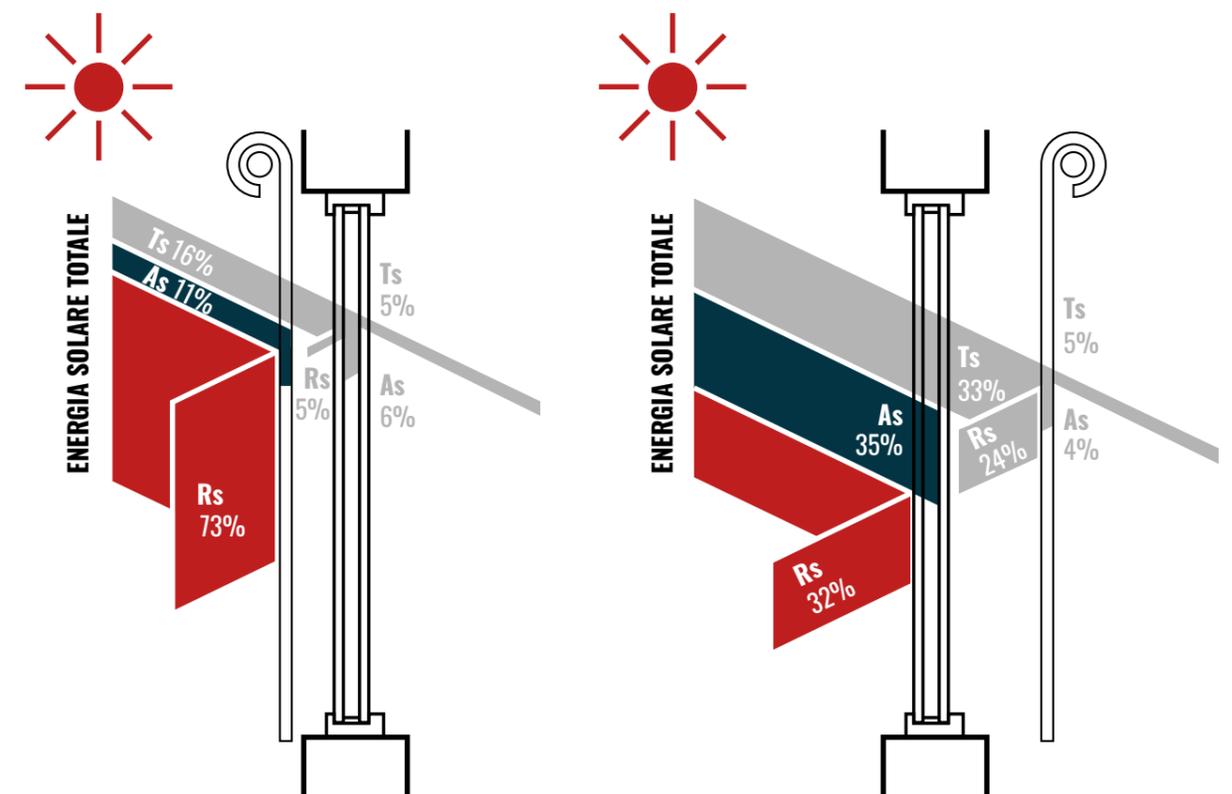
Leggendo i risultati degli scenari b. e c., si potrebbe pensare, data l'uguale quantità di radiazione che colpirebbe le superfici dell'ambiente interno, che la posizione, interna o esterna, dell'elemento schermante, non porterebbe a differenze prestazionali, se non una maggior difficoltà manutentiva nei confronti di quella esterna.

In realtà un'importante ma meno evidente differenza si riscontra nel fattore di assorbimento del vetro che, come visto, assorbe calore rilasciandolo anche all'ambiente interno.

Nello scenario b. il 35% della radiazione è assorbita dal vetro, il 4% assorbito dal tessuto (39%); Nello scenario c. il 6% della radiazione è assorbita dal vetro, l'11% dal tessuto (17%);

Oltre ad una dimezzazione dell'assorbimento, dal 39% al 17%, si noti come nello scenario b. la radiazione assorbita dal vetro (35%) viene convertita in calore che in parte verrà ceduta all'ambiente interno.

Appare più evidente ora il vantaggio di una schermatura posizionata esternamente quando da questo elemento tecnologico ci si aspetta una diminuzione sensibile del calore accumulato dalla radiazione incidente sulla superficie vetrata.



Schema 2.3.5 Rielaborazione<sup>[16]</sup> dello schema di sintesi della ricerca condotta



3

**LA SFIDA ATTUALE:  
EFFICIENTAMENTO  
ENERGETICO**

## CONTENUTI

- 3.1** Il retrofit
- 3.2** Casi studio
- 3.3** Quadro statistico sullo stato di fatto
- 3.4** Correlazioni



# 3.1 Il retrofit

## 3.1.1 Una sfida ereditata dal modernismo

Grazie alle caratteristiche innovative, tecnologiche e ai nuovi materiali e insieme all'introduzione del sistema costruttivo a curtain-wall, dagli anni '50 è aumentata la popolarità di facciate completamente vetrate<sup>[17]</sup>. Durante questo periodo, sotto la spinta della corrente modernista, architetti e progettisti sono stati più attenti agli aspetti formali della nuova architettura piuttosto che a quelli energetici o di comfort termo igrometrico interno. Le grandi superfici vetrate, spesso costituite da singole lastre di vetro trasparente, hanno causato dispersioni di calore molto elevate durante l'inverno ed eccessivi carichi solari estivi, essendo le schermature solari spesso insufficienti o del tutto assenti. Per mitigare questi problemi, si è spesso optato per l'installazione di impianti di climatizzazione sovradimensionati.

Questa eredità di innumerevoli casi rappresenta una sfida attuale da non molto tempo, la demolizione e ricostruzione nella maggior parte dei casi non è un'opzione e si parla quindi di rifunzionalizzazione, recupero, riuso, rigenerazione, retrofit, solo alcuni dei termini per indicare questo aspetto sempre più rilevante nell'ambito dell'edilizia contemporanea.

Attualmente, oltre la metà degli interventi riguarda strutture esistenti, e in futuro la scarsità di risorse materiali porterà architetti e ingegneri a confrontarsi con la necessità di riutilizzare edifici che hanno perso la loro funzione originale, che sono obsoleti o non conformi alle normative attuali, come quelle relative alla sicurezza e al comfort, tematiche centrali nei progetti di recupero.

Il recupero di edifici del XX secolo è spesso considerato come una branca della più generale disciplina del restauro, ma presenta caratteristiche specifiche che richiedono strumenti critici e modalità di intervento peculiari. La definizione di queste modalità è ancora una questione aperta<sup>[18]</sup>.

[17] Barobetti, C. (2012). L'efficienza energetica e la qualità ambientale del patrimonio edilizio esistente. Atti e rassegna tecnica, 1-2-3.

[18] Martini, Alessandro, Città, infrastrutture, trasformazioni urbane e aggiornamento tecnologico. Ottorino Aloisio e il Palazzo Sip di Torino in Il nuovo Palazzo della Provincia di Torino, [s.n.], Torino 2008, pp.20-36

[19] Cucuzzella, C.; Rahimi, N.; Soulikias, A. The Evolution of the Architectural Façade since 1950: A Contemporary Categorization. Architecture 2023, 3, 1–32.



Fig. 3.1



Fig. 3.2



Fig. 3.4



Fig. 3.1: Epaminonda Ceccarelli, Johnson wax Headquarters

Fig. 3.2: fratelli Soncini, La Serenissima. Milano, via Filippo Turati, 25.

Fig. 3.3: Vittore Cerreti, Milano, Bicocca, viale Fulvio Testi. Foto di: Park Associati

Fig. 3.4: Edificio anni '90. Milano, via Monte Grappa 3

Fig. 3.5: Edificio anni '80. Milano, Bicocca, Via Chiese 74. Foto di: Park Associati

Fig. 3.6: Edificio anni '60. Milano, via Bergognone



Fig. 3.5



Fig. 3.6

## 3.1.2 Il retrofit

Tra le tematiche sentite, quella energetica offre lo spunto per avviare operazioni di retrofit, volte a migliorare l'efficienza energetica degli edifici, con particolare attenzione alla tipologia commerciale con la tendenza, tipica degli anni '60/'80, a facciate prevalentemente vetrate<sup>[19]</sup>: ormai poco performanti se paragonati ai livelli di quelle odierne. Questa differenza, insieme ad una crescente attenzione alle risorse globali e ai cambiamenti climatici, si traducono in fenomeno di retrofit per diminuire i consumi energetici e aumentare i livelli di comfort. Caso per caso è necessario valutare se l'edificio possiede caratteristiche storiche, tecniche o tipologiche che ne giustifichino una conservazione, anche solo parziale. Ogni edificio richiede al professionista una riflessione sul suo valore architettonico.

Per il retrofit di questi edifici, infatti, non esistono "ricette pronte all'uso", ma piuttosto esempi di interventi realizzati, i più riusciti dei quali concorrono progressivamente a "fare giurisprudenza"<sup>[18]</sup>, a costituire cioè dei precedenti da assumere come good practices.

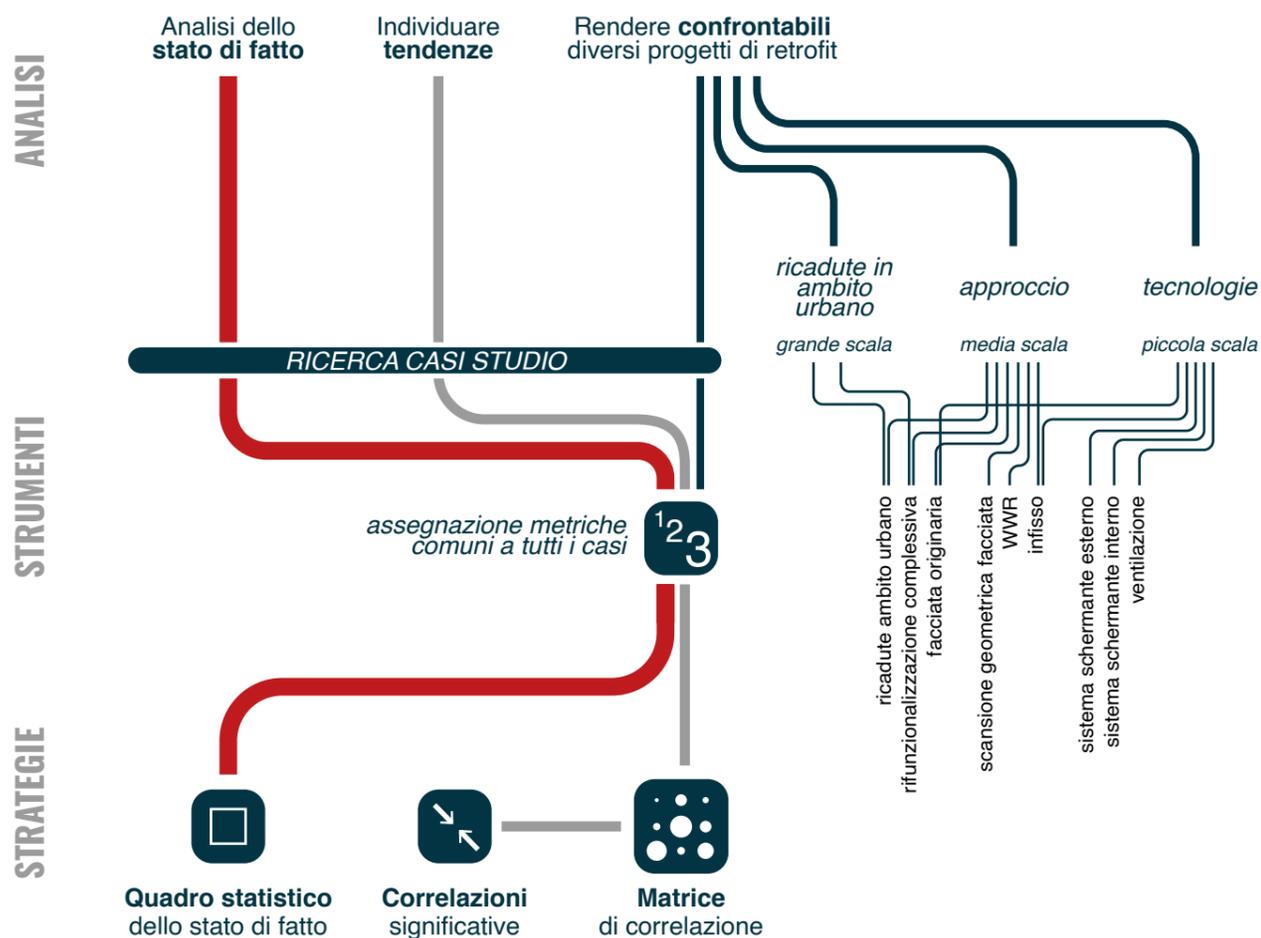
# 3.2 Casi studio

## 3.2.1 Metodologia di ricerca

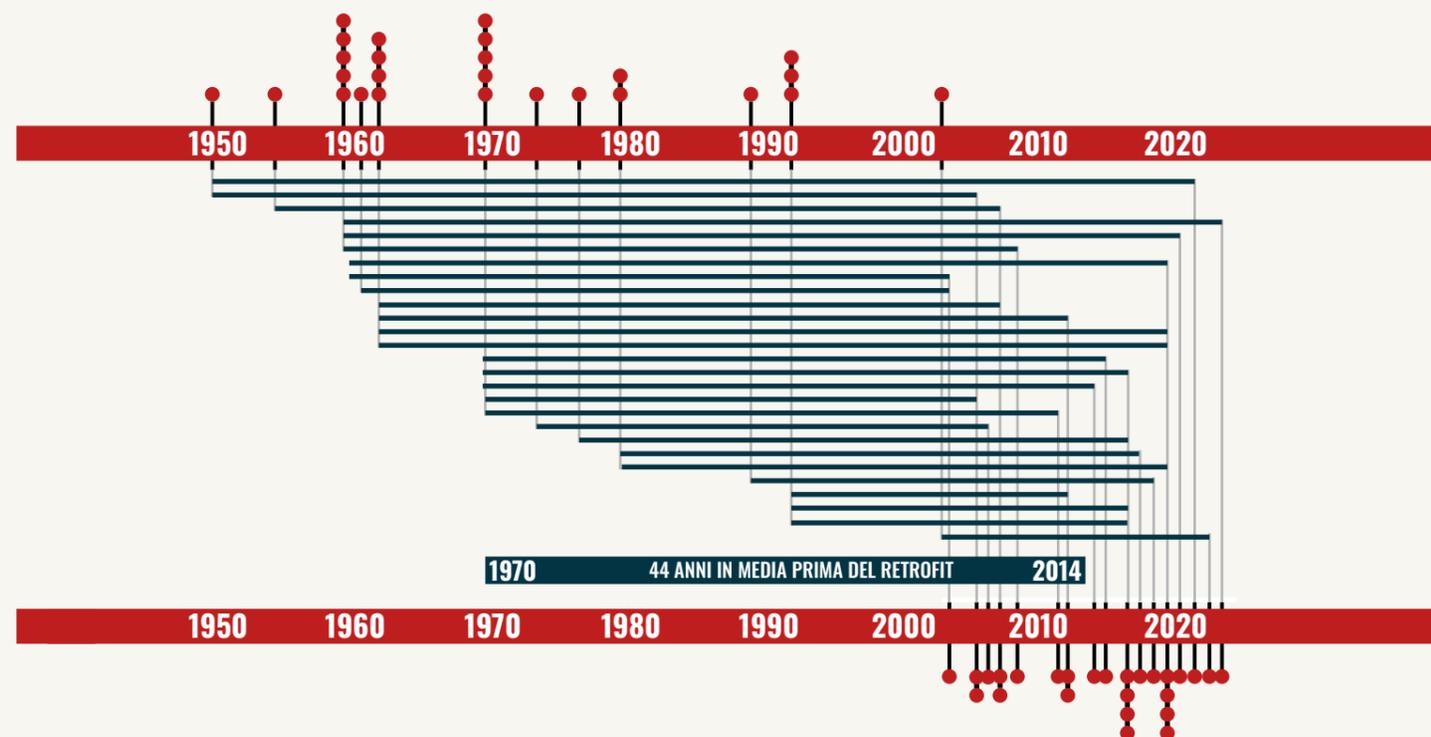
Nell'ambito del lavoro di ricerca svolto per la redazione del "Saggio di Ricerca", sono stati individuati, analizzati e catalogati n°30 casi studio di edifici ad uso ufficio che rispettassero determinate caratteristiche, con l'obiettivo di realizzare un quadro statistico dello stato di fatto. Nella ricerca dei casi studio è stato applicato il criterio geografico (progetti maggiormente di edifici in Italia) e temporale (edifici originari degli anni '50/2000). La ricerca dei casi studio è stata condotta attraverso la consultazione di libri e riviste, ricerche di stampo più scientifico come articoli ed esperienze personali.

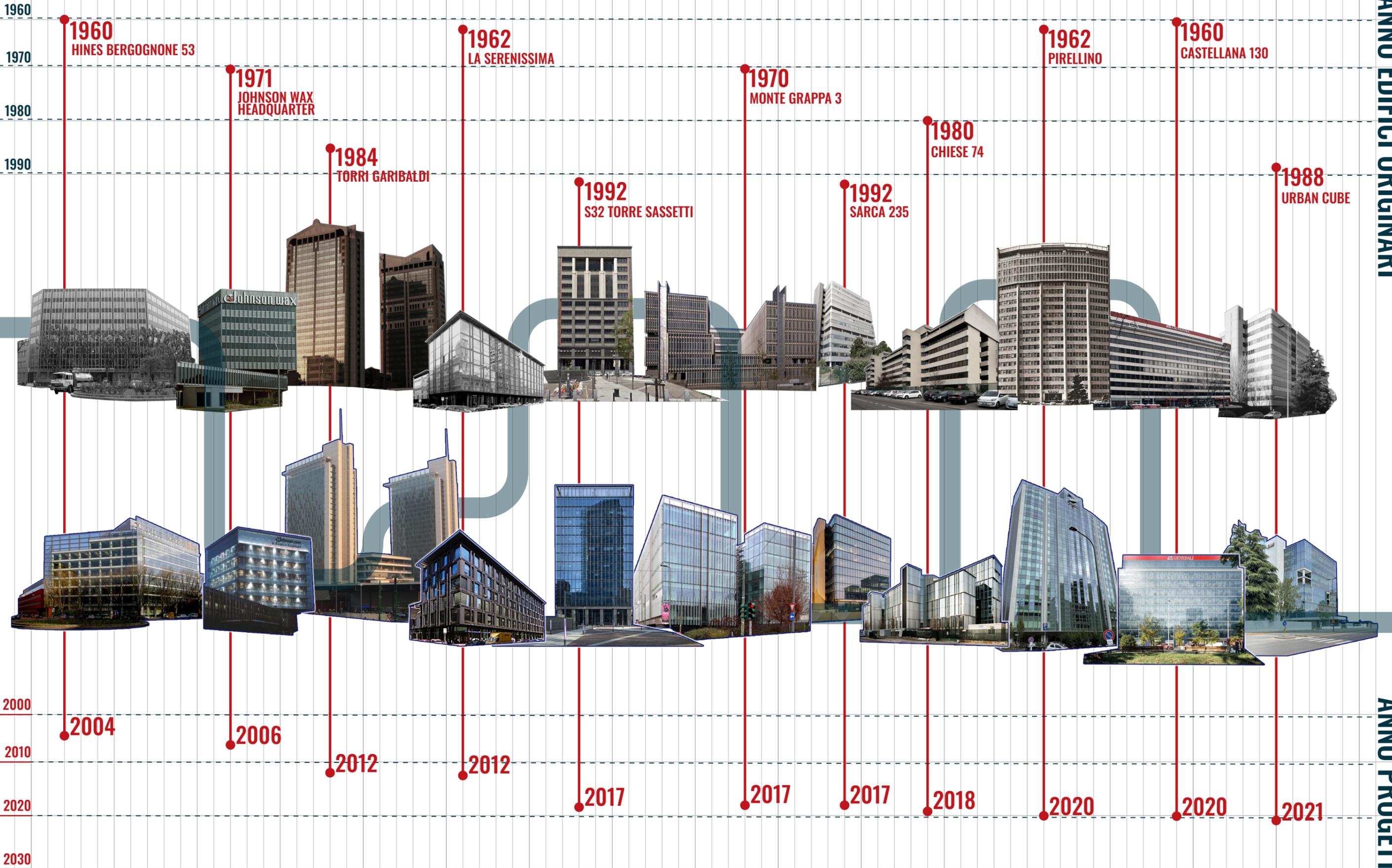
## 3.2.2 Indice temporale

Gli edifici per uffici risalenti agli anni '60-'80 tendono ad avere una vita utile media di circa 40 anni prima di accogliere un intervento di retrofit. Probabilmente ciò è correlato all'avanzamento tecnologico e al conseguente aumento degli standard di qualità ambientali richiesti negli ambienti lavorativi, gli interventi di retrofit infatti sono concentrati principalmente negli ultimi 20 anni. La distribuzione della differenza temporale evidenzia però che non c'è uniformità di anni di vita al momento del retrofit; alcuni edifici vengono rinnovati relativamente presto, mentre altri attendono molto più tempo.



Schema 3.2.1 Schematizzazione del workflow seguito per la realizzazione di: "RACCOLTA E ANALISI DI PROGETTI DI RETROFIT SU EDIFICI AD USO UFFICIO DEGLI ANNI '50-2000". Lavoro di ricerca svolto per la stesura del Saggio di Ricerca.





# 3.3

## Quadro statistico sullo stato di fatto

### 3.3.1 Assegnazione descrittori

Osservata la non omogeneità delle caratteristiche degli edifici originari, per descrivere meglio la situazione dello stato dell'arte e procedere con analisi di stampo più critico, si rende necessario l'utilizzo di un metodo che faciliti la comparazione e che permetta di individuare facilmente analogie e differenze.

Dato il campione di casi studio analizzati e le schede tecniche disponibili per il confronto, già realizzate con fini di comparazione, si procede con la scelta di descrittori da assegnare al campione.

Al fine di meglio descrivere e condensare la complessità e la multidisciplinarietà degli interventi di retrofit, i descrittori sono stati creati sulla base di tre aree tematiche: rifunzionalizzazione (grande scala), ante-post (media scala), comportamento dinamico (piccola scala).

L'assegnazione di valori numerici normalizzati (stessa scala) permetterà di realizzare comparazioni fra descrittori della stessa area tematica all'interno dello stesso progetto e fra descrittori di progetti diversi. Il "codice" alfanumerico è per l'assegnazione dei valori sul database realizzato su software Excell per tabellare tutte le informazioni.

### 3.3.2 Matrice di correlazione

Si prosegue con un'analisi utilizzando una matrice di correlazione per esplorare le possibili correlazioni tra le caratteristiche (dati inseriti) dei casi studio. La matrice di correlazione è uno strumento statistico che misura quanto ciascuna caratteristica è associata alle altre, rilevando pattern significativi o relazioni fra di esse.

Attraverso questa analisi è possibile individuare quali combinazioni di caratteristiche si manifestano frequentemente in sinergia e quali invece tendono a escludersi a vicenda, arricchendo così l'interpretazione dei dati raccolti e contribuendo alla comprensione del fenomeno del retrofit in edifici ad uso ufficio.



Fig. 3.3.1 (destra) iconografie indici adottati nella valutazione dei casi studio

Tab. 3.3.2 (pag. successiva) elenco con esplicitazione dei valori degli indicatori

AREA TEMATICA	DESCRITTORE	VALORI	DESCRIZIONE	SPIEGAZIONE
RIFUNZIONALIZZAZIONE <i>grande scala</i>	Ricadute ambito urbano	1	scala edificio	L'intervento di retrofit non conferisce ulteriori aperture verso il contesto.
		2	scala isolato	La nuova pelle trasforma l'edificio in un punto di riferimento, sia a livello estetico o simbolico.
		3	scala quartiere	L'edificio trova un nuovo dialogo con il contesto e coglie l'occasione per offrire nuovi spazi ai cittadini.
	Rifunzionalizzazione complessiva	1	efficientam. energ.	L'intervento di retrofit migliora le caratteristiche energetiche.
		2	riorganiz. layout int.	L'intervento coglie l'occasione per modificare la disposizione originaria.
		3	rifunzionaliz. compl.	L'intervento si distacca notevolmente dalla preesistenza acquisendo un nuovo ruolo.
	Facciata originaria	1	mantenuta	Non sono avvenute demolizioni della facciata originaria.
		2	parzialm. mantenuta	Sono avvenute parziali demolizioni di alcuni elementi della facciata originaria.
		3	completam. sostituita	La facciata originaria è stata completamente smantellata.
ANTE-POST <i>media scala</i>	Scansione geometrica facciata	1	inalterata	Non ci sono differenze geometriche rispetto alla facciata originaria.
		2	parzialm. differente	Alcune scansioni sono in continuità con il disegno originario.
		3	completam. differente	Non ci sono evidenti geometrie in continuità con la preesistenza.
	WWR	1	inalterato	Non ci sono differenze rispetto alla facciata originaria.
		2	parzialm. differente	Moderate differenze rispetto alla facciata originaria.
		3	completam. differente	Completamente differente rispetto alla facciata originaria.
	Infisso	1	riparato	L'infisso è stato riparato attraverso diverse lavorazioni e reinstallato.
		2	sostituito	L'infisso è stato sostituito con uno delle stesse dimensioni ma nuovo.
		3	nuovo	L'infisso è nuovo e diverso dimensionalmente.
COMPORTAMENTO DINAMICO <i>piccola scala</i>	Sistema schermante esterno	1	assente	Non è presente schermatura esterna.
		2	statico	Sono presenti degli elementi fissi che fungono da elementi schermanti.
		3	dinamico	Sono presenti degli elementi dinamici come elementi schermanti.
	Sistema schermante interno	1	assente	Non è presente schermatura esterna.
		2	manuale	Presente e con funzionamento manuale.
		3	automatizzato	Presente e con funzionamento automatizzato.
	Ventilazione	1	autonomo alla facciata	Tramite impianti esterni.
		2	autom. apertura serram.	L'apertura dei serramenti della facciata è automatizzata.
		3	integrata nella facciata	Impianto di ventilazione integrato del funzionamento della facciata.

# 3.4

## Correlazioni

### 3.4.1 Limiti e potenzialità

I risultati ottenuti con l'uso della matrice di correlazione, essendo questa uno strumento statistico, acquistano maggiore affidabilità al crescere del numero di casi studio. In ogni modo, le correlazioni sono da valutare singolarmente come è stato mostrato. La metodologia sin ora presentata vuole dimostrare come, anche solo con un numero esiguo di casi studio, si possano estrapolare e tracciare dei pattern di progettazione interessanti non subito individuabili senza lo sforzo di assegnazione di valori a descrittori. Si propone quindi tale studio e metodologia adottata, sia come strumento per trarre conclusioni e definire un quadro dello stato di fatto, ma anche come database implementabile che nel futuro potrà quindi essere maggiormente esplicativo del fenomeno dell'efficientamento energetico.

### 3.4.1 Continuità con la preesistenza

I risultati indicano quanto il rispetto della percentuale opaco-trasparente e il rispetto della scansione geometrica della facciata originali siano strettamente legati alla conservazione degli elementi strutturali o degli infissi originali (sostituiti o restaurati). Questo suggerisce che, nei progetti in cui si privilegia la continuità visiva e dimensionale con l'edificio preesistente, si tende a limitare le modifiche strutturali, preservando non solo l'aspetto originale, ma anche la sua impronta storica e funzionale. I motivi potrebbero essere economici, in quanto l'ammodernamento, preservando i telai originali, potrebbe risultare maggiormente conveniente; o di carattere storico, per il rispetto e la continuità dell'immagine, talvolta iconica, della facciata.

### 3.4.3 Distanza dal passato

Parallelamente, l'analisi mette in evidenza come, nei casi in cui avviene una sostituzione completa delle facciate, demolendo quella precedente e mantenendo solo la struttura portante, il progetto altera la percentuale opaco-trasparente rispetto alla facciata precedente. Il costo della demolizione sembra quindi essere giustificato solo dal momento in cui si ripensa completamente il disegno di facciata.

In questi casi, il progetto sembrerebbe guadagnare spesso una dimensione più ambiziosa, acquisendo una nuova rilevanza urbana. In questi interventi, l'obiettivo sembra essere una reinterpretazione dell'edificio, che spesso lo porta a diventare un landmark, distanziandosi dalla facciata originaria in favore di un impatto più contemporaneo e distintivo, anche rispetto al contesto.

Il legame tra la fedeltà alla % opaco-trasparente originaria e l'orientamento verso un intervento di retrofit energetico mostra, inoltre, che nei progetti più attenti alla conservazione dell'involucro si tende a minimizzare l'impatto visivo, privilegiando l'efficienza senza alterare sostanzialmente l'aspetto. Tuttavia, non è sempre vero il contrario: molti progetti improntati prevalentemente sull'aspetto energetico, non mantengono necessariamente la % opaco-trasparente originaria, indicando che l'efficienza energetica può essere perseguita con diverse strategie progettuali. È ad esempio il caso di Blend Building a Milano dove, il prospetto sud-est presenta una nuova facciata vetrata che affaccia sulla piazza antistante, alterando l'aspetto preesistente e ottenendo migliori energetiche.

Infine, la rifunzionalizzazione completa dell'edificio, che comprende aspetti energetici dell'involucro ma anche nuovi layout interni, è sempre associata alla sostituzione degli infissi originali, segnalando che gli interventi più radicali sono associati ad un nuovo layout in cui la facciata stessa si adatta a nuove esigenze funzionali ed estetiche. È il caso ad esempio di La Serenissima a Milano, con nuove facciate e un ripensamento interno di facciata oltre che di miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio non più in linea nel vecchio layout.

### 3.4.4 Conclusioni

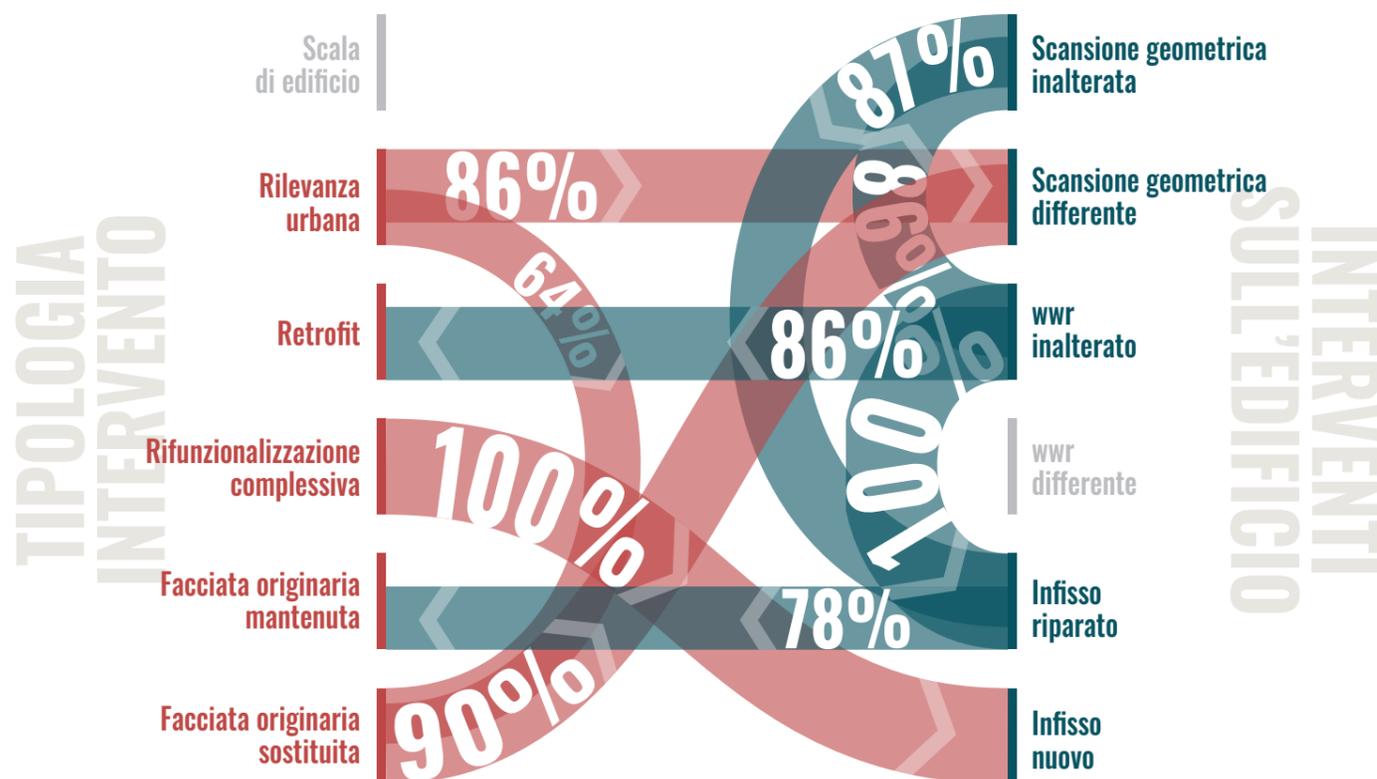
Complessivamente, queste osservazioni rivelano una dinamica talvolta complessa ma interessante tra un approccio maggiormente conservativo e di innovazione, evidenziando come il rispetto o la modifica dei parametri visivi originali sia una scelta progettuale cruciale che influisce in maniera significativa non solo sull'aspetto estetico dell'edificio, ma anche sulla sua percezione pubblica e sul dialogo con l'ambiente circostante.

Gli interventi che conservano caratteristiche originarie come la scansione geometrica di facciata o la percentuale opaco-trasparente, tendono a preservare un legame storico con il contesto, favorendo un'integrazione armoniosa con l'architettura esistente.

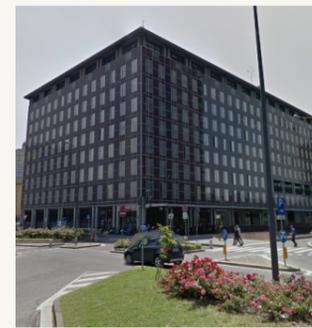
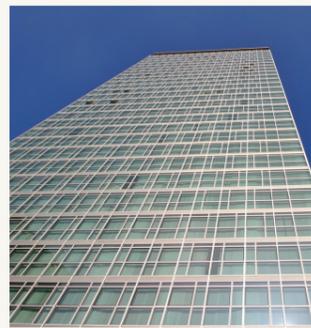
Al contrario, le rigenerazioni che si discostano visivamente dall'edificio preesistente – ad esempio attraverso la sostituzione completa delle facciate – spesso acquisiscono un carattere di maggiore autonomia, trasformandosi in landmark urbani, volutamente o meno visibili e riconoscibili.

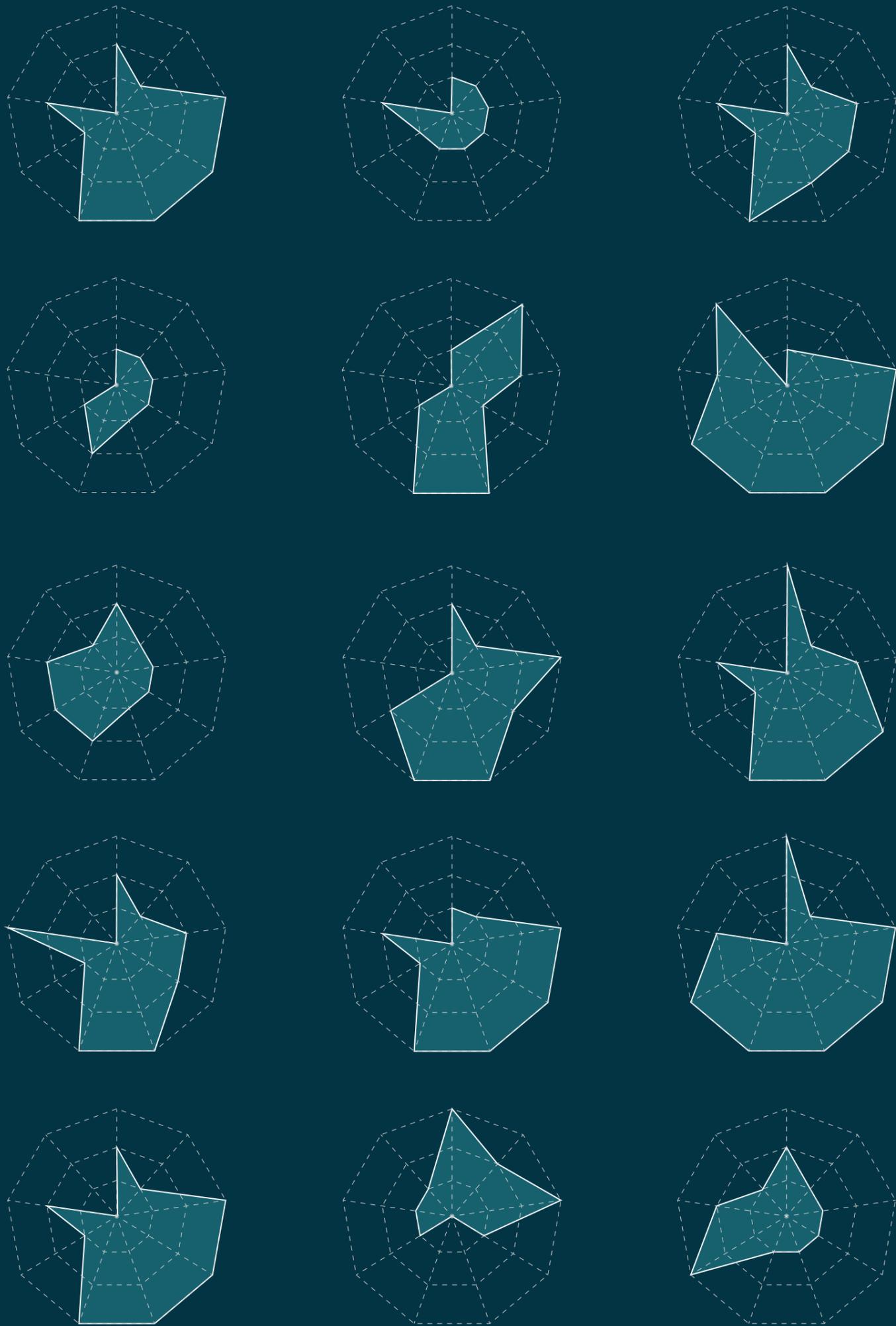
Questa dicotomia tra rispetto del passato e ambizione verso il nuovo contribuisce non solo a diversificare il tessuto urbano, ma anche a influenzare il valore simbolico e culturale degli edifici, che diventano indicatori visivi di scelte progettuali fatte per rispondere alle esigenze odierne.

Di conseguenza, il compromesso tra continuità e discontinuità con la preesistenza non solo cambia l'impatto urbano dell'edificio rigenerato, ma ne determina anche il potenziale come elemento iconico o identitario, capace di rappresentare e raccontare la rigenerazione avvenuta, al pari di un edificio realizzato ex-novo.



**Schema 3.4** Schematizzazione delle correlazioni effettuate nell'analisi. Emerge un quadro di forte coerenza fra alcune caratteristiche, alcune più naturali e logiche di altre, che comunque confermano la validità dell'analisi. Altre uno spunto di riflessione per capire l'andamento.





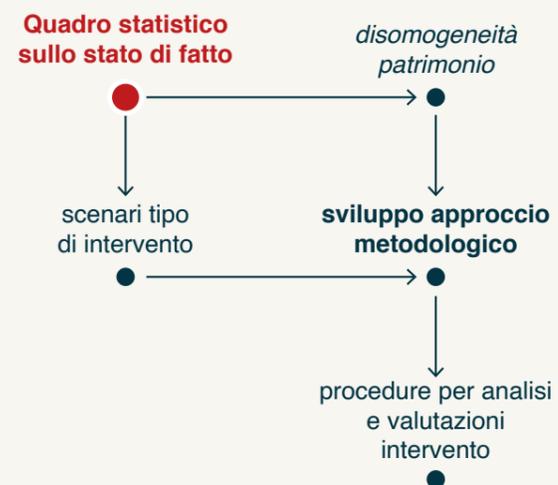
4

# UNA PROPOSTA METODOLOGICA

## CONTENUTI

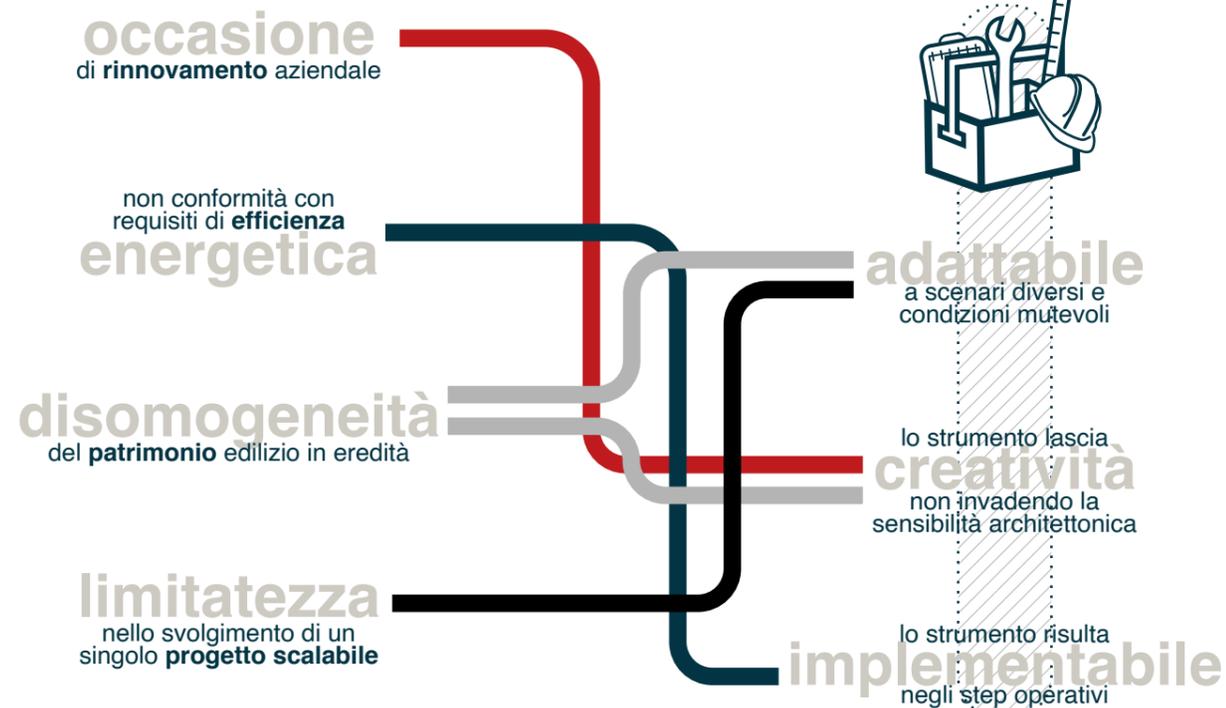
**4.1** Dal prodotto al servizio: toolkit per supporto alla progettazione

**4.2** La metodologia: step procedurali



## UN SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE

# 4.1 Dal prodotto al servizio: toolkit per supporto alla progettazione



## 4.1.1 Obiettivi del lavoro

La **disomogeneità** degli edifici originari riscontrata nello studio dello stato di fatto per quanto riguarda i progetti di riqualificazione energetica di edifici ad uso ufficio mette in luce una situazione in cui l'unico fattore comune è la presenza di un patrimonio di edifici non più in linea con i requisiti energetici attuali. Diventa quindi maggiormente sfidante uno degli obiettivi della tesi, che è quello di stilare delle linee guida che siano di riferimento per il progettista e che non risentano negativamente della disomogeneità tipologica dello stato di fatto.

La proposta metodologica si promuove flessibile e **adattabile**, che possa cioè vestire ciascun caso studio permettendo al progettista di ricavare delle linee guida operative al progetto di retrofit, senza dipendere da elementi che, di caso in caso, variano.

La volontà del lavoro è quella di delineare uno **strumento** che consenta di rispondere a scenari

diversi, una metodologia che sia applicabile, riproducibile e scalabile, non intesa come risultato finito da copiare come può essere un progetto, ma come strumento per ottenerne uno.

La creazione di uno strumento, sotto forma di linee guida e metodologie, a differenza di quanto si sarebbe potuto realizzare concentrandosi sulla creazione di un modello (progetto), risulta essere maggiormente duraturo e quindi sostenibile poiché evita la necessità di creare continuamente nuovi modelli di fronte a nuove situazioni. Lo strumento, inoltre, lascerebbe margini di libertà al progettista che lo adotta, valorizzando la **creatività** e non invadendo la sfera della sensibilità architettonica.

D'altra parte l'adozione di uno strumento, linee guida e metodologie, richiedono uno sforzo iniziale superiore, a causa di una maggiore complessità.

Da un prodotto, quale potrebbe essere il progetto di riqualificazione energetica di un edificio, il focus si sposta ad un servizio: uno strumento per il supporto decisionale per il progettista.

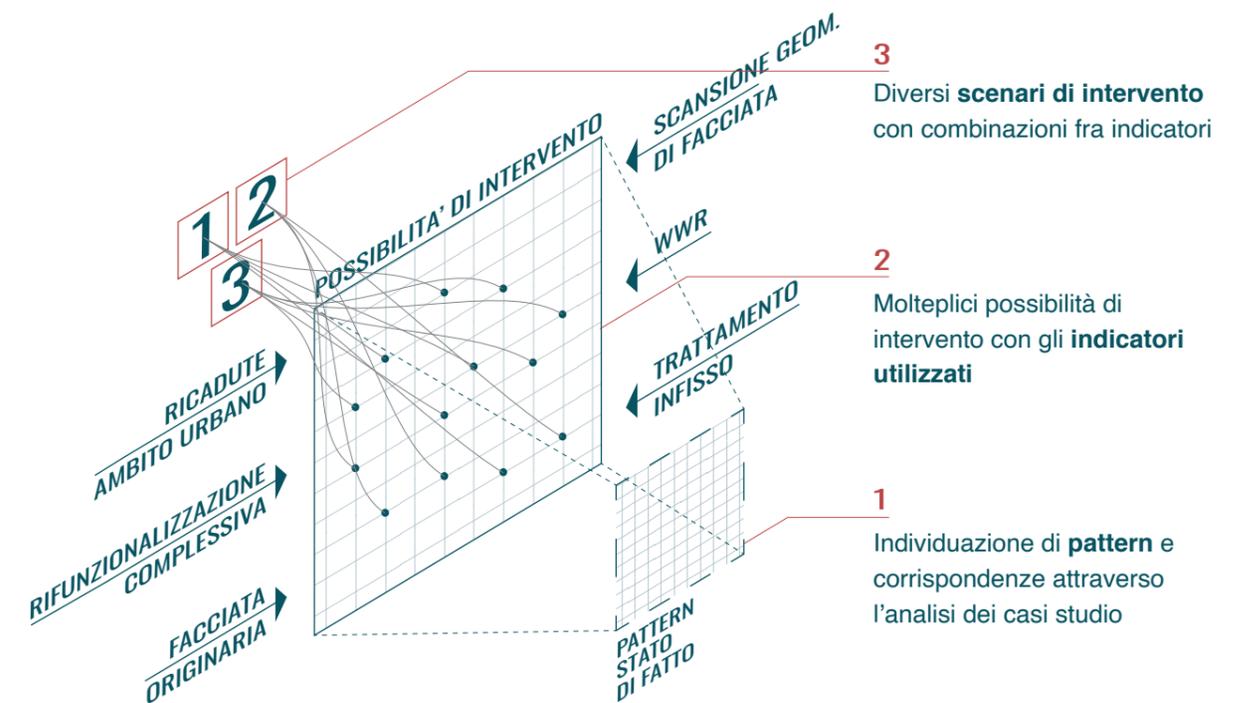
La sfida proposta -quella di costruire uno strumento e proporre delle metodologie- trova le maggiori difficoltà nel delineare principi validi che prescindano dal caso studio con il quale il progettista ha a che fare. Occorre, in altre parole, pensare a strumenti che facilmente si normalizzino alle diverse condizioni iniziali.

Simile problematica la si è ritrovata nell'analisi dello stato di fatto, realizzata a partire dal database di 30 casi studio che presentavano una vasta gamma di condizioni iniziali diverse. Nonostante la varietà del punto di partenza, lo strumento proposto, attraverso i 9 indicatori, ha permesso di paragonare gli interventi potendoli interpretare con un'unica chiave di lettura. Lo studio dello stato di fatto ma soprattutto la corrispondenza fra i descrittori -come visto nel precedente capitolo- diventa un primo strumento ereditato a supporto della metodologia.

## 4.1.2 Origine degli scenari di progetto

Fra le diverse possibilità di intervento sulla facciata di un edificio ad uso ufficio, su cui si sceglie di effettuare un progetto di riqualificazione energetica, fornire degli "scenari di intervento tipo" possono costituire un primo riferimento progettuale.

Gli studi preliminari per un progetto di retrofit di un edificio ad uso ufficio non più in linea con i requisiti di efficienza energetica, comprendono un approccio integrato multidisciplinare. In altre parole, è bene, sin dalle prime fasi progettuali, analizzare le esigenze provenienti dai diversi settori coinvolti: analisi compositive, fisico-tecniche, climatiche, tecnologiche, impiantistiche, strutturali, urbanistiche, paesaggistiche, etc. Quello che ne deriverebbe sarebbe un ampio ventaglio di possibilità di intervento. Per estrarre degli scenari tipologici di intervento, si prosegue l'analisi con i 6 descrittori sin ora adottati, appartenenti alle più ampie macro categorie di ricadute urbanistiche e confronto con la facciata preesistente.



**Schema 4.1.2** Schematizzazione della metodologia per il passaggio dallo studio dello stato di fatto alla creazione di 3 scenari di intervento, che costituiranno uno dei primi step della proposta metodologica. Dall'individuazione di corrispondenze alla scelta di 3 interventi tipo come linee guida per il progettista, con i parametri utilizzati e descritti nel Capitolo 3.

4.1.3 Creazione di scenari tipo

Come prima operazione si descrivono con modalità più esemplificative le caratteristiche dei casi studio, valutate con l'utilizzo degli indici presentati nel capitolo 3. Si adotta la tipologia di grafico "a radar" o "ragnatela" che permette di indicare nello stesso momento il valore (da 1 a 3) di tutti i 9 indicatori contemporaneamente. Ogni spigolo infatti, rappresenta un indice, descrivendone il suo valore che cresce con l'allontanarsi dal centro.

Per rappresentare il profilo risultante si adotta l'engono, ogni indice avrà quindi 3 valori, la gradazione sarà rappresentata da poligoni via via più grandi.

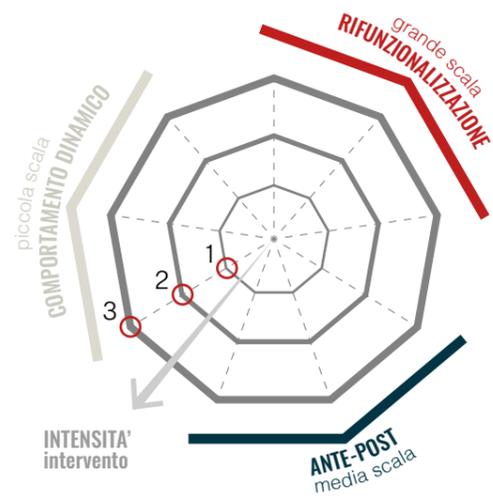


Fig. 4.1.3.1 Guida alla lettura del grafico

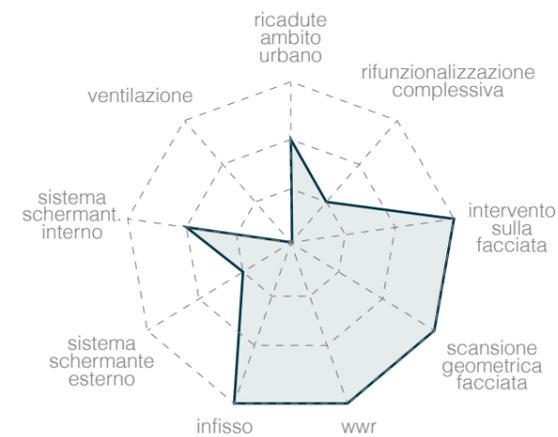
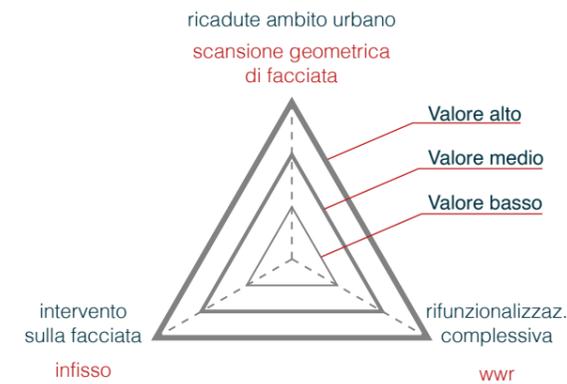


Fig. 4.1.3.2 Whitemoon (caso studio). Esempio di applicazione ad un caso studio.

Per utilizzare il grafico risultante come strumento comparativo, è necessario separare fra loro le categorie degli indici, levando quella "a piccola scala", che presenta troppi vuoti, che a fini statistici porta a poca rilevanza. Si decide quindi di adottare il triangolo, i quali vertici continuano a rappresentare gli indici, sovrapponendo con due profili distinti per colore, gli indici di tipo urbanistico e quelli a scala di edificio.



Essendo i valori numerati in modo crescente secondo le intensità (es: 1 = uguale alla preesistenza; 3 = completamente differente) le aree dei poligoni, derivate dall'unione dei punti rappresentanti gli indici, saranno più ampie quanto maggiore sarà l'intensità dell'approccio.

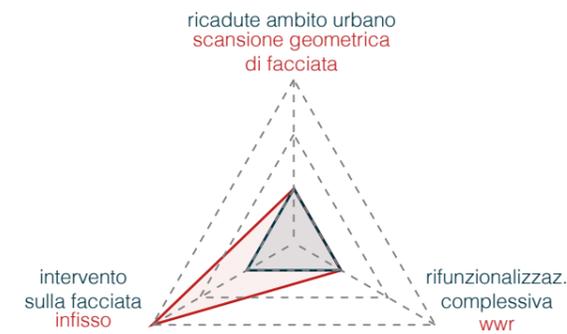


Fig. 4.1.3.1 Torre Galfa. Esempio di caso studio a medio-bassa intensità.

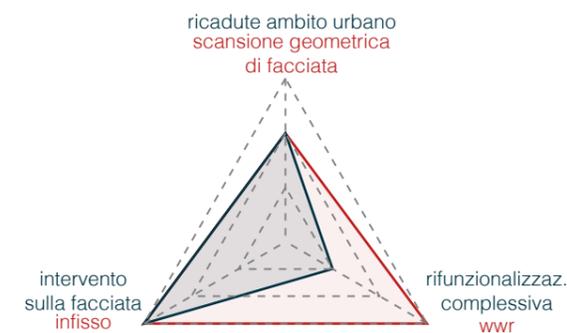


Fig. 4.1.3.2 Monte Grappa 3. Esempio di caso studio a medio-alta intensità.

Con l'adozione di 6 descrittori, ciascuno dei quali con 3 valori, le possibili combinazioni diverrebbero molteplici ( $3^6=729$ ). Si sceglie quindi di descrivere le possibilità d'intervento in 3 scenari rappresentativi ideali.

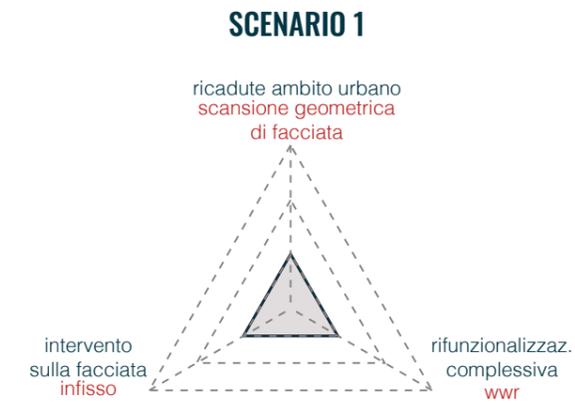


Fig. 4.1.3.3 Caratteristiche dello scenario 1 a bassa intensità, i due profili sono coincidenti.

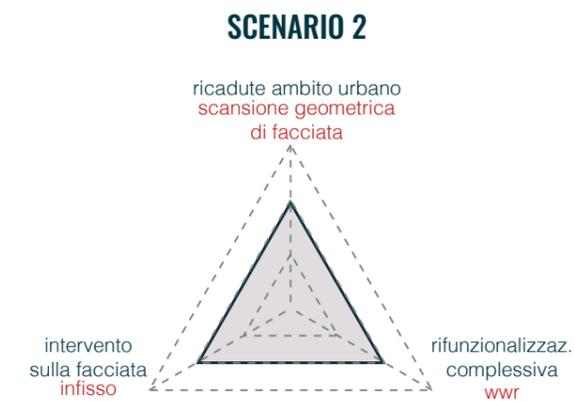


Fig. 4.1.3.4 Caratteristiche dello scenario 2 a media intensità, i due profili sono coincidenti.

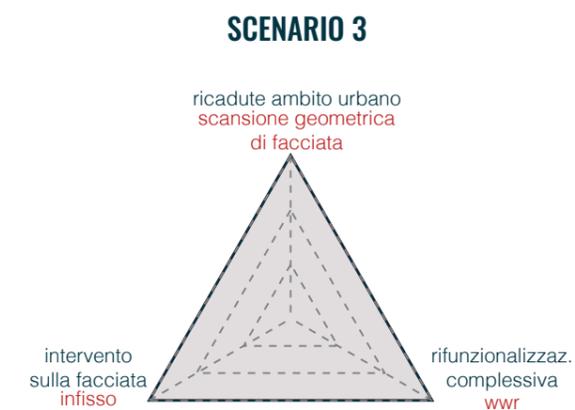


Fig. 4.1.3.5 Caratteristiche dello scenario 3 ad alta intensità, i due profili sono coincidenti.

4.1.4 Strumento comparativo

La scelta dello scenario, oltre che a fornire delle linee guida per il trattamento degli elementi tecnologici o il disegno di facciata rispetto a quello della preesistenza, può diventare uno strumento comparativo grazie al quale poter trovare casi studio simili utili per analizzare le best practices e agevolare la ricerca di situazioni simili.

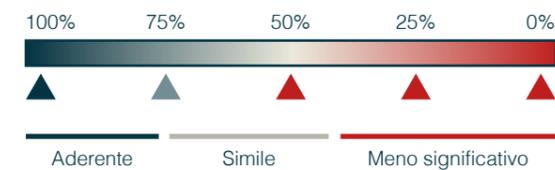
Si traccino dunque i profili -secondo il grafico a ragnatela visto- dei casi studio precedentemente mostrati. Ricordando che l'area creata dal profilo sarà maggiore quanto maggiore sarà l'intensità delle singole scelte e quindi dell'approccio sulle preesistenze, sarà possibile già con una prima osservazione rapida riconoscere, una volta scelto lo scenario, casi studio di intensità simili.

Per trovare maggiore rigore e non ridursi ad un'osservazione, la quale potrebbe portare ad errori, si definisce un metodo che permette in modo rigoroso di trovare i casi studio con intensità simile. Questo si basa sulla % di sovrapposizione delle aree dei triangoli, fra quella dello scenario scelto e quelle dei casi studio.

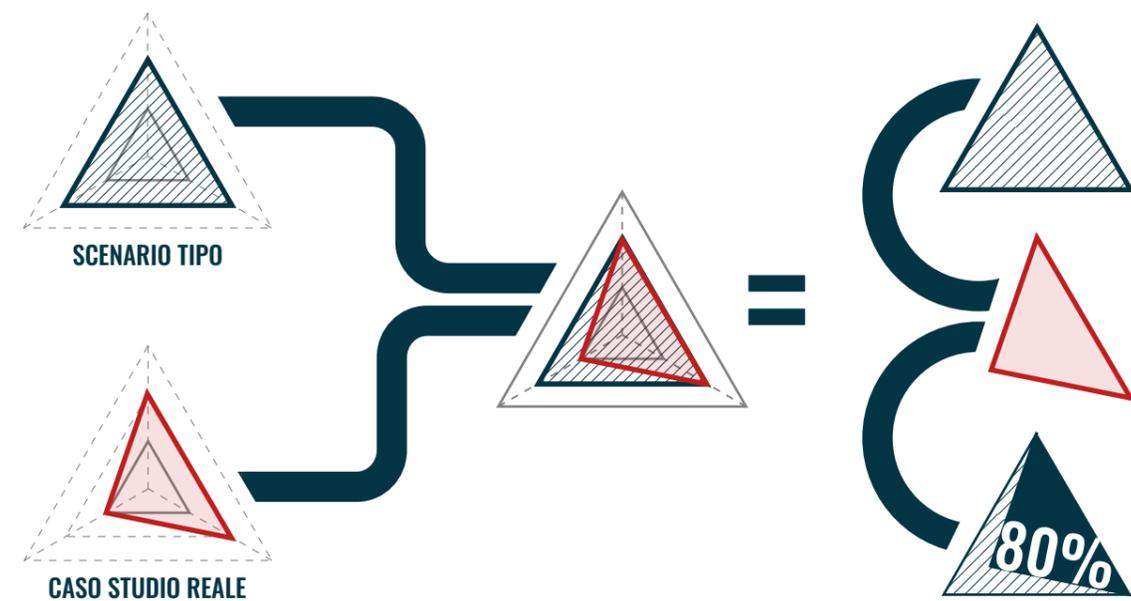
Tale metodo permette di stilare una classifica dei casi studio maggiormente aderenti, sia per l'ambito tecnologico che per quello della tipologia di intervento.

Si potrà quindi avere, come supporto iniziale alle scelte tecnologiche e come approccio più generale, una base di edifici di simile intensità di intervento, con le relativi schede tecniche realizzate nel Saggio di Ricerca.

Un esempio di possibile criterio di classificazione potrebbe essere effettuato tramite le seguenti percentuali:



Criterio di classificazione in base alla % di sovrapposizione delle aree messe a confronto fra lo scenario selezionato e i casi studio



1 SCENARIO TIPO

scelto lo scenario tipo di riferimento, con il suo relativo profilo, si procede al confronto con i profili dei casi studio esistenti.

2 SOVRAPPOSIZIONE CON CASI STUDIO

essendo i profili normalizzati secondo gli stessi criteri, il confronto è ottenibile con la sovrapposizione dei due.

3 CRITERIO SELEZIONE CASI STUDIO

diventa quindi la % di sovrapposizione fra le due aree a determinare i casi studio maggiormente affini allo scenario tipo scelto.

Scenario 1

È lo scenario più conservativo, con tutti i descrittori con valore "1". Questa opzione di intervento si rende utile in quei casi in cui il bene è vincolato, piuttosto che presenti una rilevanza architettonica o delle caratteristiche identitarie da conservare. Questo scenario rappresenta inoltre gli interventi strettamente legati al miglioramento delle performance energetiche che non intendano avere un risvolto di facciata.

CASI STUDIO INDIVIDUATI PER CORRELAZIONE



grattaciello Pirelli

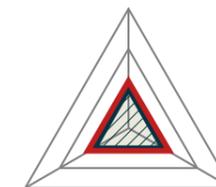


scenario 1 + grattaciello Pirelli

Fig. 4.1.3.5/6 Grattaciello Pirelli, Milano. 1961 (sinistra), 2004 (destra). L'intervento non modifica il wwr né il disegno di facciata.

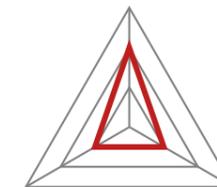


Torre Galfa

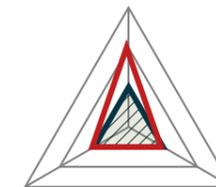


scenario 1 + Torre Galfa

Fig. 4.1.3.7/8 Torre Galfa, Milano. 1971 (sinistra), 2021 (destra). L'intervento non modifica il wwr né il disegno di facciata.



Monterosa 91



scenario 1 + Monterosa 91

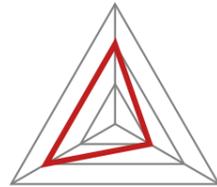
Fig. 4.1.3.9/10 Monterosa91, Milano. 1950 (sinistra), 2023 (destra). L'intervento non modifica il wwr né il disegno di facciata.

— profilo caso studio  
— profilo scenario

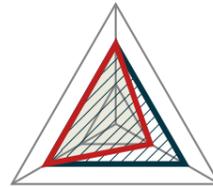
# Scenario 2

È lo scenario che tiene conto nello stesso momento delle correlazioni fra i descrittori e dei valori medi rispetto ai casi studi. In altre parole, si tratta dello scenario che attualmente descrive l'approccio medio.

## CASI STUDIO INDIVIDUATI PER CORRELAZIONE

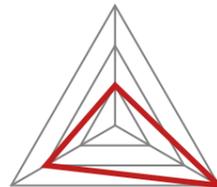


Johnson Wax

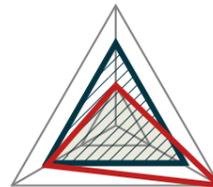


scenario 2 + Johnson Wax

Fig. 4.1.3.11/12 Johnson Was Headquarter, Milano. 1971 (sinistra), 2006 (destra). L'intervento modifica il wwr, mantenendo alcune caratteristiche dell'edificio originario.

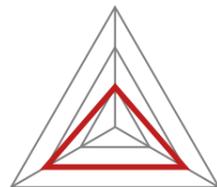


La Serenissima

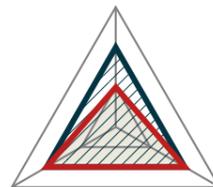


scenario 2 + La Serenissima

Fig. 4.1.3.13/14 La Serenissima, Milano. 1962 (sinistra), 2012 (destra). L'intervento modifica il wwr, mantenendo alcune caratteristiche dell'edificio originario.



City-Haus



scenario 2 + City-Haus

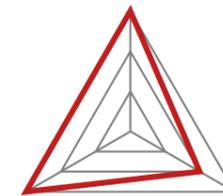
Fig. 4.1.3.15/16 City-Haus, Francoforte, Germania. 1971/74 (sinistra), 2008 (destra, foto di Daniel Safarik, via CTBUH). L'intervento modifica il wwr, mantenendo alcune caratteristiche dell'edificio originario.

— profilo caso studio  
— profilo scenario

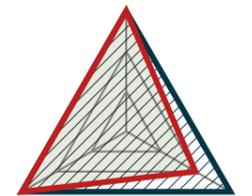
# Scenario 3

È lo scenario più invasivo se considerata l'immagine dell'edificio di partenza. Di esso ne vengono riconosciute le potenzialità nella struttura portante, presentando tutti i descrittori al massimo valore. Questo scenario si adopererebbe in quei casi in cui l'edificio originario non ha vincoli né qualità architettoniche rilevanti, in quei casi in cui al retrofit energetico per il miglioramento delle performance energetiche si unisce una volontà della committenza di usare la facciata per comunicare un rinnovamento. Lo scenario è inoltre applicabile in quegli edifici realizzati in anni in cui il contesto era diverso e ora ritrovano forti potenzialità nell'apertura verso la città, in un dialogo più inclusivo in termini di spazi da offrire al cittadino.

## CASI STUDIO INDIVIDUATI PER CORRELAZIONE

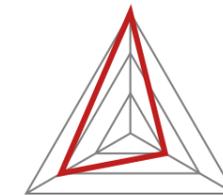


Chiese 74

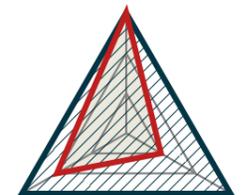


scenario 3 + Chiese 74

Fig. 4.1.3.17/18 Chiesa 74, Milano. 1980 (sinistra), 2018 (destra). L'intervento modifica il wwr, discostandosi completamente dalla preesistenza.

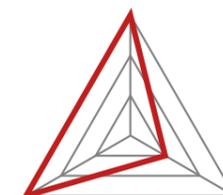


Sarca 235

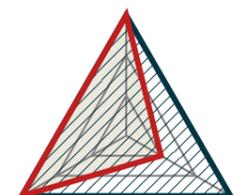


scenario 3 + Sarca 235

Fig. 4.1.3.19/20 Sarca 235, Milano. 1992 (sinistra), 2017 (destra). L'intervento modifica il wwr, discostandosi completamente dalla preesistenza.



Testi 280



scenario 3 + Testi 280

Fig. 4.1.3.21/22 Testi 280, Milano. 1980 (sinistra), 2020 (destra). L'intervento modifica il wwr, discostandosi completamente dalla preesistenza.

— profilo caso studio  
— profilo scenario

# 4.2 La metodologia: step procedurali

## 4.2.1 Introduzione alla metodologia proposta

La metodologia è stata pensata come supporto per un possibile progettista che si ritrovi ad approcciarsi alla riqualificazione energetica di una facciata. Per assolvere a tale compito e poterla rendere consultabile, è stata dapprima divisa in macro fasi, ognuna delle quali è divisa in sottofasi, che comprendono analisi, verifiche, step da eseguire.

### APPROCCIO METODOLOGICO (STEP PROCEDURALI)

STATO DI FATTO	ANALISI TECNOLOGICA	A1	Elementi e componenti	scheda riassunt. di prog.
		A2	Stratigrafie	
		A3	Valutazione aspetti manutentivi	
	ANALISI FISICO-TECNICA	B1	Prestazioni involucro	
B2		Parametri ambientali coinvolti		
B3		Priorità di intervento		
B4		Fabbisogno energetico		
ANALISI PRELIMINARI	CASI STUDIO	C1	Analisi esigenze committenza	scenari
		C2	Valutazione scenari d'intervento	
		C3	Adozione scenario/i	
PROGETTO	SCELTE PRELIMINARI	D1	Nuovi strati funzionali	scheda riassunt. di prog.
		D2	Tecnologia costruttiva	
		D3	Scelta materiali	
	VERIFICHE E ANALISI	E1	Calcolo trasmittanze	
		E2	Nuovo fabbisogno energetico	
		E3	Calcolo impronta carbonica	
		E4	Valutazione scenario/i	

→ Scelte da effettuarsi tenendo conto di  
 ▲ titolo ▲ Contenuto scheda allegata

DISCIPLINE COINVOLTE  
 tecnologia soft  
 tecnologia hard  
 fisica tecnica

## 4.2.2 Step procedurali

### A1-A3 Stato di fatto: analisi tecnologica

Gli step iniziali sono di analisi tecnologica, si analizza quindi la facade, riconoscendone dapprima elementi e componenti che la costituiscono (A1), effettuando un rilievo delle stratigrafie o ipotizzandole -qualora non fosse possibile rilevarle- (A2) e valutando l'aspetto manutentivo (A3) per ogni componente.

STATO DI FATTO	ANALISI TECNOLOGICA	A1	Elementi e componenti
		A2	Stratigrafie
		A3	Valutaz. aspetti manutentivi

### B1-B4 Stato di fatto: analisi fisico-tecnica

Si procede con l'analisi fisico-tecnica, comprendente il calcolo delle prestazioni (B1) e individuando i parametri ambientali coinvolti per ogni elemento (B2) -al fine di comprendere se esistono parametri ambientali non controllati o individuare criticità su cui successivamente intervenire-. Si valuta poi la priorità d'intervento (B3), indicatore di tipo qualitativo, utile per effettuare le prime ipotesi di progetto. L'ultimo step delle analisi dello stato di fatto è il valore del fabbisogno energetico (B4) in regime estivo ed invernale, utile per poter valutare il miglioramento della prestazione energetica ottenuto con il retrofit.

STATO DI FATTO	ANALISI FISICO-TECNICA	B1	Prestazioni involucro
		B2	Parametri ambientali coinvolti
		B3	Priorità di intervento
		B4	Fabbisogno energetico

### C1-C3 Analisi preliminari: casi studio

In questa fase il progettista analizza le esigenze della committenza (C1), con l'ottica di valutare quale scenario (C2) possa sposare il profilo delineato dalle esigenze analizzate e dalle criticità emerse nelle precedenti valutazioni. Prese in considerazione le esigenze della committenza, le analisi precedentemente effettuate, nell'ultima fase preliminare (C3) può avvenire la scelta di uno o più scenari di intervento.

ANALISI PRELIMINARI	CASI STUDIO	C1	Analisi esigenze committenza
		C2	Valutaz. scenari d'intervento
		C3	Adozione scenario/i

### D1-D3 Progetto: scelte preliminari

Prendendo i risultati delle analisi tecnologiche e fisico-tecniche, in parallelo alle indicazioni dello scenario adottato, si procede con il progetto dell'intervento ipotizzando i nuovi strati funzionali (D1), la loro posizione e quindi la possibile tecnologia costruttiva (D2) per poterlo ottenere. Successivamente verranno definiti i materiali (D3) utili per calcolare spessori, procedendo con le analisi prestazionali.

PROGETTO	SCELTE PRELIMINARI	D1	Nuovi strati funzionali
		D2	Tecnologia costruttiva
		D3	Scelta materiali

### E1-E4 Progetto: verifiche e analisi

In queste ultime fasi vengono calcolate le prestazioni a partire dal calcolo delle nuove trasmittanze (E1). Si potrà quindi procedere con la stima del nuovo fabbisogno energetico in regime estivo ed invernale (E2), procedura che può essere iterativa poiché si potranno ricalibrare alcune scelte come quelle materiche, cambiando ad esempio spessori o caratteristiche tecniche dell'involucro progettato. Grazie alla definizione di tecnologie e materiali, si calcola il carbonio incorporato (E3) tenendo conto che anche in questa fase potranno evidenziarsi criticità in merito a scelte materiche o tecnologiche più o meno vantaggiose.

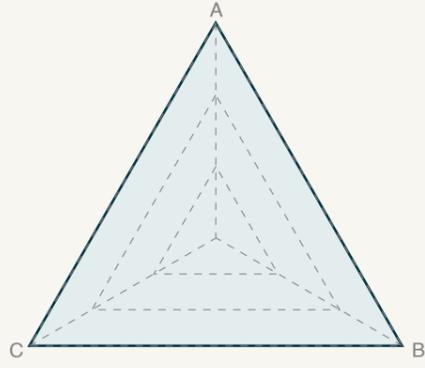
PROGETTO	VERIFICHE E ANALISI	E1	Calcolo trasmittanze
		E2	Nuovo fabbisogno energetico
		E3	Calcolo impronta carbonica
		E4	Valutazione scenario/i

## 4.1.5 Osservazioni finali

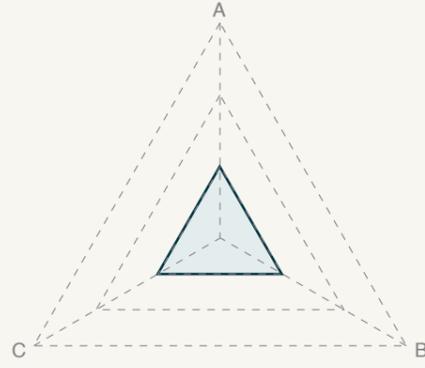
Le fasi proposte intendono fornire una procedura operativa inizialmente lineare, che come vedremo beneficerà di processi iterativi. Alcune fasi sono accompagnate a "schede tipo", realizzate come esempio di applicazione. La scheda "analisi dello stato di fatto" (A1:B3), una tabella di tipo compilativo divisa in una prima parte di analisi tecnologica e poi fisico-tecnica. La scheda "scenari d'intervento" (C1:C3), che mostra le caratteristiche principali dei tre scenari: il differente approccio più o meno invasivo alla preesistenza. La scheda "riassuntiva di progetto" (D1:E1) che mostra una panoramica dell'intervento e delle nuove caratteristiche tecnologiche/fisico tecniche.

# PROFILI CON INDICATORI GRANDE SCALA

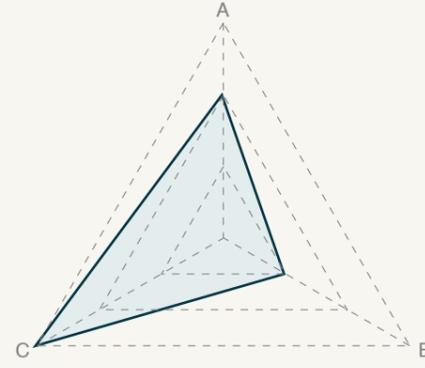
HINES BERGOGNONE 53



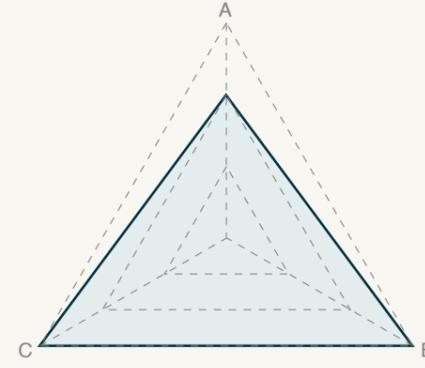
GRATTACIELO PIRELLI



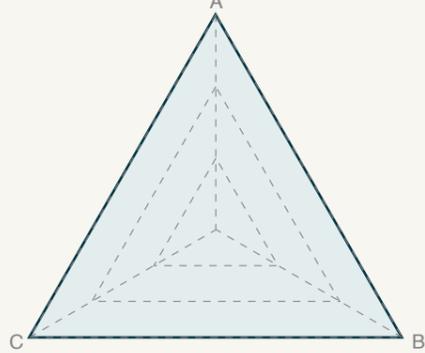
JOHNSON WAX HEADQUARTER



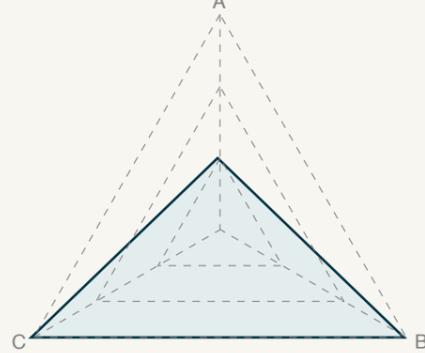
TORNO INTERNATIONAL



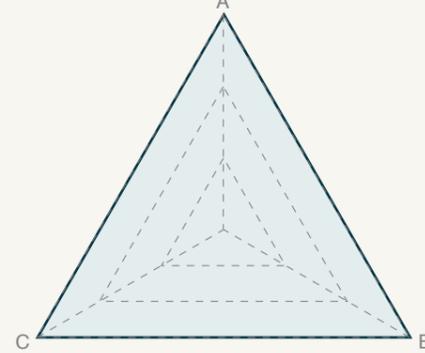
TORRI GARIBALDI



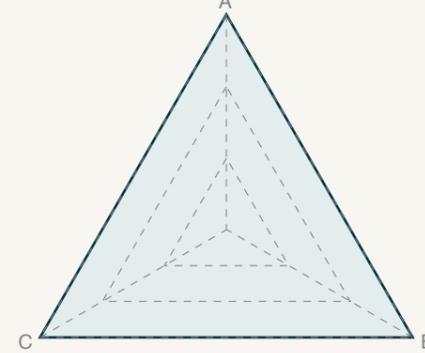
LA SERENISSIMA



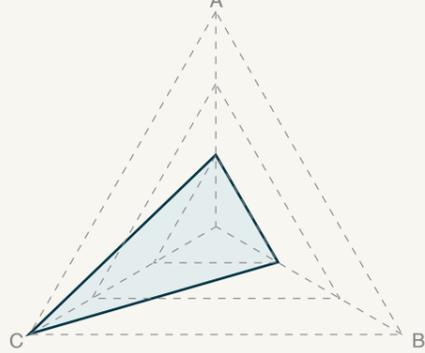
AVENUE LECLERC OFFICE BUILDING



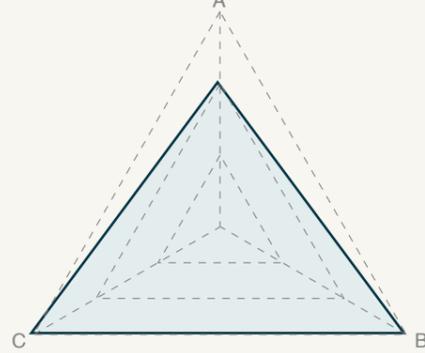
S32 NUOVA TORRE SASSETTI



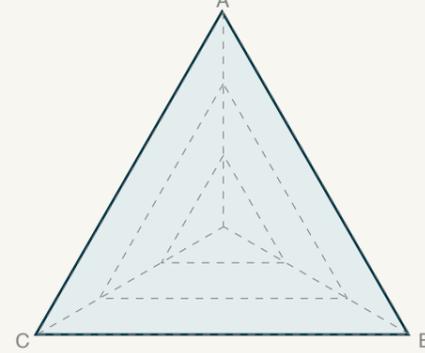
CASTELLANA77



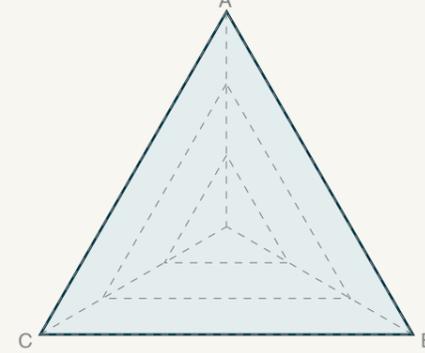
VIA MONTE GRAPPA 3



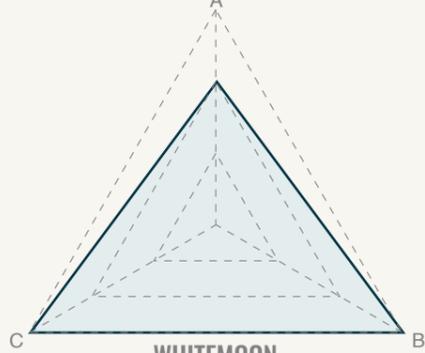
SARCA 235



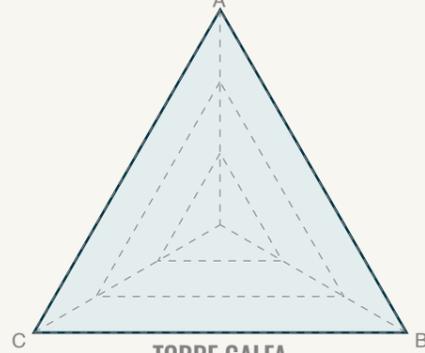
CHIESE 74



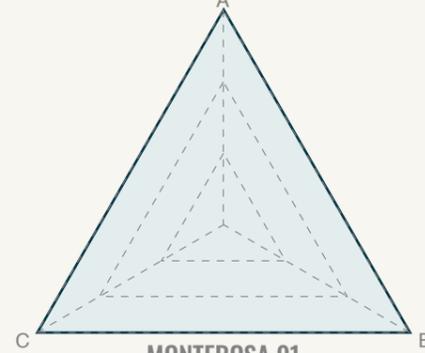
PIRELLINO



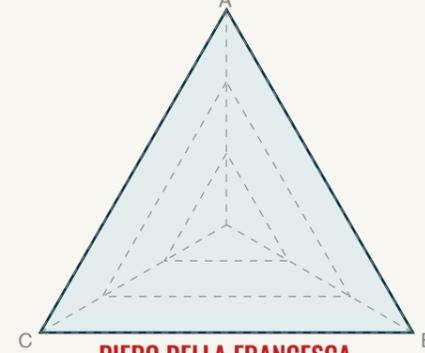
CASTELLANA 130



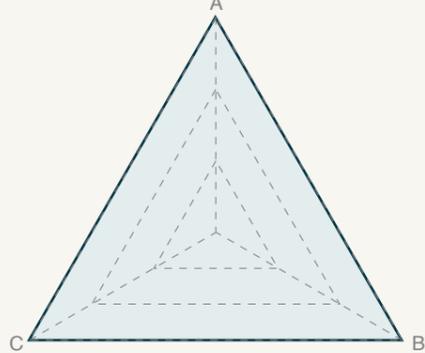
TESTI 280



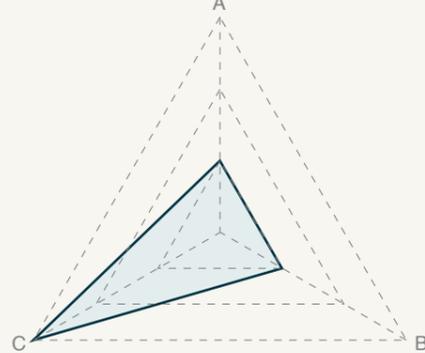
URBAN CUBE



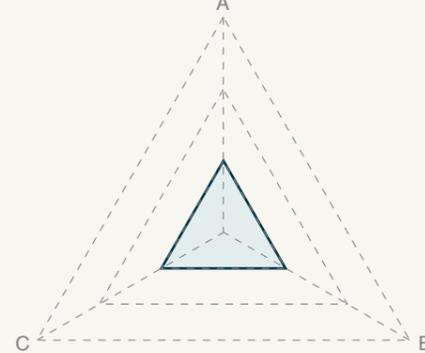
WHITEMOON



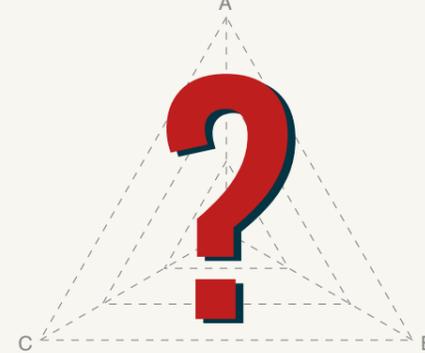
TORRE GALFA



MONTEROSA 91

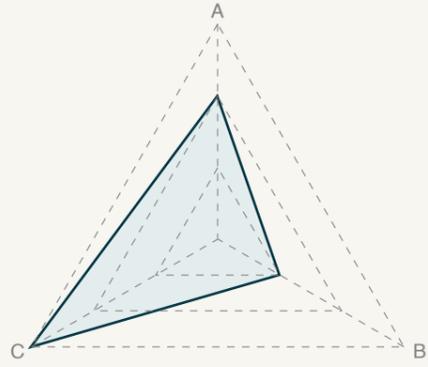


PIERO DELLA FRANCESCA

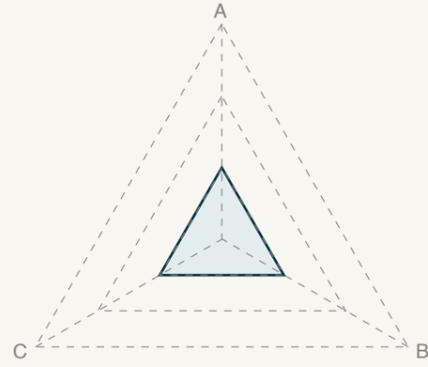


# PROFILI CON INDICATORI TECNOLOGICI

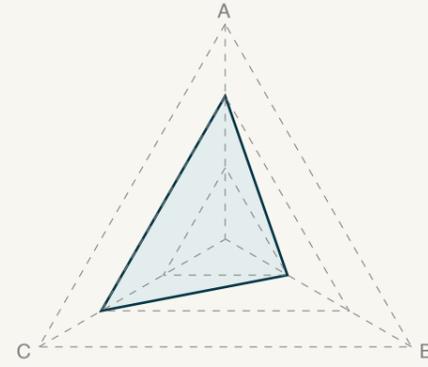
HINES BERGOGNONE 53



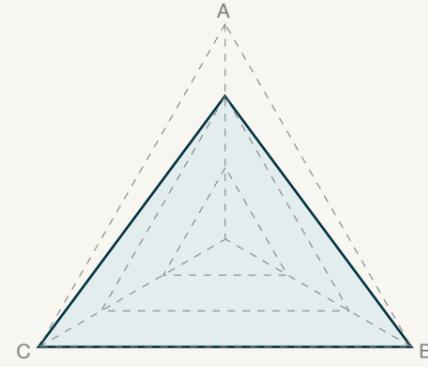
GRATTACIELO PIRELLI



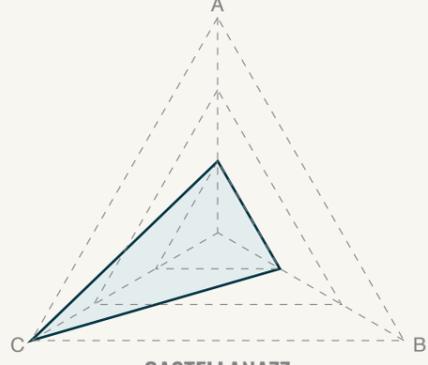
JOHNSON WAX HEADQUARTER



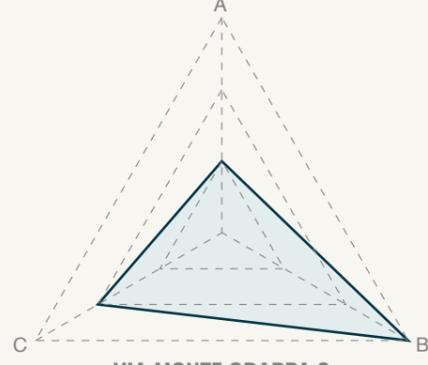
TORNO INTERNATIONAL



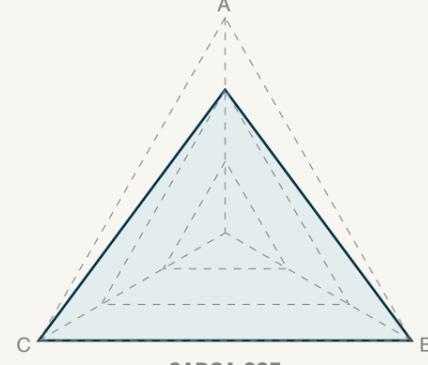
TORRI GARIBALDI



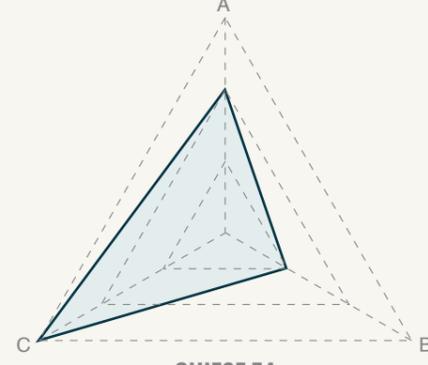
LA SERENISSIMA



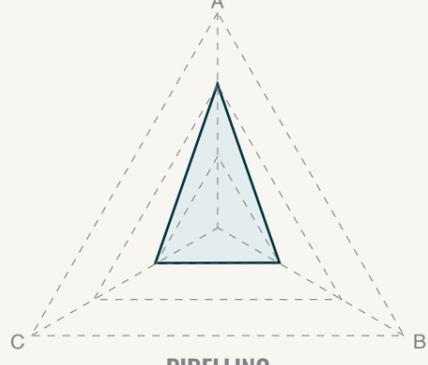
AVENUE LECLERC OFFICE BUILDING



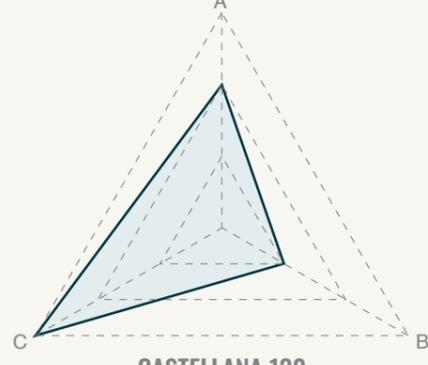
S32 NUOVA TORRE SASSETTI



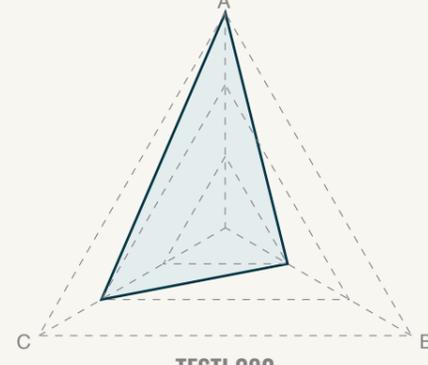
CASTELLANA77



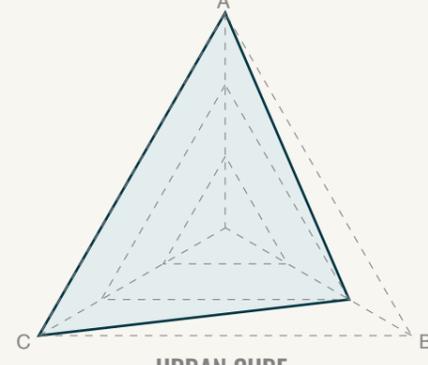
VIA MONTE GRAPPA 3



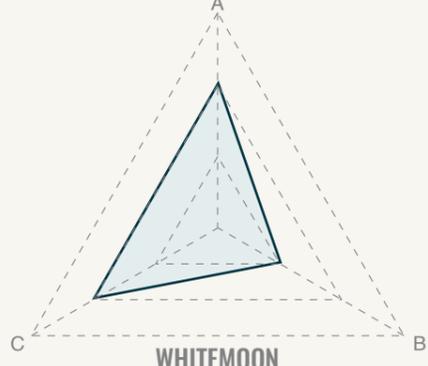
SARCA 235



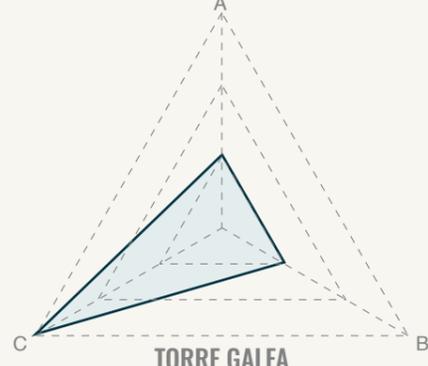
CHIESE 74



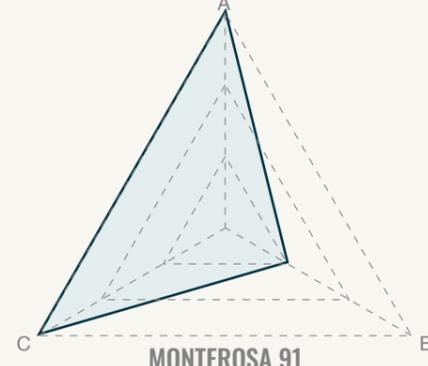
PIRELLINO



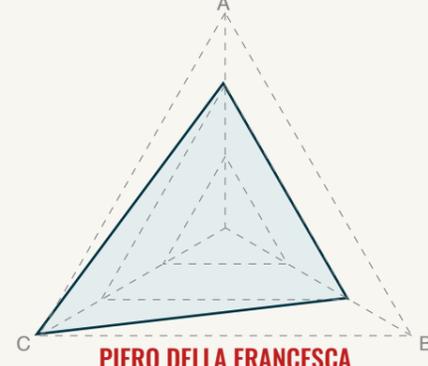
CASTELLANA 130



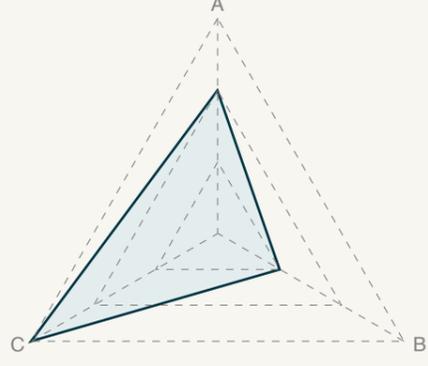
TESTI 280



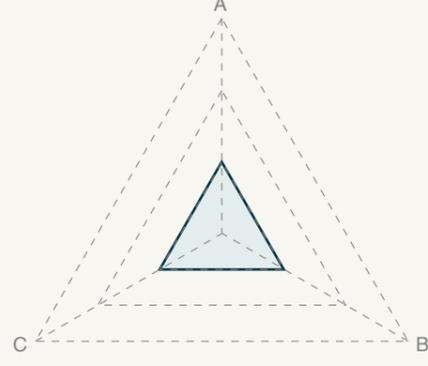
URBAN CUBE



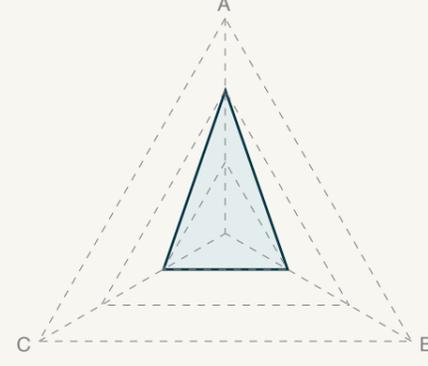
WHITEMOON



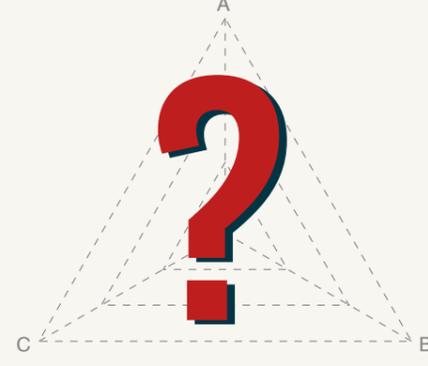
TORRE GALFA



MONTEROSA 91

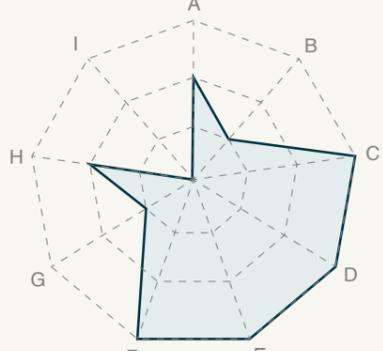


**PIERO DELLA FRANCESCA**

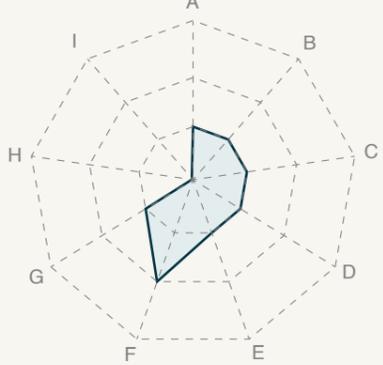


# PROFILI CON GLI INDICATORI COMPLETI

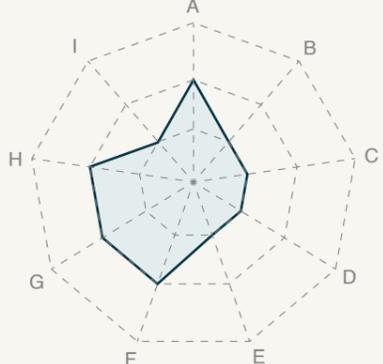
HINES BERGOGNONE 53



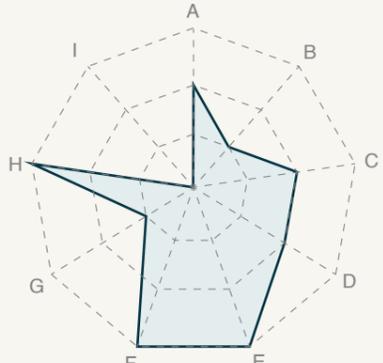
TORRE GALFA



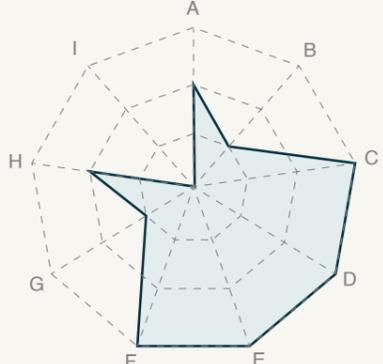
CASTELLANA77



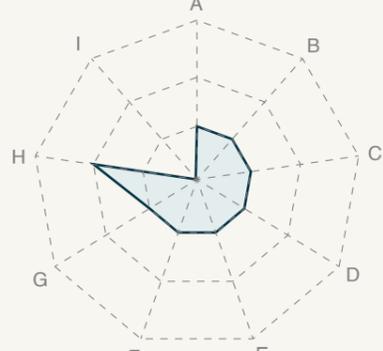
PIRELLINO



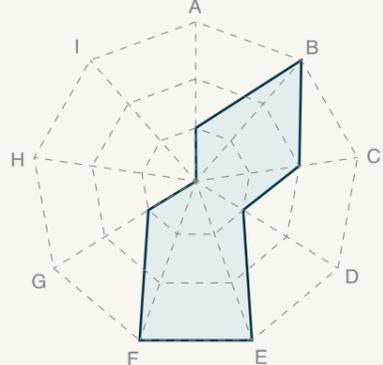
WHITEMOON



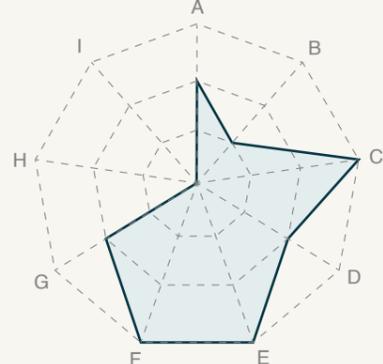
GRATTACIELO PIRELLI



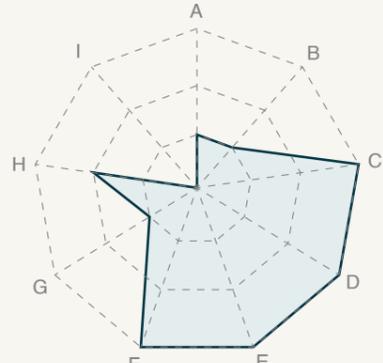
LA SERENISSIMA



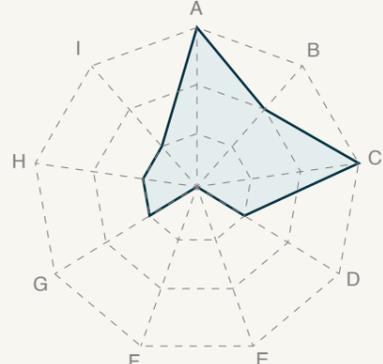
VIA MONTE GRAPPA 3



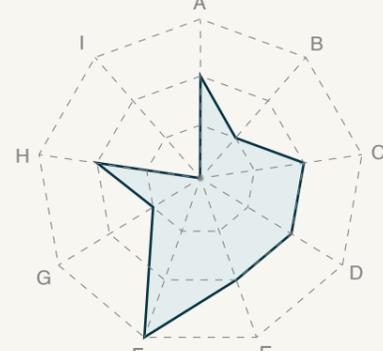
CASTELLANA 130



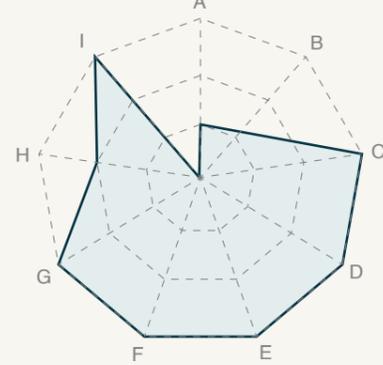
TORRE GALFA



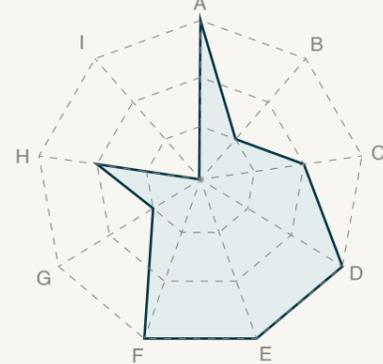
JOHNSON WAX HEADQUARTER



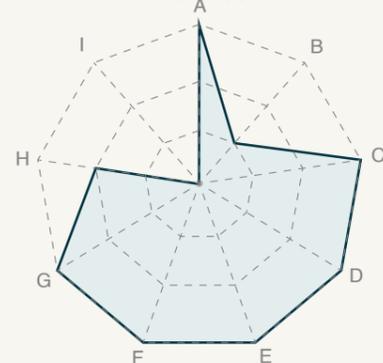
AVENUE LECLERC OFFICE BUILDING



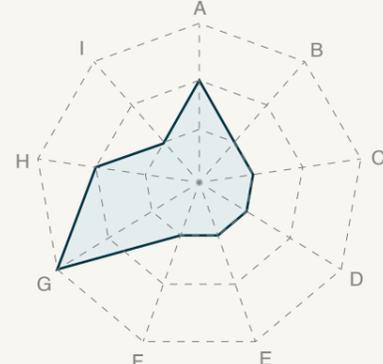
SARCA 235



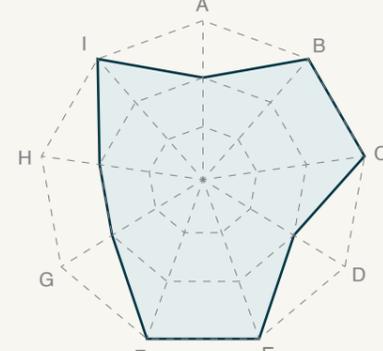
TESTI 280



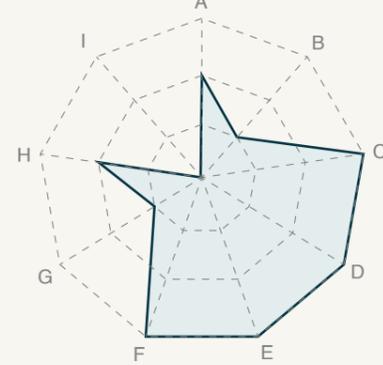
MONTEROSA 91



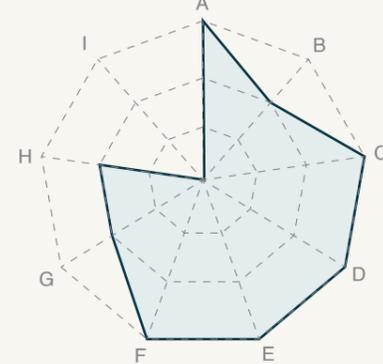
TORNO INTERNATIONAL



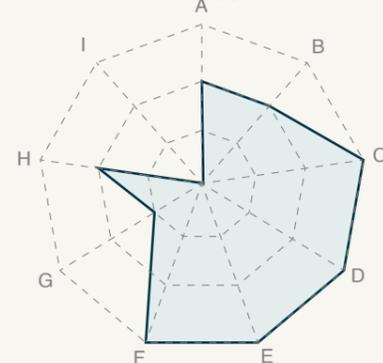
S32 NUOVA TORRE SASSETTI



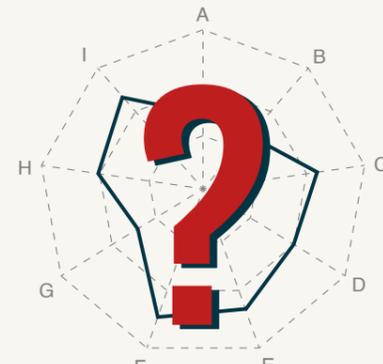
CHIESE 74



URBAN CUBE



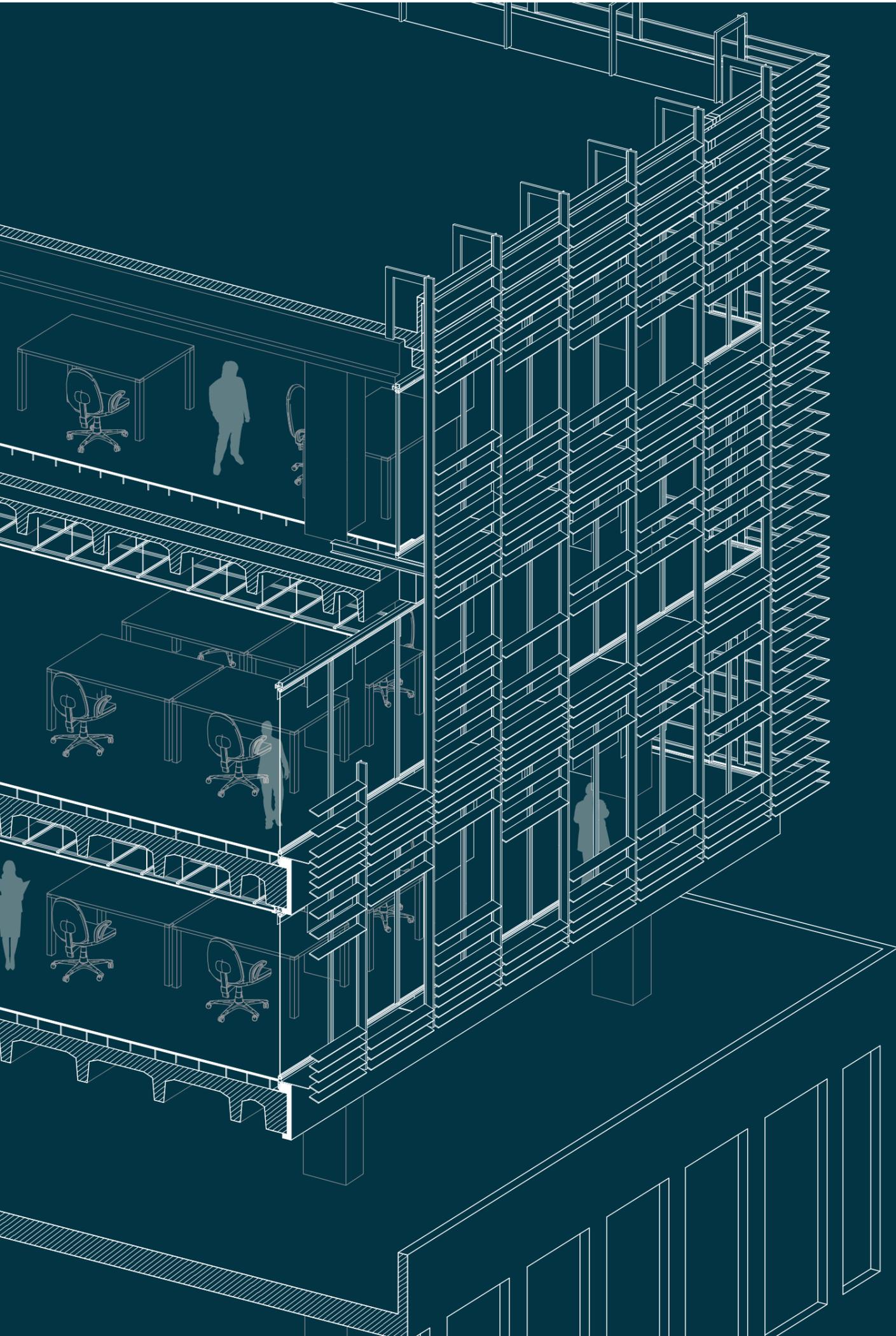
PIERO DELLA FRANCESCA



G: schermatura esterna  
H: schermatura interna  
I: ventilazione

D: scansione geometrica facciata  
E: wwr  
F: infisso

A: ricadute ambito urbano  
B: rifunzionalizzazione complessiva  
C: facciata originaria



# 5

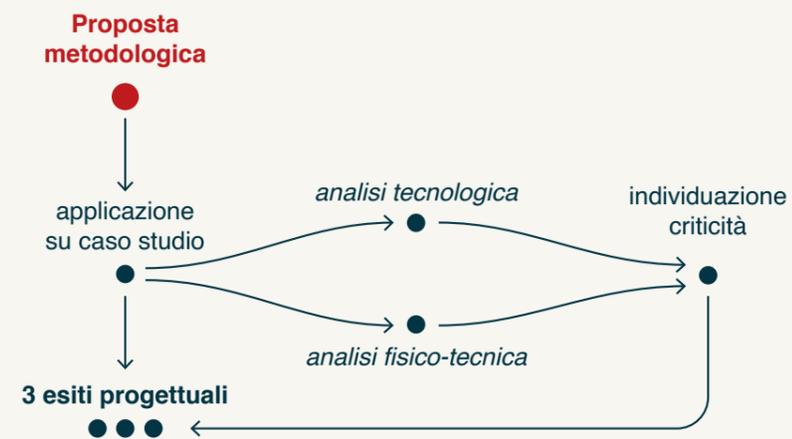
## **APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA: IL CASO STUDIO**

## CONTENUTI

**5.1** Centro Piero della Francesca, Torino

**5.2** Prime analisi

**5.3** Il progetto



## TRE POSSIBILI INTERVENTI

# 5.1

## Centro Piero della Francesca, Torino

### 5.1.1 Obiettivi

La proposta metodologica presentata nel precedente capitolo è stata il frutto di processi iterativi svolti durante il percorso di stesura del lavoro di tesi. La combinazione fra uno studio di stampo maggiormente teorico e, in parallelo, l'applicazione progettuale, ha permesso alla metodologia in primis e al progetto conseguentemente, di colmare quelle che possono essere, all'interno di un iter progettuale, lacune iniziali. In questo capitolo si applica la metodologia ad un caso studio che presenta alcune fra le più importanti caratteristiche presenti negli edifici studiati nei capitoli precedenti. Si è scelto un edificio che presentasse le caratteristiche per accogliere un retrofit con il fine di testare la metodologia presentata e per cogliere l'occasione con il lavoro di tesi per presentare tre proposte ipoteticamente realizzabili.

### 5.1.2 Il Centro Piero della Francesca

Il complesso, realizzato nel 1978 su progetto dell'architetto Gabriele Manfredi<sup>[20]</sup>, si trova nell'area dell'ex Cottonificio Mazzonis, detto "Bianchina", fra Corso Svizzera e le Vie Pessineto, Balangero e Nole. Il pdf (acronimo con cui è conosciuto) costituisce uno dei primi esempi in Italia di razionalizzazione degli spazi produttivi e di terziario: 170.000 mq, 1750 parcheggi, divisi in 5 fabbricati collegati fra loro da passerelle<sup>[21]</sup>. I materiali di cui è costituito sono pochi e lasciati a vista, il calcestruzzo e il vetro la fanno da padrone, le sue caratteristiche facciate presentano infatti finestre a nastro continue lungo tutta la lunghezza dei fronti, intervallati da elementi orizzontali in calcestruzzo. Il piano dei parcheggi, posizionato sotto i tre piani degli uffici e non

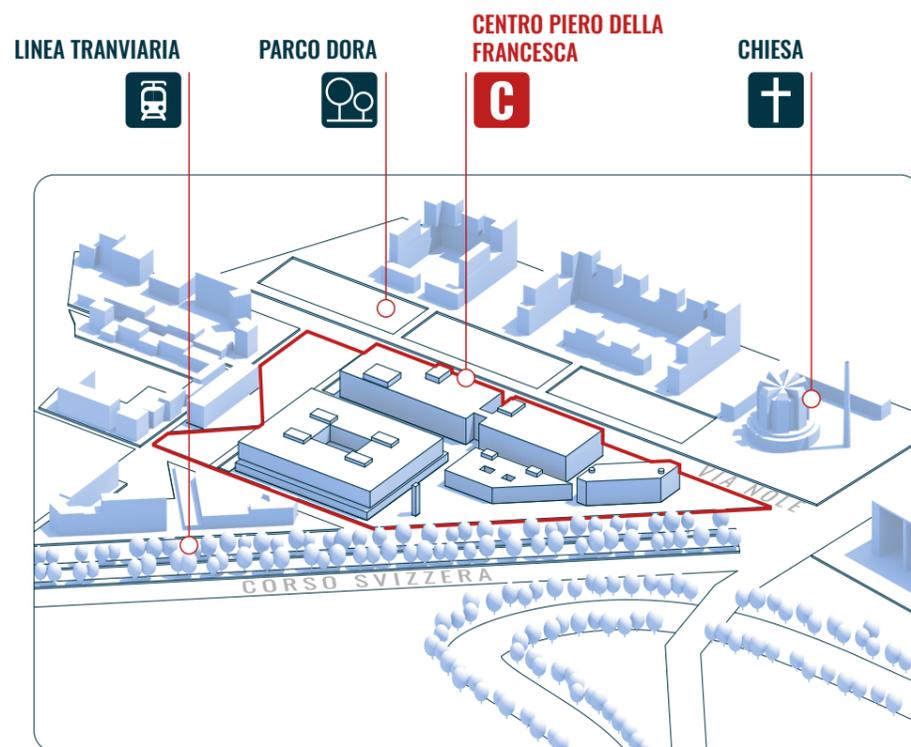
gi, posizionato sotto i tre piani degli uffici e non tamponato, creano un vuoto, una zona d'ombra che aumenta la sensazione di leggerezza dei parallelepipedi soprastanti.

[20] Scheda tecnica "Centro Piero della Francesca", Museo Torino. Disponibile da: <https://www.museotorino.it/view/s/b97da1bb1e31486e978c13e5451c7cf0>

[21] Scheda tecnica "Centro Piero della Francesca", Trueisgood. Disponibile da: <https://trueisgood.blogspot.com/2011/08/centro-piero-della-francesca-torino.html>

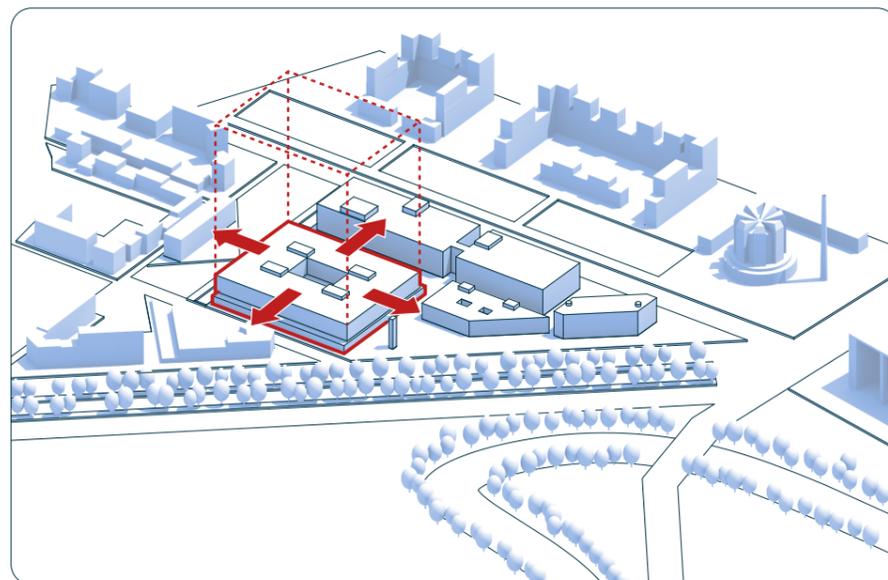
**Fig. 5.1:** Gabriele Manfredi, Centro Piero della Francesca, 1978. Torino, Corso Svizzera / via Pessineto / via Balangero / via Nole  
<https://www.flickr.com/photos/66190303@N06/6025007963/in/album-72157627392677804>





IL CONTESTO

Il complesso "Piero della Francesca", realizzato nel 1978 su progetto dell'architetto Gabriele Manfredi<sup>[20]</sup>, si trova nell'area dell'ex Cotonificio Mazzonis, detto "Bianchina", fra Corso Svizzera e le Vie Pessinetto, Balangero e Nole. Si compone di diversi fabbricati, prendendo quindi un isolato del quartiere.



IL CASO STUDIO

Il fabbricato preso in esame. Selezionato perchè isolato e con i 4 prospetti sui relativi 4 punti cardinali. I locali al suo interno sono open space e la struttura è in calcestruzzo armato, costituita da elementi prefabbricati. Le campate presentano una luce di circa 10 metri.

# 5.2 Prime analisi [A1:C3]

## 5.2.1 Analisi stato di fatto

STATO DI FATTO	ANALISI TECNOLOGICA	A1	Elementi e componenti
		A2	Stratigrafie
		A3	Valutaz. aspetti manutentivi
	ANALISI FISICO-TECNICA	B1	Prestazioni involucro
B2		Parametri ambientali coinvolti	
B3		Priorità di intervento	
B4		Fabbisogno energetico	
ANALISI PRELIM.	CASI STUDIO	C1	Analisi esigenze committenza
		C2	Valutaz. scenari d'intervento

L'analisi dello stato di fatto di un edificio rappresenta un passaggio essenziale per la comprensione delle sue caratteristiche costruttive, prestazionali e manutentive, fornendo la base per eventuali interventi di riqualificazione o retrofit. Questo studio si articola in due macro-fasi complementari: l'analisi tecnologica e l'analisi fisico-tecnica.

**A1:A3** Nell'analisi tecnologica si è proceduto all'indagine degli elementi e dei componenti costruttivi, con particolare attenzione alle stratigrafie e alla loro composizione. Sono stati inoltre valutati gli aspetti legati alla manutenzione dell'edificio, individuando eventuali criticità o degradi che potrebbero influenzare le prestazioni nel tempo.

**B1:B4** L'analisi fisico-tecnica, ha avuto l'obiettivo di valutare le prestazioni dell'involucro edilizio, considerando i parametri ambientali che influenzano ciascun elemento e componente. Sono state impostate le priorità di intervento in base alle criticità riscontrate e sono stati calcolati il fabbisogno energetico estivo ed invernale, fondamentali per definire il comportamento termico dell'edificio e le sue potenzialità di miglioramento.

Questa doppia analisi consente di ottenere un quadro completo e integrato dello stato di conservazione e delle prestazioni dell'edificio, fornendo gli strumenti per una progettazione consapevole ed efficace degli interventi futuri.

### 5.2.1.1 Osservazioni e risultati

Tutti i campi sono stati compilati secondo le informazioni ricavate da visite sul posto, foto degli interni e bibliografia. L'analisi tecnologica evidenzia quanto il centro sia interamente realizzato con elementi in calcestruzzo armato prefabbricato. I solai realizzati con pannelli binervati poggiati sulle ali di travi a T. Mentre la facades è un curtain wall con finestre a nastro e un elemento di tamponamento orizzontale che copre la sezione delle travi in aggetto. Dati quali la prestazione energetica e la tipologia di impianto di climatizzazione sono stati ricavati da un attestato di certificazione energetica del 2012 (N° 2012 105104 0015) trovato su un portale di compravendita. L'output maggiormente di rilievo è rappresentato dalla della priorità dell'intervento, il cui valore massimo è per i tamponamenti, gli infissi e solai, che presentano la maggior criticità nella trasmittanza termica. La scheda di analisi dello stato di fatto è riportata nella pagina seguente.

# Scheda analisi stato di fatto

ANALISI TECNOLOGICA				ANALISI FISICO-TECNICA																
ELEMENTO / COMPONENTE	CARATTERISTICHE			PRESTAZIONI INVOLUCRO						PARAMETRI AMBIENTALI COINVOLTI						Priorità intervento				
	MATERIALE / STRATIGRAFIA	TIPOLOGIA E/O FUNZIONAMENTO	ASPETTO MANUTENTIVO	Trasmitt. termica U [W/mqK]	Inerzia termica Y [J/mqK]	Fattore solare g [-]	Trasmitt. luminosa Tv [-]	Isolam. acustico Rw [dB]	Classe resist. fuoco [REI]	Temperatura aria	Umidità relativa	Velocità dell'aria	Temp. media rad.	Qualità dell'aria	Radiaz. solare dir.		Vista dell'esterno	Illuminaz. naturale	Comfort visivo	Comfort acustico
<i>Si elenchino gli elementi e componenti della struttura portante dell'edificio e quelli relativi alla facades, suddividendoli in "opaco" e "trasparente".</i>																				
<i>Dove possibile, indicare la stratigrafia con gli spessori, al fine di successivi calcoli di trasmittanza.</i>																				
Edificio>																				
strutt. portante vert.	Cls armato, 60x90	Pilastrini prefabbricati		3,33 *			60	180												
strutt. portante orizz.	Cls armato sp.10cm + getto sp. 15/20cm	Pannelli binervati pref.		2,5 *			40													
Facciata>																				
OPACO	struttura portante	Pilastrini in acciaio, travi cls armato	Curtain Wall					90												
	tamponamenti	Pannelli calcestruzzo armato a vista	Pannelli pref.	>5 *			45													
TRASPARENTE	infissi>																			
	telaio	Alluminio, finestra a battente doppia anta	Senza taglio termico																	
	vetro		Doppio vetro	3,5 *	0,8	80	30													
Dotazione tecnologica>																				
schermature>																				
interne	Tessuto filtrante chiaro	A rullo, manuali			0,2	30/50	B-s1, d0													
esterne	Assente																			
illuminaz. artificiale	LED	Plafoniere, on/off manua																		
climatizzazione>																				
riscaldamento		Gas naturale																		
raffrescamento		Centralizzato																		
ventilazione		UTA																		
Prestazione energetica	Classe energetica <b>F</b> / 361,272 kWh/m³																			

\*caratteristica che dipende dal materiale

### LEGENDA ASPETTO MANUTENTIVO/PRIORITÀ INTERVENTO

- L'elemento è in buone condizioni / non richiede interventi immediati
- Richiede monitoraggio / manutenzione a breve termine o priorità d'intervento media
- Critico / richiede intervento immediato o priorità d'intervento

### 5.2.3 Analisi preliminari

Le analisi preliminari si rivolgono prevalentemente alla committenza, la quale, in questo caso, è stata esclusa dallo studio effettuato. Si prenderanno dunque in esame le esigenze caratteristiche di un edificio ad uso ufficio quali ad esempio le condizioni ambientali per il comfort termoigrometrico.

STATO DI FATTO	ANALISI FIS-TEC	B3	Priorità di intervento
		B4	Fabbisogno energetico
ANALISI PRELIMINARI	CASI STUDIO	C1	Analisi esigenze committenza
		C2	Valutaz. scenari d'intervento
		C3	Adozione scenario/i
PROGETTO	SCELTE PRELIM.	D1	Nuovi strati funzionali
		D2	Tecnologia costruttiva

- **Fase C1.** Uno studio preliminare su precise esigenze della committenza è necessario e varia di caso in caso. Alcune scelte possono infatti essere prese "a priori", come ad esempio un intervento più invasivo ed evidente esternamente per esigenze di rinnovamento aziendale, piuttosto che un intervento di durata modesta per questioni logistiche e operative dei locali ad uso uffici. All'interno del lavoro di tesi si è deciso di non far interagire la committenza con l'esercizio progettuale, al fine di poter lavorare parallelamente a qualsiasi decisione di carattere personale;
- **Fase C2.** Nella fase prima della scelta dell'intervento con cui proseguire gli studi, è necessario l'intervento dell'architetto che, a partire dalle esigenze specifiche della committenza -della fase C1- e delle criticità emerse dallo studio sullo stato di fatto -fasi A1:B4- può indicare uno o più scenari di riferimento più adatti al caso specifico;
- **Fase C3.** Data l'assenza di vincoli e direttive più specifiche da parte della committenza e della volontà di valutare e confrontare gli esiti progettuali dei tre scenari di intervento, si è scelto di portare alle analisi successive tutti gli scenari.

# 5.3 Il progetto [D1:E1]

## 5.3.1 Scheda riassuntiva di progetto

ANALISI PRELIM.	CASI STUDIO	C2	Valutaz. scenari d'intervento
		C3	Adozione scenario/i
PROGETTO	SCELTE PRELIMINARI	D1	Nuovi strati funzionali
		D2	Tecnologia costruttiva
		D3	Scelta materiali
PROGETTO	VERIFICHE E ANALISI	E1	Calcolo trasmittanze
		E2	Nuovo fabbisogno energetico
		E3	Calcolo impronta carbonica

### 5.3.1.1 Metodologia

La scheda riassuntiva di progetto parte dalle priorità di intervento e dalle maggiori criticità rilevate nelle precedenti analisi. Per il dimensionamento delle nuove stratigrafie si è tenuto conto dei limiti massimi di trasmittanza per la zona climatica E. Per minimizzare le differenze nei risultati finali dovute a diverse scelte riguardanti gli stessi elementi o strati funzionali, quando possibile sono state effettuate le stesse scelte materiche nei tre scenari.

**Infisso:** scelto un infisso con vetrocamera 4-16-4 con gas Argon, caratterizzato da un valore di trasmittanza termica U pari a 1 W/m<sup>2</sup>K;

**Isolante:** scelto in lana di roccia per via delle sue caratteristiche termiche ( $\lambda$ : 0,035 W/mqK) e la sua resistenza al fuoco;

### Scenario 1

Nello scenario 1, di più bassa intensità e con la prerogativa di non cambiare l'aspetto esterno dell'edificio, è stato scelto di intervenire all'interno della zona uffici, creando il nuovo "layer" prestazionale 1m posteriormente rispetto al filo facciata, sfruttando l'arretramento dei pilastri.

Per minimizzare la presenza di ponti termici, lo strato isolante viene fatto scorrere lungo tutto il solaio fino al raggiungimento dell'infisso originario. L'isolante è posizionato sotto il pavimento flottante e appoggiato internamente al controsoffitto.

### Scenario 2

Nello scenario 2, è stato scelto di intervenire dapprima con la sostituzione degli infissi esistenti.

L'intervento sul tamponamento opaco invece si sviluppa tramite un cappotto esterno, realizzato con una parete ventilata, protetta esternamente da carter metallico. Questa soluzione permette di reinterpretare l'elemento opaco continuo: si può quindi variare leggermente il wwr di facciata, mantenendo la caratteristica identitaria della forte scansione orizzontale.

In questo caso non si è scelto di cambiare in modo deciso le dimensioni del parapetto, se non un leggero abbassamento dovuto al risvolto dell'isolante e un inspessimento per la scelta della parete ventilata, effettuata per motivi di manutenibilità nel tempo e miglioramento delle prestazioni.

### Scenario 3

Nello scenario 3, è stato scelto di intervenire primariamente con una demolizione parziale dell'elemento opaco di parapetto, permettendo così di conservare i soli elementi strutturali della preesistenza. Tramite dei profili metallici ad L e dei tubolari scatolari, si realizza rispettivamente il supporto per il nuovo fronte vetrato e l'ancoraggio della struttura per schermatura adattiva.

L'intervento sul tamponamento opaco invece si sviluppa tramite un cappotto esterno, protetto da carter metallico.

La struttura esterna è composta da montanti ancorati ad ogni piano tramite elementi metallici scatolari e ospita una pannellatura microforata. Alcuni pannelli presentano una cerniera e permettono l'apertura o la chiusura, gestendo il passaggio della luce.

## scheda tecnica di intervento SCENARIO 1

BASSA INTENSITA'

ANALISI STATO DI FATTO		STRATEGIA DI RETROFIT	
Criticità individuate	Priorità di intervento	Nuovi strati funzionali	Tecnologia costruttiva
Infissi		Nuovi infissi arretrati	Vetrata con moduli scorrev.
Tamponamento opaco		Isolam. interno in continuità	Cappotto interno
Strutt. portante orizzontale		Isolam. interno in continuità	Controsoffitto/Pavim. flottante

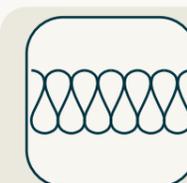
### ABACO DEI MATERIALI



#### Vetrocamera

telaio in alluminio  
gas Argon  
h: 3,30m  
U: 1W/mqK

0,7 t



#### Isolante

lana di roccia  
 $\lambda$ : 0,035W/mK

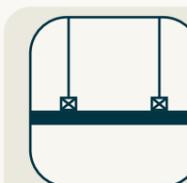
0,32 t



#### Metalli

scatolari  
sottostruttura  
controsoffitto

0,32 t



#### Controsoffitto

cartongesso  
sp: 12,5mm

0,36 t

### confronto VALORI PRESTAZIONALI

#### TRASMITTANZA [W/mqK]

Infisso



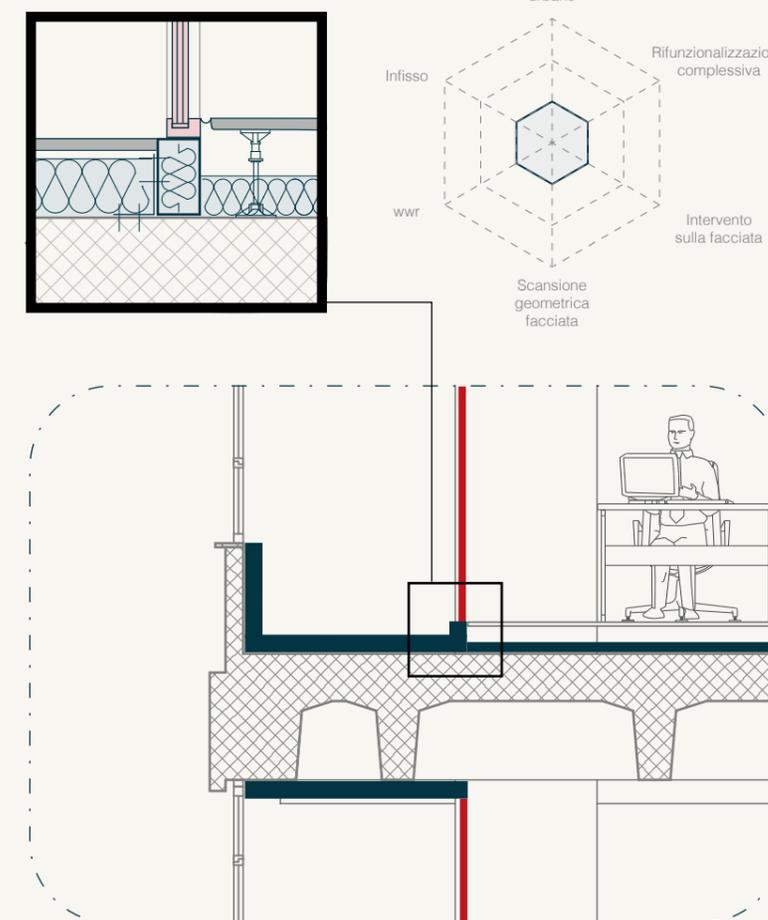
Opachi orizz. di separazi. interna



- valore trasmittanza preesistenza
- valore trasmittanza progetto
- valore limite normativo

\*DM 6 Ottobre 2020 "Nuove costruzioni o ristrutturazioni importanti"  
\*\*DM 26 Giugno 2015 "Riqualificazione energetica (edifici esistenti)"

- Strato isolante termico
- Infisso nuovo

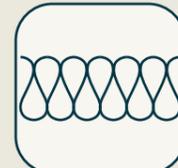


ANALISI STATO DI FATTO		STRATEGIA DI RETROFIT	
Criticità individuate	Priorità di intervento	Nuovi strati funzionali	Tecnologia costruttiva
Infissi	■■■	Nuovi infissi	Finestre a nastro
Tamponamento opaco	■■■	Cappotto esterno	Parete ventilata
Strutt. portante orizzontale	■■■	Isolamento interno	Isolante sotto pavim. flottante

**ABACO DEI MATERIALI**



**Vetrocamera**  
telaio in alluminio  
gas Argon  
h: 2,70m  
U: 1W/mqK  
**0,56 t**



**Isolante**  
lana di roccia  
 $\lambda$ : 0,035W/mK  
**0,32 t**



**Metalli**  
scatolari  
rivestimento  
carter esterno  
**0,32 t**



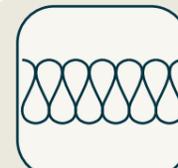
**Guaina**  
impermeabiliz-  
zante bituminosa  
**0,36 t**

ANALISI STATO DI FATTO		STRATEGIA DI RETROFIT	
Criticità individuate	Priorità di intervento	Nuovi strati funzionali	Tecnologia costruttiva
Infissi	■■■	Nuovi infissi	Vetrata a tutta altezza
Tamponamento opaco	■■■	Rivestimento	Cappotto esterno
Strutt. portante orizzontale	■■■	Isolam. interno in continuità	Isolante sotto pavim. flottante
Schermature estern. assenti	■■■	Schermature esterne	Adaptive facade

**ABACO DEI MATERIALI**



**Vetrocamera**  
telaio in alluminio  
gas Argon  
h: 3,30m  
U: 1W/mqK  
**0,7 t**



**Isolante**  
lana di roccia  
 $\lambda$ : 0,035W/mK  
**0,3 t**



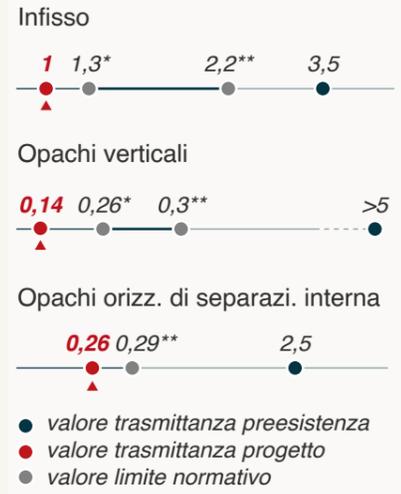
**Metalli**  
scatolari  
facade esterna  
**3 t**



**Guaina**  
impermeabiliz-  
zante bituminosa  
**0,1 t**

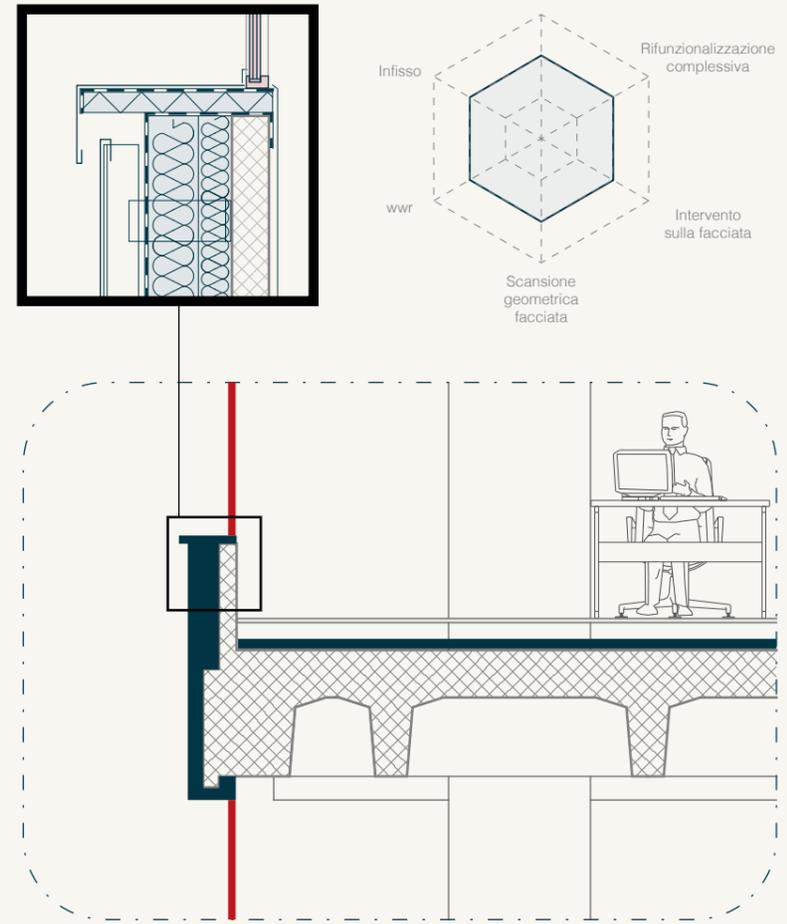
**confronto VALORI PRESTAZIONALI**

**TRASMITTANZA [W/mqK]**



\*DM 6 Ottobre 2020 "Nuove costruzioni o ristrutturazioni importanti"  
\*\*DM 26 Giugno 2015 "Riqualificazione energetica (edifici esistenti)"

■ Strato isolante termico  
■ Infisso nuovo



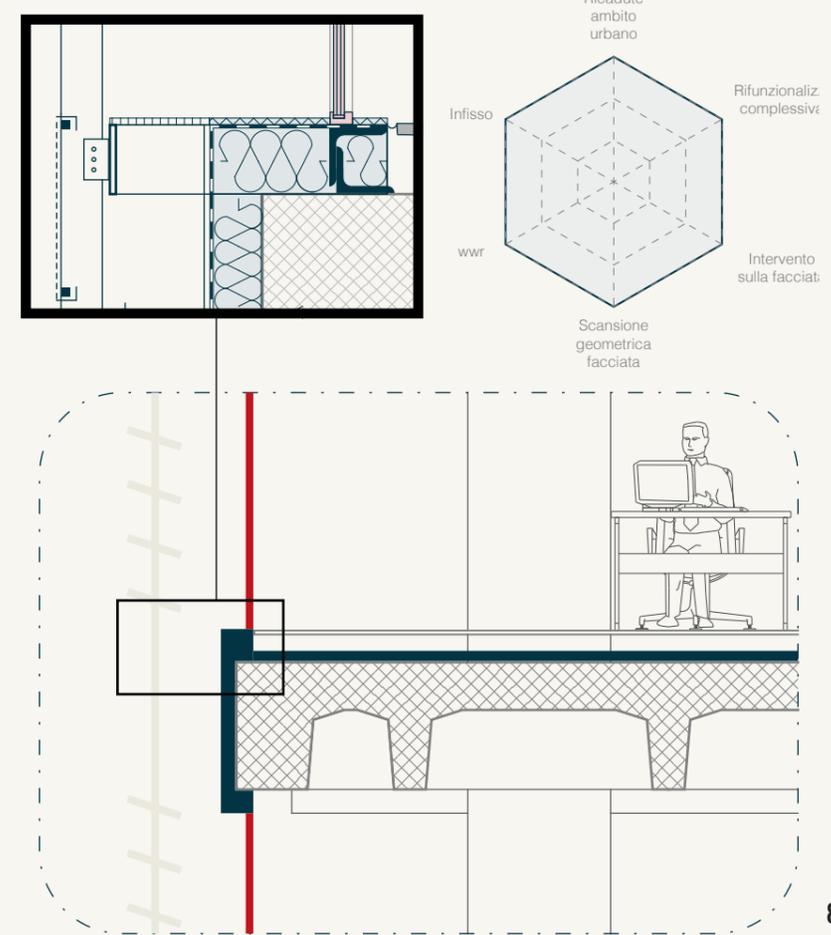
**confronto VALORI PRESTAZIONALI**

**TRASMITTANZA [W/mqK]**

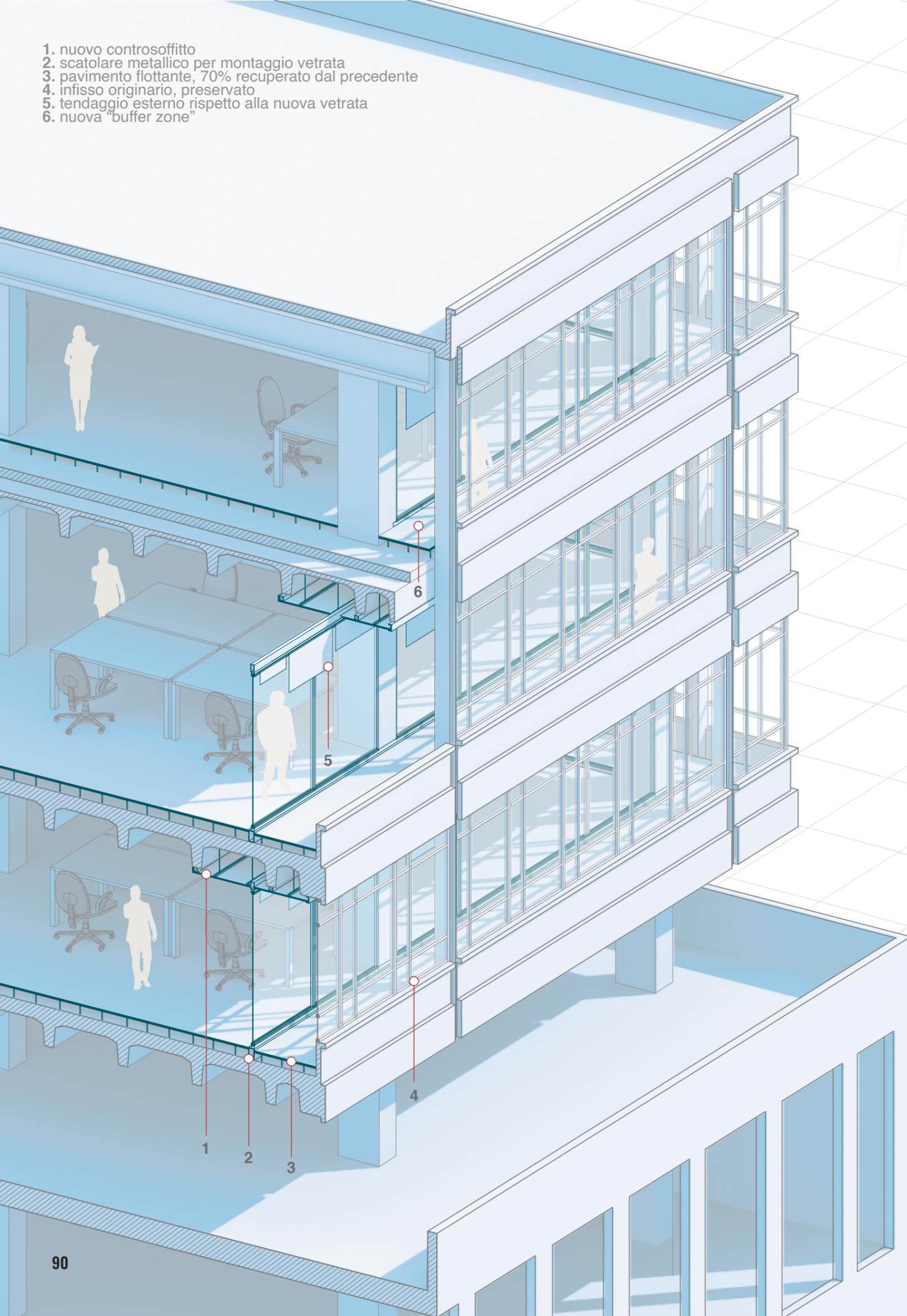


\*DM 6 Ottobre 2020 "Nuove costruzioni o ristrutturazioni importanti"  
\*\*DM 26 Giugno 2015 "Riqualificazione energetica (edifici esistenti)"

■ Strato isolante termico  
■ Infisso nuovo



1. nuovo controsoffitto
2. scatolare metallico per montaggio vetrata
3. pavimento flottante, 70% recuperato dal precedente
4. infisso originario, preservato
5. tendaggio esterno rispetto alla nuova vetrata
6. nuova "buffer zone"



### CONTROSOFFITTO



nuovo elemento per il passaggio impiantistico (condotti aerazione, illuminazione, cablaggio elettrico, impianto antincendio).

### INFISSO



nuova vetrata interna rispetto al filo facciata esterno.

### RECUPERO CALORE



possibilità di interazione di impianti per il recupero del calore generato nella zona cuscinetto.

### INTEGRAZIONE IMPIANTI

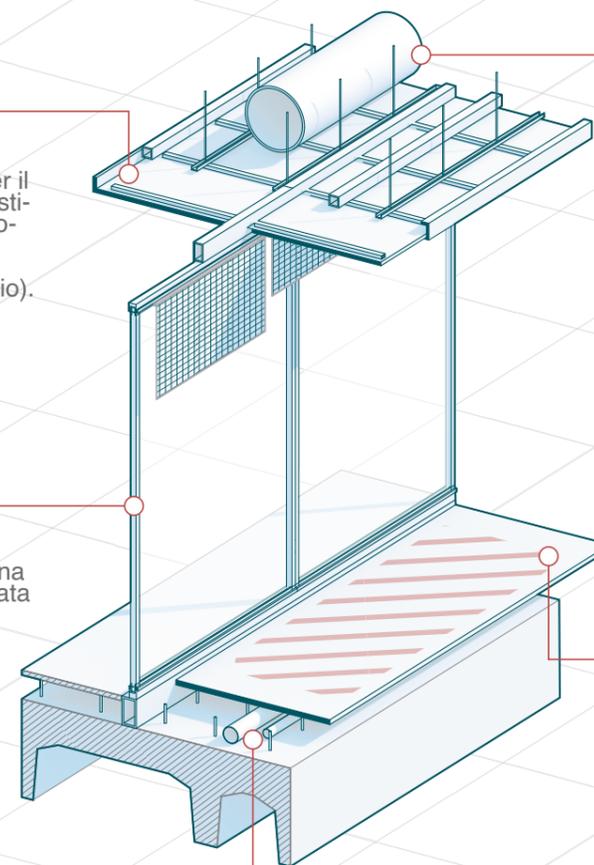


il nuovo controsoffitto per la sua conformazione permette il passaggio di grandi impianti come i canali di distribuzione dell'aria.

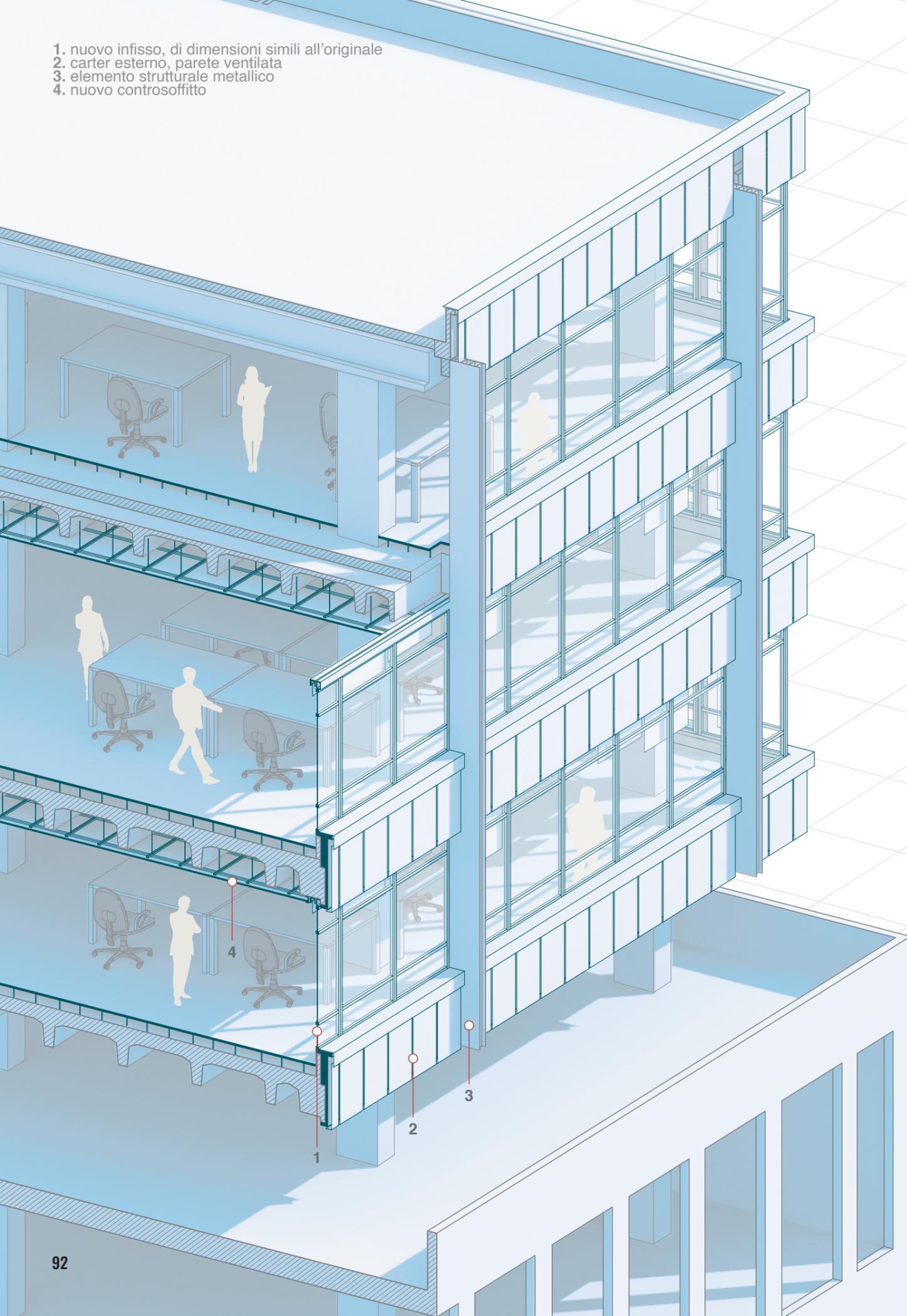
### BUFFER ZONE



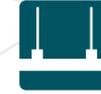
la zona cuscinetto che si viene a creare è utile per mitigare la temperatura "esterna", quella a contatto con la superficie della nuova vetrata.



1. nuovo infisso, di dimensioni simili all'originale
2. carter esterno, parete ventilata
3. elemento strutturale metallico
4. nuovo controsoffitto



### CONTROSOFFITTO



nuovo elemento per il passaggio impiantistico (condotti aerazione, illuminazione, cablaggio elettrico, impianto antincendio).

### TENDE INTERNE



integrate nel controsoffitto, avvolgibili e motorizzate. In tessuto colorato per il controllo dell'abbigliamento

### INFISSO



nuova vetrata posizionata in corrispondenza di quella antecedente con simili geometrie ma migliori caratteristiche tecniche.

### ISOLANTE

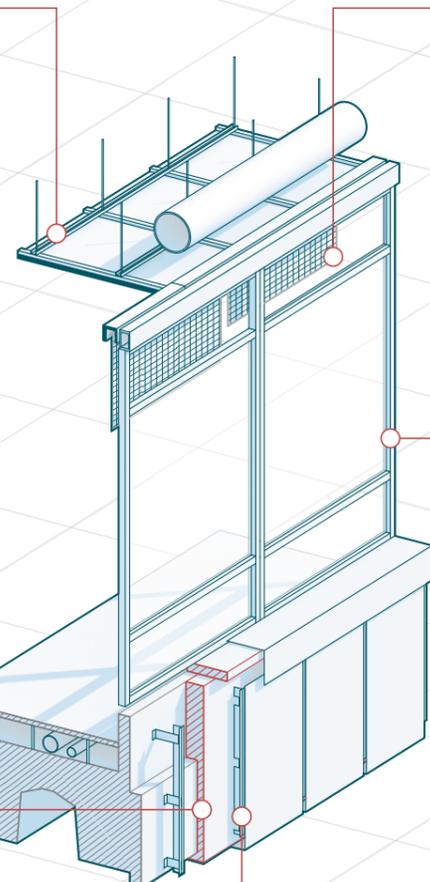


un cappotto esterno permette la risoluzione dei ponti termici e una facile installazione, rivestendo la preesistenza senza grandi opere di demolizione.

### PARETE VENTILATA

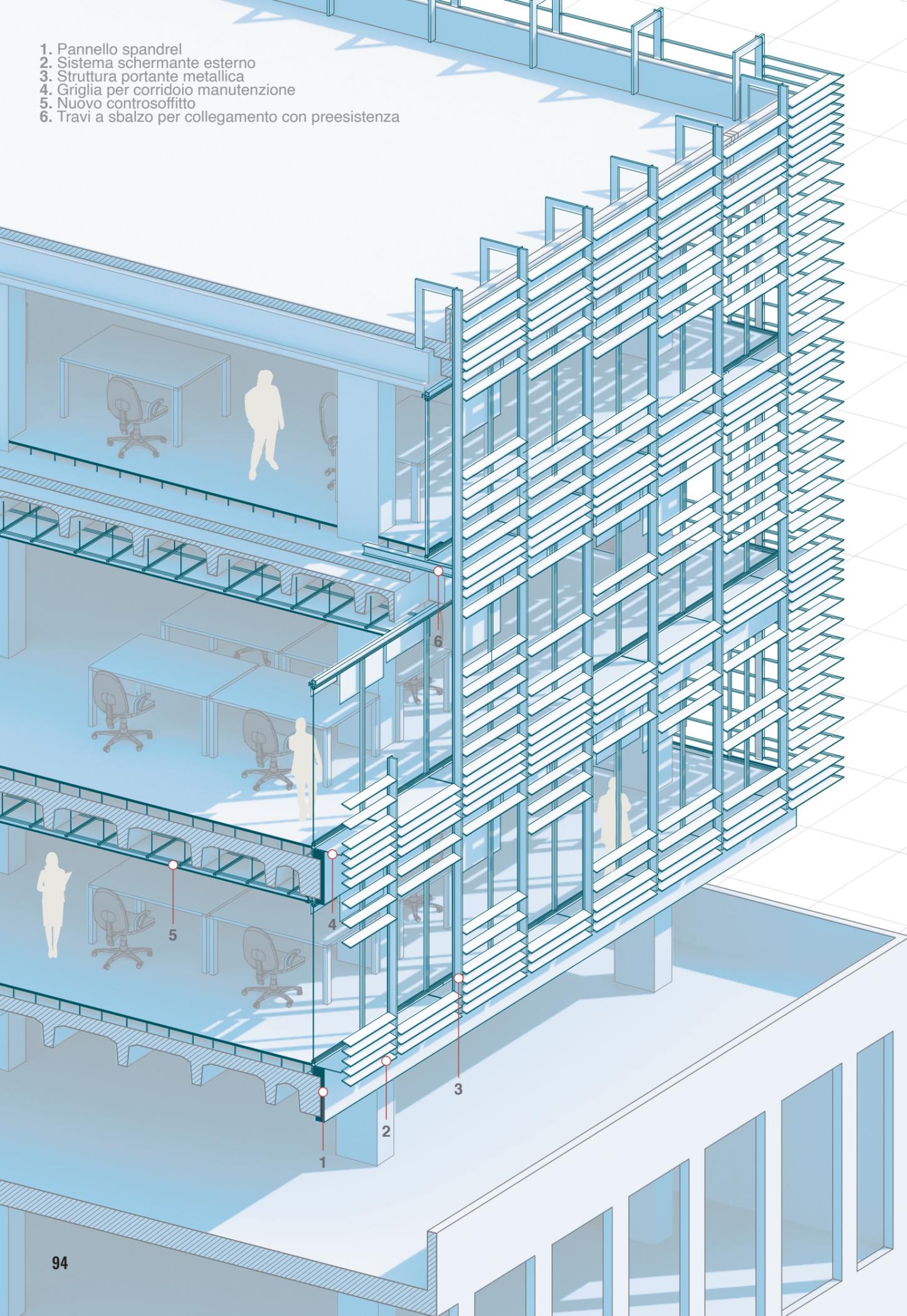


il sistema permette un ancoraggio puntuale alla struttura preesistente, migliorandone le performance di trasmittanza termica e isolamento acustico.



..... IN COMBINAZIONE .....

1. Pannello spandrel
2. Sistema schermante esterno
3. Struttura portante metallica
4. Griglia per corridoio manutenzione
5. Nuovo controsoffitto
6. Travi a sbalzo per collegamento con preesistenze

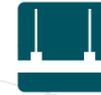


### SCHEMATURA ESTERNA



elementi orizzontali inclinabili a seconda delle esigenze interne e dei parametri ambientali esterni, per un miglior controllo della radiazione solare entrante dalle superfici vetrate.

### CONTROSOFFITTO



nuovo elemento per il passaggio impiantistico (condotti aerazione, illuminazione, cablaggio elettrico, impianto antincendio).

### INFISSO



nuova vetrata a tutta altezza dalle migliori caratteristiche rispetto a quelle della preesistenza.

### ISOLANTE



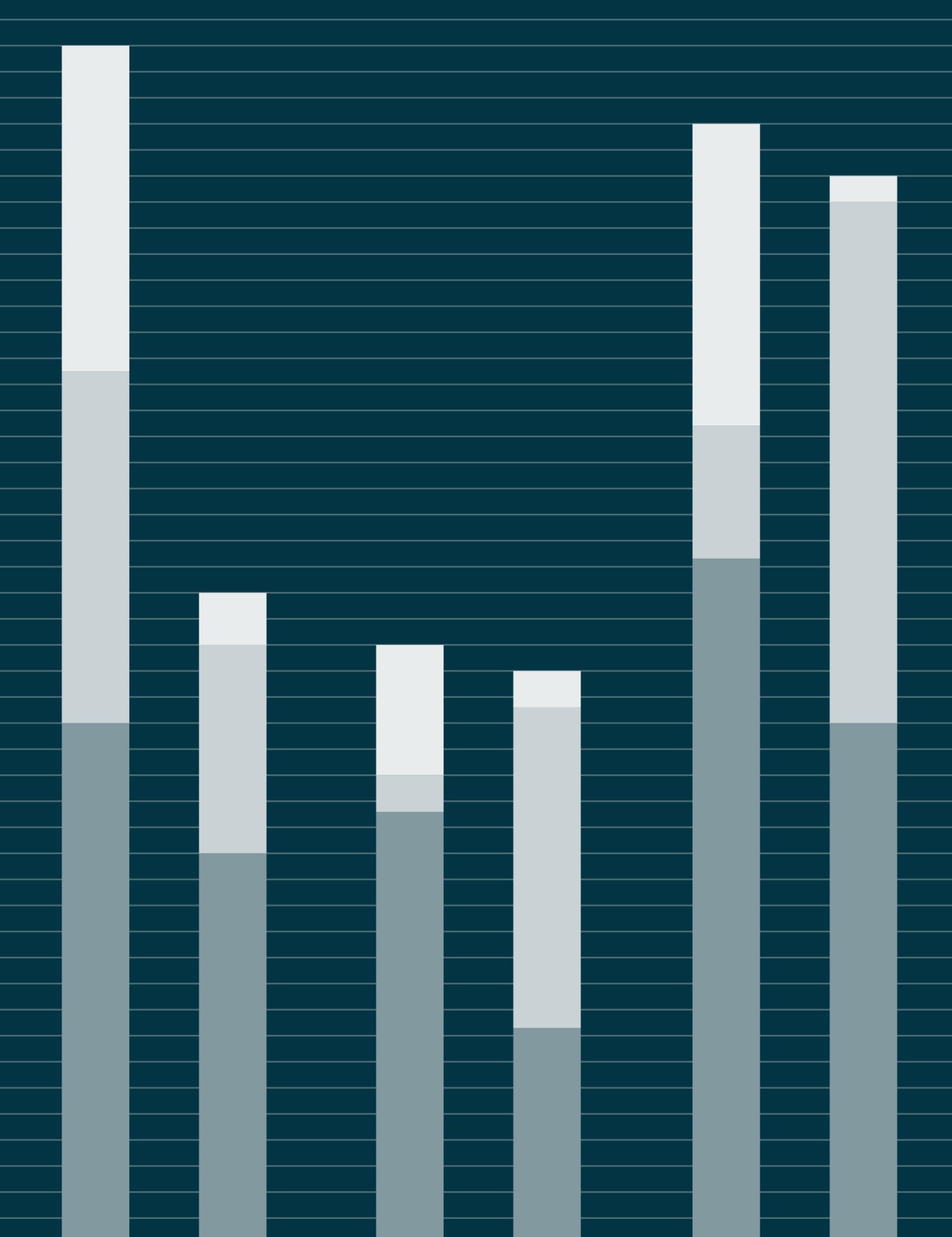
un cappotto esterno permette la risoluzione dei ponti termici e una facile installazione. E' esternamente protetto da lamiera metallica, formando così un pannello spandrel, elemento di tamponamento opaco comunemente utilizzato nelle facciate continue degli edifici.

### CORRIDOIO PER MANUTENZIONE



la creazione della sottostruttura per la schermatura esterna favorisce l'integrazione con un corridoio per la manutenzione della facciata.

IN COMBINAZIONE

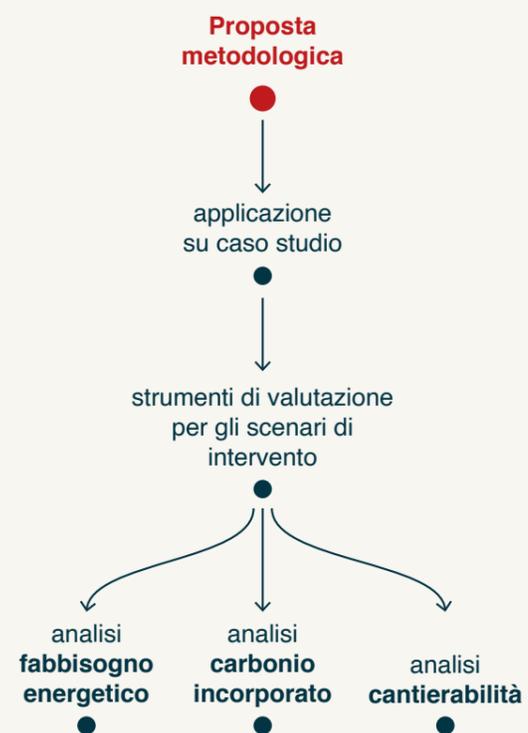


6

## ANALISI E RISULTATI

## CONTENUTI

- 6.1** Strumenti di valutazione fra alternative progettuali
- 6.2** Analisi fabbisogno energetico
- 6.3** Analisi carbonio incorporato
- 6.4** Analisi cantierabilità



## VALUTAZIONE MULTIDISCIPLINARE

# 6.1 Strumenti di valutazione fra alternative progettuali



## 6.1.1 Metodologia

Per la valutazione degli esiti progettuali risultati dall'applicazione dei 3 scenari al caso studio Piero della Francesca, è possibile eseguire delle valutazioni a supporto della scelta ipotetica del progetto finale.

Se è vero che non è corretto parlare della "scelta perfetta" in assoluto, questa potrà diventare la "scelta migliore" a fronte di compromessi fra più ambiti d'interesse. Dipenderà quindi in modo soggettivo dalle esigenze della committenza, dal luogo d'intervento e il migliore scenario si potrà identificare solo se circoscritti i confini delle discipline di cui servirsi per la valutazione.

- Un'analisi con metodologia **LCC** (Life Cycle Costing) potrà determinare il migliore scenario progettuale economicamente parlando. Con un'analisi **LCCA** (Life Cycle Cost Analysis) si potrebbe procedere infatti con la valutazione non solo soluzioni progettuali ma anche componenti o singoli materiali, sulla base di criteri di efficacia ed efficienza economica;

- Un'analisi della **Whole Life Cost** porterebbe a confrontare invece vari scenari -o anche in questo caso diverse soluzioni per componenti o singoli materiali- sotto il punto di vista ambientale, permettendo di identificare le soluzioni più sostenibili dal punto di vista delle emissioni totali. La **WLC** considera le emissioni di carbonio

generate durante le diverse fasi di vita dell'edificio: embodied carbon, operational carbon, carbonio relativo alla manutenzione e quello del fine vita;

- Il calcolo del **nuovo fabbisogno energetico** (design rating) -la quantità di energia necessaria per assicurare adeguati livelli di comfort interno- porterebbe a confrontare le varie alternative progettuali, di diverse scelte materiche o di diversi scenari, mettendoli a confronto sotto il punto di vista energetico. In altre parole potrebbe essere la discriminante per la scelta di un'alternativa progettuale rispetto all'altra, sapere a quanto ammonti il miglioramento o l'efficientamento energetico;

- Un'analisi della **cantierabilità** permetterebbe di studiare limiti e potenzialità, facendo emergere quelle lavorazioni che richiederebbero una maggiore attenzione in fase di progettazione.

Data la finalità del lavoro di tesi realizzato, che mira alla proposta di una metodologia di approccio al progetto di retrofit, si decide di eseguire le seguenti valutazioni:

- Il nuovo fabbisogno energetico;
- CO2 incorporata;
- Analisi cantierabilità.

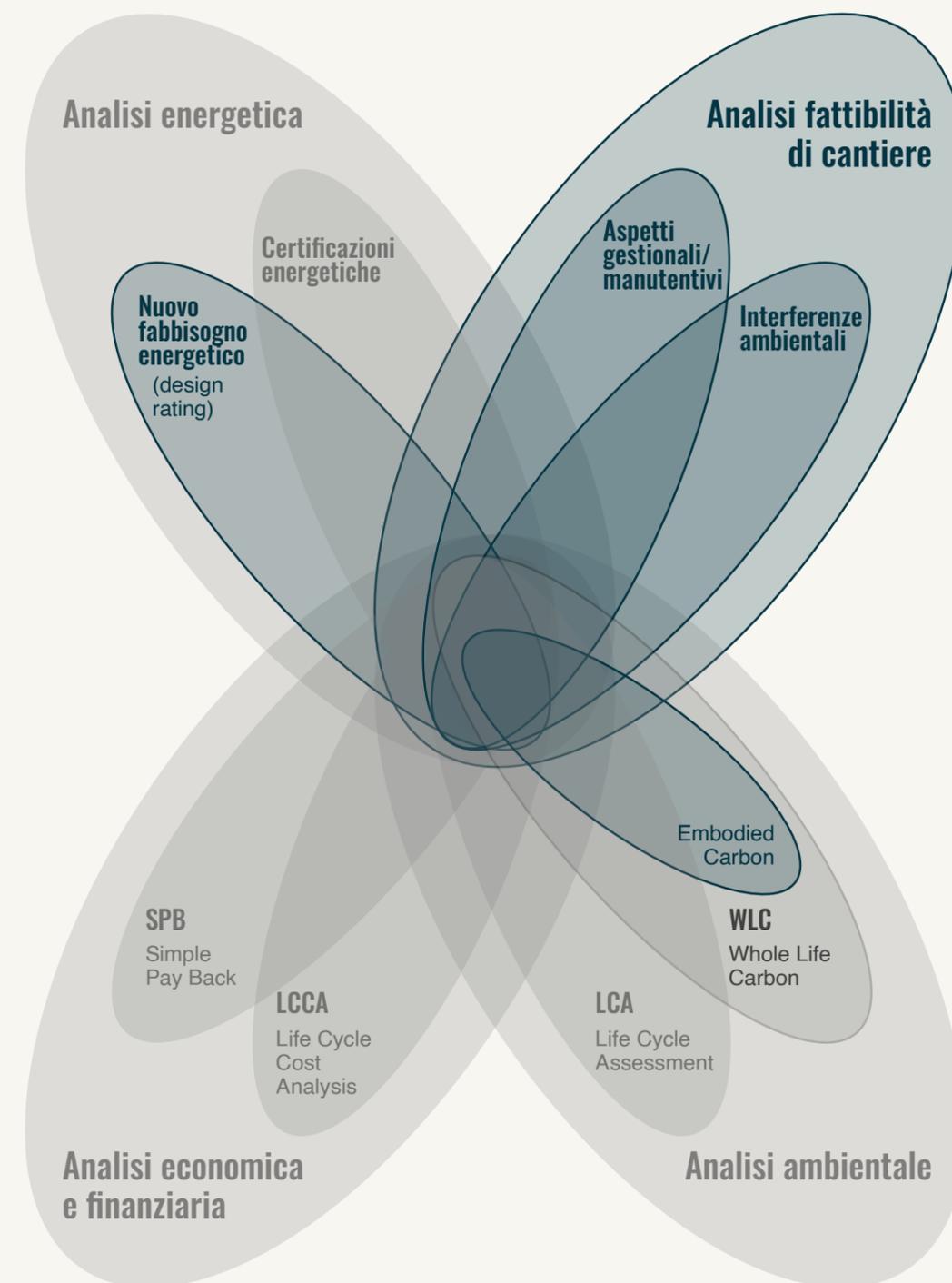
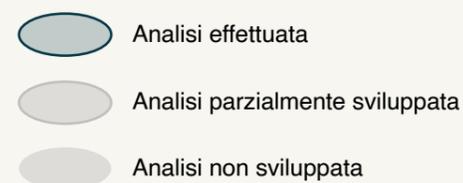


Fig. 6.1 Schematizzazione delle possibili analisi effettuabili con evidenziazione di quelle scelte per il lavoro di tesi.

# 6.2

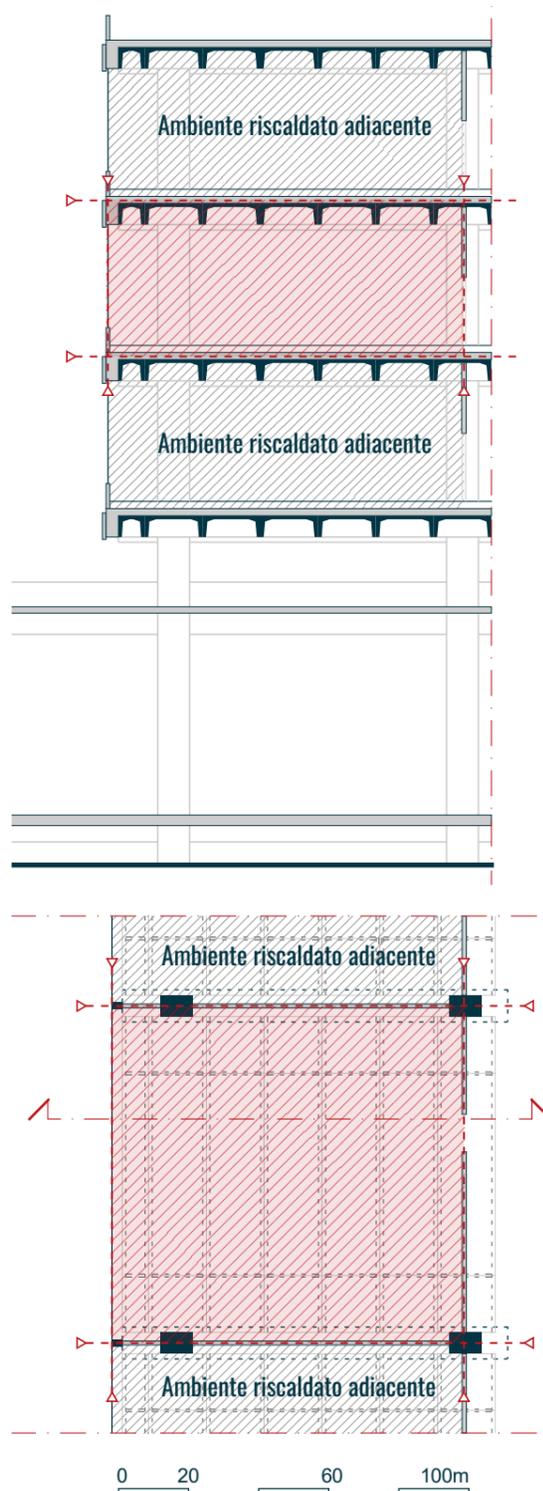
## Analisi fabbisogno energetico

### 6.2.1 Metodologia

L'analisi energetica viene eseguita con un modello di calcolo basato sulla norma UNI TS 11300-1. Vengono dapprima definiti i confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio.

Attraverso gli elaborati in proiezione ortogonale si procede a tracciare i piani delimitanti la zona termica considerata per il calcolo: si è deciso di adottare l'ufficio in posizione intermedia con la sola superficie disperdente della facciata, per massimizzare le differenze nei tre scenari, dove a cambiare, sarà proprio questa. La scelta di una zona termica diversa, come ad esempio quella inferiore con il solaio di calpestio rivolto verso il parcheggio o quella superiore con il solaio di copertura, avrebbe fatto diminuire il peso delle differenti soluzioni di facciata nei risultati finali, poiché dipesi in gran parte dalle superfici disperdenti dei solai.

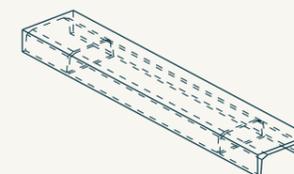
DATI GENERALI			
Dato	Valore	Dato	Valore
Sup. lorda di pavimento [m <sup>2</sup> ]	95	T interna di regolazione per il riscaldamento	20
Sup. utile di pavimento [m <sup>2</sup> ]	91	T interna di regolazione per il raffrescamento	26
Volume lordo [m <sup>3</sup> ]	419		
Volume netto [m <sup>3</sup> ]	348		



#### SOLAIO

con elementi prefabbricati binervati in calcestruzzo armato

$U: 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$



pavimento flottante

massetto cls

#### TRAVE "T" ROVESCIA

elemento prefabbricato in calcestruzzo armato

#### TAMPONAMENTO

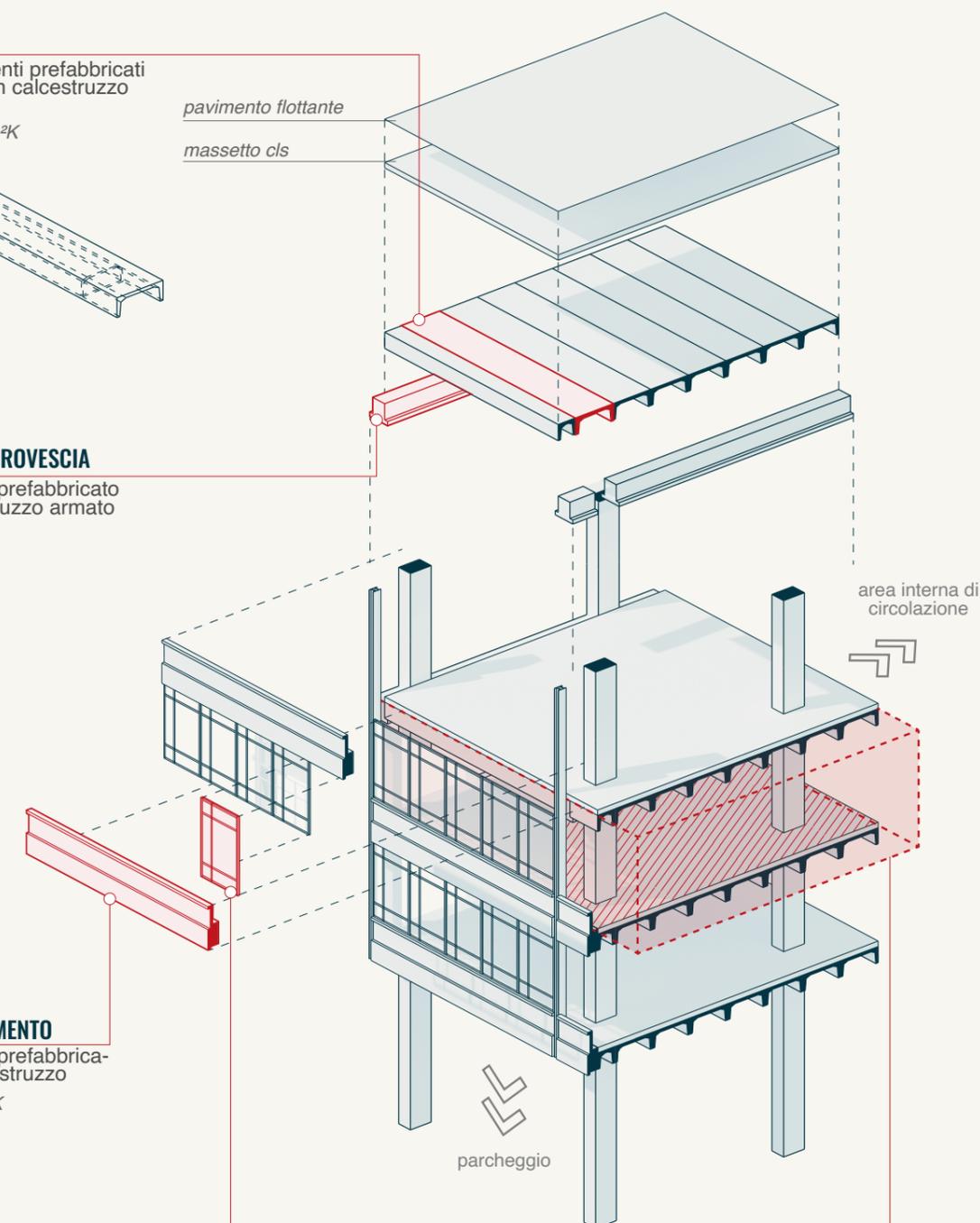
elemento prefabbricato in calcestruzzo

$U: 5 \text{ W/m}^2\text{K}$

#### INFISSO

modulo finestra a doppio battente

$U: 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$



#### ZONA TERMICA UFFICIO TIPO

altezza media interpiano	4,4 m
volume lordo climatizzato	419 m <sup>3</sup>
superficie utile di pavimento	91 m <sup>2</sup>
superficie dell'involucro	334 m <sup>2</sup>
superficie finestrata	27 m <sup>2</sup>

## 6.2.2 Procedure di calcolo

Vengono definiti i dati relativi al clima esterno e le temperature interne di regolazione, validi, insieme ai dati geometrici della zona termica adottata, per tutti gli scenari.

SCENARIO 1			
CAPACITA' TERMICA DELLA ZONA			
Componente	A [m <sup>2</sup> ]	k [kJ/m <sup>2</sup> K]	cm [kJ/K]
Vetrata	34	17	578
Parete verso int. 1	24	14	336
Parete verso int. 2	24	14	336
Parete verso int. 3	34	14	476
Pavimento	75	70	5250
Solaio	75	70	5250
<b>Totale</b>			<b>12226</b>

SCENARIO 2			
CAPACITA' TERMICA DELLA ZONA			
Componente	A [m <sup>2</sup> ]	k [kJ/m <sup>2</sup> K]	cm [kJ/K]
Parete verso estrn.	6	400	2400
Parete verso int. 1	34	14	476
Parete verso int. 2	34	14	476
Parete verso int. 3	34	14	476
Pavimento	95	70	6650
Solaio	95	70	6650
<b>Totale</b>			<b>17128</b>

SCENARIO 3			
CAPACITA' TERMICA DELLA ZONA			
Componente	A [m <sup>2</sup> ]	k [kJ/m <sup>2</sup> K]	cm [kJ/K]
Vetrata	34	17	578
Parete verso int. 1	34	14	476
Parete verso int. 2	34	14	476
Parete verso int. 3	34	14	476
Pavimento	95	70	6650
Solaio	95	70	6650
<b>Totale</b>			<b>15306</b>

## 6.2.2.1 Differenze fra gli scenari

Nelle **Tabella 6.2.1** vengono riportati i dati degli elementi disperdenti dell'involucro con un confronto fra i tre scenari per meglio evidenziare le puntuali differenze.

La differenza maggiore fra gli scenari, dopo quella rappresentata dalle differenti quantità di superficie trasparente e opaca, è rappresentata dalla trasmittanza di energia solare totale della finestra considerando la schermatura solare attiva. Si ipotizza come elemento schermante da adottare nei primi due scenari, un tessuto colorato con trasmissione 0,1. Nel terzo scenario la scelta della schermatura potrà essere maggiormente ottimizzata data la natura del progetto. Nella **Tabella 6.2.2** vengono riportati i dati con un confronto fra i tre scenari per meglio evidenziare le puntuali differenze.

- Nel **primo scenario** la nuova vetrata è posizionata internamente e ciò permette alla tenda di essere posizionata esternamente, il fattore di riduzione è quindi pari a 0,17;
- Nel **secondo scenario** la nuova vetrata è posizionata a filo esterno e ciò implica l'uso di una tenda interna, il fattore di riduzione risulta essere 0,42;
- Nel **terzo scenario** si è ipotizzato da progetto una schermatura esterna di tipologia maggiormente efficace, assunta nei calcoli come veneziana bianca, assorbimento 0,1, trasmissione 0,1, posizionata esterna, con fattore di riduzione 0,15 per il solo regime estivo. Si ipotizza infatti che questa tipologia di schermatura sia attiva solo nella stagione estiva e che quindi possa essere completamente retraibile. Per la stagione invernale si ipotizza l'uso di una tenda bianca, assorbimento 0,1, trasmissione 0,65) che permette l'ottimizzazione del fattore di riduzione, risultante 0,55.

## ELEMENTI DISPERDENTI DELL'INVOLUCRO

## ELEMENTO TRASPARENTE

Descrizione	A <sub>w,p</sub> [m <sup>2</sup> ]	F <sub>F</sub> [-]	F <sub>sh,ob,dif</sub> [-]	U <sub>w</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	g <sub>gl,n</sub> [-]	g <sub>gl+sh</sub> [-]	ε [-]	
Vetrata	32	0,22	0,45	1,00	0,62	0,21	0,1	SCENARIO 1
Vetrata	26	0,22	0,66	1,00	0,62	0,26	0,1	SCENARIO 2
Vetrata	34	0,22	0,53	1,00	0,62	0,26	0,1	SCENARIO 3

## ELEMENTO OPACO CONFINANTE VERSO L'ESTERNO

Descrizione	A <sub>c</sub> [m <sup>2</sup> ]	F <sub>sh,ob,dif</sub> [-]	U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	α <sub>sol,c</sub> [-]	ε [-]	
Assente						SCENARIO 1
Tamponamento sud	9,5	1	0,26	0,30	0,9	SCENARIO 2
Assente						SCENARIO 3

## ELEMENTO OPACO NON CONFINANTE VERSO L'ESTERNO

Descrizione	Ambiente confinante	b <sub>tr</sub> [-]	A <sub>c</sub> [m <sup>2</sup> ]	U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	
Parete su corridoio	A	0,4	34	1,8	SCENARIO 1, 2, 3
Parete divisoria (1)	A	0	38	1,8	SCENARIO 1, 2, 3
Solaio superiore	A	0	91	2,1	SCENARIO 1, 2, 3
Pavimento	A	0	91	2,1	SCENARIO 1, 2, 3

Tab. 6.2.2 Dati di confronto fra i tre scenari degli elementi disperdenti

Valori nei tre scenari			S1	S2	S3
Fattore di riduz. per presenza di ombregg.	f <sub>sh,ob</sub> [-]	f <sub>sh,ob</sub> = F <sub>hor</sub> * min (F <sub>ov</sub> ; F <sub>fin</sub> )	0,45	0,66	0,53
Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale	g <sub>gl,n</sub> [-]	caratteristiche tecniche vetro selezionato	0,62	0,62	0,62
Fattore di esposizione	F <sub>w</sub> [-]	[Fonte: UNI/TS 11300-1]	variazione mensile "Vetro doppio esposiz. sud"	variazione mensile "Vetro doppio esposiz. sud"	variazione mensile "Vetro doppio esposiz. sud"
Fattore di riduzione	g <sub>gl+sh</sub> / g <sub>gl,n</sub> [-]	[Fonte: UNI/TS 11300-1, appendice B, prospetto B.6]	Tessuto colorato (trasm. 0,1) esterno 0,17	Tessuto colorato (trasm. 0,1) interno 0,42	Veneziana bianca esterna (estate) Tenda bianca esterna (inverno) 0,15/0,55
Trasmittanza di energia solare tot. della fin. con schermatura solare attiva	g <sub>gl+sh</sub> [-]	$g_{gl+sh} = g_{gl,n} * \left( \frac{g_{gl+sh}}{g_{gl,n}} \right)$	0,62x0,17 0,10	0,62x0,42 0,26	0,62x0,15 (estate) 0,62x0,55 (inverno) 0,093 (estate) 0,31 (inverno)
Fattore di ombreggiatura relativo ad oggetti orizzontali	F <sub>ov</sub> [-]	[Fonte: UNI/TS 11300-1]	valore corrispond. 44° latitudine esposizione S 41°	valore corrispond. 44° latitudine esposizione S 20°	valore corrispond. 44° latitudine esposizione S 25°

Tab. 6.2.3 Dati di confronto fra i tre scenari dei differenti fattori dipendenti da scelte di schermature

6.2.2.2 Trasmissione di energia solare totale

Il Decreto "Requisiti Minimi" fissa il valore massimo del fattore di trasmissione di energia solare totale  $g_{gl+sh}$  della componente finestrata che deve essere  $<0.35$  per gli edifici sottoposti alle seguenti tipologie di interventi:

- Edifici soggetti a **ristrutturazioni importanti** di secondo livello, cioè interventi sull'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio, comprensivo di tutte le unità immobiliari che lo costituiscono;
- Edifici oggetto di **riqualificazione energetica**, ossia altre tipologie di interventi non ricadenti nella fattispecie della precedente lettera a), quali, a titolo indicativo e non esaustivo, la manutenzione ordinaria o straordinaria, la ristrutturazione e il risanamento conservativo.

Il fattore di riduzione dovuto agli elementi schermanti ( $g_{gl+sh}/g_{gl}$ ) è stato ricavato dal prospetto B.6 dell'Appendice B della UNI/TS 11300-1, in relazione al tipo di tenda utilizzata e al suo posizionamento rispetto al vetro.

Nello scenario 3 si prende in considerazione la libertà di progetto e di intervento nei confronti della preesistenza attraverso la scelta della schermatura con un fattore di riduzione ottimizzato per aumentare la trasmittanza totale nella stagione invernale e diminuirla in quella estiva. La distinzione fra le due stagioni è stata fatta ipotizzando la possibilità di ritiro completo della schermatura e porta ad un miglioramento del fabbisogno energetico rispetto alla scelta di una singola tipologia di schermatura valida tutto l'anno. Questo evidenza come nel terzo scenario, grazie all'elevata libertà di intervento, le caratteristiche prestazionali possano essere studiate prima e governare le scelte progettuali.

Tipo di tenda	Proprietà ottiche della tenda		Fattore di riduzione con		
	Assorbimento	Trasmissione	Tenda interna	Tenda esterna	
Veneziane bianche	0,1	0,05 0,10 0,30	0,25 0,30 0,45	0,10 <b>0,15</b> 0,35	Scenario 1 ☀️
Tende bianche	0,1	0,50 0,70 0,90	0,65 0,80 0,95	<b>0,55</b> 0,75 0,95	
Tessuti colorati	0,3	0,10 0,30 0,50	0,57 0,77 0,57	<b>0,42</b> 0,37 0,57	Scenario 3 ☀️
Tessuti rivestiti di alluminio	0,2	0,05 0,05	0,20 0,08	<b>0,17</b> 0,08	

Tab. 6.2.4 Tabella riepilogativa delle differenti scelte delle schermature nei 3 scenari

Scenario	Stagione	Tipologia schermatura	Posizione	Fattore di riduz. $g_{gl+sh}/g_{gl,n}$	Trasmittanza totale con schermatura $g_{gl+sh}$
1	tutto l'anno	Tessuto colorato (trasm. 0,1) (assorb. 0,3)	Esterna	0,17	0,17x0,62 0,10
2	tutto l'anno	Tessuto colorato (trasm. 0,1) (assorb. 0,3)	Interna	0,42	0,42x0,62 0,26
3	estate	Veneziana bianca (trasm. 0,1) (assorb. 0,1)	Esterna	0,15	0,15x0,62 0,093
3	inverno	Tenda bianca (trasm. 0,5) (assorb. 0,1)	Esterna	0,55	0,15x0,62 0,31

Tab. 6.2.5 Tabella riepilogativa delle differenti trasmittanze totali considerando le diverse schermature

6.2.3 Risultati

Più che una valutazione dei risultati finali in se, che dipendono da scelte tecnologiche, materiche, e dalle trasmittanze ottenute, è ancora più utile analizzare differenze e analogie fra i tre scenari. Se, dove possibile, si sono effettuate scelte analoghe negli scenari, come ad esempio nelle tecnologie e nei materiali, quello che fa la differenza è proprio la struttura intrinseca dell'approccio, dell'intensità della progettazione.

Edificio preesistente modulo SUD:

$Q_{h,nd}$ : 102,3 kWh/m<sup>2</sup> a  
 $Q_{c,nd}$ : 22,9 kWh/m<sup>2</sup> a

Edificio preesistente modulo OVEST:

$Q_{h,nd}$ : 105 kWh/m<sup>2</sup> a  
 $Q_{c,nd}$ : 27,8 kWh/m<sup>2</sup> a

Scenario 1 modulo SUD:

$Q_{h,nd}$ : 46,5 kWh/m<sup>2</sup> a  
 $Q_{c,nd}$ : 13,8 kWh/m<sup>2</sup> a

Scenario 1 modulo OVEST:

$Q_{h,nd}$ : 50,6 kWh/m<sup>2</sup> a  
 $Q_{c,nd}$ : 17,6 kWh/m<sup>2</sup> a

Scenario 2 modulo SUD:

$Q_{h,nd}$ : 39,7 kWh/m<sup>2</sup> a  
 $Q_{c,nd}$ : 16,5 kWh/m<sup>2</sup> a

Scenario 2 modulo OVEST:

$Q_{h,nd}$ : 41,3 kWh/m<sup>2</sup> a  
 $Q_{c,nd}$ : 21,6 kWh/m<sup>2</sup> a

Scenario 3 modulo SUD:

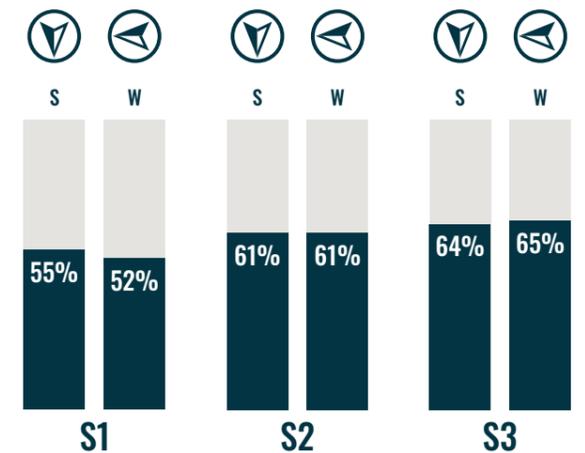
$Q_{h,nd}$ : 37 kWh/m<sup>2</sup> a  
 $Q_{c,nd}$ : 12,6 kWh/m<sup>2</sup> a

Scenario 3 modulo OVEST:

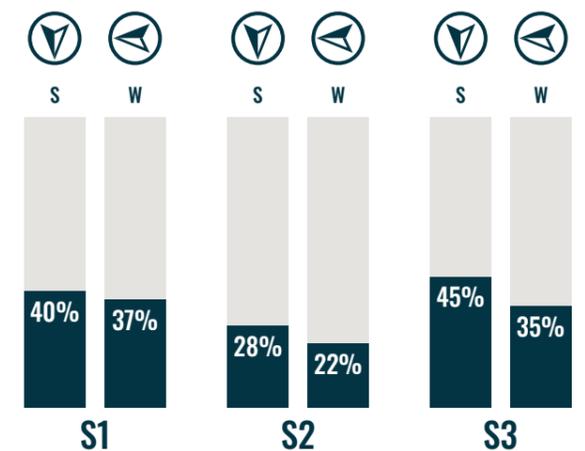
$Q_{h,nd}$ : 37,1 kWh/m<sup>2</sup> a  
 $Q_{c,nd}$ : 18,1 kWh/m<sup>2</sup> a

Confronto SUD - OVEST

Per non far dipendere i risultati unicamente dalla scelta di aver scelto una zona termica con un'unica esposizione (sud), i calcoli sono stati eseguiti anche per l'esposizione ovest. Si procede quindi a verificare se la natura intrinseca dell'approccio porti benefici o penalizzi maggiormente una delle due esposizioni, considerando lo stesso progetto per ogni scenario.



Tab. 6.2.6 Grafico percentuali di miglioramento rispetto al  $Q_{h,nd}$  della preesistenza.



Tab. 6.2.7 Grafico percentuali di miglioramento rispetto al  $Q_{c,nd}$  della preesistenza.

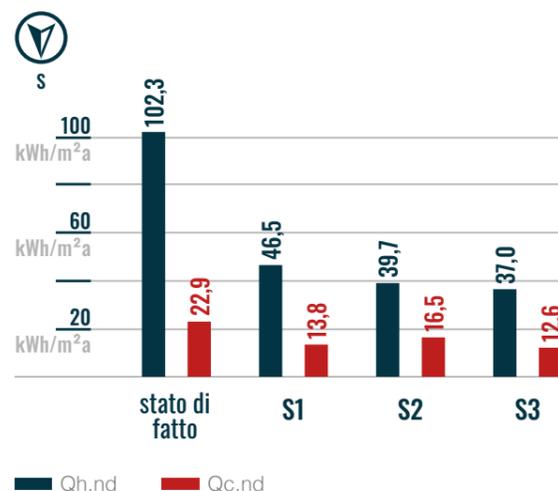
Confrontando i miglioramenti del fabbisogno energetico dell'orientamento ovest, rispetto a quelli calcolati a sud, i risultati si dividono per le due stagioni. In quella invernale ( $Q_{h,nd}$ ) rimangono quasi invariati i risultati. Più accentuate invece appaiono le differenze in regime estivo ( $Q_{c,nd}$ ) fra l'orientamento ovest rispetto a quello sud. Le soluzioni progettuali ottengono una diminuzione del miglioramento fino al 10% nella variante con esposizione ad ovest. Ne è un'eccezione solo lo scenario 1, che non presenta altrettanto visibili differenze fra sud ed ovest. In altre parole lo scenario 2 e 3 risultano maggiormente penalizzate nell'esposizione ovest.

Dato	CONFRONTO SUD - OVEST		
	% differenza rispetto al SUD		
	scenario 1	scenario 2	scenario 3
$Q_{h,nd}$	-3%	-1%	-1%
$Q_{c,nd}$	-3%	-6%	-10%

Tab. 6.2.8 Tabella differenza % di miglioramento del fabbisogno fra sud e ovest

**Nuovo fabbisogno energetico - SUD**

I risultati ottenuti vengono normalizzati su superficie netta dell'ambiente riscaldato, per poter meglio confrontare i valori e prendere in considerazione eventuali differenze di diminuzione della superficie netta, come nel primo scenario dove la "buffer zone" non viene considerata poichè ambiente non climatizzato.



**Q<sub>h,nd</sub> - SUD**

Il confronto evidenzia una correlazione fra l'intensità di intervento e il miglioramento del fabbisogno energetico di riscaldamento. All'aumentare dell'intensità di progetto rispetto alla preesistenza, migliora il nuovo fabbisogno. Nel primo scenario infatti il miglioramento del fabbisogno in stagione invernale rispetto a quello stimato della preesistenza è del 55%, nel secondo 61% e infine il miglior risultato lo si ottiene nel terzo scenario con 64%.



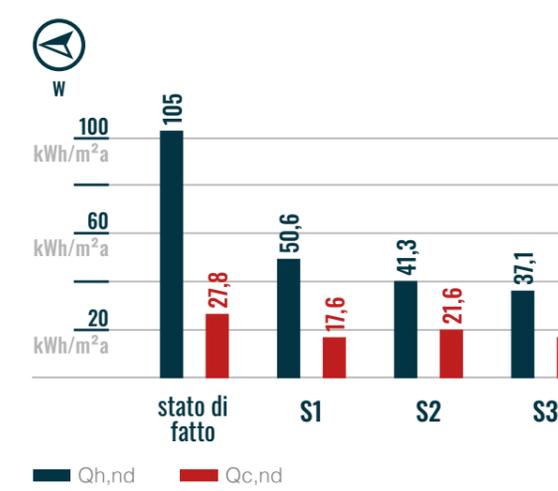
**Q<sub>c,nd</sub> - SUD**

Non si presenta la stessa correlazione con il miglioramento del fabbisogno energetico di raffreddamento, che risulta essere minore (28%) nel secondo scenario. Il primo e il terzo invece presentano un miglioramento simile, dovuto rispettivamente all'ombreggiamento scaturito dall'arretramento della vetrata e dalla schermatura esterna, presentando un miglioramento del 40% nel primo scenario e del 45% nel terzo.



**Nuovo fabbisogno energetico - OVEST**

I risultati ottenuti vengono normalizzati su superficie netta dell'ambiente riscaldato, per poter meglio confrontare i valori e prendere in considerazione eventuali differenze di diminuzione della superficie netta, come nel primo scenario dove la "buffer zone" non viene considerata poichè ambiente non climatizzato.



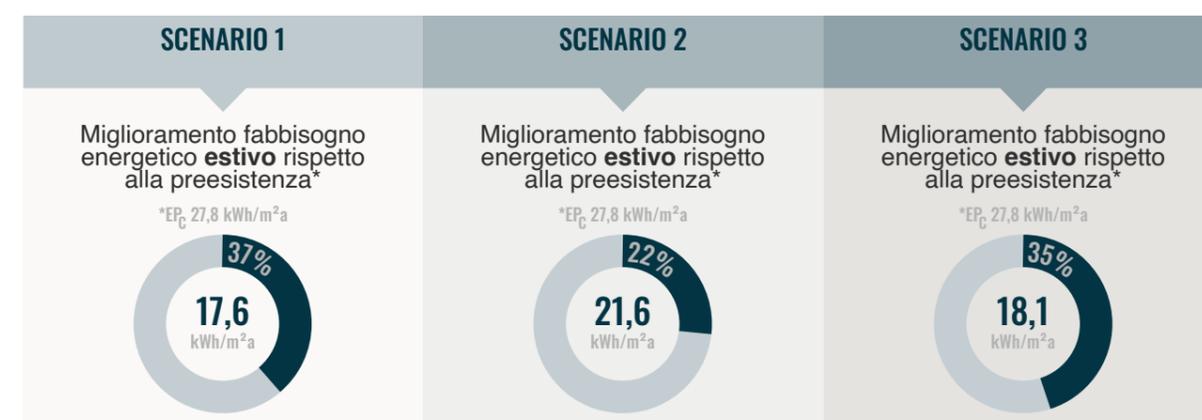
**Q<sub>h,nd</sub> - OVEST**

Il confronto evidenzia una correlazione fra l'intensità di intervento e il miglioramento del fabbisogno energetico di riscaldamento. All'aumentare dell'intensità di progetto rispetto alla preesistenza, migliora il nuovo fabbisogno. Nel primo scenario infatti il miglioramento del fabbisogno in stagione invernale rispetto a quello stimato della preesistenza è del 52%, nel secondo 61% e infine il miglior risultato lo si ottiene nel terzo scenario con 65%.



**Q<sub>c,nd</sub> - OVEST**

Non si presenta la stessa correlazione con il miglioramento del fabbisogno energetico di raffreddamento, che risulta essere minore (28%) nel secondo scenario. Il primo e il terzo invece presentano un miglioramento simile, dovuto rispettivamente all'ombreggiamento scaturito dall'arretramento della vetrata e dalla schermatura esterna, presentando un miglioramento del 40% nel primo scenario e del 45% nel terzo.



# 6.3 Analisi carbonio incorporato

## 6.3.1 Metodologia

L'analisi del carbonio incorporato per ciascun scenario porterebbe a confrontare le varie intensità di progetto sotto il punto di vista ambientale, permettendo un'ulteriore profondità di analisi. Il risultato, in termini di CO<sub>2</sub><sub>eq</sub>, verrà normalizzato per superficie utile del modulo di ufficio. Anche in questo caso, come nel calcolo del fabbisogno energetico, si effettuano i calcoli considerando lo stesso modulo ufficio.

## 6.3.2 Fasi del ciclo di vita considerate

Il risultato di ogni scenario non sarà tanto importante per il suo valore assoluto, quanto acquisirà valore mettendolo a confronto con quello degli altri scenari. Per meglio mettere in risalto le differenze fra i tre approcci considerati e ricavarne delle osservazioni attendibili, il calcolo dell'Embodied Carbon viene eseguito con lo stesso software: Eureka<sup>[20]</sup>. Questo considera alcune fra le fasi del ciclo di vita dell'edificio, in particolar modo quelle evidenziate dalla tabella.

## 6.3.3 Semplificazioni

Le scelte tecnologiche e materiche fatte per i tre scenari sono il risultato dell'approccio metodologico proposto. Seppur alcune scelte rimangono a discrezione del progettista, come ad esempio il fine vita degli elementi, la tipologia di infisso, etc, se eseguite diversamente nei tre scenari, porterebbero a sfalsare i risultati non tanto per il differente approccio progettuale quanto per quelle scelte "libere".

Chiaro quindi l'obiettivo dell'analisi dell'impronta carbonica, tutte le scelte di carattere discrezionale e non risultanti quindi dalla metodologia proposta, sono state effettuate con gli stessi criteri o, dove possibile, eseguite le medesime scelte. Nei paragrafi che seguono vengono quindi descritte le principali scelte effettuate ugualmente nei tre scenari.

[20] Gallina, F., Quaglio, B., (2019). EURECA - guida all'uso dello strumento di calcolo per la valutazione degli impatti energetico ambientali del ciclo di vita degli edifici. Politecnico di Torino

BUILDING LIFE CYCLE														POTENTIAL BENEFITS & LOADS				
PRODUCT			CON-STRUCTION		USE							END OF LIFE				D		
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4			
Raw material extraction	Transport	Manufacturing	Transportation of manufactured products	Construction installation process	Use or application of the installed product	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational Energy Consumption	Operational water use	Demolition	Transportation of Demolition Waste	Recycling or Disposal	Final Disposal	Recovery	Reuse	Recycling potential

Tab. 6.3.2 Fasi del ciclo di vita dell'edificio, secondo la norma UNI EN 15978-2011. In evidenza le fasi considerate nel calcolo dell'embodied carbon.

## 6.3.4 Trasporto al cantiere (A4)

L'obiettivo è la determinazione dell'embodied carbon relativa alle attività caratterizzanti lo spostamento di materiali e prodotti verso il sito di costruzione del manufatto edilizio [LIBRO GIORDANO].

In accordo con la UNI EN 16258:2013 (Metodologia per il calcolo e la dichiarazione del consumo di energia e di emissioni di gas ad effetto serra (GHG) dei servizi di trasporto), si riportano i fattori presi in considerazione per il calcolo delle emissioni e del consumo di energia, con le relative semplificazioni per rendere confrontabili i tre scenari.

Ci si avvale di un metodo base (in linea con le indicazioni del Royal Institution of Chartered Surveyors), associato alla fase di progettazione preliminare, che utilizza informazioni generiche sulla distanza del viaggio e sulla tipologia di mezzo impiegato.

- Tipo di **veicolo** e portata massima (ove possibile, la scelta è ricaduta su furgone elettrico o camion < 7.5t elettrico. Dove non sufficiente la portata massima di 7.5t si è considerato più di un veicolo);
- **Peso** del carico utile trasportato (dipendente dalla quantità di materiale stimato dal progetto e calcolato a partire dai dettagli tecnologici);
- **Consumo** di carburante (considerati i fattori che tengono conto del consumo del veicolo a pieno carico per l'andata e del consumo del veicolo vuoto per il ritorno);
- Tipo di **combustibile** (elettrico, dove possibile);
- **Distanza** percorsa (secondo gli scenari di trasporto della successiva tabella).

SCENARIO DI TRASPORTO	km (strada)
Produzione locale (cemento, laterici, etc.)	50
Produzione nazionale (cartongesso, isolante, etc.)	300
Produzione europea (moduli di facciata, legnami, etc.)	1500
Produzione globale (materiali e prodotti speciali)	2000

Tab. 6.3.3 Scenari di trasporto con relativo chilometraggio considerato per il calcolo.

Lo sforzo per l'adozione delle stesse scelte materiche, tecnologiche e di semplificazioni adottate fra i tre scenari per le analisi del nuovo fabbisogno è un approccio che si è voluto applicare anche alle analisi per il carbonio equivalente. Le seguenti ipotesi sono valide quindi in tutti gli scenari:

Serramenti: produzione nazionale;

Travetto IPE: produzione europea;

Guaina impermeabilizzante: produzione europea;

Moduli vetrati (per lo scenario 1,2): produzione europea;

## 6.3.5 Fase di fine vita - Trasporto (C2)

L'obiettivo è la determinazione dell'embodied carbon relativa ai processi di trasporto dei materiali e dei prodotti una volta esaurito il loro ciclo di vita.

Ci si avvale di un metodo base (in linea con le indicazioni del Royal Institution of Chartered Surveyors), secondo il quale in mancanza di informazioni di progetto è possibile stimare una distanza complessiva di 50km dal centro di smistamento<sup>[21]</sup>.

Gli impatti legati alla fase di fine vita dipendono da:

- **categoria** di rifiuto;
- **quantità** di rifiuto prodotta;
- scenario di **smaltimento** adottato (riuso, riciclo, termovalorizzazione, dismissione in discarica);
- **distanza** dal centro di smaltimento.

La categoria di rifiuto, la quantità e la distanza dal centro di smistamento (50km) non sono valori modificabili poiché dipendono dalla quantità di materiali utilizzati per la riuscita del progetto. Per le scelte relative allo smaltimento invece, si decide di aderire allo scenario 70-30%, in cui il 70% dei rifiuti è sottoposto a processi di recupero e il restante 30% è destinato allo smaltimento in discarica<sup>[21]</sup>.

[21] Andreotti, J., Giordano, R., Strumenti per la decarbonizzazione. Edizioni Ambiente, Green Building Council Italia, 2024.

6.3.6 Risultati

Più che una valutazione dei risultati finali in se, che dipendono da scelte tecnologiche, materiche, di metodi di trasporto e scelte di smaltimento a fine vita, è utile analizzare differenze e analogie fra i tre scenari. Se, dove possibile, si sono effettuate scelte analoghe negli scenari, come ad esempio nei mezzi di trasporto o nei materiali, quello che fa la differenza è proprio la struttura intrinseca dell'approccio, dell'intensità della progettazione. Le maggiori differenze negli input per il calcolo dell'embodied carbon fra i diversi scenari sono risultati essere la presenza di materiali differenti, la diversa quantità e i metri quadri di intervento delle superfici opache e trasparenti.

c'è da tener conto che nel secondo caso l'impatto potrebbe risultare superiore se eseguito con altre tecnologie costruttive o, pur rimanendo nei confini relativi allo scenario, potrebbe essere maggiormente invasivo facendo quindi aumentare l'impronta carbonica. Il terzo scenario invece presenta poco meno del doppio del valore di CO2 incorporata. Osservando la distribuzione si nota quanto la fase iniziale sia la responsabile di tale differenza, dovuta a materiali come l'acciaio, presenti in maggiori quantità per la costruzione

6.3.6.1 CO2 equivalente

I risultati dell'embodied carbon forniti risultano normalizzati rispetto ai metri quadri del modulo uffici rispettivi di ciascun scenario per poter essere confrontati fra loro. La panoramica mostra come il primo scenario sia quello dal minor valore di carbonio incorporato, seguito subito dopo dal secondo scenario. Questi due approcci sono simili nel risultato ma

6.3.6.2 Potenziale di impatto evitato

L'impatto evitato dipende dagli scenari di fine vita dei materiali. Ove possibile, il 70% di ciascun materiale è stato destinato al riuso o al riciclo. Il primo e secondo scenario mostrano un simile potenziale di impatto evitato, riducendolo del 21-23%, mentre lo scenario tre il 34%. Il terzo scenario presenta una maggior percentuale dovuta alla scelta di riciclo dei materiali metallici, presenti in maggior quantità rispetto ai primi scenari.

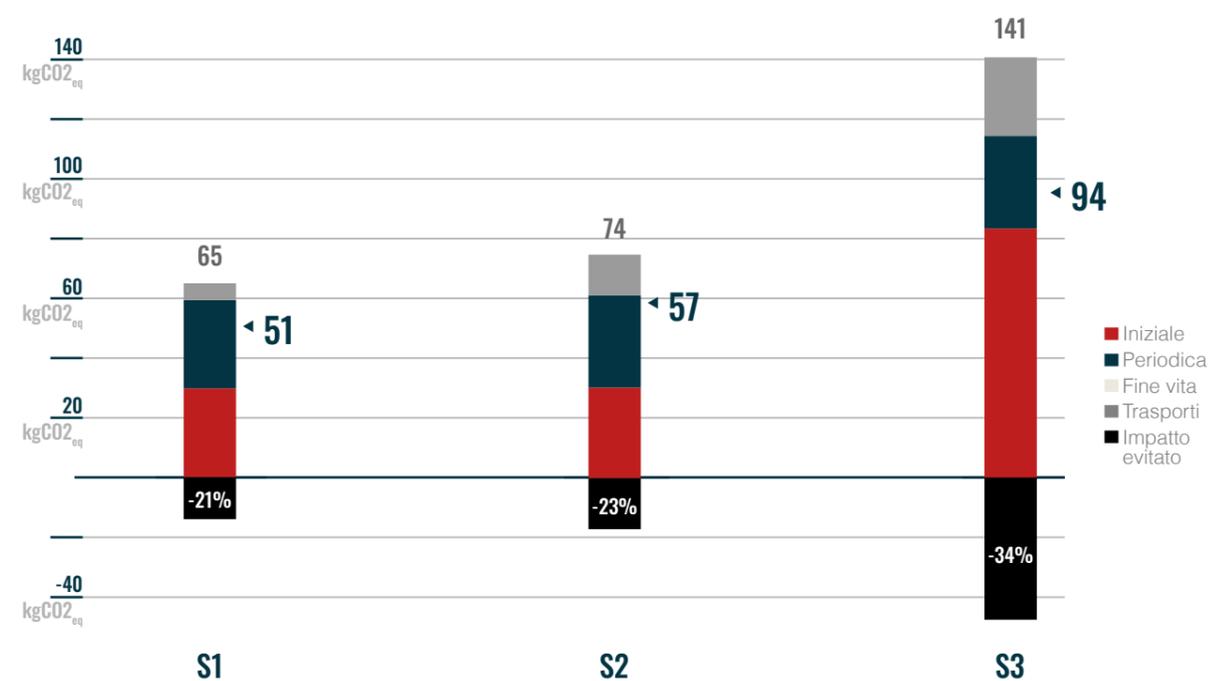


Fig. 6.3.6 Confronto embodied carbon fra gli scenari con suddivisione nelle fasi del ciclo di vita considerate. Il risultato finale indicato a destra delle singole colonne è espresso in kgCO2eq e tiene conto della quota parte di carbonio evitato (voce "Impatto evitato").

6.3.6.3 Le fasi più impattanti: dettaglio

La lettura dei dati relativi alle quantità incorporate nei materiali contribuisce a spiegare le differenze fra i risultati finali dei tre scenari. Come visto nei precedenti schemi, è proprio la fase iniziale ad essere una delle principali responsabili -insieme a quella dei trasporti- ed è dunque utile un approfondimento maggiore.



Fig. 6.3.6.1 La lettura delle quantità di CO2 incorporate nei materiali mette in risalto come lo scenario 3 abbia un forte peso nei metalli, nella guaina e nei serramenti, ottenendo però il minor impatto nell'isolante. Lo scenario 1 si contraddistingue per il miglior risultato in due materiali: metalli e guaina. Per quest'ultima invece, ad essere penalizzato è il secondo scenario.

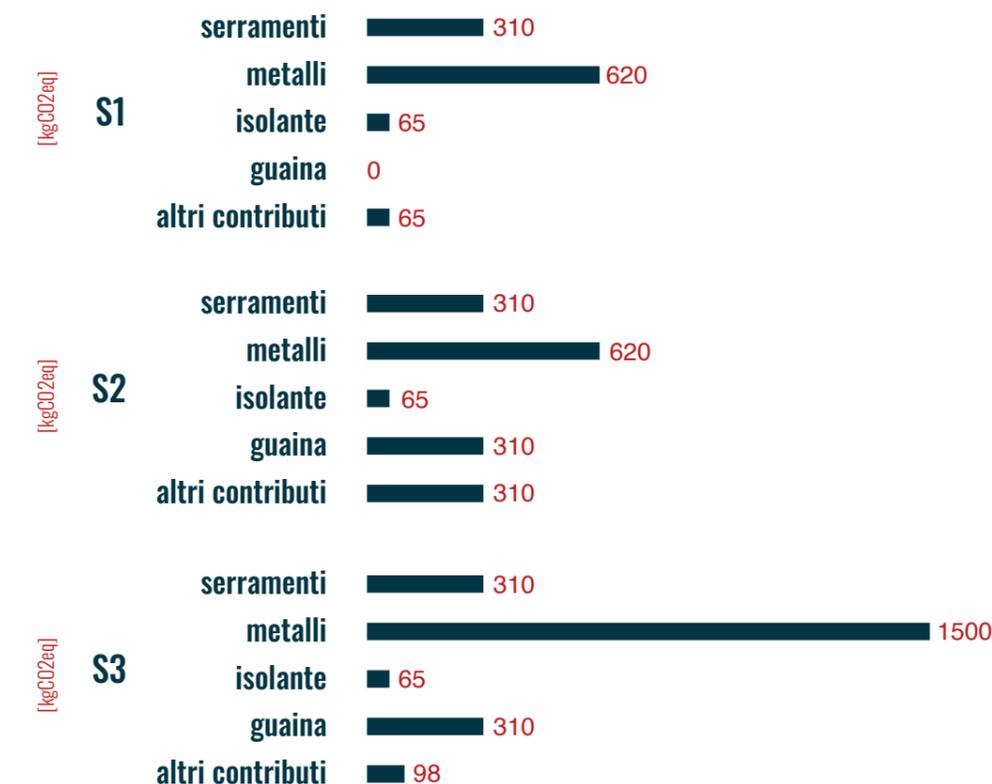


Fig. 6.3.6.2 La lettura delle quantità di CO2 incorporate nella fase dei trasporti mette in risalto i principali materiali responsabili e offre quindi uno spunto di riflessione, in fase di progettazione, su quali materiali poter avere un miglior margine di miglioramento o quali usare maggiormente. I metalli in generale, in tutti e tre gli scenari, sono i materiali che -per questione di peso- emette più carbonio nel trasporto al cantiere.

# 6.4

## Analisi cantierabilità



### 6.4.1 Metodologia

Di natura maggiormente qualitativa sono gli indici per descrivere alcuni aspetti della cantierabilità dei progetti di ciascun scenario.

L'obiettivo di questa valutazione è avere un termine di paragone ulteriore e analizzare le peculiarità di ciascun intervento sotto diversi profili: interferenze ambientali, interferenze operative, gestione, integrazione involucro/impianto e trasporto dei materiali di costruzione. In questo modo sarà possibile definire un quadro delle caratteristiche dell'ipotetico cantiere con cui si avrà a che fare procedendo con uno scenario di intervento.

### 6.4.1.1 Interferenze ambientali

Per interferenze ambientali si analizza l'impatto che le lavorazioni di cantiere hanno rispetto l'ambiente esterno. Determinare situazioni possono presentare limitazioni o impossibilità tecniche nell'intervento, dovute a fattori normativi, ambientali, sociali, logistici e tecnologici.

Ne possono essere alcuni esempi, solo a titolo esemplificativo, il divieto di utilizzare mezzi meccanici di demolizione in prossimità di edifici vincolati per evitare danni strutturali e rumori eccessivi, o restrizioni all'uso di suolo pubblico in strade principali, o limitazioni sui lavori rumorosi in zone ospedaliere. Avere quindi una panoramica delle caratteristiche del cantiere di ogni scenario potrebbe essere uno dei fattori determinanti alla scelta finale.

Si valutano le interferenze ambientali secondo le seguenti sottocategorie: produzione di rumori, emissione di polveri, occupazione di suolo pubblico.

SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
<b>Interferenze ambientali*</b> ●	<b>Interferenze ambientali*</b> ●	<b>Interferenze ambientali*</b> ●
● produzione di rumori	● produzione di rumori	● produzione di rumori
● emissione di polveri	● emissione di polveri	● emissione di polveri
● occupazione suolo pubblico	● occupazione suolo pubblico	● occupazione suolo pubblico
<i>*del cantiere verso l'ambiente esterno</i>	<i>*del cantiere verso l'ambiente esterno</i>	<i>*del cantiere verso l'ambiente esterno</i>

Le lavorazioni dello scenario 1 non presentano interazione con l'ambiente esterno, richiedendo tutte le fasi di cantiere internamente agli ambienti lavorativi.

Le lavorazioni dello scenario 2 si svolgono in parte all'esterno, richiedendo il posizionamento del cantiere sull'esterno dell'edificio. Non sono presenti operazioni di demolizione dunque le emissioni di polveri sono assenti. Il cantiere di sua natura presenta una fonte di emissioni sonore, accentuate nelle fasi di smontaggio degli infissi esistenti e di montaggio dei nuovi elementi tecnologici.

Le lavorazioni dello scenario 3 si svolgono all'esterno, richiedendo il posizionamento del cantiere sull'esterno dell'edificio per tutta la durata delle lavorazioni. Sono presenti operazioni di demolizione dunque le emissioni di polveri e sonore sono accentuate, pur comunque dipendendo rispettivamente dalla tecnologia adottata per la demolizione selettiva e dai macchinari utilizzati.

### 6.4.1.2 Interferenze operative

Per interferenze operative si intende quanto le lavorazioni e il cantiere si svolgono all'interno degli uffici e richiedano la sospensione delle attività. Determinate situazioni possono presentare limitazioni nell'interruzione delle attività di ufficio, avere quindi una panoramica di questo aspetto può aiutare nella valutazione della scelta dello scenario da adottare.

SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
<b>Interferenze operative*</b> ●	<b>Interferenze operative*</b> ●	<b>Interferenze operative*</b> ●
● interruzione operatività uffici	● interruzione operatività uffici	● interruzione operatività uffici

Le lavorazioni dello scenario 1 si svolgono interamente negli ambienti interni, richiedendo per tutta la durata dell'intervento l'interruzione delle attività.

Le lavorazioni dello scenario 2 si svolgono per alcune fasi negli ambienti interni, richiedendo la sospensione temporanea delle attività.

Le lavorazioni dello scenario 3 essendo invasive e richiedendo la demolizioni di alcuni elementi, richiedono per tutta la durata dell'intervento l'interruzione delle attività.

6.4.1.3 Gestione

Per gestione si intende quanto i componenti ed elementi installati siano facilmente manutenibili e sostituibili durante il ciclo di vita dell'edificio. Avere questa panoramica, nella scelta dello scenario da adottare, potrebbe aiutare nella valutazione degli elementi e componenti da installare.

SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
<b>Gestione*</b> ●	<b>Gestione*</b> ●	<b>Gestione*</b> ●
● manutenibilità facade	● manutenibilità facade	● manutenibilità facade
● facilità sostituzione componenti	● facilità sostituzione componenti	● facilità sostituzione componenti
<i>*considerando la posizione e la tipologia dei componenti</i>	<i>*considerando la posizione e la tipologia dei componenti</i>	<i>*considerando la posizione e la tipologia dei componenti</i>

Essendo queste valutazioni fortemente dipendenti da scelte tecnologiche, la valutazione fra i tre scenari è di tipo comparativo, assegnando cioè la valutazione rispetto alle altre soluzioni.

In termini di manutenibilità lo scenario migliore risulta essere il secondo, in quanto presenta gli stessi elementi della preesistenza (ad es. infisso delle stesse dimensioni), mentre per la facilità di sostituzione dei componenti lo scenario migliore risulta essere il primo, in quanto tutti i nuovi elementi e componenti sono posizionati internamente e non richiedono un intervento dall'esterno.

6.4.1.4 Integrazione involucro/impianto

Per integrazione involucro/impianto si fa riferimento a quanto la tipologia di intervento e la soluzione architettonica che ne deriva, faciliti l'installazione integrata di canali di distribuzione e terminali di nuovi impianti. Avere questa panoramica, nella scelta dello scenario da adottare, potrebbe aiutare nella valutazione degli elementi e componenti da installare parallelamente alla scelta dei nuovi impianti e terminali.

SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
<b>Integraz. involucro/impianto*</b> ●	<b>Integraz. involucro/impianto*</b> ●	<b>Integraz. involucro/impianto*</b> ●
● nuovi terminali di impianti	● nuovi terminali di impianti	● nuovi terminali di impianti
<i>*considerando quanto la tipologia d'intervento favorisce l'inserimento di nuovi impianti (distribuzione, terminali)</i>	<i>*considerando quanto la tipologia d'intervento favorisce l'inserimento di nuovi impianti (distribuzione, terminali)</i>	<i>*considerando quanto la tipologia d'intervento favorisce l'inserimento di nuovi impianti (distribuzione, terminali)</i>

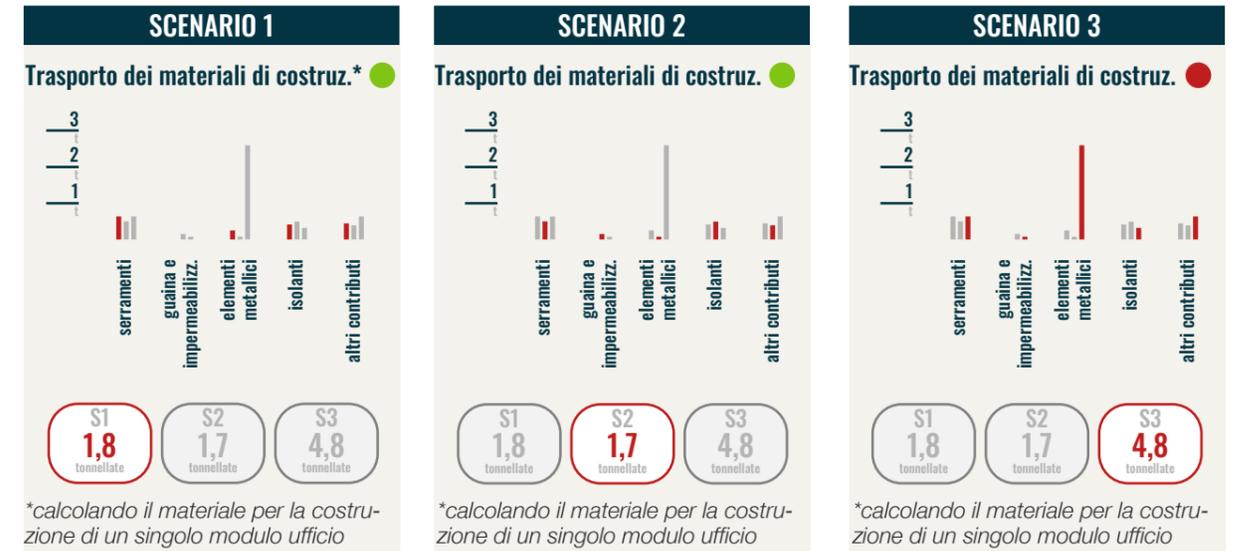
L'esito progettuale favorisce l'integrazione di nuovi terminali e canali di distribuzione, creando una buffer zone che può accogliere tali elementi. La controsoffittatura e la pavimentazione flottante fornirebbero inoltre copertura visiva ai canali di distribuzione.

L'esito progettuale richiede particolare attenzione all'integrazione di nuovi impianti.

La tipologia di intervento, non presentando vincoli, permette al progettista di considerare, sin dalle prime fasi, adatti canali di distribuzione e l'integrazione nella facade dei nuovi terminali.

6.4.1.5 Trasporto materiali in cantiere

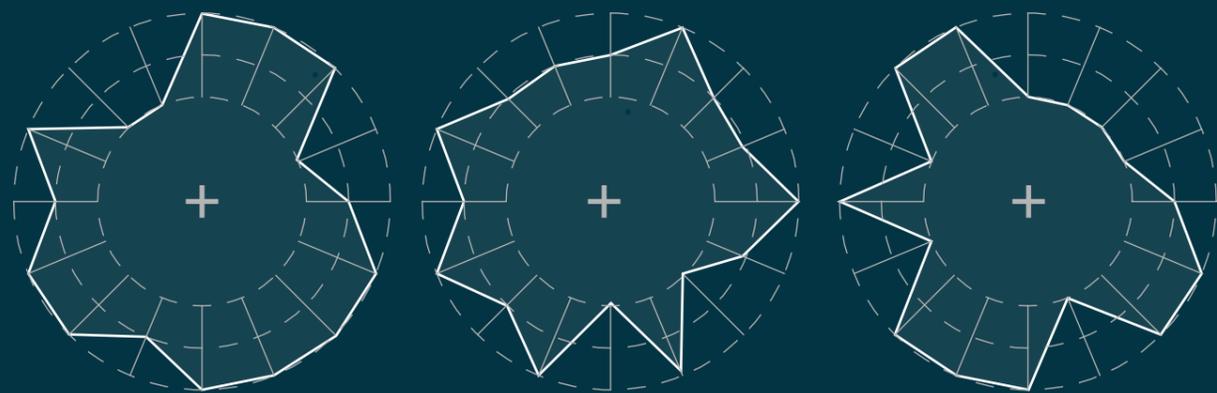
Questa analisi si fa carico di mettere a confronto la quantità di materiali, divisa per macro categorie, al fine di stimare differenze di peso per il trasporto dei materiali necessari alla costruzione. Avere questa panoramica, nella scelta dello scenario da adottare, potrebbe aiutare nella valutazione degli elementi e componenti da installare parallelamente alla scelta dei nuovi impianti e terminali.



La stima calcolata evidenzia il maggior peso nella categoria dei serramenti, dell'isolante e per i nuovi controsoffitti. Il risultato finale in tonnellate è pressochè uguale al secondo scenario, a differenza di quest' ultimo però, il peso relativo agli "altri contributi" è per il sistema di parete ventilata.

La stima calcolata evidenzia il maggior peso nella categoria dei serramenti, dell'isolante e per il sistema di parete ventilata. Il risultato finale in tonnellate è pressochè uguale al primo scenario.

La stima calcolata evidenzia il maggior peso nella categoria degli "elementi metallici", in riferimento a tutto il sistema di schermatura esterna esterna che rende il trasporto al cantiere circa tre volte maggiore rispetto agli altri scenari.

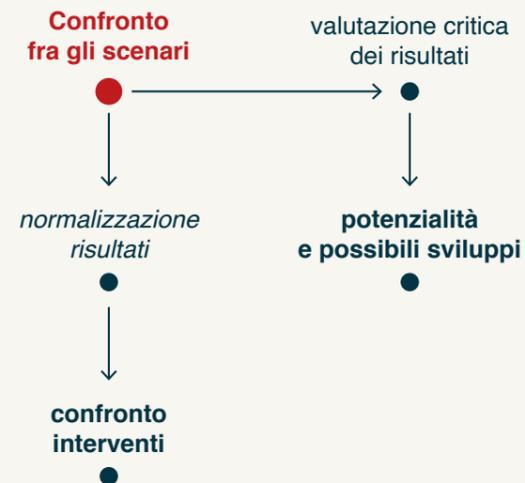


7

# CONCLUSIONI

## CONTENUTI

- 7.1** Valutazione scenari
- 7.2** Potenzialità e limiti della metodologia
- 7.3** Possibili sviluppi futuri



# 7.1 Valutazione scenari

## 7.1.1 Analisi conclusive

Le analisi condotte nei tre scenari acquistano maggior valore se poste a confronto tra loro e, al tempo stesso, possono costituire un elemento fondamentale della metodologia proposta. Non tutti i risultati ottenuti, seppur significativi, assumono rilevanza in termini assoluti: è attraverso le differenze emerse dal confronto che si possono generare riflessioni più approfondite e significative. Questo è il motivo per il quale nelle schede di valutazione che seguono, alcuni parametri vengono mostrati direttamente comparati a quelli degli altri scenari.

## 7.1.2 Scenario 1

Lo scenario 1 presenta complessivamente un ottimo profilo sotto il punto di vista della cantierabilità, presentando un cantiere totalmente interno e quindi privo di interferenze ambientali verso l'ambiente esterno. È inoltre interessante e sfidante a livello architettonico la possibilità di integrazione dei nuovi impianti (distribuzione e terminali) utilizzando il pavimento flottante, il controsoffitto o la nuova buffer zone. Quest'ultima è stata valutata positivamente sotto il punto di vista dell'integrazione con strategie passive, per la possibilità di diventare una serra solare o comunque di fungere da spazio di interfaccia per la nuova vetrata degli uffici con un'ambiente a temperatura media fra quella interna ed esterna. Il nuovo fabbisogno energetico in regime invernale è il peggiore dei risultati ottenuti, pur migliorando del 55% rispetto alla preesistenza. Il periodo dove la differenza con gli altri scenari è maggiore è quello da ottobre a febbraio. Ottima invece la prestazione nella stagione estiva, dove l'ampio ombreggiamento dovuto all'arretramento della vetrata permette al nuovo fabbisogno estivo di spiccare per rilevanza. La massima valutazione è però raggiunta nel suo impatto ambientale, dimostrando come la bassa intensità d'intervento si possa tradurre in un impatto minore in termini di carbonio incorporato.

## 7.1.3 Scenario 2

Lo scenario 2 è forse quello che complessivamente emerge di meno poiché non vanta primati in nessun ambito. In altre parole, le valutazioni nelle varie categorie, se paragonate agli altri scenari, non sono mai superiori. Essendo lo scenario con intensità media, le caratteristiche non vengono esaltate e appare come un progetto equilibrato, non raggiungendo infatti quasi mai le valutazioni peggiori.

Sotto il punto di vista della cantierabilità, le lavorazioni richiedono l'allestimento di un cantiere esterno, ma non presentando lavorazioni invasive come demolizioni la valutazione finale è media.

Il nuovo fabbisogno energetico in regime invernale è il secondo migliore ottenuto, migliorando del 61% rispetto alla preesistenza. Non altrettanto di rilievo invece quello in stagione estiva, che risulta essere il peggior miglioramento pur essendo del 28%. Una buona valutazione è poi rappresentata dal carbonio incorporato, molto simile al primo intervento.

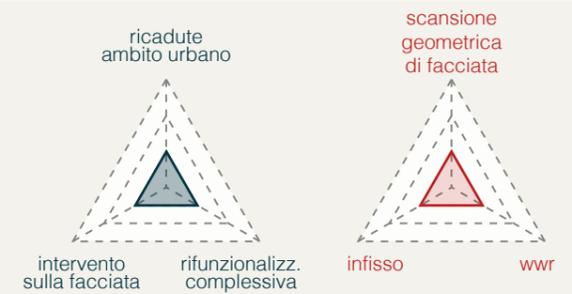
## 7.1.4 Scenario 3

Lo scenario 3 presenta un profilo sotto il punto di vista della cantierabilità più delicato, per la presenza di lavorazioni invasive come la demolizione, che costituiscono una possibile problematica per interferenze verso l'ambiente esterno. Le attività di demolizione infatti gravano sulla valutazione dell'interferenza ambientale. La grande libertà di progettazione, l'implementazione di materiali nuovi per ricostruire la facciata risultano determinanti anche per l'esito negativo dell'indicatore per il trasporto dei materiali da costruzione in cantiere.

La possibilità di integrazione di strategie passive e l'integrazione involucro-impianto sono aspetti valutati positivamente per la natura del progetto che, non presentando limiti in tal senso, ne permette il soddisfacimento. Il nuovo fabbisogno energetico in regime invernale ed estivo sono i migliori, rispettivamente il 64% e 45%. A controbilanciare tale giudizio positivo è l'impatto ambientale: i nuovi materiali da costruzione e il peso della demolizione portano il carbonio incorporato più alto fra i tre interventi.

### scenario 1 BASSA INTENSITA'

- ✓ Edificio vincolato
- ✓ Impossibilità tecniche di cantiere
- ✓ Caratteristiche identitarie da conservare
- ✗ Diminuzione superficie utile pavimento
- ✗ Limite nell'espressione architettonica progettuale



### CANTIERABILITA'

#### Interferenze ambientali\*

- produzione di rumori
- emissione di polveri
- occupazione suolo pubblico

\*del cantiere verso l'ambiente esterno

#### Interferenze operative\*

- interruzione operatività uffici

#### Gestione\*

- manutenibilità facade
- facilità sostituzione componenti

\*considerando la posizione e la tipologia dei componenti

#### Integraz. involucro/impianto\*

- nuovi terminali di impianti

\*considerando quanto la tipologia d'intervento favorisce l'inserimento di nuovi impianti (distribuzione, terminali)

#### Trasporto dei materiali di costruz.\*



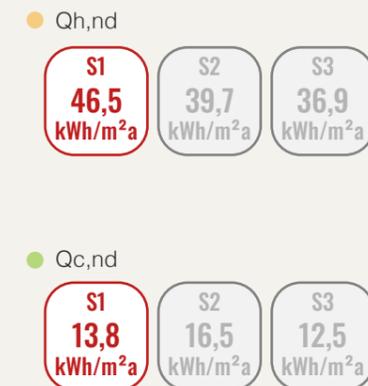
\*calcolando il materiale per la costruzione di un singolo modulo ufficio

### EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

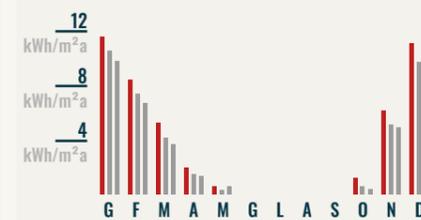
#### Integrazione strategie passive

- integrazione strategie passive
- \*considerando quanto la tipologia d'intervento favorisce la progettazione con strategie passive

#### Fabbisogno energetico



#### distribuzione Qh,nd



#### distribuzione Qc,nd



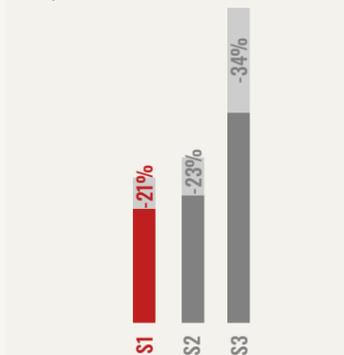
### SOSTENIB. AMBIENTALE

#### Impatto ambientale

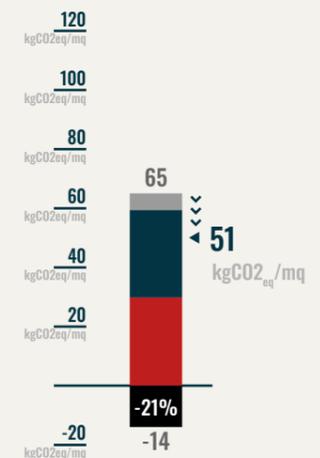
- CO2 incorporata - scenari



- potenziale di riduzione Ec



CO2 incorporata nelle fasi ciclo vita



■ Iniziale ■ Fine vita ■ Impatto evitato  
■ Periodica ■ Trasporti

**scenario 2**  
**MEDIA INTENSITA'**

- ✓ Edifici con carattere architettonico o elementi identitari da reinterpretare
- ✓ Mantenimento superficie utile pavimento
- ✓ Ottimo miglioramento del fabbisogno energetico estivo
- ✗ Difficoltà nell'integrazione di nuovi impianti



**scenario 3**  
**ALTA INTENSITA'**

- ✓ Edificio con scarse qualità
- ✓ Potenzialità nella struttura portante
- ✓ Alto potenziale per rigenerazione urbana
- ✓ Massima espressione architettonica
- ✓ Miglioramento fabbisogno estivo/invernale
- ✗ Maggiore impronta carbonica



**CANTIERABILITA'**

**Interferenze ambientali\***

- produzione di rumori
- emissione di polveri
- occupazione suolo pubblico

\*del cantiere verso l'ambiente esterno

**Interferenze operative\***

- interruzione operatività uffici

**Gestione\***

- manutenibilità facade
- facilità sostituzione componenti

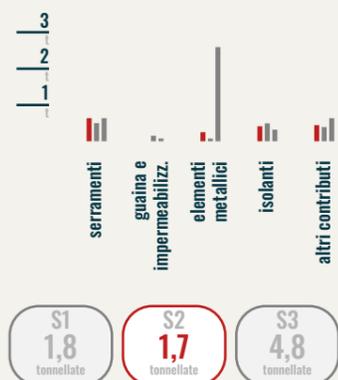
\*considerando la posizione e la tipologia dei componenti

**Integraz. involucro/impianto\***

- nuovi terminali di impianti

\*considerando quanto la tipologia d'intervento favorisce l'inserimento di nuovi impianti (distribuzione, terminali)

**Trasporto dei materiali di costruz.**



\*calcolando il materiale per la costruzione di un singolo modulo ufficio

**EFFICIENTAMENTO ENERGETICO**

**Integrazione strategie passive**

- integrazione strategie passive
- \*considerando quanto la tipologia d'intervento favorisce la progettazione con strategie passive

**Fabbisogno energetico**

● Qh,nd



● Qc,nd



distribuzione Qh,nd



distribuzione Qc,nd



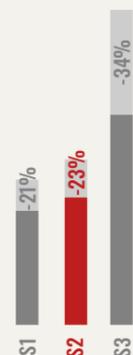
**SOSTENIB. AMBIENTALE**

**Impatto ambientale**

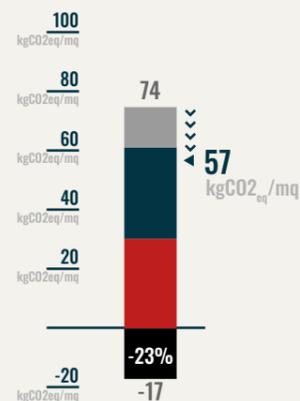
- CO2 incorporata - scenari



● potenziale di riduzione Ec



CO2 incorporata nelle fasi ciclo vita



■ Iniziale ■ Fine vita ■ Impatto evitato  
■ Periodica ■ Trasporti

**CANTIERABILITA'**

**Interferenze ambientali\***

- produzione di rumori
- emissione di polveri
- occupazione suolo pubblico

\*del cantiere verso l'ambiente esterno

**Interferenze operative\***

- interruzione operatività uffici

**Gestione\***

- manutenibilità facade
- facilità sostituzione componenti

\*considerando la posizione e la tipologia dei componenti

**Integraz. involucro/impianto\***

- nuovi terminali di impianti

\*considerando quanto la tipologia d'intervento favorisce l'inserimento di nuovi impianti (distribuzione, terminali)

**Trasporto dei materiali di costruz.**



\*calcolando il materiale per la costruzione di un singolo modulo ufficio

**EFFICIENTAMENTO ENERGETICO**

**Integrazione strategie passive**

- integrazione strategie passive
- \*considerando quanto la tipologia d'intervento favorisce la progettazione con strategie passive

**Fabbisogno energetico**

● Qh,nd



● Qc,nd



distribuzione Qh,nd



distribuzione Qc,nd



**SOSTENIB. AMBIENTALE**

**Impatto ambientale**

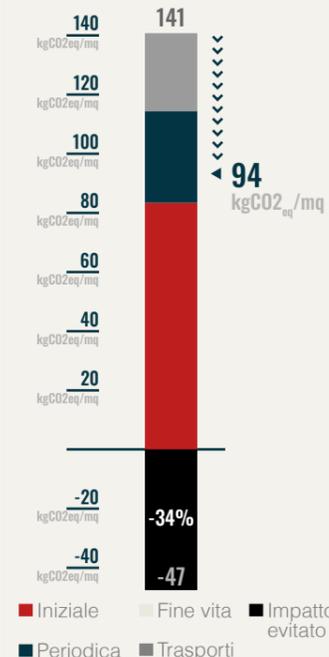
- CO2 incorporata - scenari



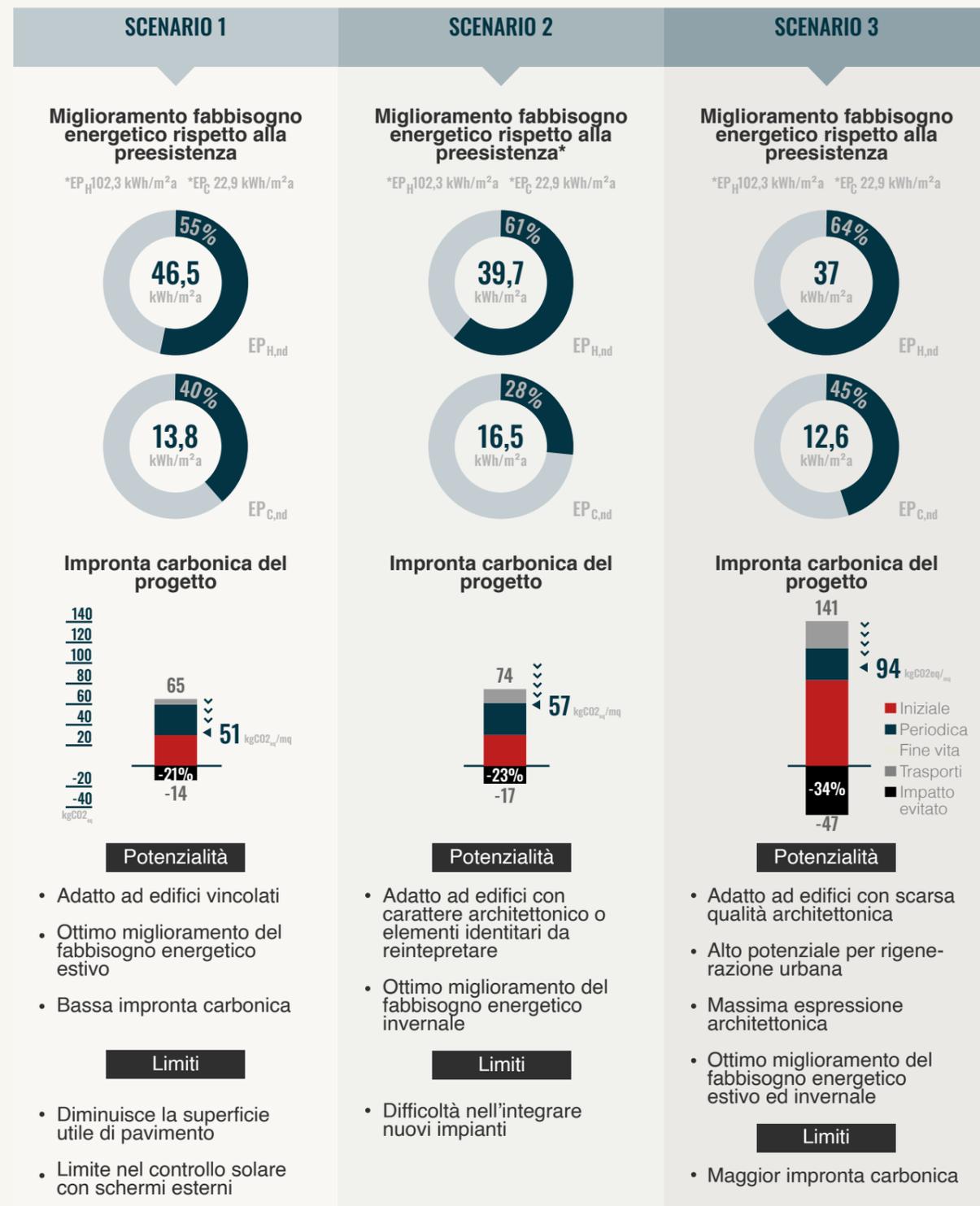
● potenziale di riduzione Ec



CO2 incorporata nelle fasi ciclo vita



■ Iniziale ■ Fine vita ■ Impatto evitato  
■ Periodica ■ Trasporti



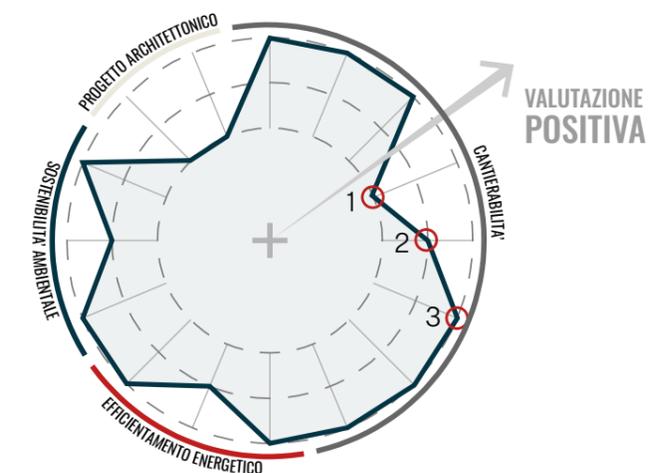
7.1.5 Confronto

Per descrivere le caratteristiche nelle varie discipline coinvolte e poterle mettere a confronto in un unico sistema, più di semplice e maggiore efficacia, occorre normalizzare gli indici utilizzati nelle precedenti analisi. Si è quindi deciso di adottare una scala 1-3 nella quale i valori più alti si riferiscono ad una valutazione positiva.

INDICATORE	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
<b>CANTIERABILITÀ</b>			
Assenza produzione rumori	3/3	2/3	1/3
Assenza emissione polveri	3/3	3/3	1/3
Senza occupazione suolo pubblico	3/3	2/3	1/3
Cantiere senza interruzione operatività uffici	1/3	2/3	1/3
Manutenibilità componenti ed elementi	2/3	3/3	2/3
Facilità sostituzione componenti ed elementi	3/3	2/3	3/3
Integrazione involucro/impianto	3/3	1/3	3/3
Trasporto materiali al cantiere	3/3	3/3	1/3
<b>EFF. ENERG.</b>			
Integrazione strategie passive	3/3	1/3	3/3
Miglioramento fabbis. energetico estivo	2/3	3/3	3/3
Miglioramento fabbis. energetico invernale	3/3	2/3	3/3
<b>SOST. AMB.</b>			
CO2 incorporata	3/3	3/3	1/3
Potenziale di riduzione CO2 incorporata	2/3	2/3	3/3
Rifiuti da demolizione	3/3	3/3	1/3
<b>ALTRO</b>			
Espressione architettonica	1/3	2/3	3/3
Possibili ricadute ambito urbano	1/3	2/3	3/3

Fig. 7.1.5.1 Tabella di riepilogo delle valutazioni normalizzate su scala 1-3 per ogni indicatore  
1: valutazione negativa / peggior risultato ottenuto fra gli scenari  
2: valutazione media / risultato centrale fra gli scenari  
3: ottima valutazione / miglior risultato ottenuto fra gli scenari

Si procede quindi a tracciare i profili per ogni scenario, con l'obiettivo di descriverne in modo più esemplificativo le caratteristiche, che possa facilitare il confronto e valutare quindi come i progetti hanno risposto ai vari aspetti. Con la tipologia di grafico adottata, il singolo scenario è rappresentato da un poligono esito dell'unione fra più punti. Essendo questi il valore degli indici, più uno spigolo è lontano dal centro e maggiore sarà la sua valutazione, cioè positiva.





## 7.1.7 Relazioni con l'intensità di intervento

### 7.1.7.1 Metodologie

Al fine di ricavare delle indicazioni da fornire al progettista, è utile mettere a sistema l'intensità di intervento con gli indicatori di valutazione sin ora adottati. In altre parole, osservare e interrogare, dove presenti, relazioni fra l'intensità di intervento con altri fattori.

Si procede dunque a creare un grafico qualitativo mettendo in ascissa l'intensità d'intervento e nell'ordinata la positività della valutazione, sfruttando dunque il lavoro di normalizzazione effettuato nella Fig. 7.1.5.1.

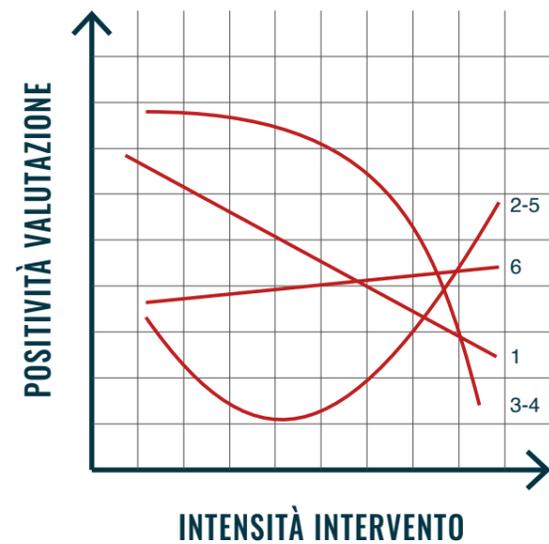


Fig. 7.1.7. Grafico con curve qualitative rappresentanti la proporzionalità fra l'intensità di intervento e altri indicatori di valutazione.

Per rendere maggiormente esplicative le informazioni ricavate dalle analisi di funzione e ricavare delle linee guida, sotto ogni correlazione si riassume sottoforma di *warning* [Fig. 7.1.7.1] un'indicazione da tener presente, la quale contribuisce agli strumenti della metodologia nel supporto decisionale dello scenario di intervento da adottare.

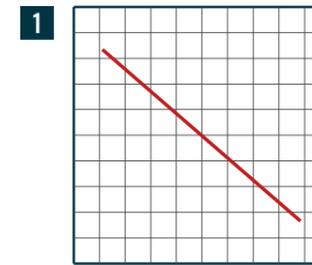


Fig. 7.1.7.1 Simbolo "warning" per l'indicazione per il progettista.

### 7.1.7.2 Analisi di funzione

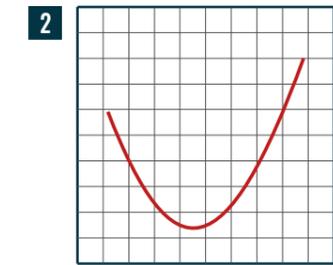
- 1 Si riscontra un andamento decrescente lineare fra l'intensità dell'intervento e le interferenze ambientali prodotte in fase di cantiere. Maggiore è l'intensità dell'intervento e maggiori devono essere le attenzioni rivolte alle interferenze con l'ambiente esterno;
- 2 Si riscontra un andamento parabolico fra l'intensità dell'intervento e l'integrazione involucro/impianto. Se un approccio poco invasivo facilita l'integrazione impiantistica, quando si aumenta il grado di intensità si attraversa una fase in cui diventa maggiormente sfidante, fino all'innovazione, costituita dall'ultima parte di parabola crescente. Si riscontra quindi un aumento dell'integrabilità involucro/impianto man mano che ci si allontana da un grado di intensità intermedio;
- 3 Si riscontra un andamento decrescente esponenziale fra l'intensità di intervento e il trasporto dei materiali (peso). Negli interventi estremamente intensi occorre prestare attenzione alla tipologia e quantità di materiale adottato;
- 4 Si riscontra un andamento decrescente esponenziale fra l'intensità di intervento e il carbonio incorporato. Negli interventi estremamente intensi occorre prestare attenzione alla tipologia e quantità di materiale adottato;
- 5 Si riscontra un andamento parabolico fra l'intensità dell'intervento e il miglioramento del fabbisogno energetico in stagione estiva. Se un approccio poco invasivo facilita il miglioramento del fabbisogno estivo, quando si aumenta il grado di intensità si attraversa una fase in cui diventa maggiormente sfidante, fino all'innovazione, costituita dall'ultima parte di parabola crescente;
- 6 Si riscontra un andamento decrescente lineare fra l'intensità dell'intervento e il miglioramento del fabbisogno energetico in stagione invernale.

#### interferenze ambientali



la scelta di una maggiore intensità deve richiedere un'attenzione alle interferenze con il contesto e l'ambiente circostante.

#### integrazione involucro/impianto



la scelta di un'intensità intermedia richiede maggiori sforzi nell'integrare i nuovi impianti con l'involucro.

#### trasporto materiali (peso)



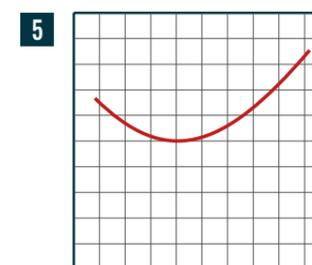
la scelta di un'intensità elevata potrebbe portare un impatto maggiore del peso nel trasporto dei materiali al cantiere, valutare la scelta e la quantità dei materiali.

#### carbonio incorporato



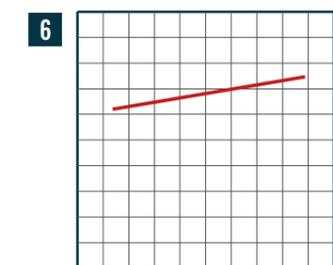
la scelta di un'intensità elevata potrebbe portare un impatto maggiore del carbonio incorporato, valutare la scelta e la quantità dei materiali.

#### miglioramento fabbisogno estivo



la scelta di un'intensità intermedia rende maggiormente sfidante il miglioramento del fabbisogno energetico estivo rispetto ad una scelta di minor intensità d'intervento.

#### miglioramento fabbisogno invernale



l'innovazione e un adeguato aumento dell'intensità di intervento dovrà riscontrare un miglioramento sempre maggiore del fabbisogno energetico in stagione invernale.

# 7.2

## Potenzialità e limiti della metodologia

### 7.2.1 Potenzialità

Il lavoro di tesi si inserisce nel recente fenomeno di riqualificazione energetica di edifici ad uso uffici costruiti nel secolo scorso. Quello in atto, è una questione che negli ultimi anni si sta facendo sempre più centrale: ne sono un esempio i dati raccolti attraverso l'analisi dei casi studio: nell'ultimo decennio si sono concentrati oltre il 61% degli interventi.

Il fatto che la metodologia proposta acquisisca dall'analisi dello stato di fatto degli strumenti e dei dati utili ad essa rappresenta, dal momento in cui la base di dati è implementabile, una potenzialità per il futuro. La raccolta di maggiori casi, infatti, costituirebbe una base statistica più solida da cui poter elaborare corrispondenze più attendibili e su cui implementare maggiori indici in base all'output di interesse.

Un altro fattore di interesse risiede nel fatto che si tratta dello sviluppo di una metodologia, e non in un progetto riproducibile e scalabile.

Gli esiti della tesi dipendono da criteri di natura statistica, da indici e valutazioni fatte con metodologie regolamentate da normative e da metodologie sviluppate. Ciò permette agli esiti di tesi di essere maggiormente controllabili rispetto a quello che sarebbe potuto essere la progettazione di un singolo modello (progetto).

Sulla base di tali conclusioni si può affermare che la metodologia rappresenta uno strumento:

- **Sostenibile**, poiché duraturo: evita la necessità di creare continuamente nuovi modelli ad ogni situazione diversa;
- **Adattabile**, poiché consente di rispondere a scenari diversi e a condizioni mutevoli;
- **Non invasivo**, poiché lo strumento lascia margine di libertà al progettista, non invadendo gli aspetti più creativi, non imponendo vincoli rigidi e lasciando inoltre spazio all'innovazione.

### 7.2.2 Limiti

Se l'aver implementato nella metodologia dati e analisi appartenenti ad una base di dati realizzata appositamente, c'è da tener conto che gli strumenti risultanti dipendono fortemente da:

- Criteri con cui si sono scelti gli indici;
- Criteri con cui si sono assegnati i valori degli indici;
- Numero del campione dei casi.

In altre parole, l'utilizzo di analisi statistiche può diventare un limite dal momento in cui si commettono imprecisioni alla base.

Un ulteriore limite -seppur considerato sin dall'inizio, nel momento in cui si sono tracciati i confini d'indagine- è rappresentato dalla limitatezza del numero delle discipline coinvolte nella valutazione finale degli scenari. Una valutazione completa avrebbe dovuto coinvolgere anche altre tematiche che sarebbero state utili per definire un profilo più completo dello scenario.

Gli esiti delle valutazioni svolte, inoltre, dipendono -per quanto si è cercato di astrarre l'intervento e di adottare le medesime scelte tecnologiche per minimizzare l'impatto di scelte personali- dalle tecnologie e dai materiali scelti per le nuove facciate. Soprattutto nel terzo scenario, la libertà dell'intervento può far discostare notevolmente dai risultati ottenuti con questo progetto.

Un possibile limite da considerare risiede nel fatto che le conclusioni analizzate si fondano su verifiche svolte a partire da un unico esito progettuale per ogni scenario. Ciò potrebbe portare a far dipendere alcuni risultati da scelte singole che si sarebbero potute eseguire diversamente.

Un'ultima considerazione, di stampo più generale, che potrebbe costituire un limite, risiede nell'aver eseguito calcoli e procedure con le semplificazioni osservate, necessarie però per l'esecuzione di tutto l'iter svolto, all'interno di un lavoro di tesi.

# 7.3 Possibili sviluppi futuri

## 7.3.1 Potenzialità nello sviluppo

Alcuni degli sviluppi di cui la metodologia può beneficiare riguardano in primis la base di dati relativa ai casi studio. Questa può essere implementata nel numero, continuando la ricerca di edifici ad uso ufficio, limitando il campo d'indagine al territorio italiano per avere maggiore uniformità. Una base dati maggiore permetterebbe di ottenere corrispondenze e altre analisi più solide e meno soggette a casi con valori isolati [Fig. 7.3.1].

È possibile inoltre indagare altri aspetti oltre quello del disegno geometrico della nuova facciata rispetto alla precedente, le ricadute urbane e il funzionamento adattivo. Sarebbe interessante adottare degli indici per la tipologia di vetro, materiali scelti, tipologia costruttiva nuova, lavorazioni principali di cantiere. I nuovi indici dovrebbero poter essere misurabili in modo rigoroso e scientifico e ben distinti da quelli di tipo qualitativo. Le analisi successive permetterebbero di evidenziare andamenti, limiti o correlazioni significative di successo.

La metodologia potrebbe avere come esito un modello excell di supporto alla progettazione, diviso nelle varie fasi e con funzionamento sequenziale, che accompagni in tutte le fasi mostrate. Si potrebbe quindi avere un quadro di confronto immediato fra gli scenari, che potrebbe stimolare processi iterativi per ottimizzare scelte tecnologiche o materiche.

Si potrebbe inoltre applicare i tre scenari con più modelli, stilare conclusioni a partire dagli esiti delle verifiche svolte su più progetti per ogni scenario porterebbe al "confronto finale" solo il progetto ottimizzato.

Con l'ipotetico utilizzo della metodologia, si arriverebbe a raccogliere valutazioni di svariati esiti progettuali. Potrebbe cioè migliorare il modello stesso attraverso il suo utilizzo (con le relative ricalibrature manuali, s'intende, o con l'ausilio di un'intelligenza artificiale si potrebbe automatizzare il processo se istruito con regole chiare). In altre parole, più si utilizzerebbe per sviluppare e analizzare progetti e più i profili finali degli scenari diventerebbero affidabili nel prenderli come strumento di supporto decisionale.

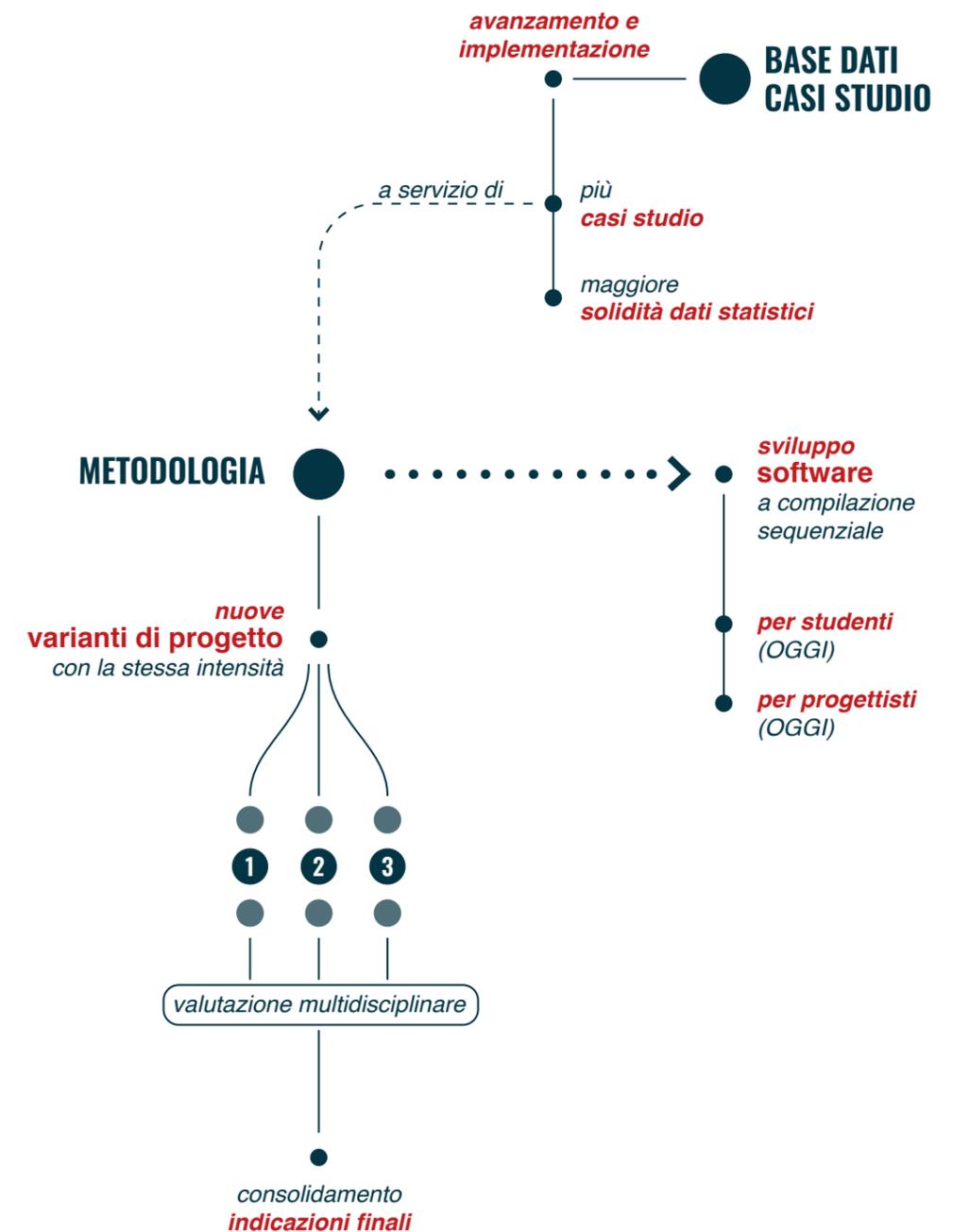


Fig. 7.3.1 Schematizzazione delle possibili opportunità di sviluppo della tesi

# Bibliografia e sitografia

## bibliografia

Francesco Giovine, "Nascita ed evoluzione dell'involucro", Abec Facade Engineering, NF Architettura, no. 388, 2013, pp. 60-64.

Cucuzzella, C.; Rahimi, N.; Soulikias, A. The Evolution of the Architectural Façade since 1950: A Contemporary Categorization. *Architecture* 2023, 3, 1–32.

Sánchez-Ramos I., Javier Francisco R., G., Meseguer-Garido F., and Mediavilla-Martín, D. "Energy and comfort. The historical evolution of the façade in Western Architecture." *VLC arquitectura* 9, no. 2 (October 2022): 179-200.

United Nations Environment Programme (UNEP). *Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector.* UNEP, 2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the IPCC.* Cambridge University Press, 2022.

Amir Tabadkani, Astrid Roetzel, Hong Xian Li, Aris Tsangrassoulis, *Design approaches and typologies of adaptive facades: A review, Automation in Construction, Volume 121, 2021, 103450, ISSN 0926-5805.*

Attia S, Lioure R, Declaude Q. Future trends and main concepts of adaptive facade systems. *Energy Sci Eng.* 2020;8:3255–3272.

Voigt, M.P.; Roth, D.; Kreimeyer, M. Decision Support for Defining Adaptive Façade Design Goals in the Early Design

Tabadkani, A.; Roetzel, A.; Xian Li, H.; Tsangrassoulis, A.; Attia, S.; Analysis of the impact of automatic shading control scenarios on occupant's comfort and energy load, *Applied Energy, Volume 294, 2021, 116904, ISSN 0306-2619.*

Barobetti, C. L'efficienza energetica e la qualità ambientale del patrimonio edilizio esistente. *Atti e rassegna tecnica, 1-2-3, 2012.*

Hergoz, T., Krippner, R. Lang, W. *Facade Construction Manual.* De Gruyter. Edition detail, second edition, 2017.

Brivio, S. F. Schermature solari e tende tecniche: Metodi e soluzioni di progetto, tipologie, risparmio energetico. Milano: Il Sole 24 ORE S.p.A., 2010.

Ripamonti E. R., Dolce F. C., Ponti termici. *Analisi e ipotesi risolutive.* Milano: Dario Flaccovio Editore s.r.l., 2011.

Ander, Gregg D. "Daylighting." *World Building Design Guide.* 15 September 2016. Web. 20 July 2020.

Castelli, S., *Schermature solari e architettura* (Tesi di laurea magistrale). Politecnico di Milano, 2015.

Horwitz-Bennett, B. Mitigating glare and solar heat gain with exterior shading systems. *Architectural Products, 2019. 17(4), 42-45.*

Barobetti, C. L'efficienza energetica e la qualità ambientale del patrimonio edilizio esistente. *Atti e rassegna tecnica, 1-2-3. 2012.*

Martini, Alessandro, *Città, infrastrutture, trasformazioni urbane e aggiornamento tecnologico.* Ottorino Aloisio e il Palazzo Sip di Torino in *Il nuovo Palazzo della Provincia di Torino*, [s.n.], Torino 2008, pp.20-36

Cucuzzella, C.; Rahimi, N.; Soulikias, A. The Evolution of the Architectural Façade since 1950: A Contemporary Categorization. *Architecture* 2023, 3, 1–32.

Scheda tecnica "Centro Piero della Francesca", Museo Torino. Disponibile da: <https://www.museotorino.it/view/s/b97da1bb1e31486e978c13e5451c7cf0>

Scheda tecnica "Centro Piero della Francesca", Trueisgood. Disponibile da: <https://trueisgood.blogspot.com/2011/08/centro-piero-della-francesca-torino.html>

Gallina, F., Quaglio, B., EURECA - guida all'uso dello strumento di calcolo per la valutazione degli impatti energetico ambientali del ciclo di vita degli edifici. Politecnico di Torino, 2019.

Andreotti, J., Giordano, R., *Strumenti per la decarbonizzazione.* Edizioni Ambiente, Green Building Council Italia, 2024.

## sitografia

<https://doi.org/10.3390/architecture3010001>

<https://doi.org/10.3390/architecture3010001>

<https://doi.org/10.4995/vlc.2022.16542>

<https://doi.org/10.3390/architecture3010001>

<https://doi.org/10.4995/vlc.2022.16542>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658052031030X>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658052031030X>

<https://doi.org/10.1002/ese3.725>

<https://doi.org/10.3390/en16083411>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921003883>

<https://newsletter.siat.torino.it/download/fileRoot/Tutti%20i%20documenti/Rivista/2012/n.1-2-3%20Innovazione%20Tecnologica%20Sostenibile%20in%20Edilizia.pdf>

[https://www.darioflaccovio.it/abstracts/9788857904368/risoluzione-manuale-ponti-termici\\_9788857904368.pdf?srlsId=AfmBOooTXQGod8WTyoTj25Vlh44YUC2UNPFZ6VBay-SUsiXYD\\_DSK7DpN](https://www.darioflaccovio.it/abstracts/9788857904368/risoluzione-manuale-ponti-termici_9788857904368.pdf?srlsId=AfmBOooTXQGod8WTyoTj25Vlh44YUC2UNPFZ6VBay-SUsiXYD_DSK7DpN)

[https://www.unicmi.it/option.com\\_docman/task\\_doc\\_view/gid,203.html](https://www.unicmi.it/option.com_docman/task_doc_view/gid,203.html) [Ultima consultazione: 7/12/2024]

<https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.uoregon.edu/dist/1/16902/files/2019/02/Facade-Construction-Manual-2h-2g0dz.pdf>

[https://www.politesi.polimi.it/retrieve/a81cb05b-b811-616b-e053-1605fe0a889a/2016\\_04\\_Castelli\\_Serena%20.pdf](https://www.politesi.polimi.it/retrieve/a81cb05b-b811-616b-e053-1605fe0a889a/2016_04_Castelli_Serena%20.pdf)

<https://newsletter.siat.torino.it/download/fileRoot/Tutti%20i%20documenti/Rivista/2012/n.1-2-3%20Innovazione%20Tecnologica%20Sostenibile%20in%20Edilizia.pdf>

<https://architectureinbox.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/04/art-small.pdf>

<https://doi.org/10.3390/architecture3010001>

<https://www.museotorino.it/view/s/b97da1bb1e31486e-978c13e5451c7cf0> [Ultima consultazione: 28/11/2024]

<https://trueisgood.blogspot.com/2011/08/centro-piero-della-francesca-torino.html> [Ultima consultazione: 15/12/2024]

<https://gbcitalia.org/2024/12/03/dal-carbon-footprint-al-whole-life-carbon-i-nuovi-strumenti-per-progettare-la-decarbonizzazione/> [Ultima consultazione: 28/01/2025]

<https://www.perplexity.ai/>

<https://openai.com/index/chatgpt/>

## RINGRAZIAMENTI ITA

Pur non considerandolo un punto di arrivo, colgo l'occasione di questo momento per prendere fiato e voltarmi indietro a questi ultimi due anni.

In questo frangente di respiro sono doverosi dei ringraziamenti che, seppur spesso non sufficiente la parola scritta, vanno a..

Al mio relatore, prof. Carlo Micono che mi ha accolto nel suo studio, facendomi respirare l'aria "dei professionisti", di quello che voglio fare io da grande, facendomi lavorare al suo fianco e dedicandomi del tempo, degli ottimi confronti di cui mi dispiace non continuare.

Alla mia relatrice, prof.ssa Valentina Serra, che ha avuto l'energia di ispirarmi e attraverso il suo spirito critico e senza troppi giri di parole, reindirizzarmi nei momenti di maggiore difficoltà della tesi.

Ad entrambi, grazie di essere stati sempre gentili con me, spero di continuare a lavorare con voi.

A mamma e papà, per avermi alleggerito sempre il cuore di fronte alle scelte, per avermi dato serenità senza mai farmi pesare nulla, il mio viaggio sin' ora è stato leggero grazie alla fiducia cieca che avete riposto in me. Grazie perchè non mi è mai mancato nulla.

A Francesca, la mia ragazza e contemporaneamente migliore amica, con cui ho condiviso momenti di soddisfazioni, ma anche di indecisioni, esperienze sportive, ma anche di rinunce. Grazie per l'amore quotidiano dei gesti e delle parole. Grazie a te e alla tua famiglia, per avermi accolto come un figlio e mai come un ospite e per avermi fatto cucinare la carbonara per presentarmi.

Ai miei "amici dell'uni", quelli con cui ho condiviso esami e non, quelli con cui ho avuto il piacere di confrontarmi. Grazie perchè ci siamo trasformati da colleghi ad amici, spesso rivalutandoci e talvolta, purtroppo, scoprendoci all'ultimo. Un particolare grazie a Ilenia, Sara e Laura, per l'amicizia che abbiamo creato, per le serate di ricarica e le chiacchiere di sfogo scambiate.

Ad Ilenia, con la quale senza pretese abbiamo raggiunto gli obiettivi più ambiziosi, decidendo silenziosamente di investire nella nostra collaborazione, non rendendoci mai del tutto conto della crescita che abbiamo fatto insieme. Grazie, perchè forse non te l'ho mai detto.

Al mio coinquilino, l'unico che avrò perchè nonostante i tanti compromessi e dei periodi più difficili, non potevo chiedere di meglio. Grazie per aver vissuto con me quasi 3 anni della mia vita.

A "Marco della montagna", con il quale ho scoperto di avere un profondo legame (di cordata). Grazie per avermi fatto brillare gli occhi durante la ricerca dei futuri obiettivi di alpinismo.

Ai miei amici di Pomezia Alessandro e Matteo, con cui ho sfruttato le pause per scambiare momenti di vita e confronti.

## MOMENTO DE DI' GRAZIE ROMANESCO

Pure se nun lo considero 'n punto d'arivo, me fermo 'n attimo a guardamme indietro e a ringrazià chi in sti du' anni c'ha avuto 'n peso importante.

Quinni me sento de ringrazià..

er prof Carlo Micono che m'ha ospitato n'o studio suo co' i colleghi professionisti. Sta cosa m'ha fatto senti 'n po' più dentro a 'sto monno, come se ce potessi sta pur' io. Me dispiacerebbe se certe chiacchierate nun le potemo più fa.

a professoressa Valentina Serra, che, tra 'n impegno e n'artro, c'ha sempre avuto l'energia de ispiramme e quanno m'inciampavo, me raddrizzava la strada senza troppi giri de parole.

Grazie a tutti e due p'a gentilezza che c'avete avuto, spero de lavorà co voi ner futuro prossimo.

A mamma e papà, che m'avete alleggerito er core e m'avete dato serenità senza famme pesa' gnente, er viaggio è stato più leggero der previsto grazie a 'sta fiducia che m'avete dato. Grazie perchè nun m'è mancato popo gnente.

A Fra, a ragazza mia e migliore amica, co cui ho condiviso momenti de soddisfazione, ma pure de indecisione, cose sportive ma pure de rinunce. Grazie pe' l'amore quotidiano nei gesti e ne' parole. Grazie pure a' famiglia tua, che m'ha accolto come 'n fijo e mai come n'ospite, facendome cucinà pure 'a carbonara pe presentamme.

Agli amici de l'uni, quelli co' cui ho condiviso esami e non solo, quelli co' cui me ce so confrontato e ce semo trasformati da colleghi ad amici, ce semo rivalutati a vicenda e ce semo scoperti talvolta popo all'ultimo. Un grazie particolare a llè, Sà e Là, pe' l'amicizia creata, pe' 'e serate de ricarica, 'e chiacchiere de sfogo scambiate.

A Ilenia, co' a quale avemo sfonnato tutto fratelli, che grande! Zitti zitti emo fatto gruppo quanno se poteva, ce semo divertiti e semo cresciuti. Grazie perchè me sa che nun te l'ho mai detto.

Ar coinquilino mio, l'unico che avrò, perchè co' tutti 'e compromessi e pure co' i momenti più tosti, mejo de così nun potevo trovà. Grazie pe' sti quasi tre anni vissuti insieme.

A Marco d'a montagna, che in sti anni c'avemo scoperto 'na sintonia che va oltre. Ce brillano l'occhi quanno impostamo l' obiettivi futuri.

Agli amici de Pomezia, Ale e Matte, co cui me ce so visto nelle pause romane, pe' scambierà momenti de vita e confronti sinceri.