



**POLITECNICO
MILANO 1863**

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi

**Comfort luminoso e visivo negli ambienti di cura:
sviluppo di un tool parametrico di valutazione
multi-criteria per il benessere del paziente**

Relatore: Prof. Alberto Speroni

Correlatore: Prof. Matteo Cavaglià

Candidato:

Daniele Dattolo - 233573

Anno Accademico 2025/2026

Indice generale

1	Introduzione	1
2	Stato dell'Arte.....	3
2.1	Metodologia di ricerca dati	3
2.1.1	Fase 0: Framework pre-PRISMA 2020.....	4
2.1.1.1	Costruzione della matrice delle keywords.....	5
2.1.1.2	Selezione della query utile per Identification	21
2.1.1.3	Validazione qualitativa del metodo.....	24
2.1.2	Fase 1: Identification (PRISMA 2020).....	28
2.1.3	Fase 2: Screening (PRISMA 2020).....	28
2.1.4	Fase 3: Included (PRISMA 2020)	30
2.2	Analisi della letteratura inclusa.....	33
2.2.1	Distribuzione tipologica	33
2.2.2	Distribuzione temporale.....	34
2.2.3	Distribuzione geografica.....	35
2.2.4	Evidenze scientifiche emerse.....	35
2.2.4.1	Panoramica generale.....	35
2.2.4.2	Influenza della luce naturale	40
2.2.4.2.1	Orientamento ed esposizione della finestra	40
2.2.4.2.2	Ampiezza delle superfici vetrate (WWR).....	42
2.2.4.2.3	Gestione della luce naturale e delle schermature.....	43
2.2.4.2.4	Adeguatezza apporto di luce mattutina.....	44
2.2.4.3	Influenza della vista esterna	45
2.2.4.3.1	Vista su elementi naturali	45
2.2.4.3.2	Ampiezza e profondità della vista.....	47
2.2.4.3.3	Accesso pratico alla vista.....	48
2.3	Risultati e limitazioni	49
3	Motivazione e metodologia dell'elaborato	53
4	Analisi tecnica e percettiva del benessere degli ospiti in strutture ospedaliere	56
4.1	Tool parametrico per l'individuazione delle aree di comfort luminoso e visivo.....	56

4.1.1	Architettura generale del workflow parametrico	56
4.1.2	Acquisizione e associazione delle geometrie	58
4.1.3	Identificazione parametrica delle stanze candidate e generazione delle griglie di calcolo	59
4.1.4	Modulo daylight (UDI)	62
4.1.5	Modulo Glare	63
4.1.6	Modulo View Out	64
4.1.7	Predisposizione del sistema di rating stanza per stanza e individuazione delle aree di comfort luminoso e visivo	65
4.2	Strumento di indagine percettiva sul benessere luminoso e visivo	67
4.2.1	Processo di composizione del questionario	67
4.2.2	Campione e modalità di somministrazione	68
4.2.3	Struttura del questionario	68
4.2.4	Traduzione delle variabili percettive in indicatori quantitativi	70
4.2.4.1	Codifica delle risposte	72
4.2.4.2	Indicatori sintetici esplorativi	72
4.2.5	Acquisizione semi-automatizzata delle risposte mediante riconoscimento assistito dall'intelligenza artificiale	73
4.3	Protocollo di integrazione tra analisi tecnica e percettiva	75
5	Caso studio	77
5.1	Inquadramento generale e contesto urbano	77
5.2	Ricostruzione geometrica del modello digitale	81
5.2.1	Elaborazione bidimensionale in AutoCAD	82
5.2.2	Modellazione tridimensionale in Rhinoceros	83
5.2.3	Codifica dei locali e predisposizione del modello per l'ambiente simulativo	85
5.3	Simulazioni illuminotecniche e ambientali di riferimento mediante ClimateStudio plug-in di Rhinoceros	87
5.3.1	Materiali e proprietà ottiche	87
5.3.2	Griglie di calcolo	89
5.3.3	Metriche illuminotecniche e ambientali di riferimento	90
6	Risultati e limitazioni	93

6.1	Analisi tecnica: validazione e utilizzo del tool parametrico.....	93
6.1.1	Scenari di benchmark.....	93
6.1.2	Coerenza, scostamenti e limiti della validazione.....	94
6.1.3	Individuazione delle aree di comfort luminoso e visivo	99
6.2	Analisi percettiva: stato della raccolta e limitazioni del campione.....	102
6.3	Attuazione del protocollo di integrazione fra analisi tecnica e percettiva.....	103
7	Conclusioni e sviluppi futuri.....	104
8	Bibliografia e sitografia	106

Abstract

La qualità degli ambienti di degenza dipende dalla capacità dell'involucro edilizio di garantire un adeguato apporto di luce naturale e una vista verso l'esterno sufficientemente efficace. La letteratura associa tali condizioni a diversi esiti riguardanti pazienti e personale sanitario, tra cui stress, sonno, benessere percepito, durata della degenza, soddisfazione e qualità dell'esperienza ospedaliera. Le evidenze disponibili risultano tuttavia frammentate, poiché derivano da approcci, metriche e modalità di rilevazione spesso difficilmente confrontabili.

Il presente elaborato sviluppa una procedura strutturata e riproducibile per la lettura integrata del benessere luminoso e visivo negli spazi di degenza, mettendo in relazione prestazioni ambientali simulate e percezione dichiarata dai pazienti. La ricerca inizia da una revisione sistematica della letteratura condotta secondo le linee guida PRISMA 2020. A monte del processo è stato definito un framework pre-PRISMA 2020, contributo metodologico finalizzato a rendere esplicita e tracciabile la costruzione della strategia di ricerca, dalla definizione della matrice delle parole chiave alla selezione della query utilizzata nella fase di identificazione. L'analisi degli studi inclusi ha individuato 75 connessioni tra luce naturale, vista esterna ed esiti riferiti a pazienti e personale sanitario, distinguendo 20 evidenze misurate e significative, 13 non significative (o trend) e 42 richiami derivati dalla letteratura. Il quadro emerso conferma il potenziale contributo di daylight e view out alla qualità degli ambienti sanitari, ma anche la necessità di strumenti capaci di tradurre descrittori eterogenei in indicatori confrontabili.

Sulla base di tali risultati sono stati sviluppati due strumenti complementari. Il primo è un tool parametrico in Grasshopper, concepito per acquisire le geometrie dell'edificio, identificare i locali candidati a stanze di degenza, generare le griglie di calcolo e riorganizzare gli output a livello di singolo sensore e di stanza. Il tool integra tre ambiti di analisi: Useful Daylight Illuminance, discomfort glare e View Out. Quest'ultimo viene valutato attraverso angolo di visualizzazione orizzontale, distanza esterna e numero di strati visibili, assumendo come livello complessivo la prestazione peggiore tra i tre criteri. Gli output vengono successivamente messi a sistema per individuare le porzioni degli ambienti nelle quali condizioni favorevoli di luce naturale, contenimento dell'abbagliamento e qualità minima della vista risultano contemporaneamente presenti. Il secondo strumento è un questionario rivolto ai pazienti, costruito per rilevare la qualità percepita della luce e della vista, l'utilizzo delle schermature e alcuni esiti dichiarati relativi a stress, sonno e qualità complessiva della degenza.

La metodologia è stata applicata alla Casa di Cura Igea di Milano, per la quale è stato ricostruito un modello digitale destinato alle simulazioni illuminotecniche e ambientali. Il tool parametrico è stato verificato mediante il confronto con simulazioni di benchmark eseguite direttamente in ClimateStudio, adottando tre configurazioni progressivamente più complete del modello. Il confronto sui risultati UDI ha mostrato una coerenza generale tra i due ambienti simulativi, accompagnata da scostamenti più

rilevanti nelle configurazioni caratterizzate da una maggiore complessità del contesto e delle alberature. Le comparazioni grafiche relative a glare e View Out hanno inoltre confermato la capacità del tool di riprodurre la distribuzione spaziale delle principali classi prestazionali, pur entro i limiti della validazione condotta sul caso studio.

Il protocollo di integrazione tecnica e percettiva è stato infine applicato, in via preliminare, alle stanze associate ai primi due questionari disponibili. I risultati mostrano alcune convergenze tra valutazioni simulate e percezione dichiarata, ma anche differenze significative, in particolare rispetto all'accessibilità effettiva della vista dal letto. Tali divergenze non vengono interpretate come errori, ma come indicazioni del ruolo assunto da posizione del paziente, orientamento, arredi, schermature, condizioni meteorologiche e caratteristiche individuali. La numerosità attualmente disponibile non consente analisi statistiche o generalizzazioni, ma permette di verificare l'applicabilità del protocollo e la corretta associazione tra dati tecnici e percettivi.

Il lavoro propone quindi un passaggio dalla conoscenza bibliografica e scientifica alla lettura operativa dello spazio di degenza. Il contributo principale non consiste nella definizione di un singolo indicatore, ma nella costruzione di un workflow integrato, scalabile e trasferibile, capace di conservare la variabilità locale delle prestazioni, sintetizzarla a scala di stanza e confrontarla con l'esperienza reale del paziente.

Abstract in English

The quality of inpatient environments also depends on the ability of the building envelope to provide an adequate amount of daylight and a sufficiently effective view towards the outdoors. The literature associates these conditions with several outcomes concerning patients and healthcare staff, including stress, sleep, perceived well-being, length of stay, satisfaction, and the overall quality of the hospital experience. However, the available evidence remains fragmented, as it derives from approaches, metrics, and assessment methods that are often difficult to compare.

This thesis develops a structured and reproducible procedure for the integrated assessment of luminous and visual well-being in inpatient spaces, relating simulated environmental performance to patients' reported perceptions. The research begins with a systematic literature review conducted according to the PRISMA 2020 guidelines. Before the formal review process, a pre-PRISMA 2020 framework was defined as a methodological contribution aimed at making the development of the search strategy explicit and traceable, from the construction of the keyword matrix to the selection of the query used during the identification phase. The analysis of the included studies identified 75 relationships between daylight, view out, and outcomes concerning patients and healthcare staff, distinguishing 20 measured and significant findings, 13 non-significant findings or trends, and 42 relationships derived from the literature. The resulting framework confirms the potential contribution of daylight and view out to the quality of healthcare environments, while also highlighting the need for tools capable of translating heterogeneous descriptors into comparable indicators.

Based on these findings, two complementary tools were developed. The first is a parametric tool implemented in Grasshopper, designed to acquire building geometries, identify rooms suitable for use as inpatient rooms, generate calculation grids, and reorganise outputs at both sensor and room level. The tool integrates three areas of analysis: Useful Daylight Illuminance, discomfort glare, and View Out. The latter is assessed through horizontal sight angle, outside distance, and the number of visible layers, with the overall level corresponding to the lowest performance among the three criteria. The outputs are integrated to identify the portions of each room where favourable daylight conditions, glare control, and a minimum quality of view occur simultaneously. The second tool is a questionnaire addressed to patients, developed to assess the perceived quality of daylight and view out, the use of shading devices, and selected self-reported outcomes related to stress, sleep, and the overall quality of the hospital stay.

The methodology was applied to Casa di Cura Igea in Milan, for which a digital model was reconstructed to support daylight and environmental simulations. The parametric tool was verified by comparison with benchmark simulations performed directly in ClimateStudio, using three progressively more complete model configurations. The comparison of UDI results showed general consistency between the two simulation environments, together with larger deviations in configurations characterised by a more

complex representation of the surrounding context and vegetation. Graphical comparisons of glare and View Out also confirmed the ability of the tool to reproduce the spatial distribution of the main performance classes, within the limits of a validation conducted on the selected case study.

The technical-perceptual integration protocol was finally applied, on a preliminary basis, to the rooms associated with the first two available questionnaires. The results show some convergences between simulated assessments and reported perception, as well as relevant differences, particularly regarding the actual accessibility of the outdoor view from the patient's bed. These divergences are not interpreted as errors, but as indications of the role played by the patient's position and orientation, furniture layout, shading devices, weather conditions, and individual characteristics. The currently available sample does not allow statistical analysis or generalisation, but it does make it possible to verify the applicability of the protocol and the correct association between technical and perceptual data.

The thesis therefore proposes a transition from bibliographic and scientific knowledge to an operational assessment of inpatient spaces. Its main contribution does not lie in the definition of a single indicator, but in the construction of an integrated, scalable, and transferable workflow capable of preserving local performance variability, synthesising it at room level, and comparing it with the patient's actual experience.

1 Introduzione

Obiettivo del seguente elaborato di tesi è analizzare in che modo specifiche caratteristiche dell'involucro edilizio, in particolare l'apporto di luce naturale (*daylight*) e la qualità della vista verso l'esterno (*view out*), influenzano il benessere psicofisico dei pazienti degenti e del personale sanitario che vivono gli spazi ospedalieri.

Per cogliere le evidenze scientifiche finora emerse in ambito ingegneristico e clinico, si è ritenuto necessario condurre uno studio approfondito della letteratura di riferimento. Al fine di ottenere risultati pertinenti, riproducibili e documentabili, è stata quindi eseguita una revisione sistematica delle pubblicazioni indicizzate nelle principali banche dati bibliografiche, adottando le linee guida PRISMA 2020.

In aggiunta, il lavoro include un contributo metodologico trasversale: un framework pre-PRISMA 2020 che si propone di accompagnare in modo standardizzato il ricercatore fino alla fase di identificazione delle risorse bibliografiche. PRISMA 2020, infatti, disciplina il reporting del processo di identificazione, selezione e inclusione degli studi, senza entrare nel merito di come impostare le strategie di ricerca, che rimangono normalmente a discrezione di chi conduce la revisione.

L'applicazione congiunta del framework pre-PRISMA 2020 e delle linee guida PRISMA 2020 ha condotto alla definizione delle pubblicazioni incluse nello studio, successivamente oggetto di analisi tipologica, temporale e geografica, nonché di una lettura critica delle evidenze emerse sui legami fra caratteristiche dell'involucro ed esiti osservati su pazienti e personale sanitario.

A partire dai risultati dello Stato dell'Arte, il lavoro sviluppa una metodologia applicativa finalizzata a tradurre le evidenze scientifiche in strumenti di analisi utilizzabili a scala di stanza. La ricerca si concentra in particolare sul benessere luminoso e visivo dei pazienti, mettendo in relazione la prestazione ambientale simulata con la percezione dichiarata dagli utenti. Tale impostazione deriva dalla consapevolezza che disponibilità di luce naturale, contenimento dell'abbagliamento e accesso alla vista esterna costituiscano fenomeni strettamente connessi, che non possono essere interpretati in modo pienamente efficace attraverso la sola lettura di indicatori separati.

La componente tecnica è stata sviluppata mediante un tool parametrico in ambiente Grasshopper, predisposto per acquisire le geometrie dell'edificio, individuare le stanze candidate, generare le griglie di calcolo ed elaborare i risultati relativi a Useful Daylight Illuminance, discomfort glare e View Out. Gli output vengono mantenuti sia a livello di singolo sensore sia a scala di stanza. Questi vengono successivamente integrati per identificare le porzioni degli ambienti nelle quali condizioni favorevoli di luce, assenza di abbagliamento e qualità minima della vista risultano contemporaneamente soddisfatte.

Parallelamente, è stato definito uno strumento di indagine percettiva rivolto ai pazienti, finalizzato principalmente a rilevare la qualità percepita della luce naturale e della vista esterna. I due livelli di analisi sono messi in relazione mediante un protocollo di integrazione che associa risultati tecnici e risposte percettive attraverso l'identificativo della stanza, distinguendo convergenze, divergenze e possibili fattori confondenti.

La metodologia è stata applicata alla Casa di Cura Igea di Milano, scelta come caso studio per la varietà delle esposizioni, delle condizioni di vista e delle configurazioni spaziali presenti. Il modello digitale della struttura è stato ricostruito e predisposto per le simulazioni illuminotecniche e ambientali, mentre il tool parametrico è stato verificato attraverso il confronto con simulazioni di benchmark eseguite direttamente in ClimateStudio.

L'elaborato propone quindi un passaggio dalla conoscenza scientifica alla lettura operativa dello spazio di degenza. Pur nei limiti legati alla numerosità ancora ridotta della raccolta percettiva, il lavoro definisce una procedura strutturata, riproducibile e scalabile, capace di integrare prestazioni ambientali e percezione del paziente e di offrire un supporto alle successive attività di analisi e progettazione degli ambienti sanitari.

2 Stato dell'Arte

2.1 Metodologia di ricerca dati

La presente ricerca, collocandosi al crocevia tra due ambiti disciplinari distinti quali l'ingegneria e la medicina, presenta per natura un perimetro potenzialmente molto esteso. Per questo motivo si è scelto di ricorrere ad un approccio sistematico per garantire completezza, trasparenza e riproducibilità del processo.

A tal proposito è stata eseguita una revisione sistematica della letteratura (*systematic literature review*), condotta in accordo con le linee guida PRISMA 2020.

Fin dalla fase iniziale è stato quindi definito un workflow strutturato di attività, al fine di ottenere un insieme di studi il più possibile pertinente e rappresentativo rispetto al quesito di ricerca (Figura 1).

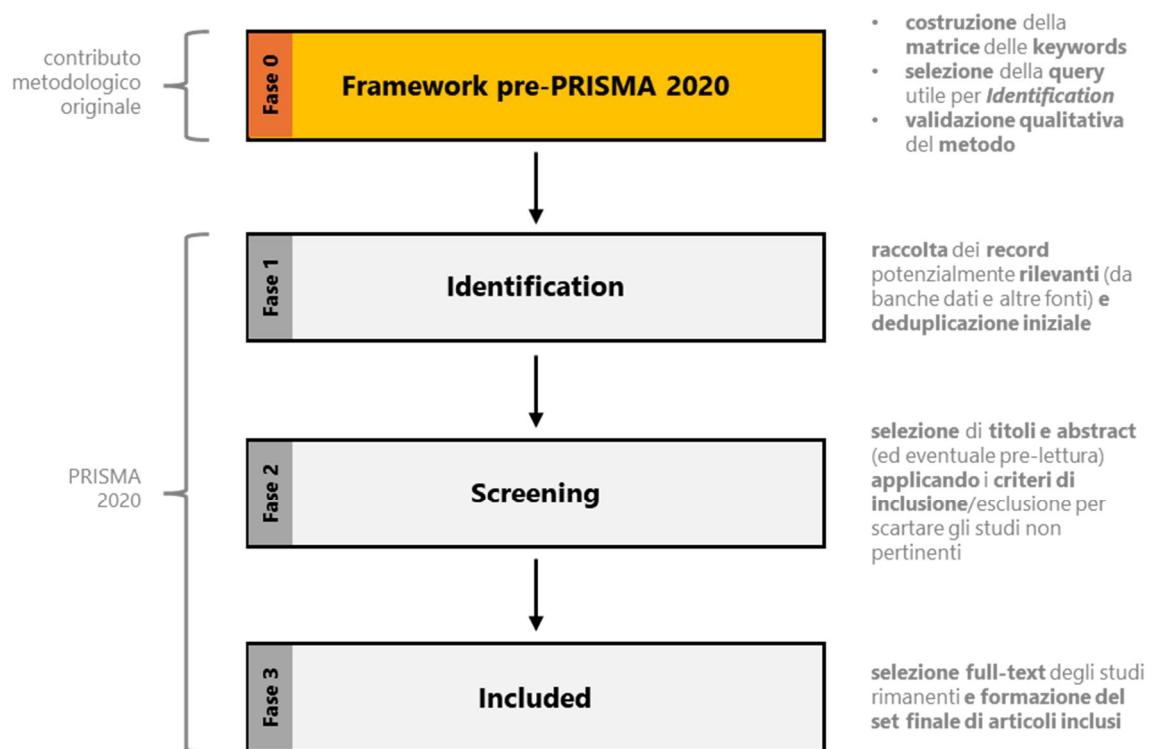


Figura 1: Diagramma di flusso a definizione della metodologia di ricerca adottata

Come illustrato in figura, il processo si articola in quattro fasi principali:

- definizione della strategia di ricerca (2.1.1 *Fase 0: Framework pre-PRISMA 2020*)
- identificazione degli studi (2.1.2 *Fase 1: Identification*)
- selezione degli studi (2.1.3 *Fase 2: Screening*)
- inclusione degli studi (2.1.4 *Fase 3: Included*)

La prima fase rappresenta un contributo metodologico originale: un framework pre-PRISMA 2020 che mira a rendere esplicita, strutturata e potenzialmente riproducibile la fase di progettazione della strategia di ricerca, offrendo un percorso guidato per passare dal quesito di ricerca alla definizione di una query coerente con i cluster tematici di interesse. Tale impostazione ha permesso di aumentare la precisione del corpus iniziale e di ridurre il numero di studi non pertinenti che verranno valutati successivamente con le linee guida PRISMA 2020.

Le tre fasi rimanenti derivano direttamente dalle linee guida PRISMA 2020 e strutturano il processo di revisione sistematica, dalla prima individuazione delle pubblicazioni fino alla definizione del corpus finale degli studi inclusi.

Ciascuna delle quattro fasi comprende una serie di attività, distinte ed interconnesse, descritte in dettaglio all'interno dei sottoparagrafi successivi.

2.1.1 Fase 0: Framework pre-PRISMA 2020

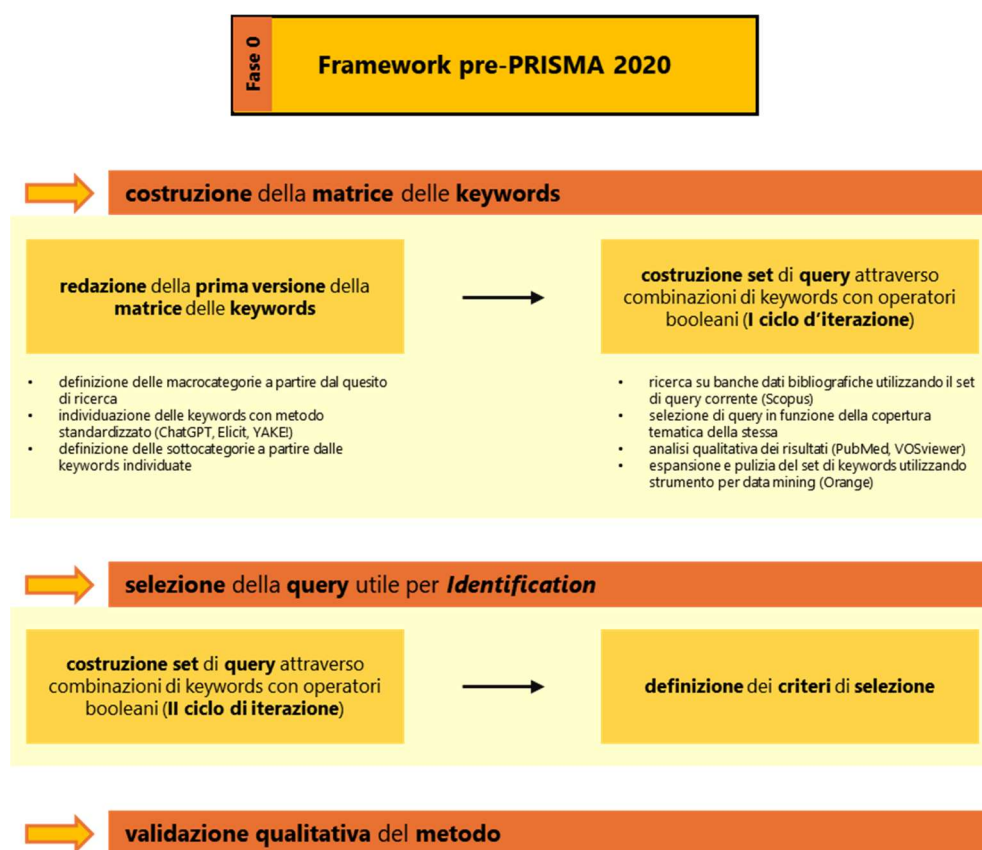


Figura 2: Struttura del Framework pre-PRISMA 2020 (Fase 0)

La Fase 0 costituisce il cuore del contributo metodologico di questo lavoro. Il framework pre-PRISMA 2020 nasce con l'obiettivo di trasformare la progettazione della strategia di ricerca da insieme di scelte poco esplicitate a procedura trasparente, strutturata e potenzialmente riproducibile. Il dominio viene

innanzitutto scomposto in macrocategorie e sottocategorie, quindi tradotto in matrici di parole chiave e in cicli successivi di raffinamento che conducono alla definizione di una query coerente con i cluster tematici individuati (daylight, view out, dispositivi di controllo solare, outcome clinici, benessere dello staff). Questo percorso ha consentito di aumentare la precisione del corpus iniziale e di ridurre il numero di studi non pertinenti sottoposti alle linee guida PRISMA 2020, mantenendo allo stesso tempo la copertura dei principali ambiti tematici di interesse.

2.1.1.1 Costruzione della matrice delle keywords

Il processo che ha portato alla composizione della matrice delle keywords utile alla ricerca nelle banche dati bibliografiche si compone di diversi passaggi (Figura 2).

Si è fatto anzitutto ricorso a Elicit [1], una piattaforma online basata su intelligenza artificiale che sfrutta algoritmi di machine learning per analizzare e sintetizzare informazioni provenienti da articoli scientifici. Questo strumento si è rivelato particolarmente utile in quanto, attraverso l'inserimento di prompt mirati ad un qualsivoglia campo di ricerca, consente di individuare i contributi scientifici più rilevanti in relazione alle tematiche oggetto di indagine.

Per ottenere risultati coerenti con l'obiettivo di ricerca, parallelamente all'attività sopracitata, si è reso necessario formulare dei prompt chiari e sintetici da fornire in input alla piattaforma. In questa fase è stato utilizzato ChatGPT [2] a supporto della redazione dei due prompt ricercati. L'impiego di questo strumento non ha sostituito l'attività di ricerca, ma ha svolto un ruolo di standardizzazione terminologica attraverso un processo di Prompt Engineering [3] (Figura 3). Questa pratica di progettazione e ottimizzazione delle istruzioni testuali ha l'obiettivo di guidare la produzione di output pertinenti e controllati. Tale processo si fonda su alcuni principi cardine, individuati nella letteratura, che includono:

- definizione chiara degli obiettivi e degli scopi di ricerca;
- fornitura di contesto e informazioni di base pertinenti;
- fornitura di informazioni specifiche e rilevanti.

Di seguito vengono riportati input e output di ricerca, ciascuno riferito a una delle due macrocategorie considerate: ingegneria, energia e prestazioni ambientali (Ingegneria) e psicologia ambientale e neuroarchitettura (Healthcare).

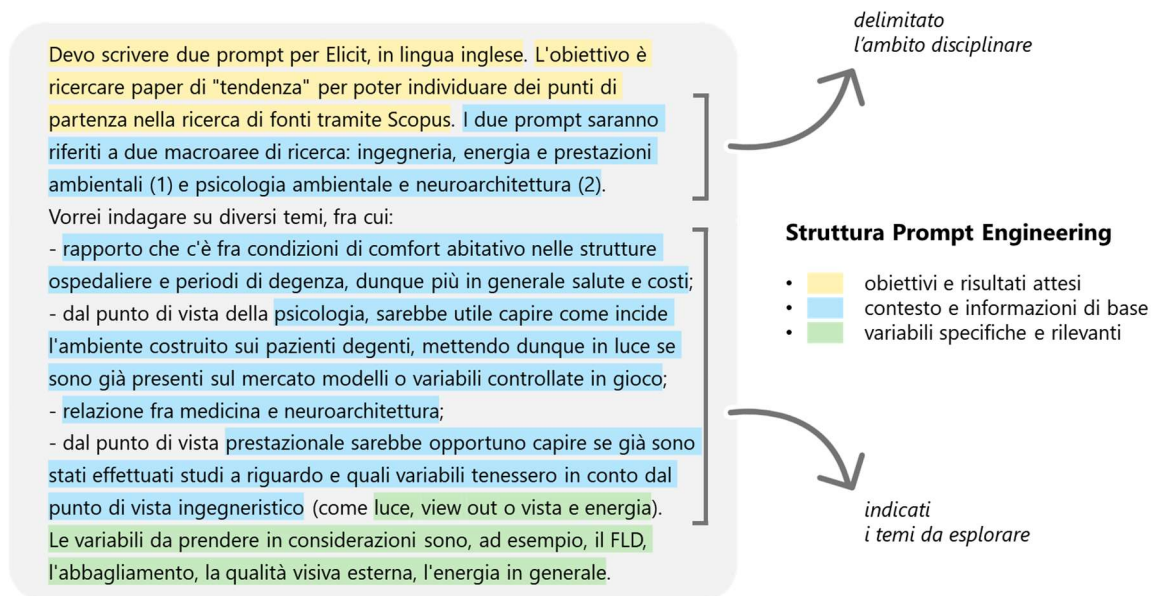


Figura 3: Struttura del processo di Prompt Engineering applicata alla definizione dell'input di ricerca, ChatGPT

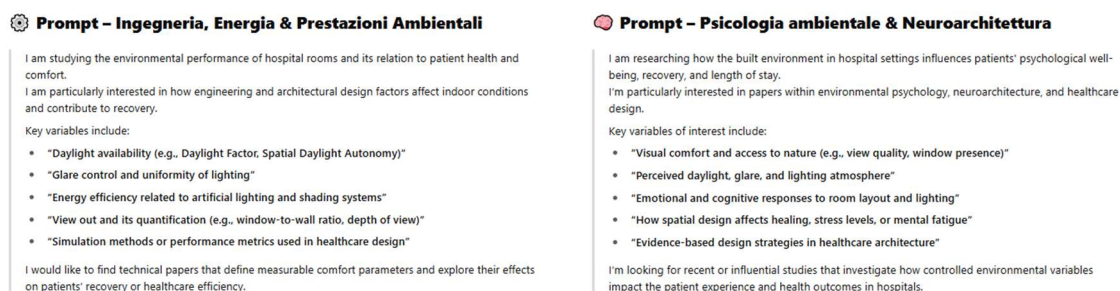


Figura 4: Output di ricerca, prompt da inserire in Elicit, ChatGPT

Una volta inseriti i prompt in Elicit, questo, in primo luogo, ha estratto i 50 papers più rilevanti nel dominio di ricerca indagato, per poi selezionarne 10, in funzione di specifici criteri di valutazione (come, ad esempio, qualità dei dati inclusi, parametri ambientali analizzati, definizione di indicatori di valutazione del risultato), che attribuiscono al paper ricercato un punteggio, il cui massimo è 5. Per una miglior comprensione del processo di valutazione utilizzato dalla piattaforma, viene riportato un esempio nella figura sottostante.

Paper	Screening recommendation
Study of the Relationship between Patients' Recovery and Indoor Daylight Environment of Patient Rooms in Healthcare Facilities Joona Choi, Liliana G. Belbin 2006, 9 citations ☐ Elicit search: Abstract only	Include A comprehensive study examining daylight's impact on patient recovery in permanent hospital settings, utilizing empirical measurements and statistical analysis of environmental parameters. The research quantitatively assessed hospitalization times across two locations, measuring daylight levels and their relationship to patient health outcomes in inpatient healthcare facilities. Rigorous methodology and clear quantifiable metrics demonstrate a robust approach to understanding environmental influences on patient recovery. Data Quality The study includes quantifiable metrics, specifically daylight levels and hospitalization times, which are objective, measurable outcomes rather than subjective assessments. Environmental Parameters The study explicitly measures daylight levels as an environmental parameter, and also mentions assessment of "physical, environmental and daylighting conditions." Facility Permanence The study was conducted in two permanent hospitals (one in Seoul and one in Bryan, Texas), which meets the criterion for facility permanence. Outcome Measures The study evaluates patient recovery time (hospitalization time) as a quantifiable health outcome metric, which is a clear healthcare efficiency indicator. Setting Type The study was conducted in general hospitals with patient rooms, which implies overnight patient stays. The mention of "patient rooms" and "hospital wards" strongly suggests these are inpatient facilities. Study Methodology The study uses empirical measurements of daylight levels and statistical analysis (SPSS) of physical and environmental conditions, which qualifies as an empirical study using physical measurements. Hide criteria evaluations ^

Figura 5: Esempio di processo di valutazione di un paper, Elicit

La validazione dello strumento, di natura euristica, si fonda sulla coerenza fra la qualità dei dati restituiti e le finalità dello studio.

Almeno in fase iniziale, i paper selezionati tramite Elicit sono stati utilizzati principalmente come dataset per l'estrazione di parole chiave da impiegare nella successiva ricerca in banche dati bibliografiche internazionali. Infatti, raccolti papers e i relativi abstract, questi sono stati forniti in input a YAKE! [4] (Yet Another Keyword Extractor), strumento di estrazione automatica di parole chiave che utilizza un approccio non supervisionato, basato su caratteristiche statistiche locali del testo. Affinché lo strumento restituisse risultati idonei, è stato definito il dominio di risposta, univoco per entrambi gli input inseriti, pari a 20 keywords composte da un massimo di 3 parole. In questo modo si è riusciti ad ottenere un insieme sufficientemente ampio di parole. Esplicitate le regole d'estrazione, i risultati ottenuti sono stati i seguenti:

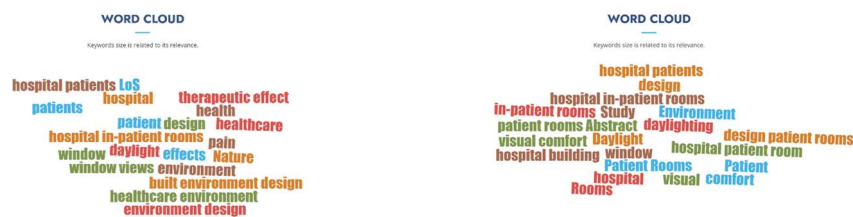


Figura 6: Output dello strumento di estrazione automatica keywords, YAKE!

Successivamente, sono stati riportati i due elenchi di parole chiave in Excel, così da poter elaborare i dati appena trovati. In funzione di ridondanza o non coerenza delle stesse nella ricerca che si sta effettuando, contemporaneamente alla definizione di sottocategorie (Luce, Vista, Energia/Ambiente in riferimento alla macrocategoria Ingegneria; Medicina clinica, Psicologia ambientale, Neuroarchitettura riferite ad Healthcare) che potessero identificare al meglio lo studio proposto, è stata elaborata la prima versione della matrice delle keywords (composta da 30 parole chiave), utilizzata successivamente come base per la creazione delle query utili alla ricerca nelle banche dati bibliografiche (Tabella 1).

Macrocategoria	Sottocategoria	Keyword
Ingegneria	Luce	daylight
		daylighting
		visual comfort
		visual
	Vista	window
		window views
		nature
	Energia / Ambiente	built environment design
		design
		environment
		environment design
Healthcare	Medicina clinica	hospital
		hospital in-patient rooms
		hospital patients
		hospital patient room
		patient rooms
		in-patient rooms
		rooms
		patient
		patients
		LoS
		pain
		health
	Psicologia ambientale	comfort
		therapeutic effect
		effects
	Neuroarchitettura	healthcare
		healthcare environment
		design patient rooms
		hospital building

Tabella 1: Prima versione della matrice delle keywords

Proseguendo all'interno del Framework pre-PRISMA 2020, si è entrati nel primo ciclo di iterazione utile al consolidamento della matrice delle keywords appena definita. Si è proceduto alla costruzione del primo set di query (*set query I*), ottenuto attraverso la combinazione in Excel delle keywords caratterizzanti la matrice di cui sopra con operatori booleani standard AND e OR. In primo luogo sono state combinate le parole chiave fra loro con OR, quando queste appartenevano alla stessa sottocategoria, e con AND, quando si volevano combinare keywords appartenenti a sottocategorie differenti (di seguito viene riportata la prima versione di matrice keywords contenente un esempio delle connessioni sopracitate; la versione integrale della tabella delle query con i relativi output qualitativi di ricerca viene riportata in *Appendice A – Tabella 1*, mentre uno spaccato della stessa viene riportato sotto).

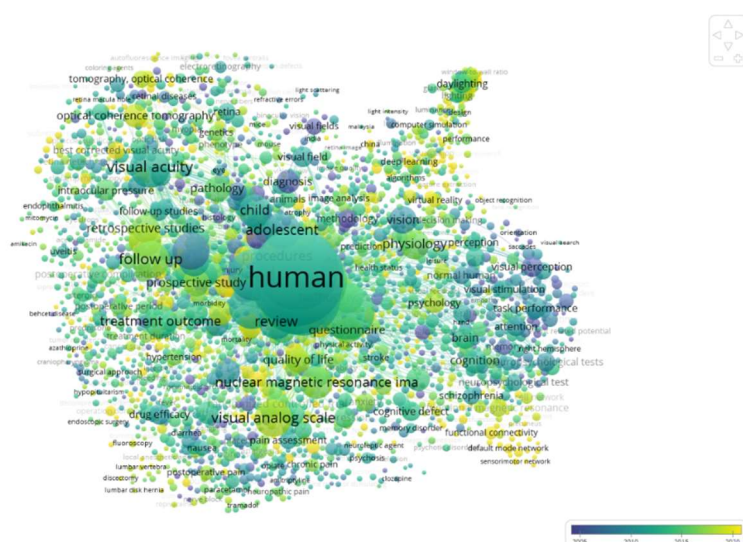
Macrocategoria	Sottocategoria	Keyword	
Ingegneria ↑ AND ↓ Healthcare	Luce	daylight	OR
		daylighting	OR
		visual comfort	OR
		visual	
	Vista	window	
		window views	
		nature	
	Energia / Ambiente	built environment design	
		design	
		environment	
		environment design	
	Medicina clinica	hospital	OR
		hospital in-patient rooms	OR
		hospital patients	OR
		hospital patient room	OR
		patient rooms	OR
		in-patient rooms	OR
		rooms	OR
		patient	OR
		patients	OR
		LoS	OR
		pain	OR
		health	OR
	Psicologia ambientale	comfort	
		therapeutic effect	
	Neuroarchitettura	effects	
		healthcare	
		healthcare environment	
		design patient rooms	
		hospital building	

Figura 7: Esempio di connessioni fra parole chiave in *set query I*

I. # query	sottocategorie	query text	# paper in uscita	file CSV
1	Luce + Medicina clinica	TITLE-ABS-KEY((daylight OR daylighting OR "visual comfort" OR visual) AND (hospital OR "hospital in-patient rooms" OR "hospital patients" OR "hospital patient room" OR patient OR patients OR "patient rooms" OR "in-patient rooms" OR rooms OR LoS OR pain OR health))	532946	-
query 1.I (Luce + Medicina clinica) sviluppata				
13	Luce + Vista + Medicina clinica	TITLE-ABS-KEY((daylight OR daylighting OR "visual comfort" OR visual) AND window OR "window views" OR nature AND (hospital OR "hospital in-patient rooms" OR "hospital patients" OR "hospital patient room" OR patient OR patients OR "patient rooms" OR "in-patient rooms" OR rooms OR LoS OR pain OR health))	13107	query #13.I
query 13.I impiegata per analisi qualitativa dei risultati ottenuti				

Figura 8: Spaccato della tabella contenente il *set query I*, con focus delle query 1.I (sopra) e 13.I (sotto)

Mettendo temporaneamente in standby l'elaborazione dei dati uscenti da Scopus, si è voluto effettuare una prima valutazione qualitativa dei risultati, così da orientare con maggiore chiarezza i passaggi successivi della ricerca. È stata selezionata, a tal fine, la query 13.I (Figura 9), relativa alle sottocategorie Luce, Vista e Medicina Clinica, che ha restituito 13.107 articoli, un volume ritenuto ampio ma al tempo stesso sufficientemente mirato rispetto all'obiettivo primario di indagine. Il motivo principale della selezione risiede nella natura delle sottocategorie coinvolte, che ricopre esattamente i temi oggetto dell'obiettivo di ricerca. Si è dunque fatto ricorso a VOSviewer [6], software dedicato all'analisi bibliometrica e alla visualizzazione di reti scientifiche. Questo rappresenta graficamente le co-occorrenze di keywords, permettendo di identificare cluster tematici, legami preponderanti o labili e, dunque, gap o tendenze di ricerca. Delle mappe generate, ogni nodo corrisponde a una keyword (di dimensione proporzionale alla propria frequenza), ogni legame rappresenta una co-occorrenza (di spessore proporzionale alla sua entità), mentre i colori indicano l'anno medio di pubblicazione (blu: temi consolidati; verde/giallo: temi emergenti). Di seguito viene riportata la mappa relativa alla query sopracitata con la sola applicazione del numero minimo di occorrenze, fissato pari a 20.



Come intuibile, la costruzione della mappa è stata preceduta da un'attenta fase di pulizia e normalizzazione delle keywords estratte da Scopus. Sono stati esclusi i termini non pertinenti all'obiettivo

di ricerca (patologie specifiche, riferimenti demografici troppo generici, parole strutturali o metodologiche prive di reale valore semantico). In parallelo, sono stati accorpati sinonimi e varianti lessicali in un'unica forma coerente. Queste operazioni hanno consentito di evitare la frammentazione artificiale delle occorrenze, producendo un dataset più uniforme e focalizzato, base per un'analisi bibliometrica solida e interpretabile. Ne è risultata una riduzione sostanziale del set di keywords: da 62.612 a 1.558 termini, unificati e coerenti con l'obiettivo di ricerca. Inoltre, al fine di isolare i concetti statisticamente significativi ed eliminare ulteriormente rumore, anche in questa fase è stato impostato in VOSviewer un numero minimo di occorrenze di parole chiave pari a 20. L'applicazione della soglia minima di 20 occorrenze ha ulteriormente ristretto il set a 36 keywords, rappresentative dei concetti più significativi per l'analisi bibliometrica. Di seguito viene riportata la tabella contenente le keywords definitive, uscenti dall'ultimo step del processo di pulizia, normalizzazione e filtering sopracitato (in grigio i termini rimossi), e l'output ottenuto con VOSviewer.

#	keywords pre-filtering finale	keywords post-filtering
1.	<i>anxiety</i>	anxiety
2.	<i>attention, attention deficit disorder, attention deficit disorder with hyperactivity, attention deficit hyperactivity disorder, attention disturbance, selective attention, visual attention</i>	attention
3.	<i>biophilic design</i>	biophilic design
4.	<i>building, building envelopes, built environment, in-building, intelligent building</i>	built environment
5.	<i>case control study, case-control studies</i>	case control study
6.	<i>circadian rhythm</i>	circadian rhythm
7.	<i>daylight, daylight autonomies, daylight availability, daylight design, daylight illuminance, daylight performance, daylight simulation</i>	daylight
8.	<i>daylight factor, daylight factors</i>	daylight factor
9.	<i>depression</i>	depression
-	<i>disease control</i>	-
-	<i>dorsal attention network</i>	-
10.	<i>energy consumption, energy efficiency, energy performance, energy saving, energy savings, energy use</i>	energy performance
11.	<i>fatigue</i>	fatigue
12.	<i>glare</i>	glare
13.	<i>healthcare</i>	healthcare
14.	<i>hospital, hospital admission, hospital discharge, teaching hospital, university hospital</i>	hospital
15.	<i>hospital design</i>	hospital design
16.	<i>hospital patient</i>	hospital patient
17.	<i>housing</i>	housing
18.	<i>illuminance</i>	illuminance
19.	<i>illumination</i>	illumination
20.	<i>indoor environmental quality</i>	indoor environmental quality
21.	<i>length of stay</i>	length of stay
22.	<i>luminance</i>	luminance

23.	<i>memory, memory consolidation, memory disorder, memory disorders, episodic memory, long term memory, semantic memory, short term memory, spatial memory, verbal memory, visual memory, working memory</i>	memory
24.	<i>mental health</i>	mental health
-	<i>motor control</i>	-
25.	<i>office building</i>	office building
26.	<i>pain</i>	pain
27.	<i>perception, perception deafness, perception disorder, auditory perception, color perception, depth perception, form perception, motion perception, movement perception, social perception, space perception, speech perception, time perception, visual perception</i>	perception
28.	<i>prevention and control</i>	prevention and control
-	<i>quality control</i>	-
29.	<i>residential building</i>	residential building
30.	<i>shading, shading devices</i>	shading
31.	<i>stress</i>	stress
32.	<i>thermal comfort</i>	thermal comfort
33.	<i>thermal insulation</i>	thermal insulation
34.	<i>useful daylight illuminance</i>	useful daylight illuminance
35.	<i>visual comfort</i>	visual comfort
36.	<i>well being, well-being, wellbeing</i>	well-being

Tabella 2: Keywords definitive uscenti dall'ultimo step del processo di pulizia, normalizzazione e filtering proposto

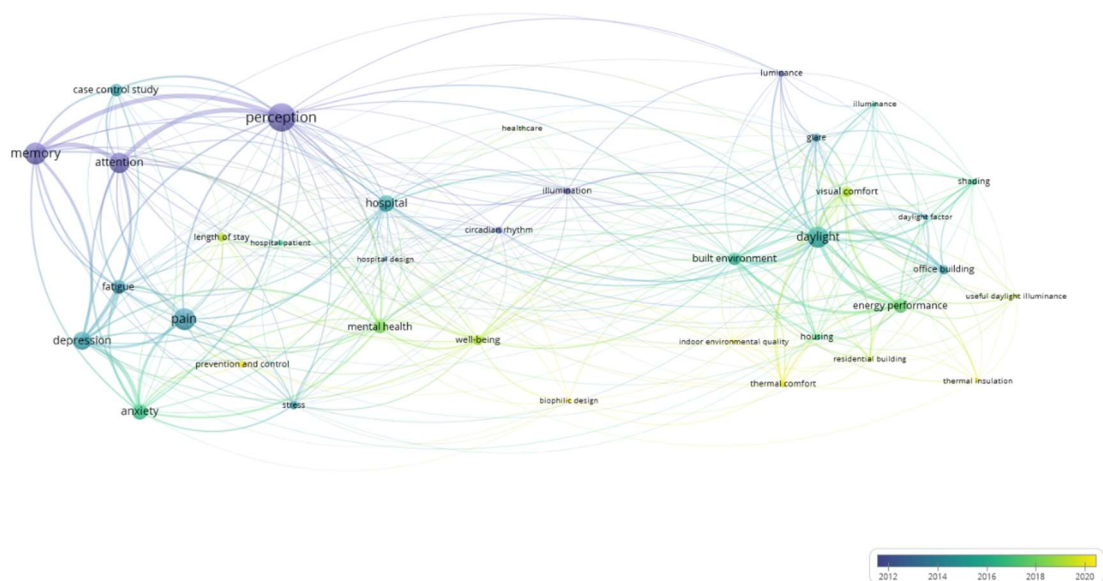


Figura 10: Mappa bibliografica di co-occorrenza (post-filtering) delle parole chiave uscenti dalla query 13.1 (Scopus), VOSviewer

La mappa risultante (Figura 10) evidenzia dunque tre cluster (aree tematiche) principali:

- Psico-clinico (sinistra): attorno a perception, memory, attention e connesso a pain, anxiety, depression, fatigue. È il nucleo teorico consolidato, base interpretativa degli effetti ambientali sugli individui.

- Ospedaliero (centro): incentrato su hospital, collegato a hospital design, healthcare, mental health e well-being. In quest'area compare length of stay, fortemente connesso a hospital ma con legami deboli verso l'area ingegneristica, evidenza di una relazione avviata ma non ancora strutturata fra qualità dello spazio e outcome clinici.
- Ingegneristico-ambientale (destra): organizzato attorno a daylight e al sottocluster visual comfort – glare – luminance, con estensioni verso energy performance, thermal comfort, built environment e office building. È il più recente e in crescita in termini di pubblicazione.

L'analisi delle relazioni preponderanti e di quelle labili è il vero valore aggiunto di questa fase. Il legame daylight–office building (Figura 11) è chiaramente il più solido. Esprime un filone consolidato che ha indagato a fondo l'influenza della luce naturale su comfort e produttività negli ambienti di lavoro. Al contrario, il collegamento daylight–hospital (Figura 12) (e ancor più daylight–length of stay, Figura 13) appare molto più debole. Questo non rappresenta una limitazione della mappa, bensì un'informazione strategica: suggerisce che la traslazione delle conoscenze maturate negli spazi terziari verso il contesto ospedaliero sia appena agli inizi, evidenziando un gap tuttora presente nella letteratura.

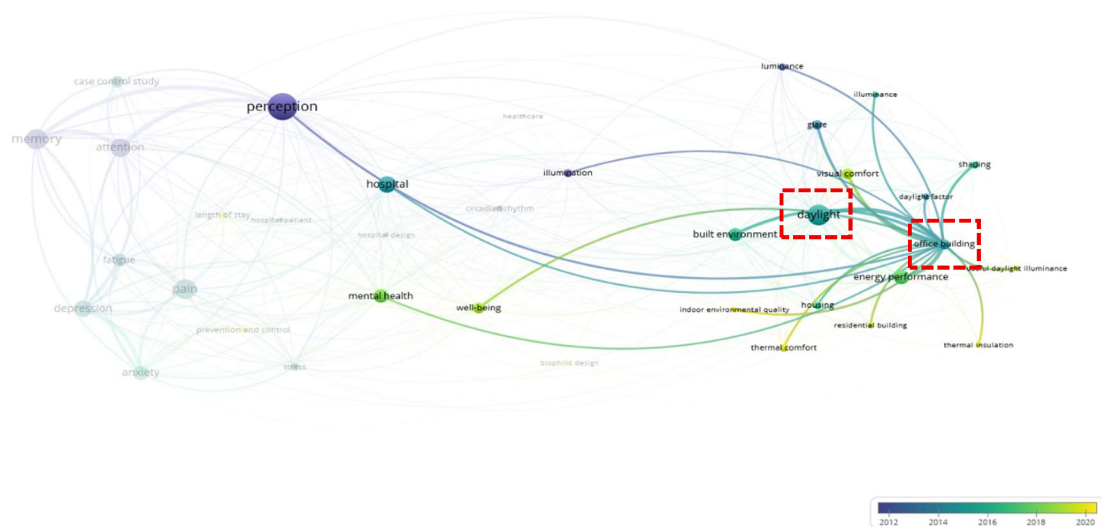


Figura 11: Preponderanza nel legame fra daylight e office building (Scopus), VOSviewer

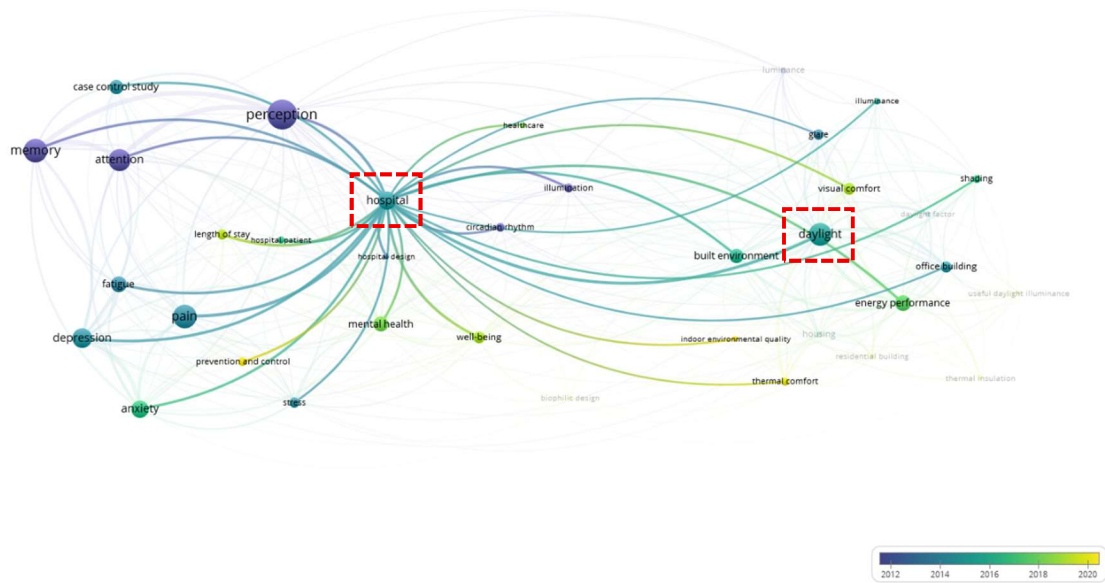


Figura 12: Labilità nel legame fra daylight e hospital (Scopus), VOSviewer

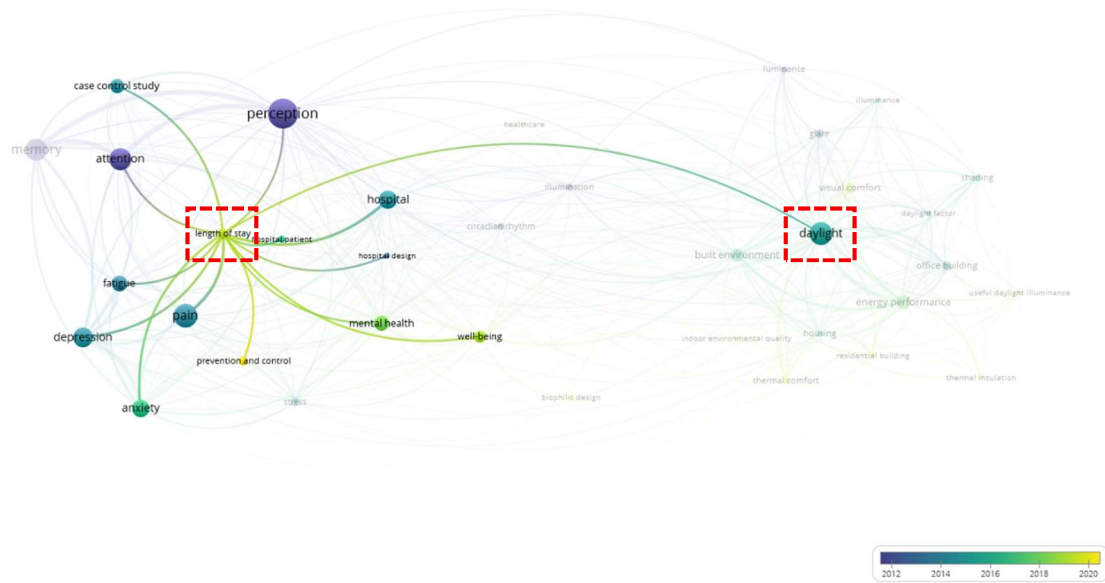


Figura 13: Labilità nel legame fra daylight e length of stay (Scopus), VOSviewer

Proseguendo, visual comfort (Figura 14) emerge come concetto ponte, essendo connesso sia a daylight sia a hospital e healthcare (seppur ancora debolmente). Costituisce un segnale di come conoscenze maturate in contesti terziari stiano progressivamente traslando verso l'ambito sanitario.

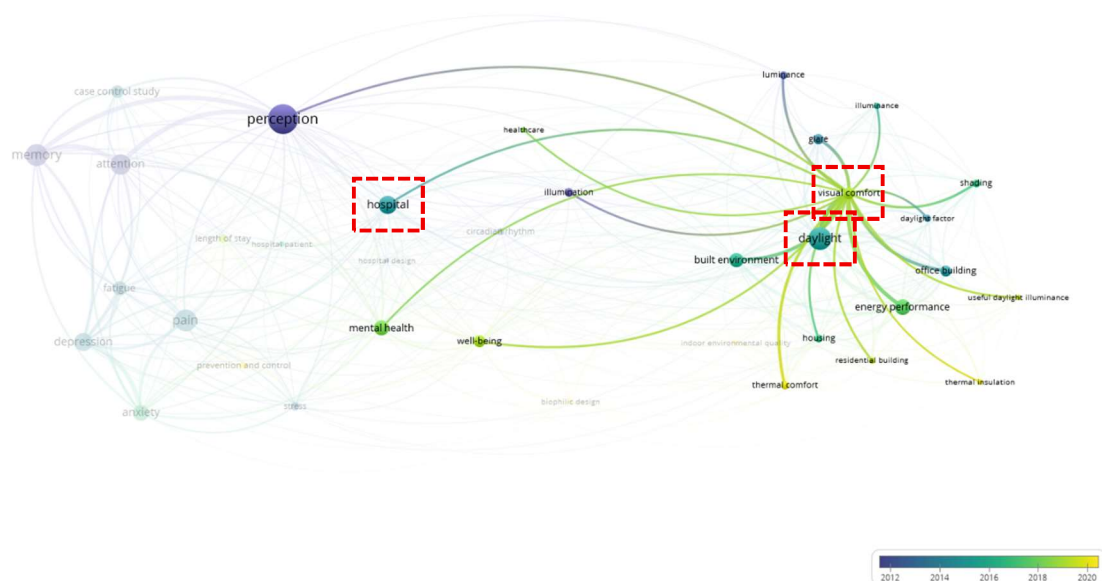


Figura 14: Visual comfort come concetto ponte fra ingegneria e ambito clinico (Scopus), VOSviewer

Anche circadian rhythm, illumination e well-being uniscono trasversalmente i cluster, rafforzando l'idea di un campo in espansione che mette in relazione ingegneria, architettura e outcome psicologici/clinici. La distribuzione temporale conferma questa lettura: i temi clinici sono radicati da tempo; daylighting e prestazioni ambientali si stanno consolidando negli ultimi anni, segno di un interesse scientifico in rapida espansione.

Questa prima analisi qualitativa permette di fotografare il panorama attuale: da un lato cluster consolidati, dall'altro connessioni fragili, come quella tra daylight e length of stay, che delineano veri e propri margini di sviluppo della letteratura. È proprio in questo spazio che vuole inserirsi la ricerca proposta, che ha l'obiettivo di chiarire se e come le caratteristiche dell'involucro ospedaliero, in particolare luce naturale, comfort visivo e qualità ambientale, possano incidere sulla durata della degenza e sul benessere dei pazienti ricoverati. Per rafforzare la validità dei risultati, la stessa analisi è stata replicata su PubMed [7] (una delle principali piattaforme internazionali di riferimento per la letteratura biomedica e clinica), così da distinguere se la debolezza di alcuni legami sia dovuta a limiti di copertura della banca dati o a un effettivo gap nello stato dell'arte (Figura 15).

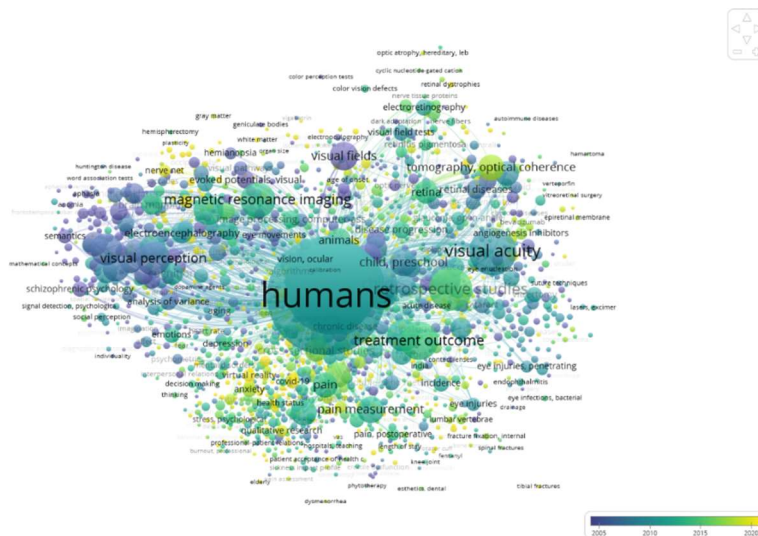


Figura 15: Mappa bibliografica di co-occorrenza (pre-filtering) delle parole chiave uscenti dalla query 13.1 (PubMed), VOSviewer

L'analisi dei risultati ottenuti tramite PubMed, preceduta anch'essa dal lavoro di pulizia, normalizzazione e filtering delle parole chiave, ha validato e rafforzato i risultati ottenuti dalla precedente ricerca su Scopus. Per quest'analisi è stato scelto di impostare un numero di occorrenze minime fra parole chiave pari a 5 (visto il dataset ridotto, soprattutto dal punto di vista ingegneristico) e di cercare di mantenere coerenza, dove possibile, con le regole di filtraggio viste precedentemente. I collegamenti che vedono coinvolto daylight (Figura 16), in particolare quelli con hospital e length of stay, risultano presenti ma estremamente labili: archi sottili e tendenti al giallo testimoniano un interesse recente e ancora poco strutturato.

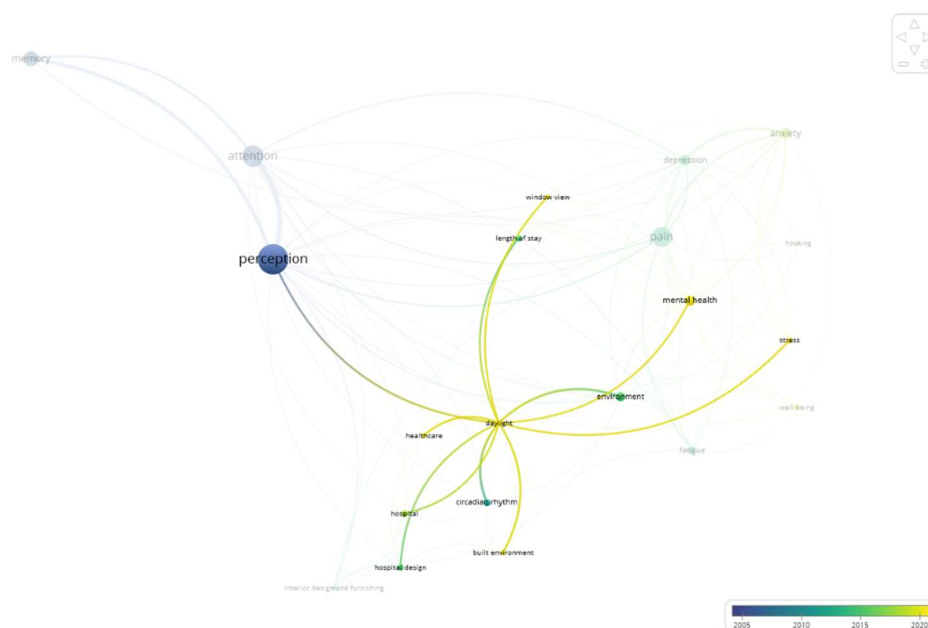


Figura 16: Analisi delle connessioni fra daylight e ambito clinico (PubMed), VOSviewer

A questi si aggiunge un ulteriore legame fragile tra length of stay e window view (Figura 17) (possibile discrepanza terminologica, vista la stretta correlazione con visual comfort, qui non presente), anch'esso giovane e limitato, ma indicativo di una direzione di ricerca avviata seppur ancora agli albori.

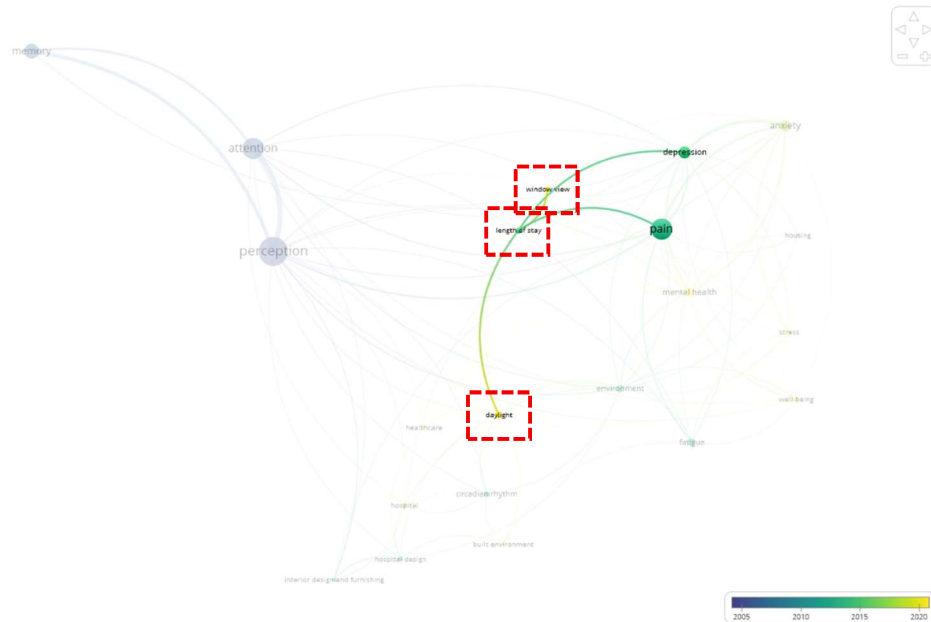


Figura 17: Labilità nel legame fra length of stay e daylight/window view (PubMed), VOSviewer

Nel complesso, la mappa ottenuta dalla ricerca su PubMed conferma il gap all'interno della letteratura, scientifica e clinica, e dunque l'ipotesi già avanzata: il trasferimento delle conoscenze maturate negli spazi terziari verso il contesto ospedaliero è avviato, ma rimane un campo emergente, caratterizzato da connessioni deboli e frammentate.

Terminata l'analisi qualitativa della ricerca appena descritta, è stato ripreso il lavoro di elaborazione dati uscenti da Scopus relativi al set query I. Gli output di ricerca relativi alle query che hanno restituito risultati fra 5 e 150 papers sono stati elaborati con l'ausilio di Orange [8], piattaforma open source per data mining e machine learning, che utilizza un approccio di programmazione visuale (visual programming) in cui il flusso di lavoro è definito collegando graficamente moduli funzionali (widget). Come visibile in Figura 18, l'algoritmo impiegato è stato concepito al fine di estrarre nuove keywords dai file CSV che rispondevano alle regole di cui sopra.

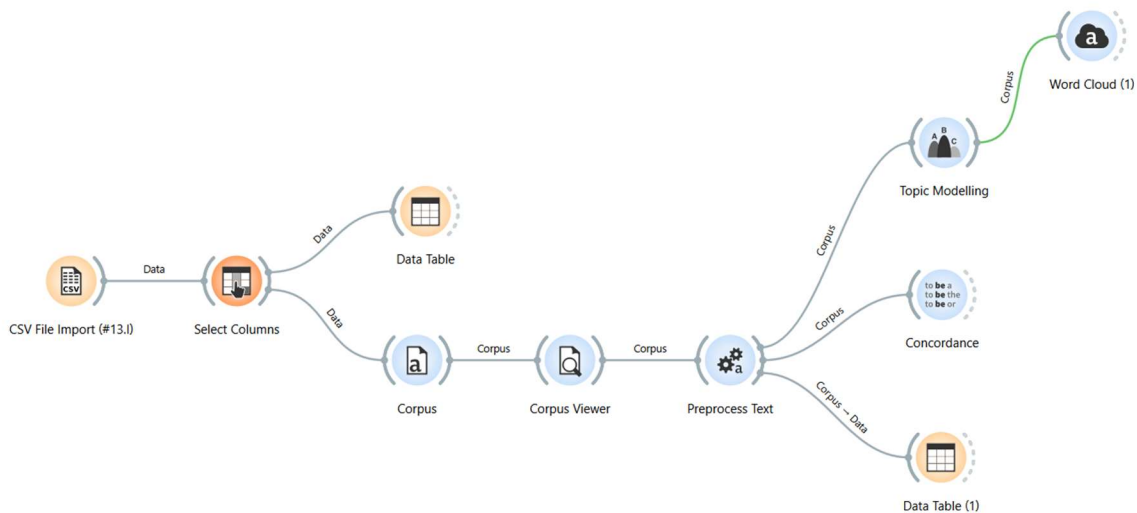


Figura 18: Algoritmo utile all'estrazione di nuove keywords, Orange

Dopo l'importazione del file CSV, i campi di interesse (titoli, abstract, keywords) sono stati selezionati e organizzati in un corpus linguistico. Quest'ultimo è stato sottoposto a una fase di pre-processing, che comprende operazioni di pulizia come, ad esempio, la rimozione delle stopwords, al fine di ottenere un dataset pronto per l'analisi semantica. Tra i moduli più rilevanti figura la funzione Topic Modelling, con la quale sono stati individuati i temi latenti presenti nei documenti. Attraverso algoritmi probabilistici (come ad esempio LDA, Latent Dirichlet Allocation), ogni testo viene descritto come combinazione di argomenti, e ciascun argomento come insieme di parole chiave connesso da pesi di probabilità. In tal modo, non solo si è ottenuto un quadro dei cluster semantici principali, ma è stata favorita anche l'emersione di nuove keywords non immediatamente riconoscibili con le sole frequenze lessicali.

Quest'attività è coincisa con la fine del primo ciclo iterativo. Qualora la funzione Topic Modelling avesse restituito un output efficace ed accettabile, i dati ottenuti da questa (elaborati con Excel e combinati con le parole chiave costituenti la prima versione della matrice delle keywords), parallelamente all'implementazione di nuove sottocategorie, avrebbero costituito le informazioni della matrice delle keywords definitiva. In questo caso, invece, si è reso necessario rieseguire il ciclo di iterazione appena descritto (solo le query 16.I e 20.I hanno restituito un numero di articoli compreso fra 5 e 150).

Macrocategoria	Sottocategoria	Keyword
Ingegneria	Luce	daylight OR
		daylighting OR
		visual comfort OR
		visual
	Vista	window
		window views
		nature
	Energia / Ambiente	built environment design
		design
		environment
Healthcare	Medicina clinica	environment design
		hospital AND
		hospital in-patient rooms
		hospital-patients OR
		hospital patient room
		patient rooms OR
		in-patient rooms OR
		rooms AND
		patient OR
		patients AND
		LoS OR
		pain OR
	Psicologia ambientale	health
		comfort
		therapeutic effect
	Neuroarchitettura	effects
		healthcare
		healthcare environment
		design patient rooms
		hospital building

Figura 19: Esempio di connessioni fra parole chiave in set query I.I

Allestito dunque il set query I.I con l'obiettivo di ottenere un numero di articoli più contenuto ma comunque sostanziale (esempio di connessioni booleane adottate riportato in Figura 19; versione integrale riportata in *Appendice A – Tabella 2*), è stato rieseguito il ciclo iterativo precedentemente descritto, arrivando dunque alla convergenza di dati ricercata.

Topic Modelling	Wed May 07 25, 11:27:58
Latent Dirichlet Allocation	
Number of topics: 6	
Topics	
1: particularly effective effective reducing, comfort assessment, visual, sda, overall performance, exposure ase ase spatial, window, rooms glazing, four simulations, grasshopper simulation 2: visual, window, angle, determine percentage, round daylight, comfort assessment, room orientation orientation patients, non visual visual hospitals, maintaining, artificial light light natural 3: comfort optimal, four simulations, particularly effective effective reducing, simulation, overall performance, exposure ase ase spatial, overall performance performance author, buildings daylighting, due high, sda 4: particularly effective effective reducing, window glazing, good performance, glare show show glazing, exposure ase ase spatial, overall performance, comfort assessment, daylight, good, typically 5: daylighting healthcare healthcare patient, particularly effective effective reducing, room design design outboard, typically, comfort assessment, simulation, grasshopper simulation, buildings daylighting, directions, artificial light light natural 6: exposure ase ase spatial, sda, artificial light light natural, hospitals, comfort assessment, grasshopper simulation, comfort optimal, four simulations, façade wwr wwr best, objective objective objective examine	

Topic Modelling
Latent Dirichlet Allocation
Number of topics: 6
Topics
1: particularly effective effective reducing, comfort assessment, visual 2: visual, window, angle, determine percentage, round daylight, comfort 3: comfort optimal, four simulations, particularly effective effective reducing, simulation, overall performance, exposure ase ase spatial, overall performance performance author, buildings daylighting, due high, sda

Figura 20: Focus sulla finestra di dialogo della funzione Topic Modelling, Orange

Dopo l'estrazione tramite Topic Modelling delle parole chiave (esempio riportato in Figura 20) (numero di topic pari a sei per ciascuna query candidabile – 1.I.I, 3.I.I, 7.I.I, 9.I.I, 13.I.I, 15.I.I), queste sono state sottoposte in Excel ad un processo di filtering e normalizzazione articolato in più fasi (esemplificato testualmente sotto e riportato in formato tabellare in *Appendice C*):

- unificazione dei termini: le keywords generate per ciascuna query sono state ordinate alfabeticamente e i duplicati eliminati, mantenendo solo i termini univoci. I termini da verificare sono stati marcati in viola scuro.
- screening manuale: correzione di parole mal gestite dal software, ad esempio segmentazioni errate (exposure ase ase spatial ridotto ad ase). Tali casi sono stati riclassificati in viola chiaro.
- esclusione non pertinenti: rimozione di keywords troppo generiche o estranee al dominio (particularly effective effective reducing), evidenziate in rosso.
- confronto con la prima versione della matrice delle keywords: eliminazione delle ridondanze (o dei termini non pertinenti) rispetto alle keywords già esistenti.
- normalizzazione: uniformazione lessicale manuale e tramite l'operatore di truncation ("*"), ad esempio hospital che diventa hospital* per includere anche hospitals e hospital building. I termini così trattati sono stati contrassegnati in blu.
- riassegnazione finale: le keywords accettate sono state distribuite nelle sottocategorie già definite; per alcuni termini è stato ritenuto opportuno introdurre la nuova categoria Strumenti/Simulazioni.

Il processo ha dunque portato alla redazione della matrice delle keywords definitiva (Tabella 3, pagina successiva), che comprende 68 parole chiave complessive (38 in più rispetto alla matrice iniziale), costituendo un insieme aggiornato e validato di keywords da utilizzare negli step successivi della ricerca.

Macrocategoria	Sottocategoria	Keyword
Ingegneria	Luce	artificial light, visual comfort, daylight*, natural light*, sun breaker*
	Vista	background natural, configuration window, cut angles, nature, tilt angle, window, window influences, window light, window views
	Energia / Ambiente	buildings, built environment design, consumption, consumption building, design strategies, energy consumption, environment, environment design, physical environment, wwr, design*
	Strumenti / Simulazioni	ase, design parameters, design specifications, diva, diva plug, glare, grasshopper simulation, illuminance distribution, incident solar, parametric simulation, sda, simulation, solar penetration, solar radiance, sunlight combination
Healthcare	Medicina clinica	health, hospital in-patient rooms, inpatient, LoS, recovery, rehabilitation, hospital*, hospital patient*, patient*, *patient rooms, room*
	Psicologia ambientale	biophilia, biophilic design, comfort, comfort assessment, effects, health recovery, positive experience, therapeutic effect
	Neuroarchitettura	design patient rooms, health care, healthcare, healthcare environment, patients environment, patients orientation, room orientation, views recovery, room design*

Tabella 3: Matrice delle keywords definitiva

2.1.1.2 Selezione della query utile per Identification

Consolidata la versione definitiva della matrice delle keywords, si è proceduto alla selezione di una query univoca da utilizzare nella fase di Identification di PRISMA 2020. Per farlo è stato allestito un secondo set di query, derivante anch'esso da un processo iterato di ricerca (secondo ciclo di iterazione), e sono stati definiti criteri di selezione formalizzati che hanno reso la scelta della query finale un passaggio trasparente e ripetibile.

In merito al secondo ciclo di iterazione, questo, almeno in una prima fase, è stato sviluppato attraverso le stesse operazioni caratterizzanti il primo (definizione del set query II mediante combinazioni delle

parole chiave attraverso operatori booleani semplici, ricerca su Scopus ed esportazione, ove possibile, dei risultati in formato .csv).

A differenza del primo ciclo, dopo aver proceduto all'archiviazione dei file CSV con meno di 20.000 articoli, si è scelto di ripetere il processo per tre volte consecutive (versione integrale delle tabelle contenenti i set query II.X vengono riportate in *Appendice B*). Tale iterazione ha consentito sia di verificare la stabilità degli output rispetto alle combinazioni booleane impiegate, sia di comprendere se queste ultime rappresentassero la configurazione più efficace per la ricerca (in termini di risposta numerica).

Al fine di convergere progressivamente verso un singolo file CSV, utile a completare l'analisi qualitativa dello stato dell'arte, sono state stabilite regole di selezione a monte. In particolare, la selezione è stata guidata da tre criteri principali:

- orientare la convergenza verso un numero di articoli prossimo a 50 (compreso fra 25 e 75), ritenuto un valore soglia adeguato a garantire una rete significativa senza dispersione eccessiva;
- privilegiare i file che, conformemente a quanto esplicitato nel primo criterio, coinvolgono il maggior numero di sottocategorie, così da mantenere un buon equilibrio fra specificità e ampiezza tematica;
- privilegiare i file che, conformemente a quanto esplicitato nel primo e nel secondo criterio, appartengono al livello di query più avanzato (gerarchia: II.II, II.I, II).

Come riportato in Tabella 4, i risultati numerici delle diverse query sono stati visualizzati e confrontati mediante formattazione condizionale in Excel, con colori assegnati alle celle per rappresentare in maniera intuitiva le regole di selezione. La legenda associata permette di comprendere le scelte adottate e il processo decisionale che ha portato all'individuazione del file da analizzare con VOSviewer.

ID	Sottocategorie coinvolte	# paper in uscita da		
		query II	query II.I	query II.II
1	Luce + Medicina clinica	7669	3	49
2	Luce + Psicologia ambientale	17268	1	6
3	Luce + Neuroarchitettura	459	-	3
4	Vista + Medicina clinica	436097	6	205
5	Vista + Psicologia ambientale	580010	2	11
6	Vista + Neuroarchitettura	59398	2	14
7	Energia / Ambiente + Medicina clinica	3172041	298	8738

8	Energia / Ambiente + Psicologia ambientale	3686139	-	12
9	Energia / Ambiente + Neuroarchitettura	567689	3	99
10	Strumenti / Simulazioni + Medicina clinica	375602	-	20
11	Strumenti / Simulazioni + Psicologia ambientale	1310093	-	26
12	Strumenti / Simulazioni + Neuroarchitettura	41927	-	3
13	Luce + Vista + Medicina clinica	1430	-	3
14	Luce + Vista + Psicologia ambientale	2453	-	2
15	Luce + Vista + Neuroarchitettura	101	-	3
16	Luce + Vista + Medicina clinica + Psicologia ambientale + Neuroarchitettura	59	-	1
17	Luce + Vista + Energia / Ambiente + Medicina clinica	1219	-	3
18	Luce + Vista + Energia / Ambiente + Psicologia ambientale	2043	-	2
19	Luce + Vista + Energia / Ambiente + Neuroarchitettura	96	-	3
20	Luce + Vista + Energia / Ambiente + Medicina clinica + Psicologia ambientale + Neuroarchitettura	59	-	1
21	Luce + Vista + Energia / Ambiente + Strumenti / Simulazioni + Medicina clinica	554	-	2
22	Luce + Vista + Energia / Ambiente + Strumenti / Simulazioni + Psicologia ambientale	1031	-	4
23	Luce + Vista + Energia / Ambiente + Strumenti / Simulazioni + Neuroarchitettura	29	-	2
24	Luce + Vista + Energia / Ambiente + Strumenti / Simulazioni + Medicina clinica + Psicologia ambientale + Neuroarchitettura	19	-	-



Tabella 4: Risultati delle query ottenute dalla combinazione delle sottocategorie esplicitate

È stata quindi selezionata la query 20.II, che ha restituito 59 pubblicazioni successivamente avviate al processo di revisione secondo le linee guida PRISMA 2020.

2.1.1.3 Validazione qualitativa del metodo

Selezionato il file CSV coerente con i criteri di selezione precedentemente esposti, si è proceduto alla validazione qualitativa del metodo proposto attraverso un'analisi dei risultati ottenuti, utilizzando nuovamente VOSviewer (Figura 21). L'analisi di co-occorrenza condotta sulla query selezionata tramite il Framework pre-PRISMA 2020 (query 20.II) non costituisce una validazione statistica in senso stretto, ma fornisce un riscontro qualitativo indipendente della coerenza del metodo proposto e della sua capacità di isolare il nucleo rilevante della letteratura.

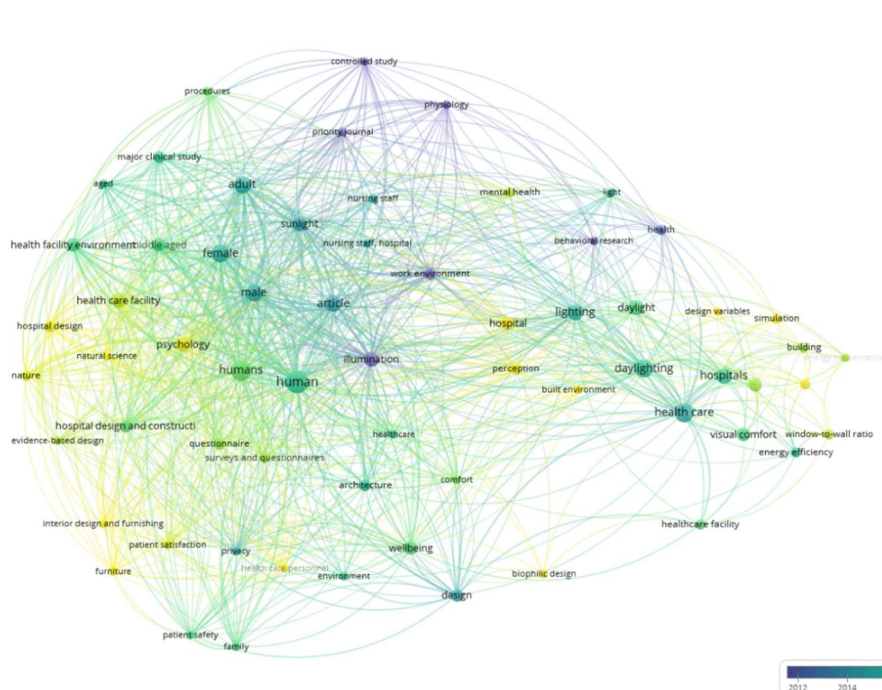


Figura 21: Mappa bibliografica di co-occorrenza (pre-filtering) delle parole chiave uscenti dalla query 20.II (Scopus), VOSviewer

Anche in questo caso si è reso necessario applicare un processo di pulizia, filtraggio e normalizzazione delle parole chiave caratterizzanti la query in esame, secondo regole del tutto analoghe a quelle descritte in precedenza.

È stata osservata una riduzione contenuta del set di keywords, da 712 a 613 termini, mantenendo la coerenza con l'obiettivo di ricerca. Inoltre, in questa fase è stato impostato in VOSviewer un numero minimo di occorrenze di parole chiave pari a 3, scelto come compromesso fra riduzione del rumore e mantenimento della varietà lessicale. L'applicazione della soglia minima di 3 occorrenze ha ulteriormente ristretto il set a 41 keywords, le cui relazioni di co-occorrenza e i cluster tematici risultanti sono rappresentati in Figura 22.

La proiezione centrata sul nodo hospital (Figura 23) rende più leggibili i legami che connettono la dimensione clinica a quella progettuale. Le connessioni relativamente recenti (tonalità verde–giallo nella mappa temporale) con hospital design, well-being, design variables e psychology confermano un interesse crescente per lo studio delle scelte di layout e di involucro come componenti che concorrono alla qualità percepita delle cure e al benessere del personale. La connessione con nature suggerisce inoltre che il tema della vista verso l'esterno e dell'integrazione con elementi naturali negli ambienti di degenza stia diventando un oggetto di ricerca sempre più centrale.

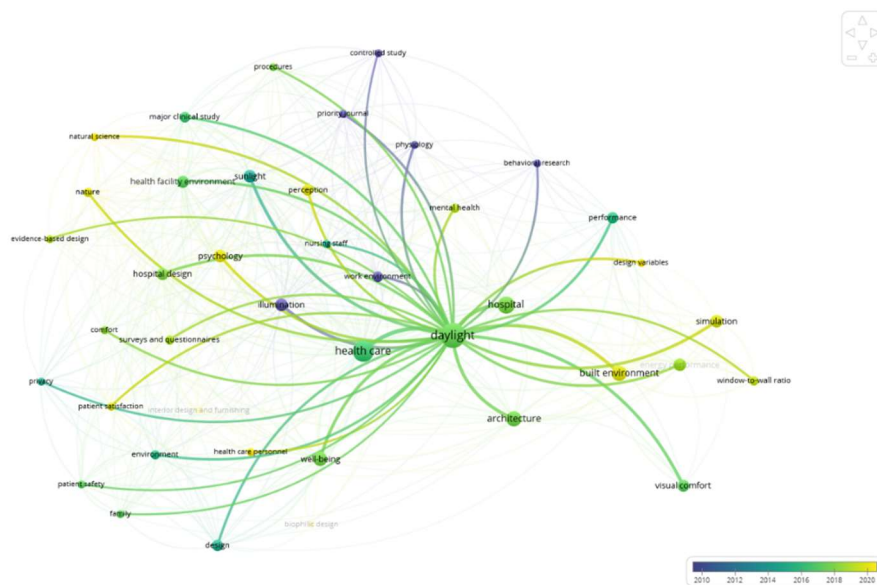


Figura 24: Daylight come concetto ponte tra salute, architettura e ingegneria

La mappa centrata su daylight (Figura 24) conferma il ruolo della luce naturale come concetto ponte. Il nodo collega direttamente health care e hospital con il dominio ingegneristico-ambientale (architecture, built environment, simulation, energy performance, visual comfort). La prevalenza del colore verde in queste connessioni, associato a anni di pubblicazione recenti, segnala un tema in fase di consolidamento: la luce naturale non è più solo oggetto di studi percettivi o medici puntuali, ma parametro condiviso da discipline diverse, suscettibile di essere simulato e ottimizzato in chiave prestazionale. Rispetto alla prima analisi qualitativa, dove i legami daylight–hospital e soprattutto daylight–length of stay risultavano fragili, la nuova rete mostra un chiaro avvicinamento del contesto ospedaliero al nucleo degli studi sul daylighting, pur senza un collegamento ancora sistematico con gli esiti clinici di degenza.

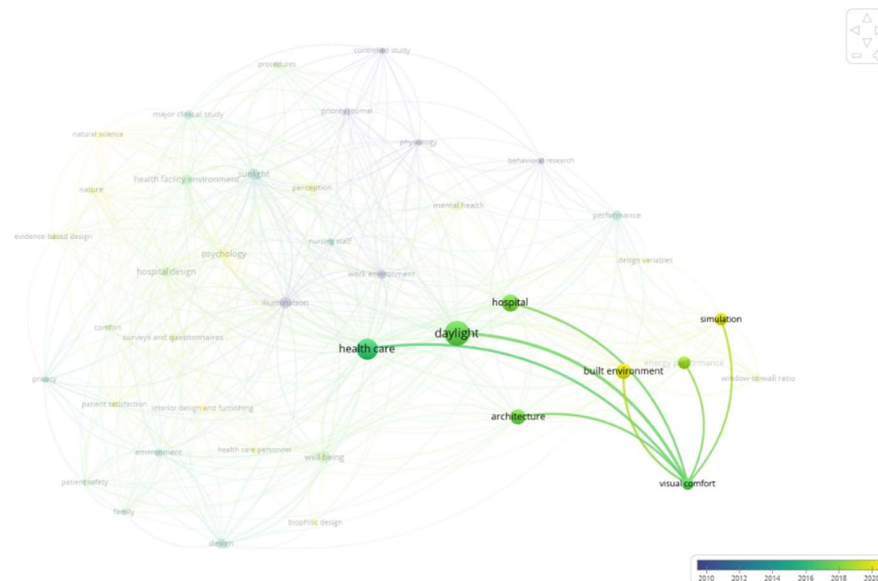


Figura 25: Dettaglio delle connessioni del nodo visual comfort, che evidenziano un tema emergente ma ancora marginale nel contesto ospedaliero

Infine, la rete dei legami di visual comfort (Figura 25) mette in evidenza un tema emergente ma ancora marginale. Il nodo è connesso a daylight, hospital, health care e built environment, posizionandosi all'intersezione tra ambito sanitario e progettazione ambientale. Il numero più contenuto di connessioni e la prevalenza di tonalità verde-gialle indicano tuttavia un campo di ricerca in via di sviluppo: il comfort visivo in ospedale è riconosciuto come rilevante, ma indagato solo in una parte degli studi e raramente associato a outcome clinici strutturati.

Un elemento altrettanto significativo è ciò che non compare nella mappa: il termine length of stay, pur presente tra le parole chiave della matrice delle keywords definitiva, non raggiunge la soglia minima di occorrenze (≥ 3) e viene quindi escluso dalla visualizzazione. Questa assenza non è un artefatto del processo di filtraggio, ma una conferma del quadro già emerso nelle analisi precedenti su Scopus e PubMed: il nesso fra durata della degenza e caratteristiche ambientali degli spazi, in particolare esposizione alla luce naturale e comfort visivo, rimane poco esplorato e metodologicamente frammentato. Il gap ipotizzato inizialmente si configura quindi come un vuoto di ricerca robusto e attuale.

Nel complesso, la convergenza fra la prima analisi qualitativa su Scopus e PubMed e la mappa costruita a partire dalla query selezionata con il Framework pre-PRISMA 2020 costituisce una triangolazione di evidenze a supporto del metodo proposto. L'analisi condotta con VOSviewer svolge quindi il ruolo di validazione qualitativa del Framework: non solo descrive lo stato dell'arte, ma mostra che la procedura di selezione della query produce un sottoinsieme di letteratura semanticamente coerente, centrato sui temi cardine della ricerca e capace di far emergere in modo chiaro il gap ancora aperto relativo alla relazione fra caratteristiche dell'involucro e durata della degenza in strutture ospedaliere.

2.1.2 Fase 1: Identification (PRISMA 2020)

La fase Identification è caratterizzata dal processo di deduplicazione iniziale applicato alla raccolta dei record (pubblicazioni) individuati nella Fase 0. Più precisamente, la Fase 1 è stata alimentata da due canali: l'output del Framework pre-PRISMA 2020 su Scopus (59 pubblicazioni), e una ricerca di controllo su PubMed condotta all'avvio di questa fase (20 pubblicazioni). I record sono stati inseriti nella matrice PRISMA e strutturati per: "ID", "Primo autore", "Anno", "Titolo esteso", "Tipologia fonte", "# citazioni" (se disponibile), "Duplicato", "Full text".

Di seguito (Figura 26) viene riportato un estratto della matrice PRISMA relativo alla fase Identification (la versione integrale della stessa viene riportata in *Appendice D*).

IDENTIFICAZIONE							DEDUP		P I C O (PRISMA-compliant)										METODO		VARIABILI ANALITICHE					RISULTATI					
#	Primo autore	Anno	Titolo	Tipologia fonte	# citazioni	Duplicato	Full text	Tipologia edificio	Trasferimento Ospedale *	P (Population)	Ospedale	I (Intervention)	Daylight	I (Intervention)	View out	O (Outcome)	Edil clinic	O (Outcome)	LoS	Decisione preliminare	Simulazioni	Questionario pazienti	Metriche illuminotecniche	WWR	Schermature	Biophilic design	Circadian rhythm	Decisione finale	Motivo d'esclusione	Gerarchia	
1	Zhu L.	2025	A Design-Driven Approach Exploring Therapeutic Building-Nature Integration Strategies in Healthcare	Articolo	0	NO	SI	Osp	-->	x	x	x	x	x	x	-->							x		x	x			IN	-	0.63
2	Liu Y.	2025	Surrogate-based approach of predicting and optimising building performance by integrating daylighting, thermal comfort, and costs - A case study of community care homes	Articolo	2	NO	SI	Res	NO			x									OUT								-	non ospedaliero e non trasferibile	-
3	Hussein M.	2025	Perspectives of Families and Healthcare Staff on the Design of Inpatient Hospital Rooms in Saudi Arabia	Articolo	0	NO	SI	Osp	-->	x	x	x	x	x	x	-->						x							OUT	nessuna evidenza tecnica	-
4	El Jaddaoui I.	2025	Spatial and Daylight Exposure Effects on the Patient Room Microbiome in a Clinical Setting	Conference Paper	0	NO	NO		NO												OUT								-	nessuna evidenza tecnica	-
5	Babalola O.D.	2025	Sustainable Healthcare Environments: The Implications of Healing Architectural Design in Women's Hospitals in Lagos	Conference paper	1	NO	SI	Osp	-->	x	x	x	x	x	x	-->						x							OUT	nessuna evidenza tecnica	-

Figura 26: Estratto della matrice PRISMA con focus relativo alla fase Identification

Le regole di compilazione utilizzate sono le seguenti:

- La colonna relativa alla deduplicazione ("Duplicato") è automatizzata: un record è marcato "SI" se esiste una combinazione ripetuta di titolo, primo autore e anno; solo la prima occorrenza rimane "NO";
- La disponibilità del testo integrale ("Full text") è registrata come "SI"/"NO".

Dei 79 record iniziali, 12 sono stati rimossi perché duplicati e 15 poiché non disponevano del full text. Passano alla fase Screening 52 record. Gli esclusi di questa fase sono riportati in grigio.

2.1.3 Fase 2: Screening (PRISMA 2020)

Conclusa la Fase 1, si è proceduto con la fase Screening (Figura 27), nella quale sono stati selezionati i record promossi dalla fase precedente in funzione di criteri di inclusione/esclusione riportati di seguito. In questa fase si è ricorso alla consultazione dei titoli e degli abstract per reperire le informazioni d'interesse e compilare la matrice.

IDENTIFICAZIONE					DEDUP		P I C O (PRISMA-compliant)								METODO	VARIABILI ANALITICHE				RISULTATI					
#	Primo autore	Anno	Titolo	Tipologia fonte	# citazioni	Duplicato	Full text	Tipologia edificio	Trasferimento Ospedale *	P (Population) Ospedale	I (Intervention) Daylight	I (Intervention) View out	O (Outcomes) Esiti clinici	O (Outcomes) LoS	Decisione preliminare	Simulazioni	Questionario pazienti	Metriche illuminotecniche	WWR	Schermature	Biophilic design	Circadian rhythm	Decisione finale	Motivo di esclusione	Gerarchia
1	Zhu L.	2025	A Design-Driven Approach Exploring Therapeutic Building-Nature Integration Strategies in Healthcare	Articolo	0	NO	SI	Osp	-->	x	x	x	x		-->			x		x	x		IN	-	0,63
2	Liu Y.	2025	Surrogate-based approach of predicting and optimising building performance by integrating daylighting, thermal comfort, and costs - A case study of community care homes	Articolo	2	NO	SI	Res	NO		x				OUT									non ospedaliero e non trasferibile	-
3	Hussein M.	2025	Perspectives of Families and Healthcare Staff on the Design of Inpatient Hospital Rooms in Saudi Arabia	Articolo	0	NO	SI	Osp	-->	x	x	x	x		-->	x							OUT	nessuna evidenza tecnica	-
4	El Jaddaoui I.	2025	Spatial and Daylight Exposure Effects on the Patient Room Microbiome in a Clinical Setting	Conference Paper	0	NO	NO	-	NO						OUT									non testato	-
5	Babalola O.D.	2025	Sustainable Healthcare Environments: The Implications of Healing Architectural Design in Women's Hospitals in Lagos	Conference paper	1	NO	SI	Osp	-->	x	x	x	x		-->	x							OUT	nessuna evidenza tecnica	-

Figura 27: Estratto della matrice PRISMA con focus relativo alla fase Screening

- La colonna “P (Population) Ospedale” è contrassegnata con “x” qualora la colonna “Tipologia edificio” è “Osp” (Ospedale); oppure, per i casi non “Osp” (“Res”: residenziale; “Com”: commerciale), se la colonna “Trasferimento Ospedale” è “-->”, cioè trasferibilità positiva all’ambito ospedaliero in base a una regola testuale su outcome/keywords sanitarie (presenza di termini quali stress, ansia, benessere, sonno, ritmo circadiano);
- Le colonne “I (Intervention) Daylight” e “I (Intervention) View out” sono compilate con “x” se i relativi riferimenti sono presenti nell’abstract;
- Le colonne “O (Outcomes) Esiti clinici” e “O (Outcomes) LoS” sono contrassegnate con “x” se le tematiche risultano presenti;
- La colonna “Decisione preliminare” è marcata OUT se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:
 - “Duplicato” = “SI”;
 - “Full text” ≠ “SI”;
 - “P (Population) Ospedale” ≠ “x”;
 - (“I (Intervention) Daylight” ≠ “x” E “I (Intervention) View out” ≠ “x”);
 - (“O (Outcomes) Esiti clinici” ≠ “x” E “O (Outcomes) LoS” ≠ “x”);

In caso contrario, è contrassegnata con “-->”, indicando il passaggio alla fase successiva.

Nonostante la presenza della lettera C (Comparator) nella sigla PICO, questa non è stata riportata in matrice poiché si opera con un singolo revisore e perché non è sbarrante ai fini dell’eleggibilità di un record.

Dei 52 record passati in rassegna, 20 sono passati alla Fase 3, mentre 32 sono risultati non conformi secondo la “Decisione preliminare”. Gli esclusi di questa fase sono riportati in rosso.

2.1.4 Fase 3: Included (PRISMA 2020)

Si è quindi proceduto con la fase conclusiva, nella quale sono stati selezionati i record full text accettati dopo la Fase 2, al fine di formare il set finale degli articoli inclusi. Di seguito (Figura 28) viene riportato un estratto della matrice PRISMA relativo alla fase Included e le regole di inclusione/esclusione impiegate.

IDENTIFICAZIONE					DEDUP		P I C O (PRISMA-compliant)										METODO	VARIABILI ANALITICHE					RISULTATI						
#	Primo autore	Anno	Titolo	Tipologia fonte	# citazioni	Duplicato	Full text	Tipologia edificio	Trasferimento ospedale *	P (Population)	I (Intervention)	Daylight	I (Intervention)	View out	O (Outcomes)	Esiti clinici	O (Outcomes)	LoS	Decisione preliminare	Simulazioni	Questionario pazienti	Metriche illuminotecniche	WWR	Schermature	Biophilic design	Circadian rhythm	Decisione finale	Motivo d'esclusione	Gerarchia
1	Zhu L.	2025	A Design-Driven Approach Exploring Therapeutic Building-Nature Integration Strategies in Healthcare	Articolo	0	NO	SI	Osp	-->	x	x	x	x	x				-->				x		x	x		IN	-	0,63
2	Liu Y.	2025	Surrogate-based approach of predicting and optimising building performance by integrating daylighting, thermal comfort, and costs - A case study of community care homes	Articolo	2	NO	SI	Res	NO				x						OUT								-	non ospedaliero e non trasferibile	-
3	Hussein M.	2025	Perspectives of Families and Healthcare Staff on the Design of Inpatient Hospital Rooms in Saudi Arabia	Articolo	0	NO	SI	Osp	-->	x	x	x	x	x				-->			x						OUT	nessuna evidenza tecnica	-
4	El Jaddaoui I.	2025	Spatial and Daylight Exposure Effects on the Patient Room Microclimate in a Clinical Setting	Conference Paper	0	NO	NO	-	NO										OUT								-	full-text mancante	-
5	Babalola O.D.	2025	Sustainable Healthcare Environments: The Implications of Healing Architectural Design in Women's Hospitals in Lagos	Conference paper	1	NO	SI	Osp	-->	x	x	x	x	x				-->			x						OUT	nessuna evidenza tecnica	-

Figura 28: Estratto della matrice PRISMA con focus relativo alla fase Included

In questa fase, con la matrice si è verificata la presenza di evidenze tecniche chiave (categorizzate nell'insieme "VARIABILI ANALITICHE"). Nello specifico:

- La colonna "Metriche illuminotecniche" è contrassegnata con "x" quando nel testo sono presenti riferimenti a metriche o indicatori;
- La colonna "WWR" è compilata con "x" quando vengono rilevate evidenze sul rapporto fra superfici trasparenti e opache;
- La colonna "Schermature" è contrassegnata con "x" quando sono presenti riferimenti a sistemi di schermatura solare e alle loro caratteristiche;
- La colonna "Decisione finale" è "IN" se è presente almeno una tra le evidenze chiave ("Metriche illuminotecniche", "WWR", "Schermature"); altrimenti è "OUT".

I motivi di esclusione sono standardizzati (colonna "Motivo d'esclusione") al fine di garantire immediatezza nella comprensione. Le etichette impiegate sono: "duplicato"; "full text mancante"; "non ospedaliero e non trasferibile"; "nessun riferimento a daylight o view out"; "nessun outcome clinico"; "nessuna evidenza tecnica".

Per i record "IN" (testo nero), la colonna "Gerarchia (Media pesata)" calcola un punteggio pesato, da 0 a 1, che aumenta con il numero di criteri tecnici soddisfatti. Lo scopo ultimo di questa colonna è il suo utilizzo come validazione qualitativa della corretta applicazione dei criteri PRISMA e della coerenza con le variabili d'interesse. I pesi sono:

- “I (Intervention) Daylight”, “I (Intervention) View out” = 0,150;
- “O (Outcomes) Esiti clinici”, “O (Outcomes) LoS”, “Metriche illuminotecniche”, “WWR”, “Schermature” = 0,100;
- “Simulazioni”, “Questionario pazienti” = 0,075;
- “Biophilic design”, “Circadian rhythm” = 0,025.

(Somma = 1,000)

Dallo studio risultano inclusi 10 record (gli altri 10 non hanno superato la fase corrente; in tabella sono riportati in giallo). A valle del processo, la Tabella 5 riassume i conteggi per fase.

PRISMA FLOW						
IDENTIFICATION (n=79 --> 52, riduzione del 34%)			SCREENING (n=52 --> 20, riduzione del 62%)		INCLUDED (n=20 --> 10, riduzione del 50%)	
Identificati Scopus + Pubmed	(-) Duplicati rimossi	(-) Full text non disponibili	Full text disponibili	(-) Rimossi in preliminare	(-) Rimossi in finale	Inclusi
79	12	15	52	32	10	10

NOTE:

- (-): simbolo che identifica unità da sottrarre
- Lo screening è stato effettuato sui full-text disponibili (n=52); per questo il conteggio di fase coincide con “Full text disponibili”.
- Le percentuali sono riduzioni relative alla fase precedente (riduzioni concatenate), non rispetto al totale iniziale (79).
- Riduzione complessiva 79 --> 10 = - 87% (tasso di inclusione 13%)

Tabella 5: Definizione del flusso di processo che ha portato alla definizione dei record inclusi

La ricerca su database bibliografici (Scopus, PubMed) è stata infine integrata con un’esplorazione citation-based tramite ResearchRabbit [9], non per incrementare il numero di record, ma per individuare lavori contigui non immediatamente rintracciabili via query. I contributi così individuati sono stati riesaminati secondo i medesimi criteri di inclusione. In pratica, partendo dagli articoli inclusi (7 record fra i 10 inclusi), questi sono stati usati come seed e sono stati passati in rassegna 37 risultati (prime due pagine di risposta della web app). Viene riportato un estratto della tabella relativa al processo di espansione del dataset eseguito con il supporto di ResearchRabbit seguito dalle regole caratterizzanti le scelte (la versione integrale della tabella viene riportata in *Appendice D*).

IDENTIFICAZIONE						PICO (PRISMA-c.)					RISULTATI	
#	Primo autore	Anno	Titolo	Tipologia fonte	Abstract	P (Population) Ospedale	I (Intervention) Daylight	I (Intervention) View out	O (Outcomes) Esiti clinici	Decisione finale	Motivo d'esclusione	
R.1	Ulrich	2008	A Review of the Research Literature on Evidence-Based Healthcare Design	Review	SI	x	x	x	x	OUT	non è articolo	
R.2	Walch	2005	The Effect of Sunlight on Postoperative Analgesic Medication Use: A Prospective Study of Patients Undergoing Spinal Surgery	Article	SI	x	x		x	IN	-	
R.3	Ulrich	1984	View through a window may influence recovery from surgery.	Article	SI	x		x	x	IN	-	
R.4	Benedetti	2001	Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression	Article	NO	x	x		x	IN	-	
R.5	Shepley	2012	The Impact of Daylight and Views on ICU Patients and Staff	Article	SI	x	x	x	x	IN	-	

Figura 29: Estratto della matrice ResearchRabbit (RR)

- La colonna “Decisione finale” è contrassegnata con “IN” quando: “P (Population) Ospedale” = “x” E (“I (Intervention) Daylight” = “x” O “I (Intervention) View out” = “x”) E “O (Outcomes) Esiti clinici” = “x”; altrimenti è “OUT”.

Anche in questo caso, I motivi di esclusione sono standardizzati (colonna “Motivo d'esclusione”) per le stesse ragioni di cui prima. Le etichette qui impiegate sono: “non è articolo”; “non ospedaliero e non trasferibile”; “nessun riferimento a daylight o view out”; “nessun outcome clinico”.

Il capitolo metodologico si conclude riportando le pubblicazioni che alimentano lo stato dell'arte. Viene riportato un diagramma di Sankey (Figura 30) utile alla visualizzazione dell'intero processo di definizione del dataset incluso, pari a 21 record dopo l'integrazione ResearchRabbit (11 pubblicazioni aggiunte).

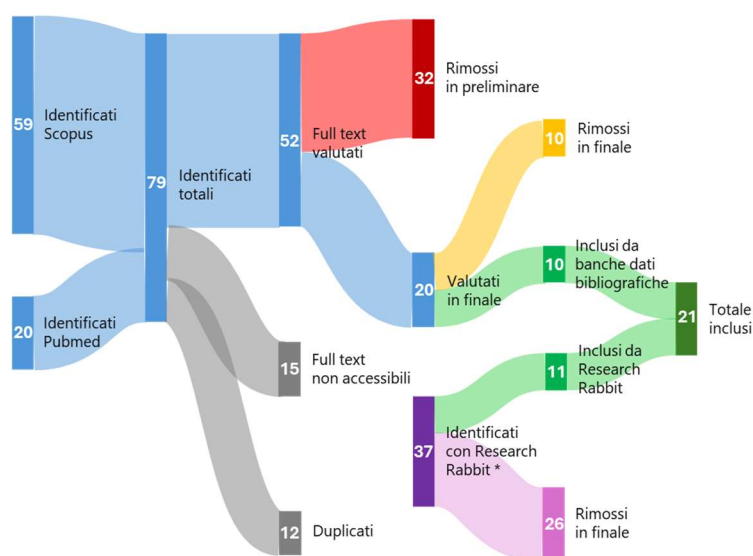


Figura 30: Diagramma di Sankey contenente la schematizzazione del processo che ha portato alla definizione dei record inclusi

2.2 Analisi della letteratura inclusa

L'analisi della letteratura inclusa è stata sviluppata a partire dai seguenti elementi:

- **Input:** corpus finale degli studi selezionati mediante PRISMA 2020, dati bibliografici e geografici delle pubblicazioni, caratteristiche metodologiche degli studi ed evidenze estratte dai full-text;
- **Output:** caratterizzazione tipologica, temporale e geografica del corpus e classificazione delle evidenze relative all'influenza della luce naturale e della vista esterna su pazienti e personale sanitario.

Il paragrafo restituisce quindi una lettura progressiva del materiale incluso: dalla descrizione generale del campione bibliografico alla sintesi delle principali connessioni individuate, successivamente discusse in termini di risultati e limitazioni (paragrafo 2.3).

2.2.1 Distribuzione tipologica

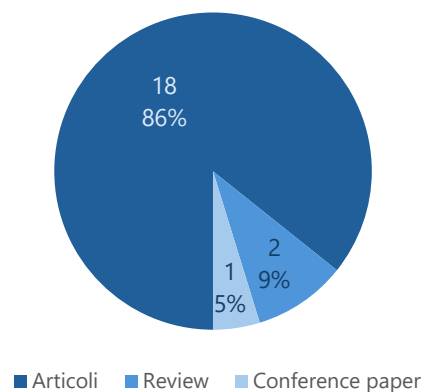


Figura 31: Distribuzione tipologica della letteratura inclusa (21 pubblicazioni totali)

La distribuzione tipologica della letteratura inclusa (Figura 31) evidenzia una marcata prevalenza di articoli: 18 su 21 pubblicazioni (86%) sono infatti articoli di ricerca, affiancati da 2 review (9%) ([10], [11]) e 1 conference paper (5%) ([12]). Questa composizione è particolarmente favorevole rispetto agli obiettivi della presente *systematic literature review*, perché permette di attingere direttamente a un numero sostanziale di studi primari, che descrivono nel dettaglio contesti, metodi e risultati relativi a daylighting, view out e outcome clinici. Le poche review e il singolo contributo da conference si aggiungono come supporto di inquadramento, mentre il nucleo principale del campione consente di indagare in modo più sfumato e comparativo le diverse modalità con cui i singoli studi affrontano i temi di interesse.

2.2.2 Distribuzione temporale

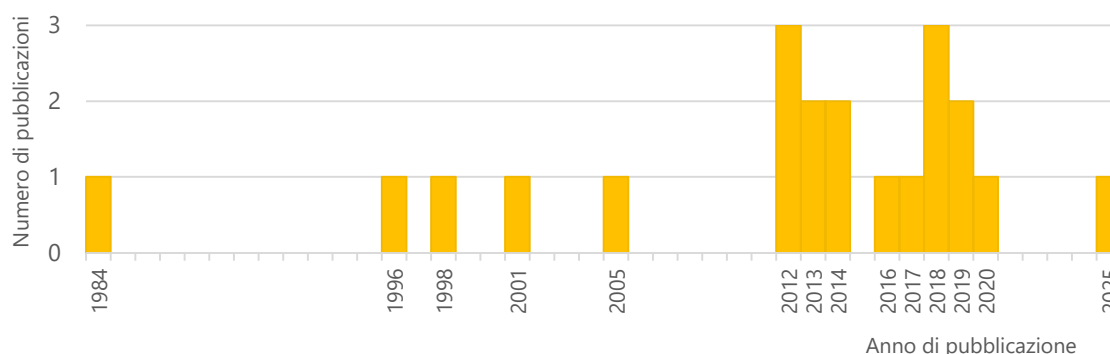


Figura 32: Distribuzione temporale della letteratura inclusa

La Figura 32 rappresenta la distribuzione temporale dei 21 articoli inclusi nello stato dell'arte, comprendendo sia i 18 studi originali utilizzati per l'analisi per sottocategorie sia i 3 contributi di tipo review/conference paper. Il quadro che emerge è chiaramente bimodale. Un primo nucleo di lavori si concentra tra la metà degli anni '80 e la metà dei 2000: in questo intervallo compaiono cinque pubblicazioni (1984 [13], 1996 [14], 1998 [15], 2001 [16], 2005 [17]), che possono essere lette come contributi pionieristici nel mettere in relazione luce naturale, vista esterna e outcome clinici. Relativamente al secondo blocco, nel triennio 2012–2014 si concentrano sette pubblicazioni (2012: [18], [19], [20]; 2013: [11], [21]; 2014: [12], [22]), mentre un ulteriore aggregato di otto lavori si colloca tra 2016 e l'inizio degli anni 2020 (2016: [23]; 2017: [24]; 2018: [25], [26], [27]; 2019: [10], [28]; 2020: [29]), con uno studio molto recente (2025: [30]) che estende ulteriormente l'orizzonte temporale. Nel complesso, oltre i due terzi degli articoli considerati sono stati pubblicati nell'ultimo decennio, segnalando un interesse crescente e più stabile verso il ruolo dell'involucro edilizio nella modulazione degli esiti per pazienti e personale sanitario. Questa distribuzione temporale rafforza l'idea che gli studi più datati abbiano avuto principalmente un ruolo fondativo, dimostrando per primi l'esistenza di un legame tra luce/vista e decorso clinico, mentre la produzione più recente si colloca in un contesto di consolidamento e progressiva sofisticazione metodologica, in cui la luce naturale e la vista esterna vengono analizzate con maggiore dettaglio come variabili progettuali specifiche (orientamento, WWR, schermature, caratteristiche della vista) e collegate a un ventaglio più ampio di outcome clinici e organizzativi.

2.2.3 Distribuzione geografica

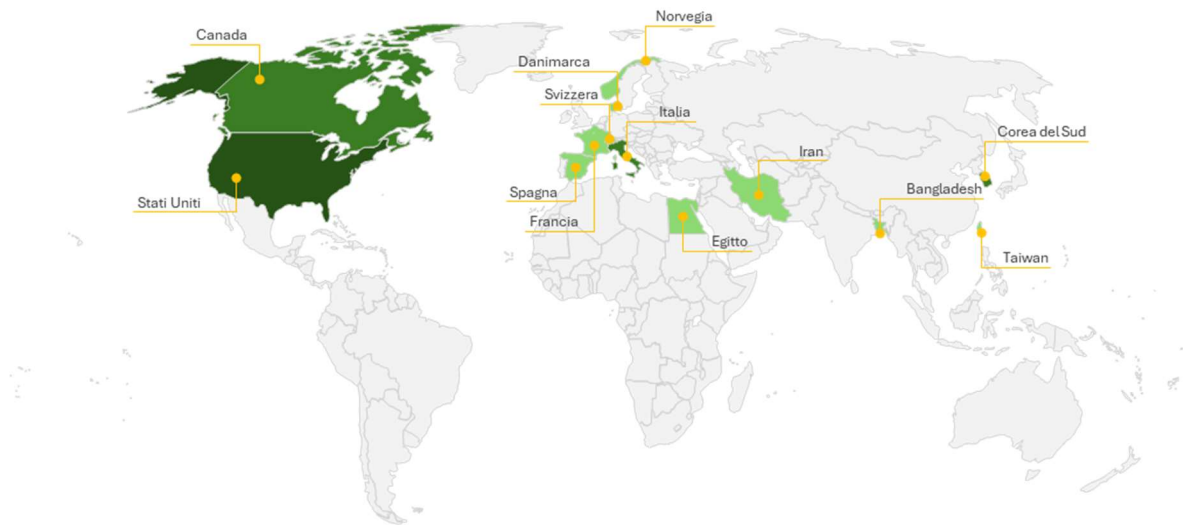


Figura 33: Distribuzione geografica della letteratura inclusa

La Figura 33 mostra la distribuzione geografica dei 18 articoli utilizzati per la redazione del presente capitolo; i restanti tre contributi (review/conference paper) non sono stati mappati, poiché non riconducibili a un singolo caso studio o contesto ospedaliero specifico. La maggior parte delle evidenze proviene da paesi del Nord America ed Europa, con una presenza più limitata ma significativa di studi condotti in Asia e Nord Africa. In particolare, quattro studi sono stati svolti negli Stati Uniti, in contesti ospedalieri localizzati in Texas [22], Pittsburgh (Pennsylvania) ([13], [17]) e Concord (New Hampshire) [19]. Due studi provengono dal Canada (Edmonton [14], Alberta [15]), due dalla Corea del Sud (Incheon [18] e Suwon [26]) e due dall'Italia ([16], [29]), con casi studio distribuiti tra Bologna, Milano, Napoli e Roma. Altri paesi sono rappresentati da un solo studio ciascuno: Bangladesh (Dhaka) [21], Danimarca (Hillerød) [30], Egitto (Cairo) [23], Francia (Parigi) [28], Iran [25], Norvegia (Røros) [20], Spagna (Siviglia) [27], Svizzera (Basilea e Zurigo) [30] e Taiwan (Liouying) [24]. Nel complesso, il campione copre un ventaglio relativamente ampio di contesti climatici, culturali e organizzativi, ma con una chiara prevalenza di paesi ad alto reddito e di climi temperati. Questo elemento va tenuto presente nell'interpretazione dei risultati: le relazioni tra luce naturale, vista esterna e outcome clinici qui descritte sono state osservate in sistemi sanitari e contesti edilizi specifici, e la loro trasferibilità ad altri setting (ad esempio ospedali in climi estremi o in paesi a risorse limitate) richiede una certa cautela.

2.2.4 Evidenze scientifiche emerse

2.2.4.1 Panoramica generale

Negli ultimi decenni, l'ambiente costruito in ambito sanitario ha assunto un ruolo sempre più rilevante come componente “attiva” del processo di cura e del lavoro clinico: numerosi studi hanno indagato in

che misura possa contribuire a modulare benessere, comfort e performance di chi lo vive. Le pubblicazioni di sintesi (2 review) e il contributo conference paper sono stati utilizzati a supporto dell'inquadramento del tema: tali contributi evidenziano come luce naturale e vista verso l'esterno rientrino tra i fattori ambientali più discussi quando si considerano esiti e qualità dell'esperienza di pazienti e personale nelle strutture di cura [11], [12]. In linea con tale prospettiva, un'ulteriore pubblicazione richiama l'attenzione sul fatto che la qualità percepita della vista e le condizioni di luce diurna possano associarsi a ricadute osservabili lungo il percorso di degenza [10].

Al fine di estrarre le evidenze primarie dalle pubblicazioni incluse, sono stati analizzati esclusivamente gli studi originali (n=18 su 21), in quanto più idonei a documentare in modo diretto e misurabile l'associazione tra variabili ambientali e outcome. Di seguito viene riportata una tabella riepilogativa (Tabella 6) in cui sono elencati i 18 articoli con relativi ID (fra parentesi quadra il riferimento alla bibliografia del presente documento per aiutare il lettore ad associare i contenuti in modo più chiaro e immediato), primo autore e titolo.

ID	Primo autore	Titolo
1 [30]	Zhu	A Design-Driven Approach Exploring Therapeutic Building-Nature Integration Strategies in Healthcare
26 [29]	Cesari	The Energy Saving Potential of Wide Windows in Hospital Patient Rooms, Optimizing the Type of Glazing and Lighting Control Strategy under Different Climatic Conditions
33 [25]	Pouyesh	The effects of environmental factors in waiting rooms on anxiety among patients undergoing coronary angiography: A randomized controlled trial
35 [27]	Calama-González	Daylighting and Energy Performance Evaluation of an Egg-Crate Device for Hospital Building Retrofitting in a Mediterranean Climate
41 [23]	Sherif	Shaping the slats of hospital patient room window blinds for daylighting and external view under desert clear skies
43 [22]	Zadeh	The Impact of Windows and Daylight on Acute-Care Nurses' Physiological, Psychological, and Behavioral Health
53 [18]	Choi	Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility
R.2 [17]	Walch	The Effect of Sunlight on Postoperative Analgesic Medication Use: A Prospective Study of Patients Undergoing Spinal Surgery
R.3 [13]	Ulrich	View through a window may influence recovery from surgery.
R.4 [16]	Benedetti	Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression
R.5 [19]	Shepley	The Impact of Daylight and Views on ICU Patients and Staff
R.8 [14]	Beauchemin	Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions
R.12 [20]	Raanaas	Health benefits of a view of nature through the window: a quasi-experimental study of patients in a residential rehabilitation center

R.15 [24]	Chiu	The impact of windows on the outcomes of medical intensive care unit patients
R.18 [15]	Beauchemin	Dying in the dark: sunshine, gender and outcomes in myocardial infarction
R.19 [21]	Joarder	Impact of daylight illumination on reducing patient length of stay in hospital after coronary artery bypass graft surgery
R.20 [26]	Park	The Effects of Natural Daylight on Length of Hospital Stay
R.35 [28]	Smonig	Impact of natural light exposure on delirium burden in adult patients receiving invasive mechanical ventilation in the ICU: a prospective study

Tabella 6: Articoli inclusi che concorrono alla comprensione delle evidenze scientifiche emergenti dalla letteratura

Questi 18 articoli sono stati poi studiati in una tabella che ha l'obiettivo di definirne alcuni attributi, fra cui: tipologia dello studio; modalità di raccolta dei dati; metodo di analisi; connessioni rilevate fra sottocategorie di luce e vista e benefici per pazienti e personale sanitario; informazioni su campione e contesto dello studio; evidenze primarie emerse e motivazione dello studio. A monte del processo di compilazione della tabella, si è reso necessario innanzitutto definire macrocategorie e sottocategorie che si volevano indagare (Figura 34). Relativamente alle sottocategorie, queste sono state elaborate in funzione di temi e termini emersi dalla letteratura stessa: sono state quindi dedotte dagli articoli inclusi.

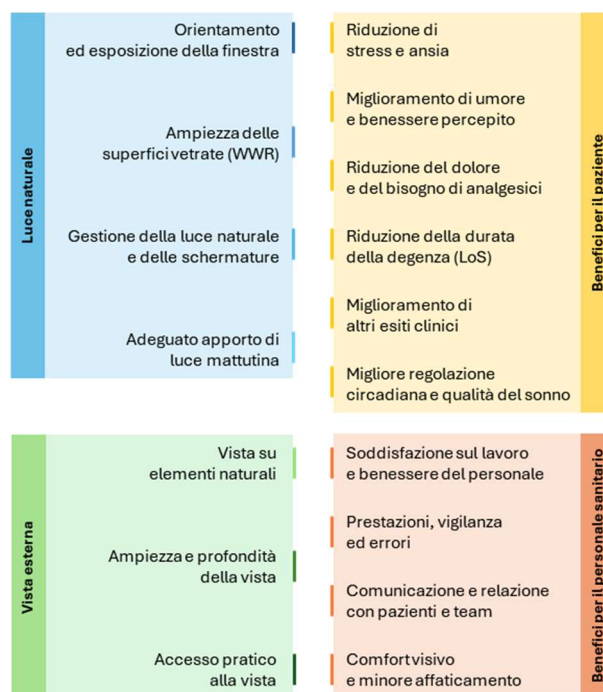


Figura 34: Macrocategorie (in verticale) e sottocategorie (in orizzontale) definite a partire dai contenuti presenti in letteratura

Per una miglior comprensione della struttura e della compilazione della tabella sopracitata ne viene riportato un estratto (Figura 35) (focus su ID 43 a titolo esemplificativo, versione integrale riportata in *Appendice E*), seguito da delle note che ne spiegano i criteri adottati per le colonne più significative.

ID	Tipologia di studio (P/S)	Modalità di raccolta dati	Metodo di analisi	LUCE NATURALE		VISTA ESTERNA		Età paziente	Genere paziente	Tipologia paziente	Tipologia struttura ospedaliera	Evidenza (C/P)	Motivation dello studio
				Connessioni sottocategorie luce naturale --> benefici paziente	Connessioni sottocategorie luce naturale --> benefici personale	Connessioni sottocategorie vista esterna --> benefici paziente	Connessioni sottocategorie vista esterna --> benefici personale						
43	sperimentale (P)ND	questionari + misure strumentali + dati clinico-amministrativi	statistica	•Orientamento ed esposizione della finestra --> Migliore regolazione circadiana e qualità del sonno •Gestione della luce naturale e delle schermature --> Migliore regolazione circadiana e qualità del sonno •Adeguatezza di luce mattutina --> Riduzione della durata della degenza (LoS)	•Orientamento ed esposizione della finestra --> Satisfazione sul lavoro e benessere del personale •Orientamento ed esposizione della finestra --> Prestazioni, vigilanza ed errori •Orientamento ed esposizione della finestra --> Comunicazione e relazione con pazienti e team •Gestione della luce naturale e delle schermature --> Prestazioni, vigilanza ed errori •Adeguatezza di luce mattutina --> Prestazioni, vigilanza ed errori •Adeguatezza di luce mattutina --> Comunicazione e relazione con pazienti e team	•Vista su elementi naturali --> Miglioramento di umore e benessere percepito	•Vista su elementi naturali --> Satisfazione sul lavoro e benessere del personale •Vista su elementi naturali --> Prestazioni, vigilanza ed errori •Vista su elementi naturali --> Comfort visivo e minore affaticamento	20-59 (personale sanitario)	10 F (83%) 2 M (17%) (personale sanitario)	personale sanitario	acute-care nursing unit; nursing station con vista senza finestre	Conduivo (a,b,c,d) n=12 infermieri	Confronto fra una nurses' station con finestre e senza, lo studio misura effetti su stress/parametri fisiologici, alertness/comportamenti e dinamiche sociali, chiedendo come l'accesso alla finestra (daylight view) possa influenzare benessere e performance del personale

Figura 35: Estratto della tabella d'analisi dei 18 articoli della letteratura inclusa

Note di compilazione:

Le colonne “Tipologia di studio (P/S)”, “Modalità di raccolta dati”, “Metodo di analisi”, “Età/Genere/Tipologia paziente” ed “Evidenza (C/P)” si riferiscono alla fonte di evidenza delle connessioni sottocategoria-benefici riportate nelle quattro colonne “connessione”, e non necessariamente all’obiettivo principale dello studio.

- Tipologia di studio (P/S): (P) indica la tipologia primaria dello studio (clinico, osservazionale, sperimentale) quando la pubblicazione riporta evidenza originale prodotta dagli autori a supporto delle connessioni; in assenza di misure/risultati originali pertinenti, si indica ND (P); (S) è compilato come review (S) esclusivamente quando ND (P), per segnalare che la pubblicazione, rispetto alle connessioni indagate, svolge un ruolo di sintesi/trasferimento della letteratura (evidenze riportate ma non generate direttamente); negli altri casi ND (S);
- Modalità di raccolta dati: questionari, misure strumentali, dati clinico-amministrativi, simulazioni, interviste, letteratura, ND; compilabile con una o più voci;
- Nelle quattro colonne “connessioni” la sintassi è Sottocategoria --> Beneficio; lo stile del carattere definisce la natura della connessione riportata:
 - **grassetto sottolineato**: connessioni misurate nello studio e riportate come significative;
 - **grassetto corsivo**: connessioni misurate nello studio e riportate come non significative o in tendenza;
 - *corsivo*: connessioni derivate da letteratura citata o da argomentazioni degli autori, non indagate direttamente nello studio;

- Le colonne Età, Genere e Tipologia paziente riportano i dati del campione effettivamente analizzato per la connessione-beneficio; se la connessione non è testata direttamente nello studio, i campi campionari sono indicati come ND;
- Evidenza (C/P): C = conclusivo, P = preliminare; si applicano i criteri (a–d) alle connessioni-beneficio:
 - (a) connessione supportata da evidenza primaria nello studio (non solo review/background);
 - (b) campione definito (n disponibile e coerente);
 - (c) outcome misurati coerenti col beneficio codificato;
 - (d) analisi adeguata e risultati robusti (significatività/effetto coerente, o almeno trend chiaro e discusso con cautela)

Lo studio in analisi è definito come conclusivo se sono rispettati almeno 3 dei 4 criteri citati, altrimenti resta preliminare.

Riprendendo la Figura 34, la macrocategoria “Luce naturale” è quindi articolata in quattro sottocategorie (orientamento ed esposizione della finestra, ampiezza delle superfici vetrate, gestione della luce naturale e delle schermature, adeguato apporto di luce mattutina), mentre la macrocategoria “Vista esterna” comprende tre sottocategorie (vista su elementi naturali, ampiezza/profondità della vista, accesso pratico alla vista). Ciascuna sottocategoria fra quelle elencate sopra è collegata a specifici benefici per il paziente (riduzione di stress e ansia, miglioramento di umore e benessere percepito, riduzione del dolore e del bisogno di analgesici, riduzione della durata della degenza, miglioramento di altri esiti clinici, migliore regolazione circadiana e qualità del sonno) e per il personale sanitario (soddisfazione sul lavoro e benessere, prestazioni/vigilanza ed errori, comunicazione e relazione con pazienti e team, comfort visivo e minore affaticamento). I paragrafi successivi sviluppano in dettaglio le relazioni fra le sottocategorie appena indagate.

Per mettere in luce la natura delle connessioni riportate nei diagrammi successivi, è stata impiegata la stessa codifica della tabella presente in *Appendice E* (natura delle connessioni dedotta dallo stile del carattere dei riferimenti riportati sotto le voci “benefici” - colonne di destra).

2.2.4.2 Influenza della luce naturale

2.2.4.2.1 Orientamento ed esposizione della finestra

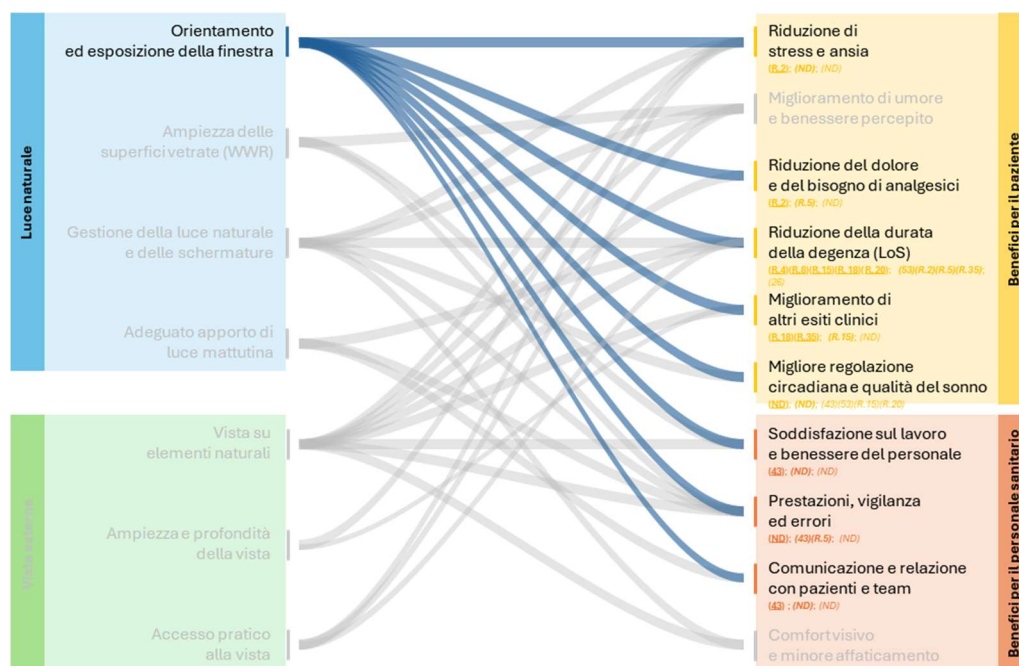


Figura 36: Relazione fra orientamento ed esposizione della finestra e benefici per il paziente ed il personale sanitario

All'interno della macrocategoria "Luce naturale", **orientamento ed esposizione della finestra** emergono come determinanti del livello e soprattutto del timing della luce diurna (es. quota mattutina), con effetti su esiti psicologici e clinici. In termini di **stress e ansia**, i pazienti in stanze che ricevono più luce naturale (es. esposizione Est/Sud) riportano meno stress con effetto significativo ($p=0,035$ - *p value: la probabilità, assumendo vera l'ipotesi nulla (assenza di effetto/differenze), di ottenere risultati almeno altrettanto estremi di quelli osservati nei dati*), mentre l'ansia non mostra differenze statisticamente significative (R.2 - [17]). Per **dolore e analgesici**, lo stesso studio indica un minor consumo di analgesici ($-22\%/h$) e riduzione dei costi (entrambi $p=0,047$), mentre il dolore mostra un trend ma non raggiunge significatività ($p=0,058$) (R.2 - [17]); quando l'esposizione viene quantificata tramite misurazioni di illuminamento (lux), la relazione con la riduzione del dolore risulta non significativa ($p=0,053$) (R.5 - [19]). L'evidenza più ricorrente riguarda la **durata della degenza (LoS)**: nei pazienti con depressione bipolare, le stanze orientate a Est (sole diretto al mattino) sono associate a una degenza media più breve di 3,67 giorni rispetto alle stanze a Ovest ($19,80 \pm 9,48$ vs $23,47 \pm 11,78$ giorni; $p=0,020$) (R.4 - [16]). In ambito cardiologico, per infarto miocardico le stanze soleggiate sono associate a degenze più brevi, con un effetto marcato nelle donne (2,3 vs 3,3 giorni; riportato come significativo) (R.18 - [15]); in MICU, le stanze con finestra mostrano una LoS inferiore (4,8 vs 5,8 giorni; $p=0,045$) (R.15 - [24]). Crucialmente, Beauchemin evidenzia anche che i pazienti in stanze soleggiate presentano una LoS media di 16,9 giorni contro 19,5 giorni in stanze poco illuminate ($-2,6$ giorni; $\sim 15\%$), con differenza riportata come

significativa ($p < 0,05$), e che (in stanze multiple) i letti più vicini alla finestra mantengono una LoS più breve rispetto a quelli vicino alla porta anche dopo matching (R.8 - [14]). Non tutte le evidenze convergono: in un contesto ICU la LoS non differisce tra gruppi (ICU LoS $p = 0,67$; hospital LoS $p = 0,41$) (R.35 - [28]), e in un'analisi basata su livelli di luce si osserva al più un trend verso LoS minore a luce più alta senza evidenza robusta (R.5 - [19]). Tra gli **altri esiti clinici**, la mortalità per infarto miocardico risulta più alta in stanze poco illuminate (Nord/Ovest) rispetto a stanze soleggiate (Est/Sud) (R.18 - [15]), mentre in altri setting la mortalità non differisce tra stanze con e senza finestra (R.15; R.35 - [24], [28]). L'incidenza di delirium è spesso sovrapponibile (R.15; R.35 - [24], [28]), ma in terapia intensiva la presenza di finestra si associa a minori episodi di agitazione trattata con antipsicotici (13% vs 25%; RR 0,52 - *Risk Ratio: rapporto tra la probabilità/ rischio dell'esito nel gruppo esposto e quella nel gruppo di controllo*; adjOR 0,39 - *adjusted Odds Ratio: odds ratio stimato tra esposto e controllo dopo aggiustamento per potenziali fattori confondenti*) e a minori allucinazioni (11% vs 22%; RR 0,49), con associazioni riportate come significative (R.35 - [28]). Coerentemente, l'esposizione alla luce naturale (in particolare più intensa al mattino) è richiamata anche come supporto a **ritmi circadiani e sonno**, considerando la luce diurna come principale "zeitgeber" ambientale (R.15; 43 - [22], [24]) e ipotizzando un ruolo della distanza dal serramento (es. letti più vicini alla finestra) in stanze multiple (R.20 - [26]).

Dal punto di vista del personale sanitario, l'accesso alla luce diurna è associato a migliori indicatori di **benessere** (maggiore pressione arteriosa media $p < 0,0001$; maggiore temperatura corporea come marker circadiano $p = 0,026$; maggior saturazione periferica dell'ossigeno $p = 0,016$; minore sonnolenza/umore deteriorato $p = 0,023$) (43 - [22]). Per **prestazioni, vigilanza ed errori**, la direzione attesa è favorevole ma i risultati possono non raggiungere significatività (es. riduzione errori di terapia $p = 0,14$; HR $p = 0,067$ - *Hazard Ratio: rapporto tra i tassi di incidenza istantanei nel tempo dell'evento nei due gruppi*; sleepiness $p = 0,095$) (43 - [22]), e in un altro studio la differenza resta non significativa ($p = 0,598$) (R.5 - [19]). Infine, l'esposizione alla luce diurna si associa anche a un incremento della **comunicazione** in nurse station ($p < 0,0001$) e a maggiori interazioni positive ($p = 0,028$), suggerendo un impatto potenziale sulle dinamiche di team (43 - [22]).

2.2.4.2.2 Ampiezza delle superfici vetrate (WWR)

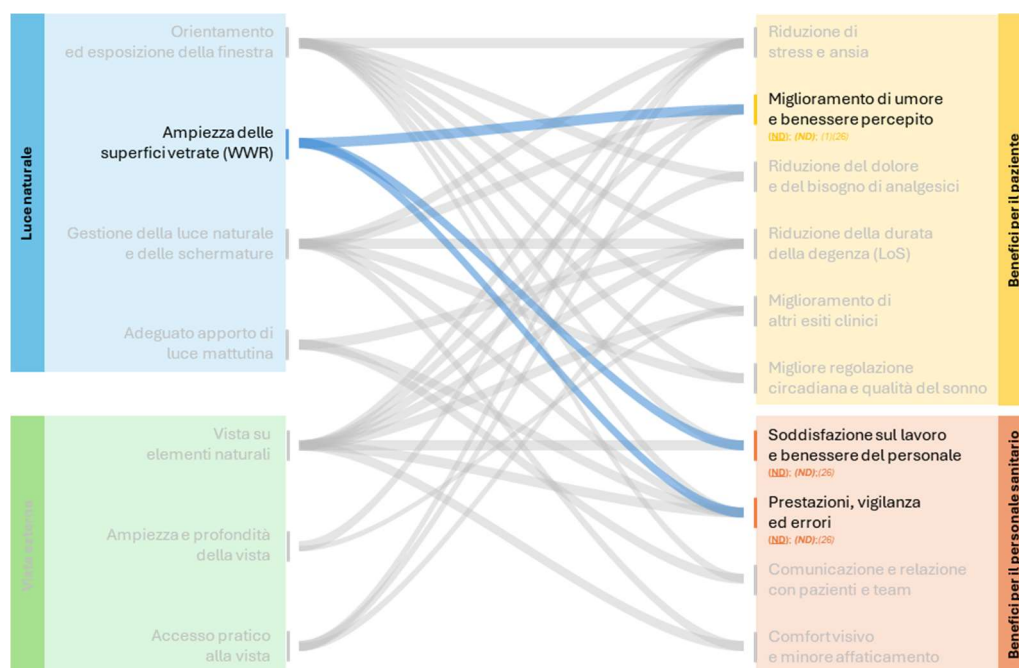


Figura 37: Relazione fra ampiezza delle superfici finestrate e benefici per il paziente ed il personale sanitario

All'interno della macrocategoria “Luce naturale”, l'**ampiezza delle superfici vetrate (WWR)** viene trattata soprattutto come leva progettuale in grado di aumentare la disponibilità di luce diurna e, di riflesso, influenzare la qualità percepita dell'ambiente. La connessione non è infatti misurata nella letteratura inclusa, ma deriva da citazioni presenti all'interno di due pubblicazioni fra i 18 articoli inclusi. In termini di benefici per il paziente, le evidenze incluse richiamano che aperture più ampie (es. casi studio con WWR ~77%, accompagnati da specifiche di vetratura “appropriate”) possono tradursi in effetti positivi sul **benessere percepito**; inoltre, in valutazioni di preferenza, gli utenti tendono a preferire finestre più grandi e considerano efficace aumentare larghezza e numero delle aperture (26; 1 - [29], [30]).

Dal punto di vista del personale sanitario, la stessa linea interpretativa associa finestre più ampie (es. WWR ~77% con vetture adeguate) a un miglioramento del **benessere** (26 - [29]). L'aumento della luce naturale derivante da aperture più ampie è cruciale per l'ambiente di lavoro, in quanto la luce appropriata migliora la **vigilanza e le prestazioni** (26 - [29]). Tuttavia, la letteratura citata introduce anche un punto chiave: esiste una finestra “di accettabilità” percepita, perché WWR >30–35% può risultare “troppo grande”, mentre WWR 20–25% viene giudicato “troppo piccolo” (26 - [29]).

2.2.4.2.3 Gestione della luce naturale e delle schermature

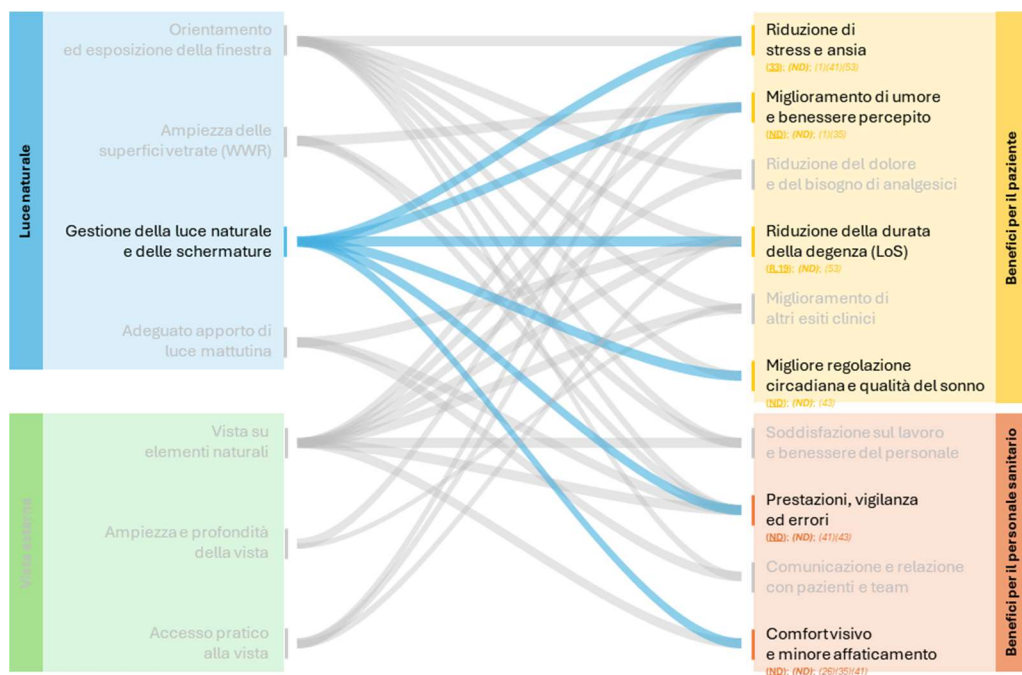


Figura 38: Relazione fra gestione della luce naturale e delle schermature e benefici per il paziente ed il personale sanitario

All'interno della macrocategoria “Luce naturale”, la **gestione della luce naturale e delle schermature** sposta l'attenzione dalla sola “quantità” di daylight alla sua qualità: controllo della radiazione diretta, riduzione dell'abbagliamento e prevenzione di condizioni “troppo luminose” o “troppo buie”, che possono diventare stressor ambientali. In quest'ottica, le schermature sono indicate come elemento chiave per governare l'accesso solare (41 - [23]), e strategie materiche come l'integrazione di elementi in legno nel rivestimento/facciata vengono riportate come utili per mitigare la penetrazione della luce diretta, ridurre solar heat gain e glare, contribuendo a un ambiente più controllato e confortevole; la riduzione dell'abbagliamento viene esplicitamente collegata a minori livelli di **stress** (1 - [30]). Anche il controllo da parte del paziente (possibilità di regolare le tende) viene descritto come un modo per rimuovere stressor legati a luce eccessiva/insufficiente e creare condizioni ambientali percepite come ottimali (53 - [18]). Sul piano più “tecnico”, una schermatura appropriata (es. lamelle orizzontali) ottimizzata tramite simulazioni (proxy ASE, associato a visual discomfort se non adeguato) viene riportata come capace di ridurre l'abbagliamento e migliorare i livelli di illuminamento (41 - [23]). L'evidenza quantitativa più diretta sul versante **ansia** arriva da uno studio in cui i pazienti che seguivano l'indicazione di aprire le tende per far entrare luce naturale mostravano indici fisiologici di ansia significativamente più bassi rispetto al controllo ($p < 0,001$) (33 - [25]). Oltre alla componente stress/ansia, la gestione delle schermature è richiamata anche per **umore e benessere percepito**: l'uso di timber elements viene associato a effetti positivi sul wellbeing anche perché diffonde/filtra la luce naturale in modo più “morbido” e confortevole (1 - [30]); in parallelo, un dispositivo tipo egg-crate viene

descritto come efficace nel bloccare gran parte della radiazione diretta e nel migliorare radiazione diffusa e uniformità di illuminamento, contribuendo all'interpretazione del daylight come fattore con potenziale effetto antidepressivo (35 - [27]). Per la **durata della degenza (LoS)**, da un lato si ipotizza che la possibilità di regolare le tende secondo le preferenze degli utenti possa associarsi a una ALoS inferiore (53 - [18]); dall'altro, un'evidenza misurata indica che un maggiore illuminamento medio "at head point" (registrato con data logger sopra il letto e includendo l'effetto delle schermature interne) si associa a una riduzione della degenza di -7,3 h per +100 lux ($p=0,016$), con intensità rilevate tra 5 e 549 lux (media ~185 lux) (R.19 - [21]). Infine, la letteratura sottolinea che la gestione dell'illuminazione è cruciale perché livelli adeguati di luce naturale sono necessari per la **regolazione circadiana** e quindi, indirettamente, per la **qualità del sonno** (43 - [22]).

Dal punto di vista del personale sanitario, l'illuminazione adeguata (anche tramite schermature) è richiamata come fattore essenziale per prevenire **errori** e sostenere un ambiente di lavoro ad alte **prestazioni** (43 - [22]), mentre soluzioni come schermature orizzontali fisse vengono proposte anche per annullare l'effetto del controllo incoerente da parte dell'utente (41 - [23]). Sul **comfort visivo e affaticamento**, i dispositivi di ombreggiamento sono collegati alla riduzione del glare/visual discomfort (35; 41 - [23], [27]), e viene riportato che una schermatura dinamica può garantire un visual comfort maggiore rispetto a schermature fisse (26 - [29]).

2.2.4.2.4 Adeguato apporto di luce mattutina

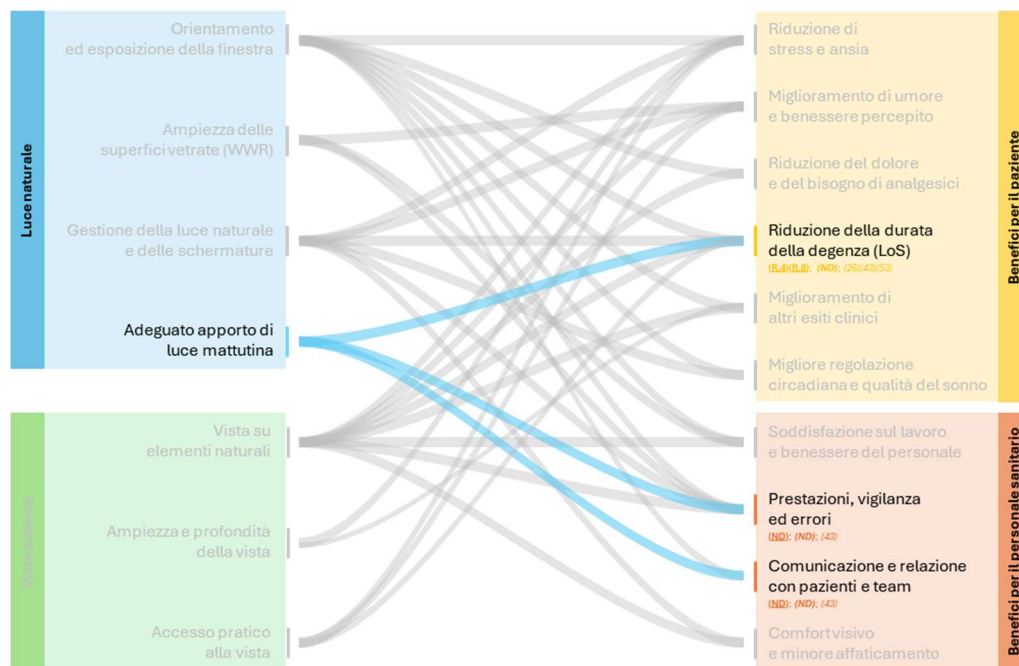


Figura 39: Relazione fra adeguato apporto di luce mattutina e benefici per il paziente ed il personale sanitario

Nella macrocategoria “Luce naturale”, l’**adeguato apporto di luce mattutina** ricorre come variabile “chiave” soprattutto in relazione alla riduzione della durata della degenza (LoS), anche se spesso viene operazionalizzato in modo indiretto (es. esposizioni che favoriscono sole al mattino, stanze “soleggiate”). Le evidenze più solide e direttamente riportate come misurate e significative arrivano da due studi: nei pazienti con depressione bipolare, la disponibilità di sole diretto al mattino (stanze orientate a Est) è associata a una **LoS più breve** ($\approx -3,67$ giorni) con differenza significativa (R.4 - [16]); in ambito cardiologico, le stanze soleggiate mostrano una LoS media inferiore ($\approx 16,9$ vs $19,5$ giorni, $\sim -15\%$), con differenza riportata come significativa, e in stanze multiple la prossimità alla finestra mantiene un vantaggio anche dopo matching (R.8 - [14]). Accanto a queste evidenze, altri contributi richiamano l’importanza della quota mattutina di daylight come possibile driver di degenze più brevi, ma su base principalmente interpretativa/da letteratura e non come esito primario misurato sul “mattino” in senso stretto (26; 53; 43 - [18], [22], [29]).

Sul versante del personale sanitario, l’adeguato apporto di luce mattutina viene associato (sempre in chiave prevalentemente argomentativa) a migliori **prestazioni/vigilanza** e a un supporto alle dinamiche di **comunicazione** e relazione con pazienti e team, con la riserva che spesso il confronto empirico riguarda l’accesso alla luce diurna in generale più che il timing mattutino in modo isolato (43 - [22]).

2.2.4.3 Influenza della vista esterna

2.2.4.3.1 Vista su elementi naturali

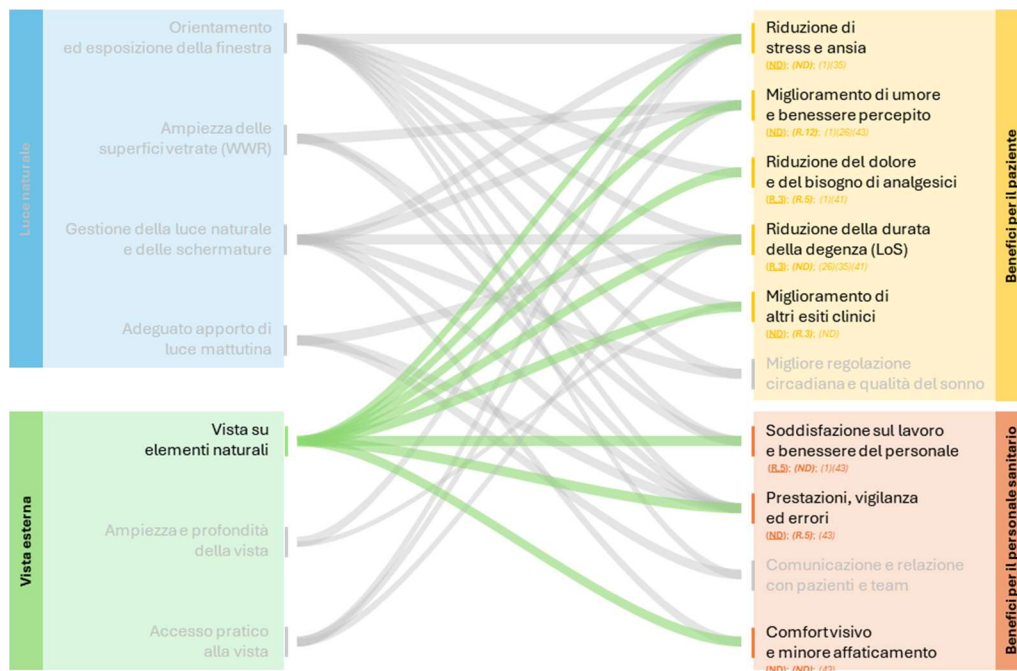


Figura 40: Relazione fra vista su elementi naturali e benefici per il paziente ed il personale sanitario

All'interno della macrocategoria "Vista esterna", la **vista su elementi naturali** (es. alberi, cielo, verde) ricorre in letteratura come positive distraction capace di ridurre l'attivazione psicofisiologica e sostenere il benessere. Sul fronte **stress/ansia**, l'accesso alla natura (e, più in generale, a distrazioni positive) è richiamato come risorsa per ridurre lo stress e migliorare esiti di salute, con un ruolo attribuito anche alle tonalità blu/verdi nel promuovere calma; inoltre, le viste attraverso le finestre vengono indicate come fattore che allevia lo stress. (1; 35 - [27], [30]) Coerentemente, per **umore e benessere percepito** si riportano associazioni tra viste naturali e miglioramento del benessere psicofisico, influenza positiva sull'umore e riduzione del discomfort fisico/psicologico; tuttavia, in uno studio il cambiamento nello stato emotivo e nel benessere soggettivo non risulta modificato dal tipo di vista dalla finestra (NS – *Non Significativo*), segnalando che l'effetto non è sempre "automatico" o facilmente isolabile. (26; 1; 43; R.12 - [20], [22], [29], [30]) Le evidenze più concrete arrivano sugli esiti **dolore/analgesici** e **LoS**: in un confronto diretto, i pazienti con vista sugli alberi utilizzano meno analgesici potenti rispetto a chi vede un muro di mattoni (differenze significative nei giorni 2–5, $p < 0,01$) e presentano anche una degenza post-operatoria più breve (7,96 vs 8,70 giorni, $\Delta = -0,74$; $p = 0,025$). (R.3; 41; 26; 35 - [13], [23], [27], [29]) In parallelo, viene richiamato che l'esposizione a scene naturali può ridurre il dolore sensoriale rispetto all'assenza di accesso alla vista, mentre un'altra evidenza suggerisce che la quota di vista su natura dal letto è associata a riduzione del dolore percepito ma solo come trend ($p = 0,053$). (1; R.5 - [19]) Per gli **altri esiti clinici**, nello stesso contesto post-chirurgico si osservano meno commenti negativi nelle note infermieristiche/complication scores più bassi con vista naturale, ma senza significatività statistica (NS). (R.3 - [13])

Dal punto di vista del personale sanitario, la vista sulla natura è collegata a **soddisfazione e benessere**: le distrazioni positive/naturali sono indicate come leva di riduzione dello stress anche per lo staff, le viste naturali sono associate a minore intention to quit e vengono citati effetti favorevoli dei giardini terapeutici su soddisfazione percepita e volontà di lavorare con i pazienti; in un caso studio di ICU, postazioni di lavoro con accesso alle viste (tramite finestre di stanze/corridoi) si associano a indicatori organizzativi migliori (es. riduzione di assenteismo e vacancy rate, con $p < 0,05$ e $p = 0,04$). (1; 43; R.5 - [19], [22], [30]) Su **prestazioni/vigilanza**, le viste esterne naturali risultano associate a migliore vigilanza percepita negli infermieri, ma gli errori segnalati non differiscono (NS) e l'effetto è dichiarato non isolabile da luce e altri cambiamenti ambientali, quindi va letto con cautela. (43; R.5 - [19], [22]) Infine, sul **comfort visivo/minore affaticamento**, la vista esterna viene descritta come elemento con effetto "micro-riparatore", offrendo brevi pause all'attenzione mirata. (43 - [22])

2.2.4.3.2 Ampiezza e profondità della vista

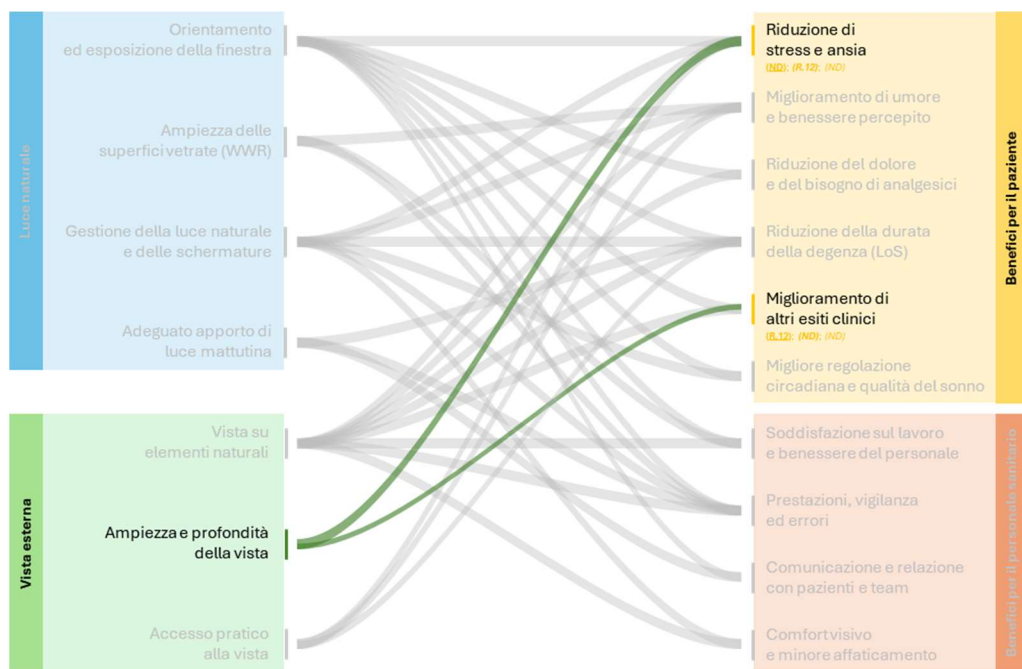


Figura 41: Relazione fra ampiezza e profondità della vista e benefici per il paziente

Nella macrocategoria “Vista esterna”, l'**ampiezza e profondità della vista** descrive non tanto cosa si vede (natura vs costruito), ma quanto la vista risulta aperta, profonda e non ostruita (es. panoramica vs schermata/bloccata). Nelle evidenze incluse, questa sottocategoria è sostenuta principalmente da uno studio quasi-sperimentale in centro di riabilitazione residenziale, dove la qualità/“apertura” della vista dalla finestra viene messa in relazione a esiti di paziente (R.12 - [20]). In particolare, una vista più aperta è associata a una riduzione di **stress e ansia** misurata nello studio, ma l'effetto risulta non significativo e, coerentemente, lo stato emotivo non cambia in modo apprezzabile al variare della vista (NS) (R.12 - [20]). Accanto a questo, la presenza di una vista non ostruita è collegata anche a un miglioramento di **altri esiti clinici** (ricondotti all'andamento/risposta del percorso riabilitativo), con un effetto riportato come significativo, pur di entità contenuta e variabile tra sottogruppi (es. in funzione del profilo diagnostico) (R.12 - [20]). Il punto “scomodo” qui è che la base di evidenza è ancora sottile (di fatto un singolo studio) e il costrutto “vista panoramica” rischia di inglobare più fattori (luminosità, percezione di controllo, qualità architettonica della stanza): quindi è un segnale interessante, ma va trattato come indicazione plausibile più che come relazione già stabilizzata.

2.2.4.3.3 Accesso pratico alla vista

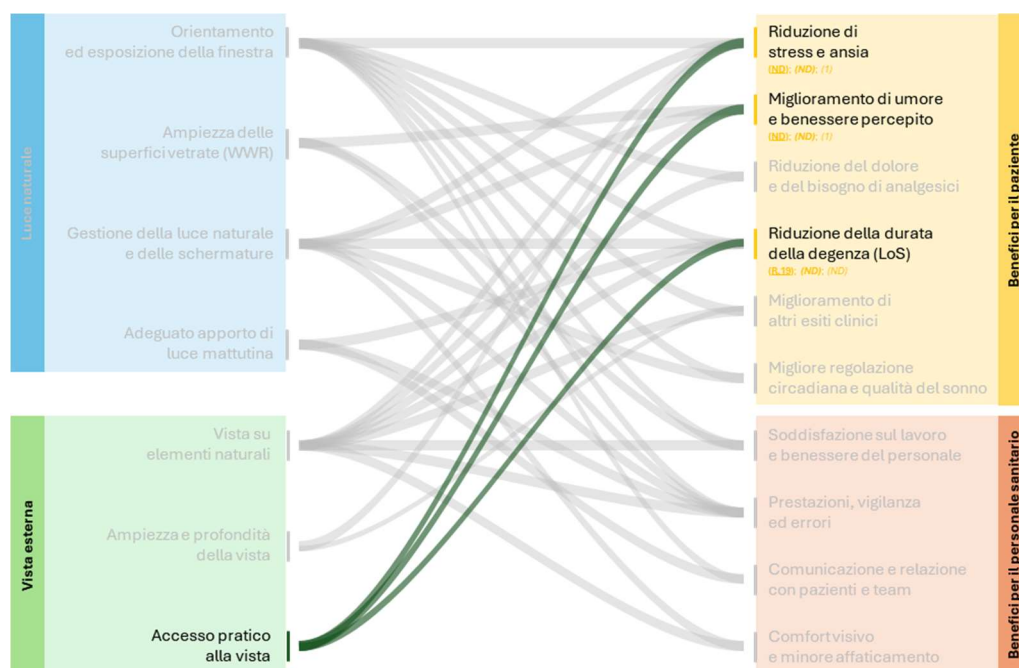


Figura 42: Relazione fra accesso pratico alla vista e benefici per il paziente ed il personale sanitario

Nella macrocategoria “Vista esterna”, l’**accesso pratico alla vista** riguarda condizioni molto concrete: da dove si fruisce la vista (in primis dal letto), quanto il serramento rientra nel campo visivo di un paziente spesso con mobilità ridotta, e come il layout (posizione/orientamento del letto rispetto alla finestra) abiliti o impedisca la connessione con l’esterno. In questa linea, un contributo di taglio design-driven sottolinea che, per pazienti vulnerabili e spesso costretti a letto, rendere la finestra “utilizzabile” visivamente (non solo presente) può aiutare a ridurre **stress e ansia** e a sostenere il miglioramento di **umore e benessere percepito**, in quanto la finestra diventa un canale di relazione con l’ambiente esterno più che un mero elemento edilizio (1 - [30]). L’unico riscontro quantitativo nel set incluso che intercetta direttamente il tema “accesso effettivo” (come esposizione reale del paziente nel punto letto) riguarda la **LoS**: misurando l’illuminamento al livello della testa sul letto (proxy dell’esposizione realmente “raggiunta” dal paziente, che dunque risulta influenzata anche da layout e posizione rispetto alla finestra), un aumento di +100 lux è associato a una riduzione della degenza di circa -7,3 ore con associazione significativa (R.19 - [21]).

2.3 Risultati e limitazioni

La letteratura inclusa ha permesso di individuare 75 connessioni tra metriche ambientali (luce naturale e vista esterna) ed esiti per pazienti e personale sanitario. La Figura 43 quantifica la tipologia di evidenza di tali connessioni (già riportate in *Appendice E* e nei diversi diagrammi di Sankey presentati in precedenza), distinguendo tra evidenze misurate (significative, n=20, o non significative/trend, n=13) e richiami di letteratura (n=42).

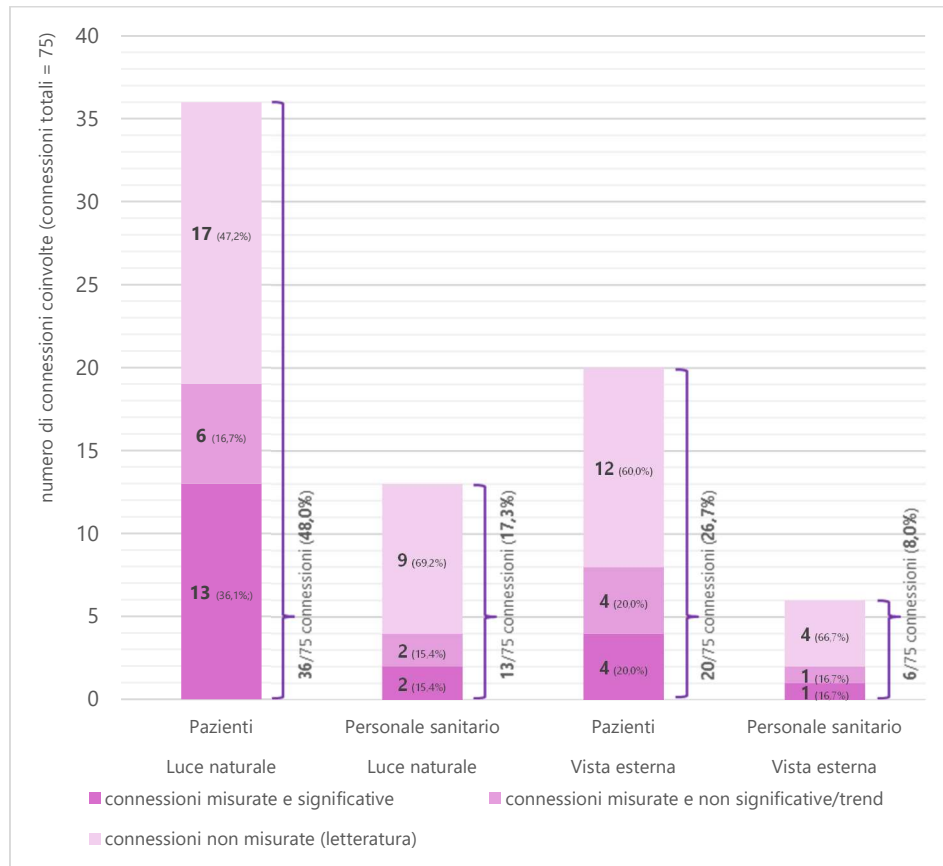


Figura 43: Analisi quantitativa delle connessioni rilevate nella letteratura inclusa, divise per combinazione delle macrocategorie

Di seguito vengono riportati i **risultati** principali sintetizzati, accorpati per sottocategoria (le prime quattro riferite alla luce, le ultime tre alla vista), così da consentire una rapida visualizzazione delle evidenze disponibili e delle principali connessioni emerse con gli outcome clinici (lato pazienti) e organizzativi (lato personale sanitario).

- **[Luce] Orientamento ed esposizione della finestra:** studiati soprattutto come proxy di quantità e timing della luce (stanze più “luminose/soleggiate”, orientamenti favorevoli, stanze con o senza finestra). Per i **pazienti**, queste due variabili sono associate ad una riduzione dello stress (definita significativa) e ad una riduzione di dolore e del ricorso ad analgesici (minor dolore spesso solo trend/NS), ma soprattutto ad una riduzione di LoS (riduzioni riportate in più

contesti). Per quanto concerne la regolazione circadiana, l'associazione rilevata è solo deduttiva. Per il **personale**, le due variabili sono state associate a miglior benessere, soddisfazione e comunicazione, mentre gli errori da parte del personale non sembrano dipendere dalle stesse.

- **[Luce] Ampiezza delle superfici vetrate (WWR):** trattata prevalentemente in chiave progettuale/preferenziale (più che come outcome clinico “duro” misurato, emerge infatti come deduzione): lato **pazienti**, finestre più ampie vengono riportate come favorevoli per il benessere percepito; lato **personale**, sono riconosciute come positivamente impattanti su benessere, soddisfazione e prestazioni. Emerge anche una “finestra di accettabilità” (troppo poco vs troppo).
- **[Luce] Gestione della luce naturale e delle schermature:** indagata come controllo della qualità della luce (abbagliamento, luce diretta, uniformità) tramite schermature e materiali impiegati. Per i **pazienti** è collegata a stress e ansia (anche con evidenze fisiologiche a seguito di interventi sulla configurazione delle tende), a benessere (non misurato), a LoS (associazione misurata con livello di illuminamento a letto) e a supporto della regolazione circadiana (dedotto, non misurato). Per il **personale**, questa variabile ricade su comfort visivo e affaticamento e, in generale, sulla qualità dell'ambiente di lavoro (entrambi comunque non misurati nella letteratura inclusa).
- **[Luce] Adeguato apporto di luce mattutina:** compare soprattutto come concetto legato a periodi di degenza (LoS) più brevi per i **pazienti** (associazione a stanze “soleggiate”); per il **personale**, è emerso come fattore che può incidere su sonnolenza, vigilanza e su aspetti legati alla comunicazione (pattern più marcato al mattino, ma con cautela interpretativa).
- **[Vista] Vista su elementi naturali:** studiata tramite confronti di tipo di vista (natura vs costruito) e riferimenti a positive distraction. Per i **pazienti**, è collegata in modo consistente alla riduzione di somministrazione di analgesici e a LoS più breve in alcuni contesti; su stress, benessere e altri esiti clinici, l'evidenza è più mista (non misurata o talvolta NS). Per il **personale** emergono segnali su benessere, fidelizzazione e vigilanza percepita, mentre gli errori spesso non cambiano.
- **[Vista] Ampiezza e profondità della vista:** evidenza più “sottile”: studiata soprattutto in un contesto specifico (riabilitazione) con indicatori di vista non ostruita. Per i **pazienti** è collegata ad altri esiti clinici (miglioramento fisico e mentale) più che a stress e ansia, dove i risultati possono restare non significativi.
- **[Vista] Accesso pratico alla vista:** trattata come condizione abilitante (“avere una finestra” è diverso da “poterla usare dal letto”). Per i **pazienti**, le connessioni su stress e benessere sono spesso argomentative, mentre l'evidenza quantitativa passa dall'esposizione reale a letto (illuminamento misurato all'altezza della testa del paziente) e si collega a LoS.

Le **limitazioni** riportate di seguito consentono di interpretare con maggiore cautela la forza delle evidenze raccolte. Sebbene la letteratura inclusa mostri connessioni ricorrenti tra luce naturale, vista esterna ed esiti riferiti a pazienti e personale sanitario, tali relazioni non risultano sempre direttamente confrontabili. Le differenze tra setting clinici, caratteristiche dei campioni, metriche adottate e modalità di misurazione riducono infatti la possibilità di trasferire automaticamente i risultati da uno studio all'altro. Le limitazioni risultano le seguenti:

- **eterogeneità** forte di setting clinici, popolazioni, metriche (orientamento, “stanza soleggiata”, con/senza finestra, ecc.), che rende difficile confrontare gli effetti, oltre che trasferire direttamente quanto emerge dalla letteratura.
- **molte connessioni** sono **associative**: alcune variabili potrebbero assumere il ruolo di fattori confondenti (selezione stanze, gravità clinica, organizzazione, rumore, privacy, qualità architettonica complessiva).
- **evidenza più debole in alcune sottocategorie**: spesso le connessioni sono supportate soprattutto da letteratura o argomentazioni e preferenze, più che da misure dirette su outcome clinici. Quest'affermazione trova riscontro nel fatto che molti studi sono osservazionali.
- **vista e luce** sono spesso **intrecciati**: gli effetti attribuiti alla vista non risultano sempre isolabili da quelli attribuiti alla luce e viceversa. Questo costituisce un punto debole della letteratura.

A supporto di quanto sintetizzato in quest'ultimo paragrafo, viene riportato un ulteriore grafico, che descrive i campioni analizzati negli studi clinici, sperimentali e osservazionali, in funzione di età, genere, numero e tipologia di partecipanti allo studio (Figura 44). Questo ha lo scopo di mettere in luce informazioni degli studi che hanno visto emergere delle evidenze primarie (definiti studi “conclusivi” nella tabella riportata in *Appendice E*). Gli studi preliminari vengono quindi esclusi dalla rappresentazione.

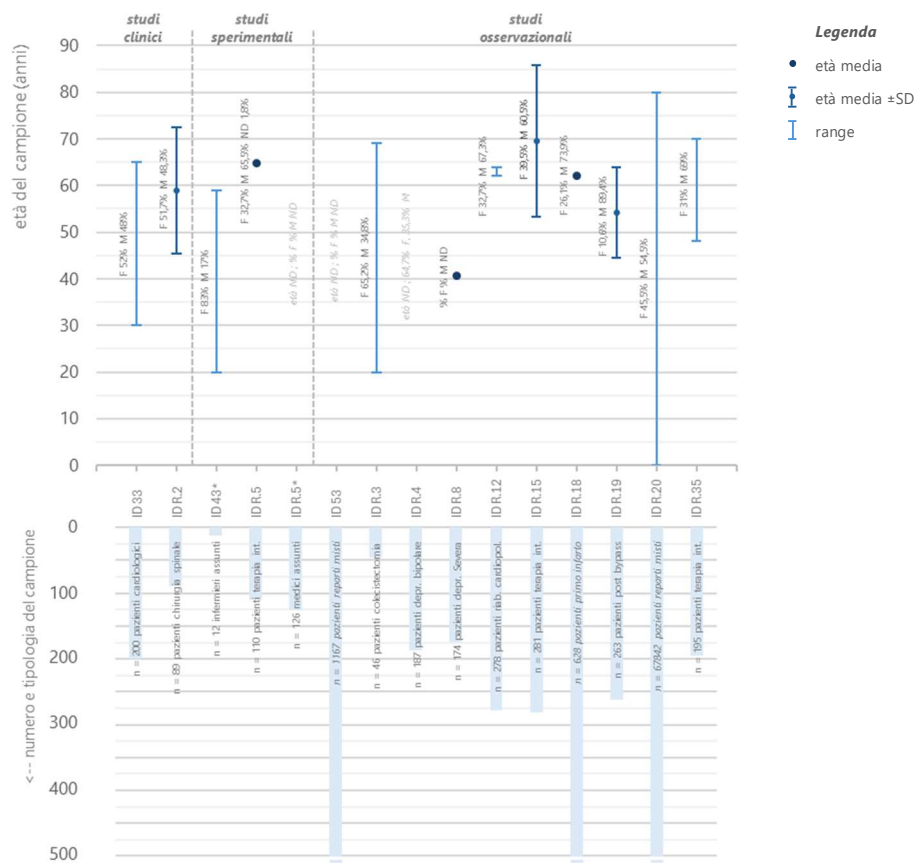


Figura 44: Analisi dei campioni degli studi clinici, osservazionali e sperimentali in funzione di età/genere (parte superiore) e numero/tipologia di partecipanti allo studio (parte inferiore). Gli studi ID 53, R.18 e R.20, con campione fuori scala, sono rappresentati con una colonna che termina con dei "trattini" e con carattere corsivo (parte inferiore)

Nel complesso, lo Stato dell'Arte restituisce un quadro nel quale la rilevanza della luce naturale e della vista esterna appare consistente, ma non ancora tradotta in un sistema unitario di valutazione. Le variabili vengono spesso descritte mediante indicatori indiretti, quali orientamento, presenza della finestra o esposizione solare, mentre risultano meno frequenti (se non del tutto assenti) le analisi che mettono contemporaneamente in relazione disponibilità di luce, rischio di abbagliamento, qualità della vista e percezione degli occupanti. Rimangono quindi aperte tre questioni principali:

- la possibilità di ricondurre descrittori eterogenei a metriche quantitative confrontabili;
- la necessità di leggere in modo congiunto e simultaneo aspetti ambientali (luminosi e visivi) tra loro intrinsecamente collegati;
- il confronto tra prestazioni calcolate e percezione reale degli utenti.

Queste esigenze costituiscono il punto di partenza della fase successiva dell'elaborato e vengono approfondite nel capitolo dedicato alla motivazione e alla metodologia del lavoro.

3 Motivazione e metodologia dell'elaborato

Lo Stato dell'Arte ha evidenziato come la luce naturale e la vista verso l'esterno possano contribuire alla definizione della qualità degli ambienti di degenza. Queste sono risultate associate a esiti riguardanti pazienti e personale sanitario, seppur con gradi di intensità dell'evidenza differenti. La revisione sistematica della letteratura ha infatti restituito un quadro ancora frammentato, caratterizzato da approcci, metriche e modalità di rilevazione difficilmente confrontabili (e dunque scalabili).

Come precedentemente accennato nel paragrafo conclusivo dello Stato dell'Arte, emergono tre esigenze che costituiscono le **motivazioni** della concezione e redazione dell'elaborato di tesi presentato. Vengono per comodità riportate sotto:

- la possibilità di ricondurre descrittori eterogenei a metriche quantitative confrontabili;
- la necessità di leggere in modo congiunto e simultaneo aspetti ambientali (luminosi e visivi) tra loro intrinsecamente collegati;
- il confronto tra prestazioni calcolate e percezione reale degli utenti.

Gli strumenti di simulazione disponibili consentono di calcolare separatamente numerosi indicatori, ma non restituiscono automaticamente una lettura integrata e interpretabile a scala di stanza. Da questa considerazione nasce l'esigenza di sviluppare uno strumento che permetta di aggregare e confrontare i risultati riferiti ad un determinato ambiente.

La sola valutazione quantitativa non è tuttavia sufficiente a descrivere l'esperienza del paziente. La posizione del letto, l'utilizzo delle schermature e le preferenze individuali possono modificare il modo in cui luce e vista vengono percepite. Per tale ragione, risulta necessario rilevare in modo tangibile l'esperienza degli ospiti della struttura che si vuole analizzare.

L'obiettivo finale della ricerca è quindi sviluppare una procedura strutturata e riproducibile per la lettura integrata delle condizioni luminose e visive negli ambienti di degenza, mettendo successivamente in relazione le prestazioni calcolate con i feedback degli ospiti della struttura.

La **metodologia** di analisi è stata organizzata come una sequenza di fasi tra loro collegate, rappresentate in Figura 45 (a lato di ogni fase è visibile il capitolo di riferimento in cui trovare le informazioni d'interesse).

Al fine di rendere la consultazione dell'elaborato più efficace e pragmatica, ogni sezione di secondo livello (#.# - es. 2.1) è stata introdotta da una sintesi dei contenuti principali (talvolta esplicitati come input e output presenti - es. 4.1), mentre la trattazione di dettaglio è rimandata ai relativi sottoparagrafi.

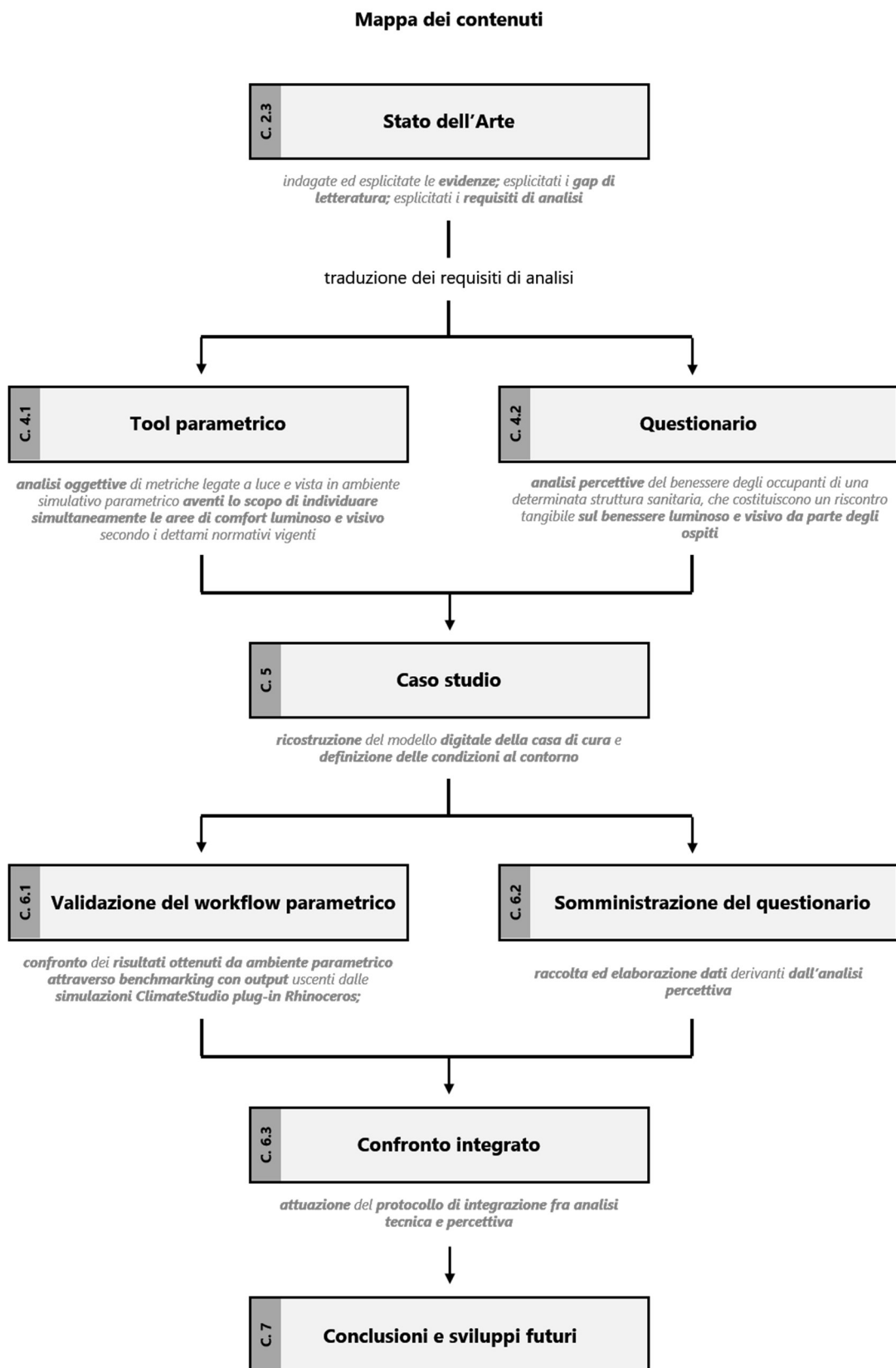


Figura 45: Mappa dei contenuti e delle relazioni fra le principali fasi dell'intero elaborato di tesi

La prima fase coincide con la redazione dello **Stato dell'Arte**. L'applicazione del framework pre-PRISMA e delle linee guida PRISMA 2020 ha consentito di individuare le principali evidenze disponibili, i limiti della letteratura e le variabili da tradurre in requisiti operativi per le fasi successive.

Sulla base di tali risultati sono stati sviluppati parallelamente due strumenti:

- Il primo è costituito dal **tool parametrico**, concepito per acquisire le geometrie dell'edificio, identificare i locali compatibili con i criteri definiti a monte, generare le griglie di calcolo, eseguire le simulazioni e riorganizzare i risultati a livello di sensore e di stanza. La lettura integrata delle metriche è finalizzata a individuare le aree nelle quali condizioni favorevoli di luce naturale, contenimento del rischio di abbagliamento e qualità della vista verso l'esterno risultano contemporaneamente presenti.
- Il secondo strumento è rappresentato dal **questionario** rivolto ai pazienti. La sua struttura deriva dalle variabili emerse dalla letteratura e considera, tra gli altri aspetti, la qualità percepita della luce naturale, il fastidio luminoso, l'utilizzo delle schermature, la percezione della vista esterna e la valutazione complessiva della stanza.

Il tool parametrico e il questionario sono stati inizialmente costruiti come strumenti indipendenti dal caso studio, così da renderne possibile l'applicazione anche ad altre strutture sanitarie.

Per quanto concerne il **caso studio**, è stato ricostruito il modello digitale di una casa di cura milanese, predisposto in modo da mantenere la corrispondenza tra geometrie, locali, griglie di calcolo e risultati delle simulazioni.

Il **workflow parametrico** è stato sottoposto a una **validazione** tecnica attraverso il confronto con simulazioni di benchmark eseguite mediante il plug-in ClimateStudio di Rhinoceros. Parallelamente, il **questionario** è stato **somministrato** ai pazienti e le risposte sono state associate alle relative stanze di degenza.

La fase successiva ha previsto il **confronto integrato** tra i due livelli di analisi. I risultati simulativi e percettivi vengono letti ricercando convergenze, divergenze ed eventuali fattori confondenti, senza attribuire automaticamente alle relazioni osservate un significato causale.

Relativamente alle **conclusioni**, una convergenza costituirebbe un'ulteriore conferma dell'utilità degli indicatori adottati nel contesto analizzato; una divergenza rappresenterebbe un risultato altrettanto rilevante, indicando la necessità di approfondire il ruolo delle specificità dell'ambiente ospedaliero e dei fattori individuali.

4 Analisi tecnica e percettiva del benessere degli ospiti in strutture ospedaliere

4.1 Tool parametrico per l'individuazione delle aree di comfort luminoso e visivo

- **Input:** geometrie bidimensionali e tridimensionali del modello, organizzate per piano e categoria costruttiva; proprietà ottiche dei materiali; identificazione dei parametri normativi e simulativi d'interesse relativi a luce e vista;
- **Output:** identificazione dei locali candidati a stanze di degenza, generazione e associazione delle griglie di calcolo, risultati a livello di sensore e di stanza con relative rappresentazioni grafiche, file CSV e predisposizione del sistema di rating stanza per stanza.

Il paragrafo descrive quindi il passaggio dal modello geometrico agli output simulativi, approfondendo l'architettura generale del workflow, la gestione delle geometrie, la costruzione delle griglie, i moduli di simulazione e il successivo trattamento dei risultati.

4.1.1 Architettura generale del workflow parametrico

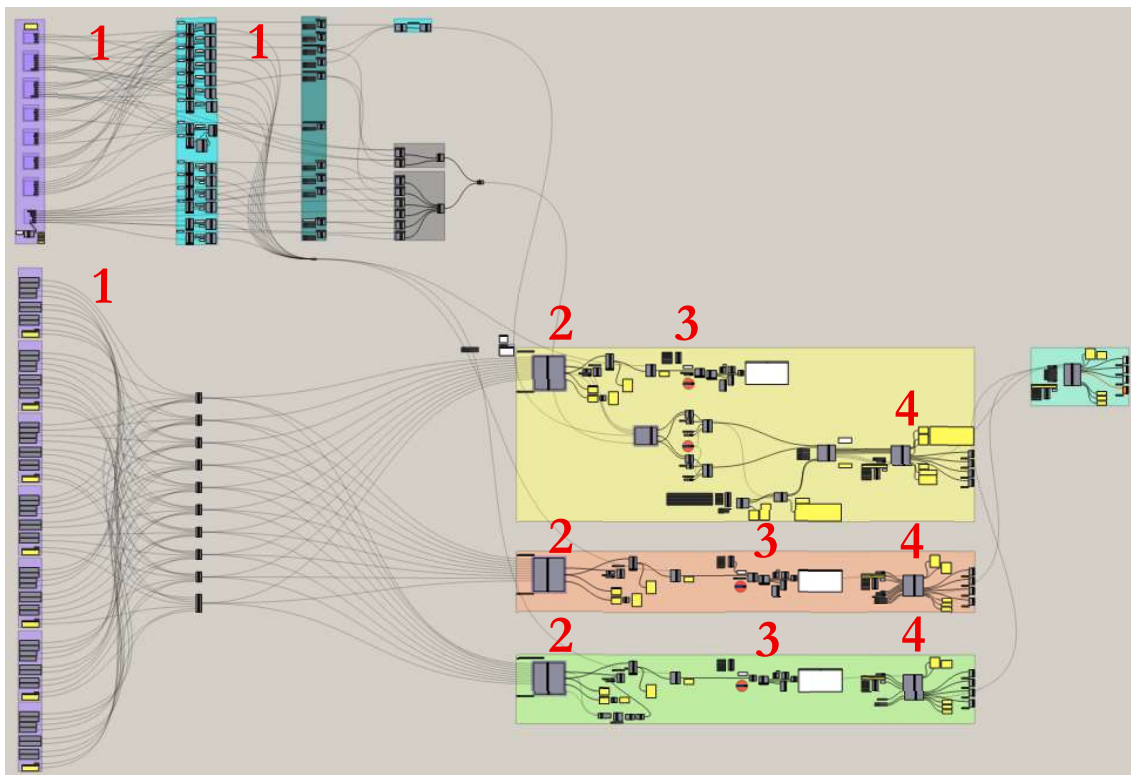


Figura 46: Struttura generale del tool parametrico sviluppato in Grasshopper e suddivisione nei macro-blocchi operativi

Il tool parametrico sviluppato in Grasshopper (GH) segue una struttura modulare, organizzata in macro-blocchi distinti ma tra loro collegati. Tale impostazione ha permesso di separare le operazioni geometriche, la predisposizione delle simulazioni, le simulazioni proprie comprensive di post-processing dei risultati e la successiva aggregazione dei dati.

Osservando la Figura 46, una prima sezione (1 in rosso) è dedicata all'acquisizione delle geometrie tridimensionali (in alto a sinistra, riquadro viola) e bidimensionali (a sinistra, riquadro viola) provenienti dal modello Rhinoceros della struttura in analisi. In questo blocco vengono richiamati muri, solai, serramenti, superfici vetrate, contesto e alberature, ai quali sono successivamente assegnati i materiali (in alto, riquadri azzurri e grigi) e gli attributi necessari alle simulazioni.

La seconda sezione riguarda l'individuazione parametrica dei possibili locali candidati a stanza di degenza e la generazione delle relative griglie di calcolo. Il cluster presente in questa porzione di codice costituisce una sorta di sub-tool parametrico costruito con la seguente finalità: a partire dalla sola geometria bidimensionale presente nei diversi piani del modello digitale realizzato in Rhinoceros (da intendersi come la geometria 2D da cui si partirà per la realizzazione del modello digitale 3D e la geometria 3D stessa), il codice applica i criteri geometrici e funzionali definiti e mantiene la corrispondenza tra locale, codice identificativo e punti sensore. Questo sub-tool poi lavora come dataset della componente del template ClimateStudio per la realizzazione di griglie di calcolo custom (*Sensor Override*).

La terza sezione del tool contiene l'ambiente simulativo vero e proprio, costruito mediante componenti nativi di Grasshopper, componenti Honeybee e template ClimateStudio presenti all'interno dell'ambiente GH. Questi ultimi sono stati adattati alle finalità della ricerca, sia per l'impostazione delle simulazioni sia per l'estrazione dei dati. Fra le metriche illuminotecniche e ambientali si è scelto di predisporre l'ambiente simulativo al fine di restituire risultati legati a UDI, Daylight Glare Probability e tre parametri incrociati relativi a View Out (tutti discussi in dettaglio all'interno del paragrafo 5.3.3). Particolare attenzione è stata dedicata alla metrica relativa all'UDI, per la quale è stato sviluppato un pre e post-processing specifico, non essendo presente come output indagabile nei sopracitati template ClimateStudio presenti in Grasshopper.

I risultati uscenti dalle simulazioni relative alle metriche appena citate sono stati infine riorganizzati mantenendo un doppio livello di lettura: locale, riferito al singolo sensore, e aggregato, riferito alla stanza.

Il flusso si conclude con la quarta sezione, che è costituita dall'esportazione dei dati in formato CSV e dalla predisposizione del blocco destinato alla costruzione del rating stanza per stanza della struttura oggetto di analisi. Tale struttura (che si estende fino al gruppo azzurro acqua a destra) consentirà, in una fase successiva, l'integrazione dei risultati raccolti dall'analisi percettiva (condotta mediante questionario) con gli output uscenti dall'ambiente simulativo, al fine di verificarne convergenze, divergenze ed eventuali fattori confondenti.

4.1.2 Acquisizione e associazione delle geometrie

Le geometrie necessarie alla costruzione dell'ambiente simulativo sono richiamate direttamente dal modello Rhinoceros di riferimento, mantenendo la suddivisione per piano e per categoria precedentemente definita nella struttura dei layer del modello tridimensionale Rhinoceros. Il collegamento interessa separatamente le geometrie tridimensionali di edificio (e contesto) e quelle bidimensionali del solo edificio, queste ultime utilizzate come input principale del sub-tool parametrico di identificazione dei locali candidati a stanze di degenza.

Per ciascun piano vengono poi acquisiti muri, solai, porte, superfici vetrate, balconi e parapetti, oltre agli edifici limitrofi, alle superfici esterne e alle alberature. La separazione iniziale delle categorie geometriche ha consentito di assegnare a ciascun elemento gli attributi richiesti dai diversi motori di simulazione, evitando la duplicazione manuale del modello.

Nel blocco comprendente le geometrie bidimensionali del modello (Figura 47) emergono due componenti di particolare interesse: *pt_ref_ID* (componente *point* inserita manualmente, piano per piano, all'interno del modello tridimensionale Rhinoceros in ordine di assegnazione del codice univoco stanza, in corrispondenza del centro dei locali candidabili) e *ID superfici compatibili a stanze di degenza* (componente *panel*). Tale predisposizione è risultata necessaria al fine di utilizzare la stessa codifica precedentemente assegnata, nonché per rispettare la numerazione reale delle stanze di degenza all'interno della struttura in analisi. In questo modo, qualora una stanza indagata non dovesse risultare compatibile a stanza di degenza, non si incorre in alcun tipo di incongruenza fra codifica preliminare e automatizzata.

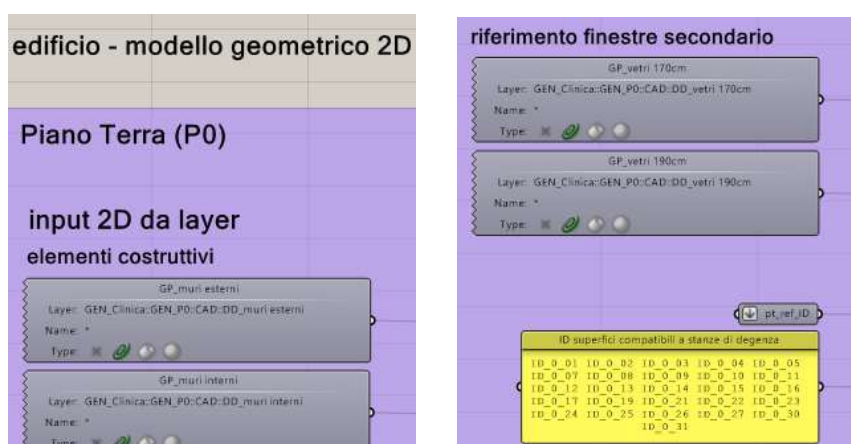


Figura 47: Estratto del blocco comprendente le geometrie bidimensionali con dettaglio sulle componenti *pt_ref_ID* e *ID superfici compatibili a stanze di degenza*, Grasshopper

L'assegnazione dei materiali è stata sviluppata attraverso due sezioni parallele. Per le simulazioni DA, Glare e View Out sono stati utilizzati i componenti dei template ClimateStudio (colonna azzurro chiaro, Figura 46), tra cui quelli dedicati al richiamo dei materiali e alla costruzione di scene layer, superfici vetrate e sistemi di schermatura. Il modulo UDI, sviluppato mediante componenti Honeybee, ha invece richiesto

la definizione separata dei modificatori per gli elementi opachi, trasparenti e ombreggianti (colonna azzurro scuro, Figura 46). Le due sezioni adottano le medesime proprietà ottiche, traducendole però nella struttura dati richiesta dai rispettivi componenti.

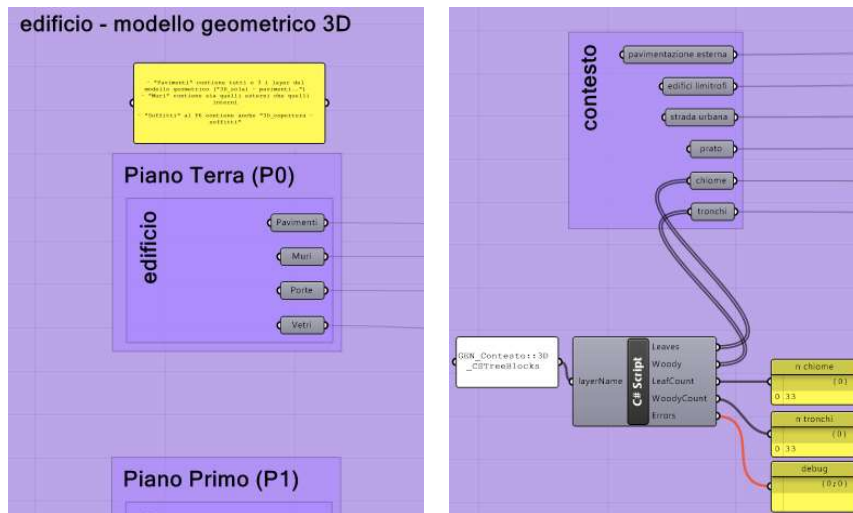


Figura 48: Estratto del blocco comprendente le geometrie tridimensionali con dettaglio sulla componente C# Script utile alla semplificazione geometrica delle alberature CSBlock, Grasshopper

Un'attenzione specifica è stata riservata alle alberature, con ogni probabilità presenti nel modello come blocchi ClimateStudio caratterizzati da un numero elevato di elementi. Attraverso un componente *C# Script* (Figura 48) è possibile estrarre separatamente chiome e tronchi al fine di trasformarle in geometrie più “leggere” riducendone la complessità. La semplificazione mantiene la configurazione generale delle alberature, rendendone al tempo stesso più agevole la gestione all'interno del tool e delle successive simulazioni.

Al termine della procedura, le geometrie e i relativi attributi risultano organizzati in dataset distinti ma coerenti, successivamente inviati ai moduli di identificazione dei locali, generazione delle griglie e simulazione.

4.1.3 Identificazione parametrica delle stanze candidate e generazione delle griglie di calcolo

L'identificazione dei locali compatibili a stanze di degenza e la successiva generazione delle griglie di calcolo sono state concentrate all'interno di un unico cluster parametrico, compatibile con tutti e tre i moduli simulativi riportati in dettaglio nei paragrafi successivi. Il sub-tool riceve in ingresso le geometrie bidimensionali degli elementi costruttivi, i punti di riferimento associati ai locali, gli identificativi precedentemente assegnati e i parametri dimensionali necessari alla costruzione delle griglie.

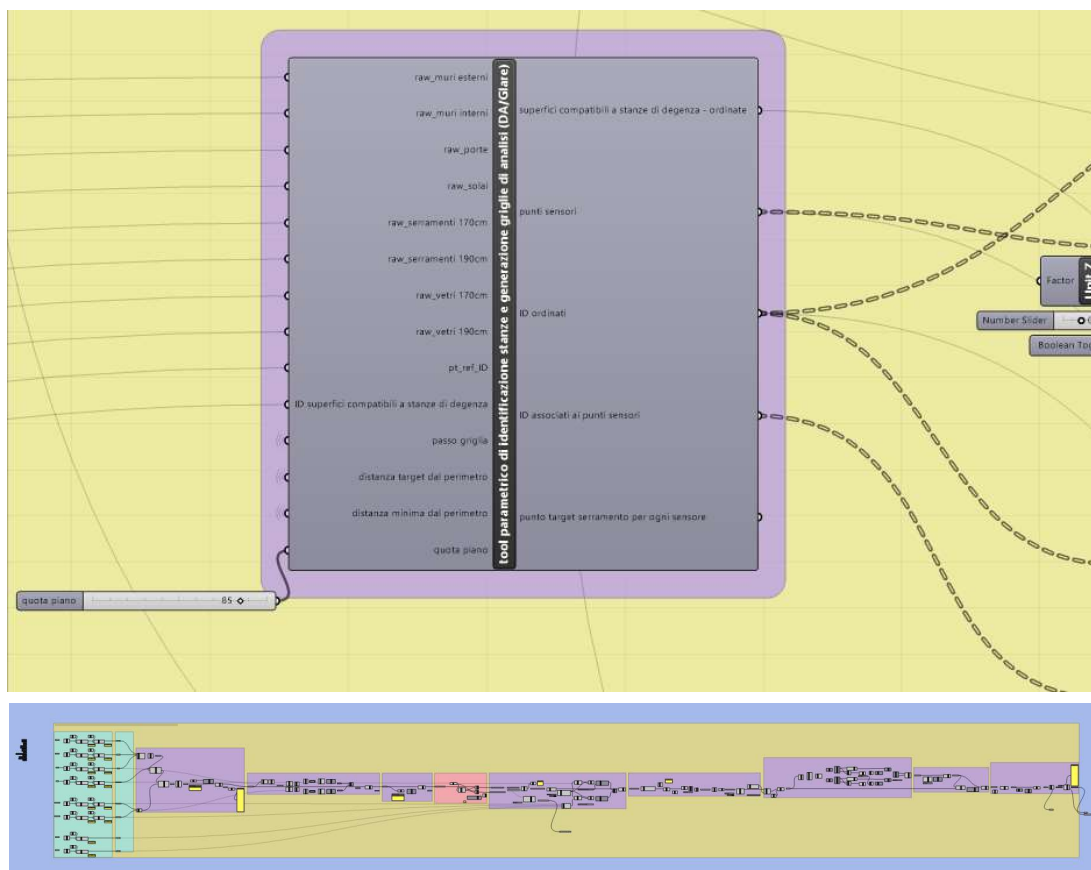


Figura 49: Sub-tool parametrico di identificazione stanze di degenza e generazione delle griglie di calcolo (overview generale della struttura del cluster sotto), riportato in esempio all'interno del modulo daylight, Grasshopper

La costruzione del cluster ha visto al suo interno le seguenti fasi:

- **ricostruzione** delle **superfici** corrispondenti ai locali;
- **applicazione** dei **criteri dimensionali e funzionali**;
- **associazione** dei codici identificativi (**ID**) alle **superfici selezionate**;
- **generazione** e filtraggio delle **griglie di calcolo**;
- **assegnazione** dell'**ID** del locale a ciascun **punto sensore**.

Inizialmente, le curve relative a muri esterni, partizioni interne, porte e serramenti vengono controllate, unite e filtrate, escludendo gli elementi non planari o non correttamente chiusi. A partire dalle geometrie così elaborate vengono ricavate le regioni planari comprese all'interno del perimetro del piano, corrispondenti ai diversi locali presenti nella struttura in analisi.

Le superfici ottenute vengono quindi sottoposte a una prima selezione dimensionale. Come limite inferiore è stata assunta una superficie netta pari a 8,55 m², corrispondente al requisito di 9 m² previsto da D.G.R. VI/38133 del 1998 e D.P.R. 14/01/1997 (requisiti minimi dimensionali per le stanze di degenza sono quelli definiti per il comparto ospedaliero dalla normativa della Regione Lombardia) per

una stanza singola, ridotto del 5% per compensare eventuali approssimazioni derivanti dalla ricostruzione geometrica. I locali con superficie inferiore vengono esclusi dal processo. Un secondo controllo verifica la presenza di almeno una porta e di un serramento associabili al locale. Questa operazione permette di escludere ambienti privi dei requisiti funzionali minimi e superfici generate accidentalmente durante le operazioni geometriche. Successivamente viene applicato anche un limite dimensionale superiore, pari a 33,60 m², introdotto per distinguere le stanze potenzialmente compatibili ad accogliere la degenza da corridoi, spazi distributivi e ambienti di dimensioni sensibilmente maggiori. Il valore adottato considera la superficie prevista dalle suddette norme per una stanza a quattro letti, incrementata per assorbire eventuali incongruenze del modello e includere ambienti caratterizzati da una maggiore flessibilità d'uso.

Le superfici risultanti vengono ordinate mantenendo la codifica già definita nel modello. L'associazione avviene mediante il confronto tra il centroide di ciascun locale e i punti di riferimento predisposti in Rhinoceros. Il componente *Closest Point* consente di ricavare l'indice corrispondente e di riordinare superfici, centroidi e identificativi secondo la medesima struttura. Gli ID delle superfici escluse non vengono riassegnati, così da conservare la tracciabilità con il modello originario nonché con il modello reale della struttura in analisi.

Per ciascun locale selezionato viene successivamente individuato il tratto del perimetro associato alla facciata esterna. Tale riferimento viene utilizzato per costruire un sistema di coordinate locale coerente con la geometria della stanza. All'interno di questo piano locale viene generata una griglia regolare, con passo definito a monte tramite slider numerici, successivamente filtrata mantenendo soltanto i punti interni al perimetro. La fascia prossima alle pareti viene esclusa verificando la distanza minima tra ciascun punto e il bordo del locale. Nel caso applicativo il valore è stato fissato a 0,50 m, coerentemente con le impostazioni adottate nelle simulazioni di riferimento che si vedranno successivamente. I punti validi vengono infine riportati nel sistema di coordinate globale e traslati alla quota del piano di lavoro, pari a 0,85 m dal pavimento.

A ciascun sensore viene assegnato l'identificativo del locale di appartenenza. Il numero di punti associato a ogni stanza viene ricavato dalla lunghezza dei relativi rami e utilizzato per duplicare gli ID secondo la struttura delle griglie.

La conservazione della struttura ad albero permette di trasferire senza ambiguità le griglie ai successivi moduli daylight, discomfort glare e view out e di ricondurre i risultati prima al singolo sensore e successivamente alla relativa stanza. Per il modulo View Out viene inoltre individuato, per ciascun punto, il serramento di riferimento verso cui orientare la direzione di analisi.

4.1.4 Modulo daylight (UDI)

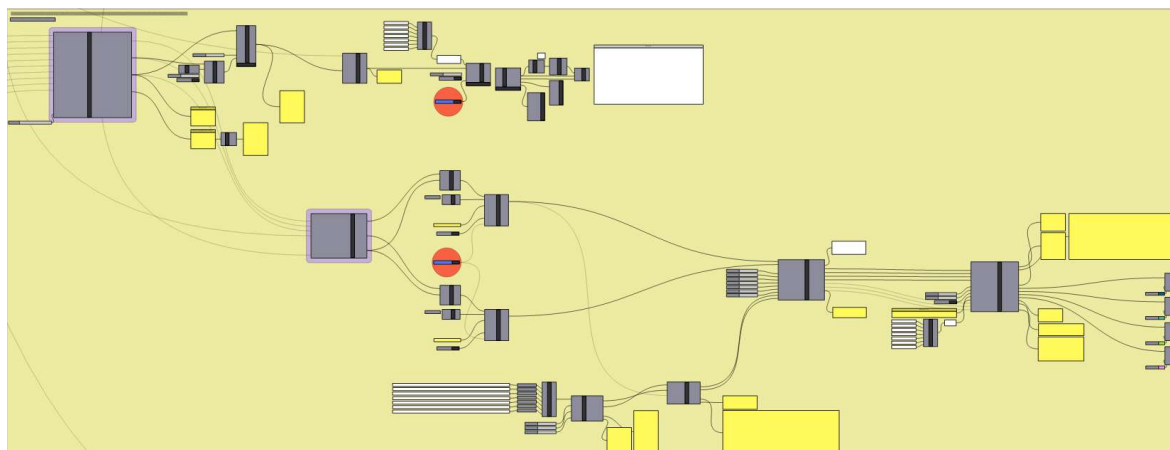


Figura 50: Overview del modulo daylight comprensivo anche del sotto blocco UDI, Grasshopper

Il modulo dedicato alla disponibilità di luce naturale si articola in due parti fra loro collegate: la prima basata sul template Daylight Availability di ClimateStudio, la seconda sviluppata mediante componenti Honeybee e script custom per il calcolo e il post-processing della Useful Daylight Illuminance. La UDI appartiene quindi al medesimo flusso di analisi daylight e non costituisce una simulazione indipendente.

Le griglie e gli identificativi prodotti dal sub-tool descritto nel paragrafo 4.1.3 vengono inizialmente convertiti nei formati richiesti dai due ambienti di simulazione. Nel ramo ClimateStudio, i punti sensore vengono trasformati in SensorGrid, associati alle geometrie e ai materiali del modello e utilizzati per costruire il Daylight Model. Le simulazioni annuali vengono organizzate per piano, mantenendo una denominazione univoca dei risultati e la corrispondenza tra stanza, griglia e file di output.

Il template ClimateStudio restituisce le principali metriche annuali di daylight, ma non rende direttamente disponibili, negli output interrogabili in Grasshopper, tutti i dati necessari alla successiva elaborazione delle singole fasce UDI. Per tale ragione è stato predisposto un ramo custom UDI in Honeybee, basato sui valori orari di illuminamento calcolati per ciascun sensore. Una particolare attenzione è stata riservata alla gestione dinamica delle schermature. Il post-processing UDI utilizza due serie di risultati annuali, riferite rispettivamente alla configurazione aperta e chiusa delle schermature. Lo stato assunto in ogni ora non viene però stabilito arbitrariamente: viene ricavato dai file di output delle simulazioni daylight eseguite in Grasshopper con ClimateStudio, dai quali viene letto il calendario orario di apertura e chiusura associato a ciascuna stanza. Gli script custom allineano quindi le ore restituite da ClimateStudio con le ore annuali disponibili nei risultati Honeybee e, per ogni stanza e timestep, selezionano il corrispondente valore di illuminamento del ramo aperto o chiuso. Questa soluzione ha consentito di riprodurre nel calcolo UDI il comportamento dinamico delle schermature senza dover ricostruire una seconda logica di controllo all'interno del modello Honeybee. Durante il processo vengono inoltre verificati la

corrispondenza delle ore, il numero delle stanze, il numero dei sensori e la presenza di eventuali risultati mancanti. Per ciascun sensore, i valori orari selezionati vengono classificati nelle quattro fasce adottate (riportate in dettaglio all'interno del paragrafo 5.3.3). Il risultato associato a ogni fascia esprime la percentuale delle ore analizzate durante le quali il sensore ricade nel relativo intervallo. La somma delle quattro percentuali viene controllata e deve risultare pari al 100%, al netto delle tolleranze numeriche.

I risultati vengono conservati inizialmente a livello di sensore, mantenendo l'associazione con l'ID della stanza. Successivamente vengono aggregati per locale, così da ottenere per ogni ambiente i valori medi delle quattro fasce UDI (dato rilevante per il confronto con le simulazioni di riferimento condotte in ClimateStudio plug-in Rhinoceros).

L'ultima parte del modulo genera le preview grafiche delle quattro classi e predispone l'esportazione dei risultati in formato CSV.

4.1.5 Modulo Glare

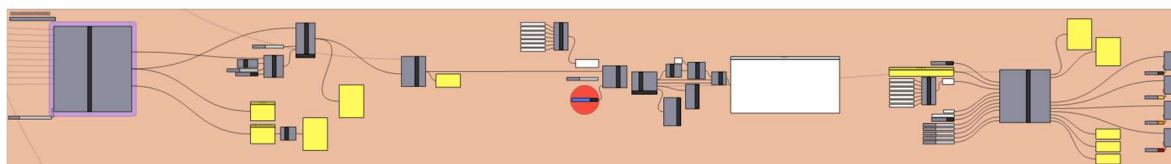


Figura 51: Overview del modulo Glare, Grasshopper

Il modulo dedicato al discomfort glare riprende la stessa struttura generale già descritta per il daylight, mantenendo la corrispondenza tra stanza, griglia e punti sensore. La principale differenza è che, per ciascun sensore, ClimateStudio restituisce i risultati relativi a otto differenti direzioni di vista.

Il post-processing classifica ciascuna vista nelle quattro categorie imperceptible, perceptible, disturbing e intolerable glare (dettaglio presente all'interno del paragrafo 5.3.3).

Per ogni sensore vengono ricavati sia la classe peggiore tra le otto viste, utilizzata per la rappresentazione grafica, sia uno score medio pesato, ottenuto attribuendo alle quattro classi un rango crescente da 0 a 3.

I risultati vengono infine aggregati a livello di stanza, mantenendo sia gli indicatori medi sia le percentuali di sensori appartenenti alle diverse classi.

4.1.6 Modulo View Out

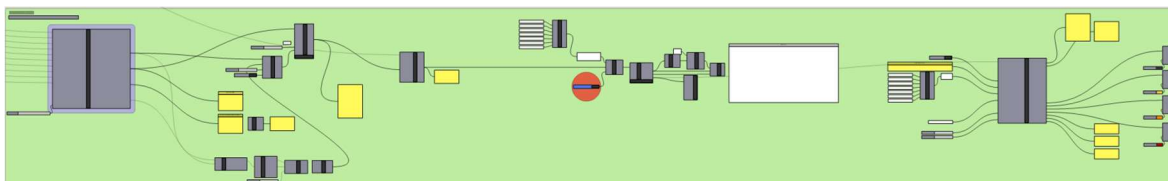


Figura 52: Overview del modulo View Out, Grasshopper

Anche il modulo View Out riprende la struttura generale utilizzata per le altre analisi, mantenendo la corrispondenza tra stanza, griglia e punti sensore. In questo caso, tuttavia, a ciascun sensore viene associata una direzione specifica, orientata verso il serramento target individuato dal sub-tool parametrico (paragrafo 4.1.3). Nelle stanze con più aperture, il riferimento viene assegnato punto per punto in funzione del serramento ritenuto pertinente (il più vicino al punto sensore analizzato).

La simulazione viene eseguita mediante il template View Out di ClimateStudio. Il successivo post-processing estrae i seguenti indicatori (dettaglio presente all'interno del paragrafo 5.3.3):

- angolo di visualizzazione orizzontale;
- distanza mediana degli elementi esterni;
- visibilità del paesaggio;
- visibilità del cielo;
- visibilità del terreno.

La metrica *EN 17037 View Level (Overall)* restituita dal software non viene utilizzata come principale indicatore interpretativo, poiché sintetizza in un'unica classe condizioni tra loro differenti. Le tre variabili booleane relative agli strati visibili vengono invece combinate mediante un context score, ottenuto sommando la presenza di paesaggio, cielo e terreno. L'angolo visivo e la distanza esterna vengono inizialmente mantenuti come indicatori separati. Questi consentono di distinguere stanze che presentano la stessa combinazione di elementi visibili, ma differiscono per ampiezza, profondità della vista o presenza di ostacoli ravvicinati. Il modulo conserva quindi parallelamente la classificazione complessiva prevista dalla UNI EN 17037:2023, determinata dal criterio meno favorevole tra angolo di visualizzazione, distanza esterna e numero di strati visibili (paragrafo 5.3.3). Tale risultato viene utilizzato come riferimento prestazionale e per l'attuale sovrapposizione grafica delle aree di comfort.

I risultati vengono conservati sia a livello di sensore sia a livello di stanza. Le preview sono rappresentate mediante elementi orizzontali in pianta, indipendentemente dall'orientamento tridimensionale utilizzato nella simulazione, mentre i dati vengono esportati in file CSV distinti per i due livelli di lettura.

4.1.7 Predisposizione del sistema di rating stanza per stanza e individuazione delle aree di comfort luminoso e visivo

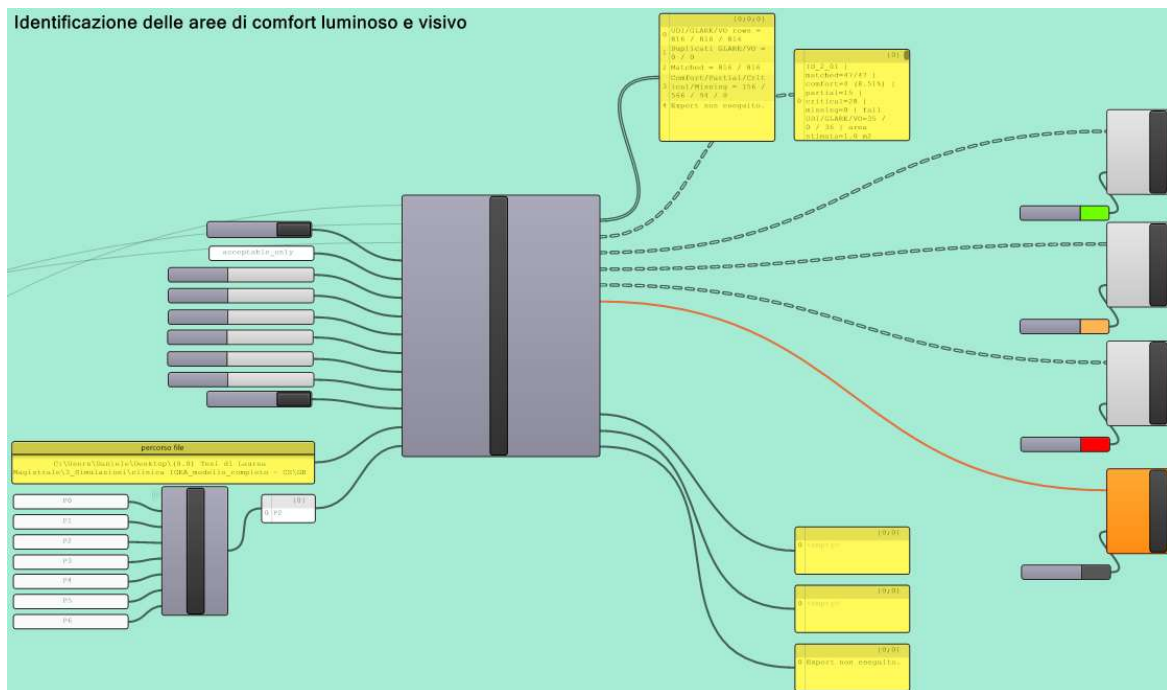


Figura 53: Overview del modulo di identificazione delle aree di comfort luminoso e visivo, Grasshopper

Il sistema di rating è stato sviluppato per restituire una valutazione sintetica del benessere luminoso e visivo a scala di stanza, mantenendo comunque disponibili i risultati locali dei singoli sensori. L'indicatore integra gli output relativi a UDI, discomfort glare e View Out mediante un modulo dedicato di post-processamento, nel quale le diverse metriche vengono ricondotte a condizioni prestazionali confrontabili.

L'individuazione delle aree caratterizzate da condizioni contemporaneamente favorevoli è stata implementata direttamente all'interno del tool parametrico. Il modulo associa i risultati sensor-level dei tre ambiti mediante l'identificativo della stanza e l'indice locale del sensore, ricostruendone la rappresentazione su un piano comune senza modificare i dati originari delle singole simulazioni.

Sono state considerate le seguenti condizioni:

- **daylight:** aree appartenenti alla fascia *UDI acceptable*;
- **glare:** aree classificate come *imperceptible glare*;
- **view out:** livello complessivo almeno *minimum*, determinato dal *criterio peggiore* tra *angolo di vista*, *distanza esterna* e *numero di strati visibili*.

L'intersezione logica delle tre condizioni costituisce un indicatore operativo della loro compresenza. I sensori che soddisfano tutti i criteri vengono classificati come appartenenti alle aree di comfort luminoso e visivo (preview in verde); quelli che ne soddisfano due sono identificati come parzialmente favorevoli (preview in arancio/giallo), mentre i restanti sono segnalati come critici (preview in rosso). La procedura consente inoltre di individuare la singola metrica responsabile della mancata conformità.

Il modulo restituisce per ciascuna stanza il numero e la percentuale dei sensori appartenenti alle diverse condizioni, una stima dell'area associata al comfort e le relative criticità locali. I risultati vengono conservati nei file CSV sensor-level e room-level e rappresentati mediante preview integrate, rendendo disponibile una lettura automatizzata e riproducibile delle prestazioni luminose e visive.

4.2 Strumento di indagine percettiva sul benessere luminoso e visivo

- **Input:** evidenze emerse dallo Stato dell'Arte, questionari già utilizzati in letteratura, caratteristiche del campione anziano e revisioni condotte con relatori e Università degli Studi di Milano Bicocca;
- **Output:** questionario anonimo definitivo, protocollo di somministrazione, sistema di codifica delle risposte e predisposizione dei dati per il successivo confronto con i risultati dell'analisi tecnica

Il questionario indaga qualità percepita della stanza, luce naturale, vista esterna, schermature, stress, sonno e qualità complessiva della degenza. La struttura grafica è stata inoltre predisposta ed ottimizzata per facilitare la lettura automatizzata delle caselle annerite e la successiva organizzazione delle risposte in formato tabellare.

4.2.1 Processo di composizione del questionario

Il questionario è stato sviluppato con l'obiettivo di indagare la relazione tra la percezione dell'ambiente di degenza e le condizioni relative alla luce naturale, al controllo delle schermature e alla vista verso l'esterno realmente "vissute" dagli ospiti di una struttura ospedaliera. Lo strumento è stato costruito per rilevare possibili convergenze o divergenze fra l'esperienza dichiarata dai pazienti e le prestazioni luminose e visive ottenute dall'analisi tecnica precedentemente descritta.

Una prima impostazione del questionario è stata realizzata partendo dalla letteratura inclusa nello Stato dell'Arte. Come riferimento principale è stato assunto lo studio di Jafarifiroozabadi et al.[31], particolarmente pertinente per il contesto ospedaliero e per l'analisi congiunta di soddisfazione per la luce naturale, accesso alla vista, posizione e controllo delle schermature e valutazione complessiva della stanza. Un ulteriore riferimento è stato fornito da Kim et al.[32], che distingue la qualità della vista nelle componenti di contenuto, accesso, chiarezza, privacy e soddisfazione complessiva, proponendo un'impostazione standardizzata per le indagini percettive.

La redazione dello strumento di analisi percettiva è avvenuta attraverso un processo iterativo e condiviso, riassumibile nelle fasi riportate di seguito:

- elaborazione della prima versione a partire dallo Stato dell'Arte e confronto interno con relatore e correlatore;

- revisione da parte dell'Università degli Studi di Milano Bicocca, con modifiche lessicali e metodologiche orientate alla comprensibilità e alla pertinenza anche in caso di campione anziano;
- successivo perfezionamento degli item, nuovo confronto interno e approvazione della versione destinata alla somministrazione.

Le domande selezionate sono state tradotte, rielaborate e uniformate prevalentemente mediante scale a cinque livelli, cercando di limitare il carico cognitivo e le possibili ambiguità. Il processo svolto costituisce una revisione interdisciplinare dello strumento e un'approvazione per la somministrazione, ma non una validazione psicometrica, che richiederebbe un campione più ampio e specifiche analisi statistiche.

4.2.2 Campione e modalità di somministrazione

Il questionario è rivolto a pazienti degenti da almeno tre settimane e non prossimi alla dimissione. Tale criterio è stato adottato per coinvolgere soggetti che avessero già maturato un'esperienza sufficientemente stabile della stanza e dell'ambiente di cura in analisi, riducendo il rischio di giudizi legati esclusivamente ai primi giorni di permanenza o alla fase conclusiva della degenza.

La compilazione è volontaria e anonima. Il questionario deve essere somministrato con il supporto di operatori della struttura in analisi, senza raccogliere informazioni direttamente identificative e specificando che le risposte non influiscono sull'assistenza ricevuta. I risultati vengono utilizzati esclusivamente in forma aggregata per finalità di ricerca.

Per consentire il successivo confronto intrinseco con le simulazioni luminose e visive, deve essere registrato l'ID della stanza, insieme ad alcune informazioni contestuali, quali fascia d'età, genere, posizione del letto rispetto alla finestra e postura prevalente durante la giornata. La compilazione avviene annerendo una sola casella per ciascuna domanda, così da facilitare la successiva acquisizione e organizzazione automatizzata delle risposte.

4.2.3 Struttura del questionario

Il questionario è organizzato in una prima sezione dedicata alle informazioni contestuali e in 25 domande, delle quali 20 costituiscono il corpo principale e cinque sono riportate come domande extra. Le informazioni iniziali comprendono stanza, fascia d'età, genere, posizione del letto rispetto alla finestra e postura prevalente durante la giornata. Per una miglior comprensione, di seguito ne viene riportata la versione integrale.

INDAGINE BENESSERE (WELLBEING) IN STRUTTURE OSPEDALIERE - CENTRO DI RIABILITAZIONE (MILANO)

- La COMPILAZIONE è VOLONTARIA e ANONIMA. I dati saranno utilizzati per finalità scientifiche di tesi e in forma aggregata. Le risposte non influenzano in alcun modo l'assistenza ricevuta.
- ANNERIRE UNA sola CASELLA per riga. NON sono AMMESSE CROCETTE o SPUNTE. Documento da SCANSIONARE.
- In caso di foto: nitida, luce uniforme, senza ombre.
- Risposte pesate su SCALA da 1 a 5, dettagli specifici inseriti nei rispettivi box risposta.

Stanza:

(NON COMPILARE) CODIFICA PER LA NUMERAZIONE PROGRESSIVA DEI QUESTIONARI

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Età:	18-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	> 80
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Genere:	M	F	Altro				
	☐	☐	☐				
Il suo letto è vicino alla finestra?	Si	No					
	☐	☐					
Durante il giorno, passa la maggior parte del suo tempo	Sdraiato	Seduto	In piedi				
	☐	☐	☐				

ID	DOMANDA	RISPOSTA				
01	Come valuta la qualità complessiva dell'assistenza ricevuta finora (medici, infermieri, OSS, ..)?	pessima ☐	scarsa ☐	discreta ☐	buona ☐	eccellente ☐
02	Come valuta, in generale, questa struttura ospedaliera?	pessima ☐	scarsa ☐	discreta ☐	buona ☐	eccellente ☐
03	Come valuta, in generale, la stanza in cui si trova?	pessima ☐	scarsa ☐	discreta ☐	buona ☐	eccellente ☐
04	Come valuta la qualità della luce naturale nella sua stanza (vede bene al suo interno)?	pessima ☐	scarsa ☐	discreta ☐	buona ☐	eccellente ☐
05	Le caratteristiche della stanza legate alla luce naturale l'aiutano a rilassarsi?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
06	La luce naturale o i riflessi le danno fastidio (per dormire, riposare, leggere, ..)?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
07	Al mattino, solitamente, si sveglia con la luce che entra dalla finestra?	mai ☐	quasi mai ☐	ogni tanto ☐	spesso ☐	sempre ☐
08	Nel complesso, la luce naturale la disturba (più nervoso/a, più agitato/a)?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
09	Dal suo letto riesce a vedere l'esterno?	no ☐	sì ☐			
10	*(compilare solo se 09: sì) Guardare fuori dalla finestra la aiuta a pensare a cose più tranquille e positive?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
11	*(compilare solo se 09: sì) Quanto spesso guarda fuori dalla finestra durante il giorno?	mai ☐	quasi mai ☐	ogni tanto ☐	spesso ☐	sempre ☐
12	*(compilare solo se 09: sì) Quanto le piace la vista verso l'esterno della sua stanza?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
13	*(compilare solo se 09: sì) Cosa vede principalmente quando guarda fuori?	alberi-verde ☐	cielo-orizzonte ☐	edifici vicini ☐	strada-parcheggi ☐	muro-cortile ☐
14	*(compilare solo se 09: sì) Nel complesso, la vista verso l'esterno la disturba (più nervoso/a, più agitato/a)?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
15	La presenza di tende e tapparelle le dà fastidio (poca luce naturale nella stanza, impossibilità di vedere fuori)?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
16	*(compilare solo se 15: poco, abbastanza, molto, moltissimo) Sempre in riferimento a tende e tapparelle, quanto spesso le hanno dato fastidio?	mai ☐	quasi mai ☐	ogni tanto ☐	spesso ☐	sempre ☐
17	Durante la degenza, quanto si è sentito teso o sotto stress?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
18	Come valuta la qualità del suo sonno di notte in reparto?	pessima ☐	scarsa ☐	discreta ☐	buona ☐	eccellente ☐
19	Durante le sue giornate qui, si è sentito spesso assonnato?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
20	Nel complesso, quanto le caratteristiche della stanza (luce e vista) hanno migliorato la qualità della sua degenza?	per niente ☐	poco ☐	abbastanza ☐	molto ☐	moltissimo ☐
DOMANDE EXTRA (da sottoporre comunque al paziente)						
21	Durante le sue giornate qui, il cielo è stato prevalentemente	bello ☐	brutto ☐			
22	Durante il giorno, come sono di solito le tapparelle?	chiuse ☐	semichiuse ☐	a metà ☐	semiaperte ☐	aperte ☐
23	Nell'arco di una giornata tipo, quante volte vengono usate le tapparelle?	mai ☐	una volta ☐	un paio di volte ☐	> 3 volte ☐	> 5 volte ☐
24	Durante il giorno, come sono di solito le tende?	chiuse ☐	semichiuse ☐	a metà ☐	semiaperte ☐	aperte ☐
25	Nell'arco di una giornata tipo, quante volte vengono usate le tende?	mai ☐	una volta ☐	un paio di volte ☐	> 3 volte ☐	> 5 volte ☐

Figura 54: Struttura della versione definitiva del questionario da somministrare a pazienti degenti in strutture ospedaliere

Come visibile in Figura 54, le domande sono state articolate in cinque ambiti principali:

- valutazione generale dell'assistenza, della struttura e della stanza (01, 02 e 03);
- qualità percepita della luce naturale, rilassamento, fastidio luminoso ed esposizione mattutina (04, 05, 06, 07, 08);
- accesso, utilizzo, contenuto e qualità della vista verso l'esterno (09, 10, 11, 12, 13, 14);
- presenza, posizione e frequenza di utilizzo di tende e tapparelle (15, 16, 22, 23, 24, 25);
- stress, qualità del sonno, sonnolenza diurna e contributo complessivo di luce e vista alla qualità della degenza (17, 18, 19, 20).

Alcuni quesiti affrontano volutamente lo stesso tema da prospettive complementari (e a volte dicotomiche). Per la luce e per la vista vengono, ad esempio, rilevati sia il possibile contributo positivo al rilassamento sia l'eventuale disturbo percepito. Analogamente, per le schermature vengono distinti il fastidio prodotto, la frequenza con cui si manifesta, la posizione abituale e il numero di regolazioni durante la giornata.

Come precedentemente accennato, la maggior parte delle risposte utilizza scale ordinate a cinque livelli. I quesiti da 10 a 14 vengono compilati soltanto dai pazienti che dichiarano di riuscire a vedere l'esterno dal letto, mentre la domanda 16 dipende dalla risposta fornita alla precedente. La codifica delle variabili e il significato quantitativo attribuito ai singoli item vengono approfonditi nel paragrafo successivo.

4.2.4 Traduzione delle variabili percettive in indicatori quantitativi

Il presente paragrafo definisce la logica attraverso cui le risposte raccolte mediante il questionario vengono tradotte in variabili utilizzabili nelle successive analisi.

Nota terminologica: Prima di descrivere la classificazione degli item, vengono richiamati i principali termini utilizzati nell'impostazione analitica del questionario:

- **Item:** singola domanda del questionario, identificata attraverso il relativo codice numerico.
- **Variabile indipendente:** fattore considerato come possibile elemento esplicativo di una variazione osservata negli outcome, come la qualità percepita della luce naturale o della vista esterna.
- **Variabile dipendente o outcome:** risultato rispetto al quale vengono analizzate le possibili associazioni con le altre variabili, come stress, qualità del sonno o contributo percepito della stanza alla degenza.
- **Covariata:** variabile individuale o contestuale considerata nell'analisi per controllare differenze che possono influenzare l'outcome, pur non rappresentando l'oggetto principale dello studio.

- **Mediatore:** variabile attraverso cui può svilupparsi la relazione tra una condizione ambientale e un outcome. Il rilassamento, ad esempio, può mediare il rapporto tra qualità della vista e percezione complessiva della degenza.
- **Moderatore:** variabile che può modificare l'intensità o la direzione della relazione tra due fattori. La posizione del letto rispetto alla finestra, ad esempio, può modificare il rapporto tra prestazione simulata e percezione del paziente.
- **Fattore confondente:** variabile capace di alterare l'interpretazione della relazione osservata tra condizione ambientale e outcome, come condizione clinica, rumore, assistenza ricevuta o qualità generale della struttura.
- **Proxy:** indicatore indiretto utilizzato per rappresentare una condizione non misurata direttamente. Il risveglio con la luce naturale viene, ad esempio, assunto come proxy dell'esposizione mattutina.

La traduzione delle risposte in variabili quantitative è stata impostata distinguendo tra dati di collegamento, caratteristiche del paziente, condizioni di esposizione, valutazioni percettive e outcome dichiarati. Tale distinzione consente di evitare che domande con funzioni differenti vengano aggregate all'interno dello stesso indicatore. La struttura analitica adottata è sintetizzata di seguito.

Area di pertinenza	Domanda	Ruolo prevalente
Collegamento e caratteristiche individuali	stanza, età, genere	identificazione e covariate
Esposizione e contesto ambientale	letto vicino alla finestra, postura prevalente, Q9, Q21–Q25	covariate ambientali e possibili moderatori
Contesto generale	Q1, Q2	covariate percettive di controllo
Valutazione complessiva della stanza	Q3	outcome secondario o possibile mediatore
Daylight	Q4–Q8	variabili percettive, esposizione mattutina e possibili mediatori
View Out	Q9–Q14	accesso, uso, qualità, contenuto e disturbo della vista
Schermature	Q15–Q16 e Q22–Q25	disturbo, configurazione e frequenza di utilizzo
Benessere dichiarato	Q17–Q20	outcome della ricerca

Tabella 7: Schematizzazione della struttura analitica adottata per il questionario su benessere luminoso e visivo

All'interno del blocco daylight, Q4 rappresenta la qualità percepita della luce naturale; Q6 e Q8 misurano due forme di disturbo, rispettivamente funzionale ed emotivo; Q7 costituisce invece un proxy dell'esposizione alla luce mattutina. Q5 viene interpretata come possibile risposta psicologica positiva, legata al rilassamento.

Per la vista esterna, Q9 costituisce la condizione di accesso dal letto e determina la compilazione dei quesiti successivi. Q11 rileva la frequenza di utilizzo della vista, Q12 la qualità percepita e Q13 il contenuto prevalente. Quest'ultima variabile viene trattata come categorica, senza attribuire a priori un ordine prestazionale alle cinque alternative. Q10 e Q14 descrivono invece, rispettivamente, il possibile effetto positivo e il disturbo associato alla vista.

Le domande relative alle schermature distinguono tra il fastidio percepito, la relativa frequenza, la posizione abituale di tende e tapparelle e il numero di regolazioni durante la giornata. Queste informazioni vengono mantenute separate, poiché descrivono aspetti differenti del comportamento dell'utente e dell'effettiva esposizione ambientale.

4.2.4.1 Codifica delle risposte

Le scale a cinque livelli vengono codificate mediante valori compresi tra 1 e 5, mantenendo sempre disponibili le risposte originali. Per la costruzione di indicatori con direzione positiva, vengono invertiti gli item nei quali un valore elevato corrisponde a una condizione sfavorevole:

$$Q_{inv} = 6 - Q_{raw}$$

La trasformazione riguarda, Q6, Q8, Q14, Q15, Q16, Q17 e Q19. Un punteggio elevato indica quindi, nell'indicatore trasformato, minore disturbo, minore stress o minore sonnolenza.

Le risposte non previste dalla struttura del questionario non vengono considerate dati mancanti ordinari. In particolare, Q10–Q14 risultano non applicabili quando Q9 è pari a “no”, mentre Q16 viene compilata solo in presenza di un fastidio dichiarato in Q15. Tali condizioni vengono registrate come valori mancanti strutturali e trattate separatamente dagli errori o dalle omissioni di compilazione.

Q13 viene codificata attraverso categorie distinte; Q21 come variabile binaria riferita alle condizioni meteorologiche prevalentemente percepite durante la degenza; Q22 e Q24 come scale di configurazione delle schermature mobili, da chiusa ad aperta; Q23 e Q25 come frequenze ordinali di regolazione.

4.2.4.2 Indicatori sintetici esplorativi

La costruzione degli indici viene considerata preliminare e subordinata alla verifica della coerenza tra gli item, da effettuarsi una volta acquisito un numero sufficiente di questionari.

Un primo indicatore percettivo riferito alla luce (definito *Daylight Comfort Index*) può essere ottenuto attraverso:

$$DCI = \text{media} (Q4, Q6_{inv}, Q8_{inv})$$

Q5 e Q7 vengono mantenute separate, poiché descrivono rispettivamente il rilassamento percepito e l'esposizione mattutina, concetti collegati ma non coincidenti con la qualità della luce.

Per i pazienti che dichiarano di vedere l'esterno dal letto può essere calcolato uno score esplorativo di qualità della vista (*View Quality Index*):

$$VQI = \text{media}(Q12, Q14_{inv})$$

Q10, Q11 e Q13 restano indicatori distinti di beneficio psicologico, frequenza di utilizzo e contenuto della vista. In particolare, Q13 non viene inclusa nell'indice per non imporre una gerarchia non verificata tra paesaggio naturale, cielo, edifici, strada e muro.

L'analisi viene sviluppata inizialmente a livello di singolo item, riportando distribuzione, tendenza centrale, dispersione e numerosità delle risposte per stanza. Gli indici sintetici vengono utilizzati solo qualora gli item mostrino una coerenza sufficiente.

4.2.5 Acquisizione semi-automatizzata delle risposte mediante riconoscimento assistito dall'intelligenza artificiale

Per ridurre i tempi di trascrizione e limitare gli errori in fase di rendicontazione dei risultati acquisiti, è stata predisposta una procedura semi-automatizzata di acquisizione delle risposte a partire da immagini dei questionari compilati. Il sistema è stato inizialmente verificato mediante fotografie scattate con uno smartphone e successivamente applicato a immagini caratterizzate da un allineamento e da una qualità più regolari.

<

Figura 55: Griglia di riferimento e struttura del file Excel predisposto per il riconoscimento e la rendicontazione automatizzata delle risposte al questionario

La procedura sfrutta la posizione prestabilita delle caselle all'interno del foglio. È stata predisposta una griglia di lettura, caratterizzata da "incroci" in corrispondenza dei box di risposta da annerire (per ciascuna delle risposte delle 25 domande costituenti il corpo vero e proprio del questionario). Il riconoscimento non interpreta pertanto il significato testuale della domanda, ma verifica il grado di riempimento delle celle attese e individua la casella annerita.

La compilazione mediante annerimento, richiesta nelle istruzioni del questionario, rende la risposta più facilmente riconoscibile rispetto all'utilizzo di crocette o segni non uniformi. Per ogni domanda viene inoltre controllata la presenza di una sola risposta; righe vuote, selezioni multiple o marcature non sufficientemente leggibili vengono sottoposte a verifica manuale.

I dati riconosciuti vengono quindi trasferiti in un file Excel strutturato in due fogli:

- **Risposte**, nel quale vengono registrati, per ciascun questionario, i codici numerici corrispondenti alle selezioni effettuate;
- **Conteggi**, nel quale vengono riepilogati automaticamente il numero di risposte valide, le celle vuote, le frequenze delle singole opzioni e le relative percentuali.

La sovrapposizione dell'immagine acquisita alla griglia di riferimento consente infine di controllare visivamente l'allineamento e la corretta associazione tra caselle, domande e valori registrati. La procedura costituisce pertanto un supporto alla rendicontazione dei risultati, mentre i casi incerti rimangono sottoposti a controllo umano prima dell'inserimento nel dataset definitivo.

4.3 Protocollo di integrazione tra analisi tecnica e percettiva

- **Input:** risultati simulativi sensor-level e room-level relativi a daylight/UDI, discomfort glare e View Out; risposte codificate del questionario; ID della stanza e variabili individuali e contestuali associate al paziente;
- **Output:** dataset integrato per stanza, lettura delle convergenze e delle divergenze tra prestazioni simulate e percezione dichiarata e valutazione del livello di affidabilità del confronto.

Il protocollo di integrazione mette in relazione i risultati dell'analisi tecnica con le risposte al questionario, mantenendo distinti i livelli ai quali i dati sono stati acquisiti. Le simulazioni restituiscono valori locali per ciascun sensore e risultati aggregati per stanza, mentre il questionario produce una rilevazione riferita al singolo paziente. Il principale elemento di collegamento è costituito dall'ID della stanza, registrato sia negli output del tool parametrico sia nella scheda iniziale del questionario.

Ciascuna risposta viene pertanto conservata come osservazione individuale e associata alle prestazioni ambientali della relativa stanza. In presenza di più questionari riferiti allo stesso ambiente, le risposte possono essere successivamente sintetizzate mediante distribuzioni e valori centrali, senza perdere i dati dei singoli pazienti. I risultati sensor-level non vengono invece assegnati direttamente al rispondente, ma utilizzati per riconoscere la distribuzione interna delle prestazioni e spiegare eventuali criticità locali. La posizione del letto rispetto alla finestra e la postura prevalente costituiscono informazioni utili a interpretare l'effettiva esposizione del paziente, senza tuttavia identificare con precisione il punto sensore corrispondente. Il confronto viene organizzato per ambiti omogenei:

Ambito tecnico	Variabili percettive associate	Funzione prevalente
Daylight e UDI	Q4, Q5 e Q7	qualità della luce, rilassamento ed esposizione mattutina
Discomfort Glare	Q6 e Q8	fastidio funzionale e disturbo percepito
View Out	Q9–Q14	accesso, utilizzo, qualità, contenuto e disturbo della vista
Schermature	Q15–Q16 e Q22–Q25	fastidio, configurazione e frequenza di regolazione
Valutazione complessiva e benessere	Q3 e Q17–Q20	giudizio sulla stanza e outcome dichiarati
Contesto della compilazione	Q21	condizione del cielo al momento della rilevazione

Tabella 8: Corrispondenza tra gli ambiti dell'analisi tecnica, le variabili percettive del questionario e la relativa funzione nel protocollo di integrazione

Le domande non vengono confrontate indiscriminatamente con tutte le metriche. Q4, Q5 e Q7 vengono lette prevalentemente in relazione alla disponibilità e alla distribuzione della luce naturale; Q6 e Q8 rispetto ai risultati di discomfort glare; Q9, Q10, Q11, Q12, Q13 e Q14 rispetto agli indicatori di View Out. Le domande sulle schermature vengono impiegate soprattutto per comprendere quanto le condizioni simulate possano essere state modificate dal comportamento effettivo del paziente o degli operatori.

Q20 costituisce l'outcome percettivo principale, poiché esprime il contributo complessivo attribuito a luce e vista nella qualità della degenza. Q17, Q18 e Q19 permettono invece di esplorare le associazioni con stress, qualità del sonno e sonnolenza diurna. Q5 e Q10 possono essere considerate possibili variabili mediatrici, riferite rispettivamente al rilassamento prodotto dalla luce e al beneficio psicologico derivante dal guardare verso l'esterno. Q1 e Q2 vengono mantenute come variabili di controllo, utili a verificare quanto il giudizio sull'assistenza e sulla struttura possa influenzare la valutazione della stanza. La lettura integrata distingue quattro condizioni principali:

- **convergenza positiva:** prestazioni tecniche favorevoli e percezione positiva;
- **convergenza negativa:** criticità simulate accompagnate da una percezione negativa;
- **divergenza:** prestazioni favorevoli e giudizio negativo, oppure prestazioni critiche e giudizio positivo;
- **risultato non interpretabile:** dati mancanti, incongruenti o insufficienti per sostenere il confronto.

Le divergenze non vengono considerate errori, ma risultati da approfondire tenendo conto di posizione del letto, postura, utilizzo delle schermature, caratteristiche individuali e possibili fattori confondenti. Deve inoltre essere considerata la diversa scala temporale dei dati: le simulazioni descrivono condizioni annuali, mentre il questionario sintetizza l'esperienza maturata durante la degenza. Q21 consente soltanto di registrare il cielo prevalentemente presente durante il periodo di degenza e non rende i due periodi temporali direttamente coincidenti.

L'affidabilità del confronto viene infine valutata considerando completezza dei dati tecnici, corretta associazione dell'ID, numero di questionari disponibili per stanza, dispersione delle risposte e variabilità locale rilevata dai sensori. In presenza di campioni ridotti, l'analisi rimane descrittiva ed esplorativa; correlazioni, modelli multivariati e analisi di mediazione potranno essere applicati soltanto a seguito dell'acquisizione di una numerosità adeguata. Le convergenze e le divergenze effettivamente rilevate vengono riportate nel capitolo dedicato ai risultati.

5 Caso studio

5.1 Inquadramento generale e contesto urbano

Il caso studio proposto vede come oggetto la clinica milanese Casa di Cura Igea ubicata in via Dezza, 48, Milano. Edificata nel 1924, l'architettura sanitaria, composta da 4 piani fuori terra e pianta rettangolare (Figura 56), si mimetizzava nel quartiere residenziale di Porta Vercellina, oggi parte del Municipio 7 del Comune di Milano.



Figura 56: Casa di Cura Igea, 1924

A livello architettonico e geometrico, nel corso della sua storia è stata interessata da due interventi che spiccano per importanza (Figura 57): il più datato (dopoguerra, metà XX secolo), comprensivo della realizzazione del corpo curvo, che si estende verso l'incrocio fra via Dezza e via dei Gracchi, e dell'aggiunta del quinto piano fuori terra; il più recente (2021-2023), che ha visto un'ulteriore ampliamento volumetrico, attraverso la realizzazione di due piani aggiuntivi (con telaio in carpenteria metallica) e un importante oggetto nel cortile (fronte ovest).

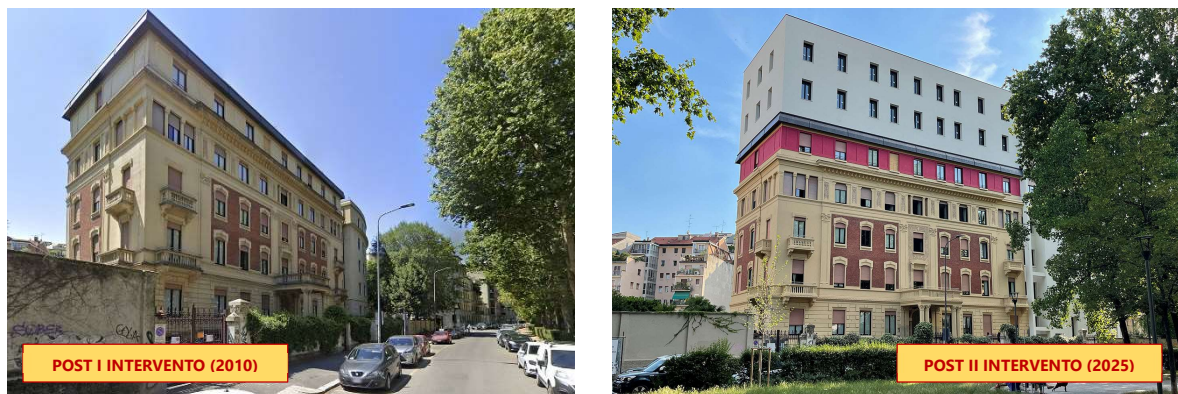


Figura 57: Casa di Cura Igea, rilievo fotografico del complesso su via Dezza, Milano (vista prospettica nord-est)



Figura 58: Casa di Cura Igea, inquadramento planimetrico del complesso e del contesto urbano (nord in alto)

Il contesto urbano della Casa di Cura Igea è caratterizzato da un tessuto residenziale compatto a densità medio-alta, tipico della zona sud-occidentale di Milano. Gli edifici limitrofi presentano altezze generalmente comparabili a quella della struttura oggetto di studio, determinando una condizione di sostanziale continuità volumetrica sui fronti est e ovest.

I fronti nord e nord-est, lungo Via Dezza, sono invece caratterizzati dalla presenza di alberature stradali e di una maggiore permeabilità visiva verso lo spazio pubblico. Questa componente vegetale introduce una schermatura parziale e variabile nel tempo, incidendo sia sulla qualità della vista dall'interno della clinica sia sulle condizioni di illuminazione naturale.

Il fronte sud risulta relativamente più aperto rispetto agli altri orientamenti, configurando condizioni potenzialmente più favorevoli in termini di accesso alla radiazione solare diretta.

Nel complesso, la morfologia circostante determina un quadro differenziato di ostruzioni e aperture, con implicazioni dirette sulle prestazioni di daylight e sulla qualità della view-out delle stanze di degenza.



Figura 59: Casa di Cura Igea, viste aeree prospettiche dell'edificio e del contesto urbano

La clinica milanese è dunque oggi caratterizzata da un totale di 7 piani fuori terra ed accoglie un totale di 100 stanze di degenza distribuite in modo piuttosto omogeneo fra i piani (ad eccezione del piano terra che ne vede solo 5 e il piano quarto - 0 - destinato ad ambulatorio ed uffici per il personale).

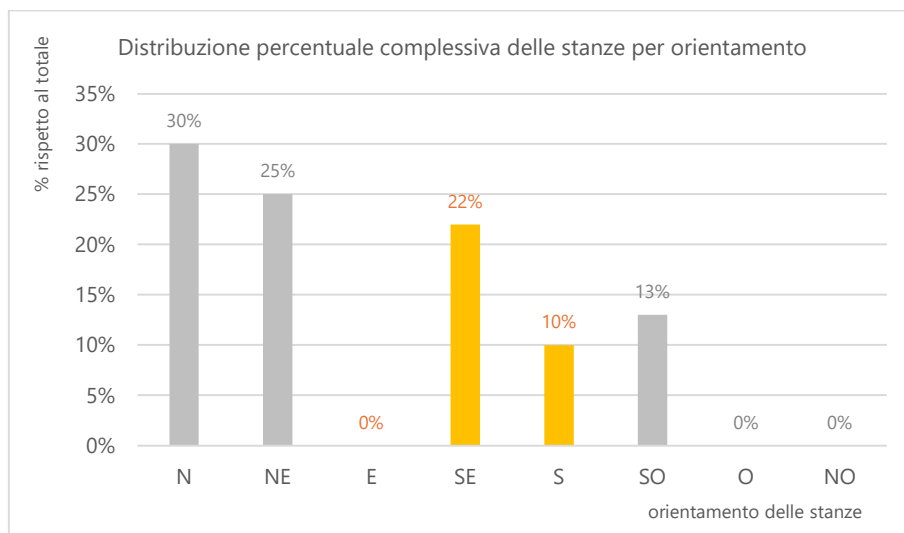


Figura 60: Distribuzione percentuale delle stanze di degenza del caso studio in funzione dell'orientamento (n stanze = 100)

L'analisi della distribuzione delle stanze di degenza per orientamento, illustrata in Figura 60, evidenzia una prevalenza delle esposizioni verso i quadranti settentrionali, con il 30% delle stanze orientate a Nord e il 25% a Nord-Est. L'orientamento Sud-Est, frequentemente associato in letteratura ai benefici della luce naturale nelle ore mattutine, rappresenta il 22% del totale e non costituisce quindi la configurazione predominante. Gli orientamenti Sud e Sud-Ovest incidono rispettivamente per il 10% e il 13%, mentre Est, Ovest e Nord-Ovest non risultano presenti nel caso studio.

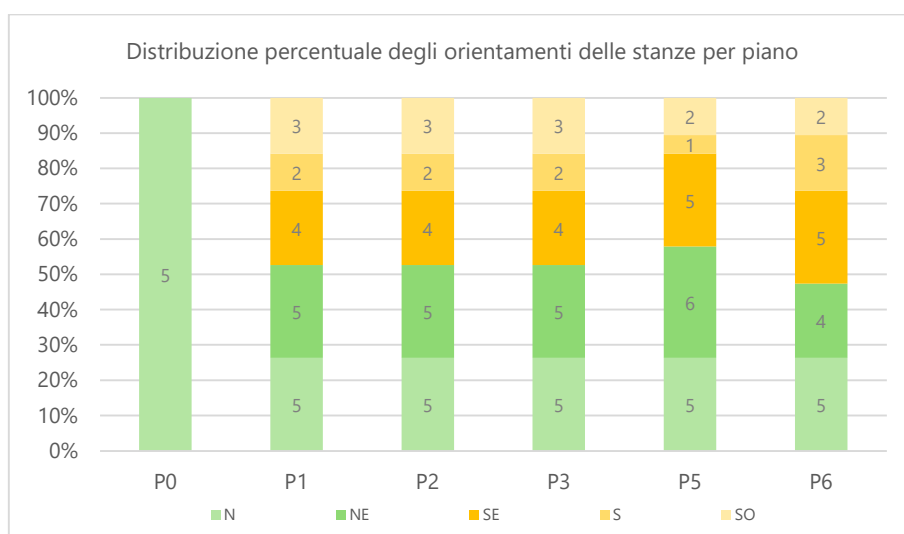


Figura 61: Distribuzione percentuale degli orientamenti delle stanze di degenza per piano nel caso studio (P0-P6). Il piano P4 non è rappresentato in quanto privo di stanze di degenza; le colonne sono normalizzate al 100%.

Il secondo grafico (Figura 61) consente di analizzare la distribuzione degli orientamenti delle stanze di degenza per ciascun piano dell'edificio. In questo caso i valori riportati all'interno delle colonne rappresentano il numero di stanze di degenza associate a ciascun orientamento. La configurazione planimetrica dei piani intermedi appare fortemente ripetitiva: i livelli P1, P2 e P3 presentano infatti una distribuzione identica degli orientamenti, riconducibile a una logica distributiva modulare non esplicitamente orientata alla massimizzazione dell'esposizione verso uno specifico quadrante solare. Nei piani superiori si osservano variazioni contenute, con un lieve incremento della quota di stanze esposte a Sud-Est e una riduzione di quelle orientate a Nord-Est, pur mantenendo un'impostazione distributiva complessivamente analoga.

In generale, la distribuzione evidenziata dai grafici suggerisce l'assenza di una gerarchia orientativa esplicitamente coerente con alcune indicazioni teoriche presenti in letteratura, che sottolineano (fra gli altri) i benefici associati all'esposizione alla luce naturale dei pazienti nelle ore mattutine. Ciò non implica tuttavia condizioni ambientali necessariamente sfavorevoli: i fronti Nord e Nord-Est si affacciano infatti su alberature che contribuiscono a qualificare la vista esterna e a introdurre elementi naturali potenzialmente benefici per il benessere dei pazienti.

A valle di queste considerazioni, la clinica oggetto di studio risulta particolarmente rilevante per gli obiettivi della presente ricerca per una serie di ragioni sintetizzate di seguito:

- **esposizione su più fronti:** l'edificio presenta affacci differenziati che consentono di analizzare condizioni luminose e visuali eterogenee all'interno della stessa struttura;
- **tipologia funzionale:** la presenza di reparti di degenza e riabilitazione comporta tempi di permanenza relativamente lunghi per i pazienti, rendendo più significativo il ruolo dell'ambiente fisico nel supportare benessere e recupero;
- **contesto ambientale:** il caso studio presenta condizioni frequentemente discusse nella letteratura sul tema, quali la presenza di elementi naturali nel campo visivo (alberature lungo alcuni fronti) e la possibile presenza di ostruzioni visive dovute agli edifici circostanti;
- **rappresentatività del contesto nazionale:** nonostante un recente intervento di riqualificazione, la struttura mantiene un assetto distributivo piuttosto convenzionale, rappresentativo di una parte significativa del patrimonio ospedaliero italiano e quindi particolarmente utile per valutare il ruolo della luce naturale e della vista esterna in condizioni non esplicitamente ottimizzate in fase progettuale;
- **collaborazione accademica:** la disponibilità di una collaborazione con l'Università degli Studi di Milano - Bicocca consente di integrare l'analisi ambientale con indagini di natura percettiva, rafforzando l'impostazione interdisciplinare della ricerca.

5.2 Ricostruzione geometrica del modello digitale

Al fine di eseguire le simulazioni daylight e view out, è stato necessario procedere alla costruzione di un modello tridimensionale della clinica oggetto del caso studio. Il livello di dettaglio è stato calibrato per garantire un'adeguata accuratezza nelle analisi illuminotecniche e ambientali, evitando al contempo fenomeni di sovra-modellazione non influenti sui risultati delle simulazioni.

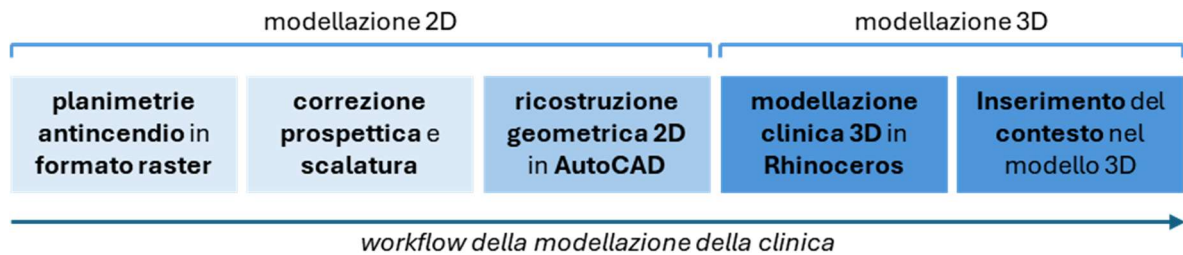


Figura 62: Flusso di lavoro della modellazione (2D e 3D) della clinica IGEA

Come visibile in Figura 62, la modellazione tridimensionale è stata sviluppata a partire da planimetrie antincendio disponibili esclusivamente in formato raster. Le immagini sono state inizialmente sottoposte a correzione prospettica al fine di renderle geometricamente utilizzabili; successivamente sono state scalate mediante quote note (in particolare le dimensioni dei serramenti), così da uniformare il più possibile i file relativi ai diversi livelli dell'edificio. La successiva ricostruzione in ambiente CAD non ha avuto come obiettivo la replica grafica delle tavole originali, bensì la generazione di una base geometrica coerente con la successiva modellazione tridimensionale e con le esigenze delle simulazioni illuminotecniche e ambientali.

5.2.1 Elaborazione bidimensionale in AutoCAD



Figura 63: Esempio di ricostruzione bidimensionale del piano: sovrapposizione con la planimetria di riferimento

A partire dalle planimetrie precedentemente acquisite, corrette e riportate alla scala reale, è stata ricostruita in AutoCAD la geometria bidimensionale dell'edificio, procedendo separatamente per ciascun piano. Durante questa fase sono state ridisegnate le partizioni interne ed esterne, le aperture, i serramenti, i balconi e gli altri elementi architettonici rilevanti ai fini della successiva modellazione tridimensionale. Sono state invece eliminate le annotazioni, le campiture e gli elementi grafici non necessari alle analisi illuminotecniche e ambientali.

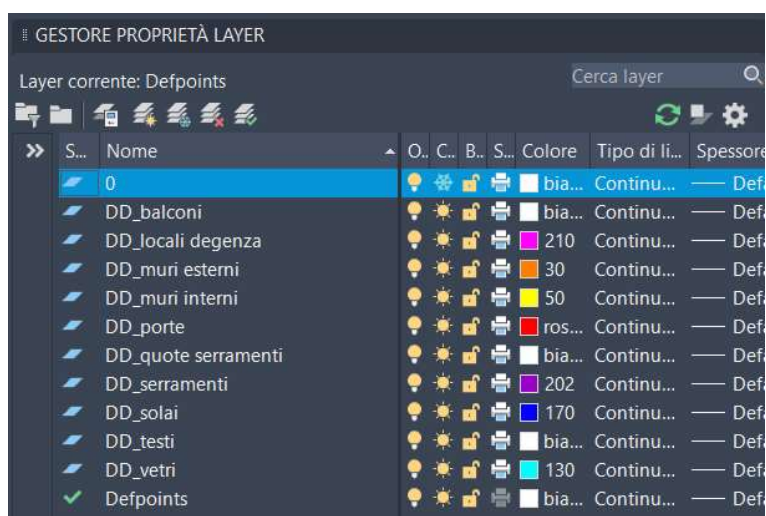


Figura 64: Organizzazione degli elementi nei layer, AutoCAD

Il disegno è stato organizzato mediante layer distinti per categoria costruttiva, separando solai, muri esterni, muri interni, porte, serramenti, vetri, balconi, quote e testi. Un layer specifico è stato inoltre utilizzato per evidenziare le stanze attualmente destinate alla degenza all'interno della clinica. Tale informazione ha avuto esclusivamente funzione descrittiva e di controllo della ricostruzione del caso studio e non è stata utilizzata come dato di input nelle successive procedure parametriche.

Le geometrie sono state rappresentate prevalentemente mediante polilinee chiuse, così da facilitarne la successiva trasformazione in superfici e solidi all'interno di Rhinoceros 7. I vetri dei serramenti costituiscono un'eccezione e sono stati rappresentati attraverso elementi lineari, successivamente utilizzati come riferimento per la modellazione delle superfici trasparenti.

5.2.2 Modellazione tridimensionale in Rhinoceros

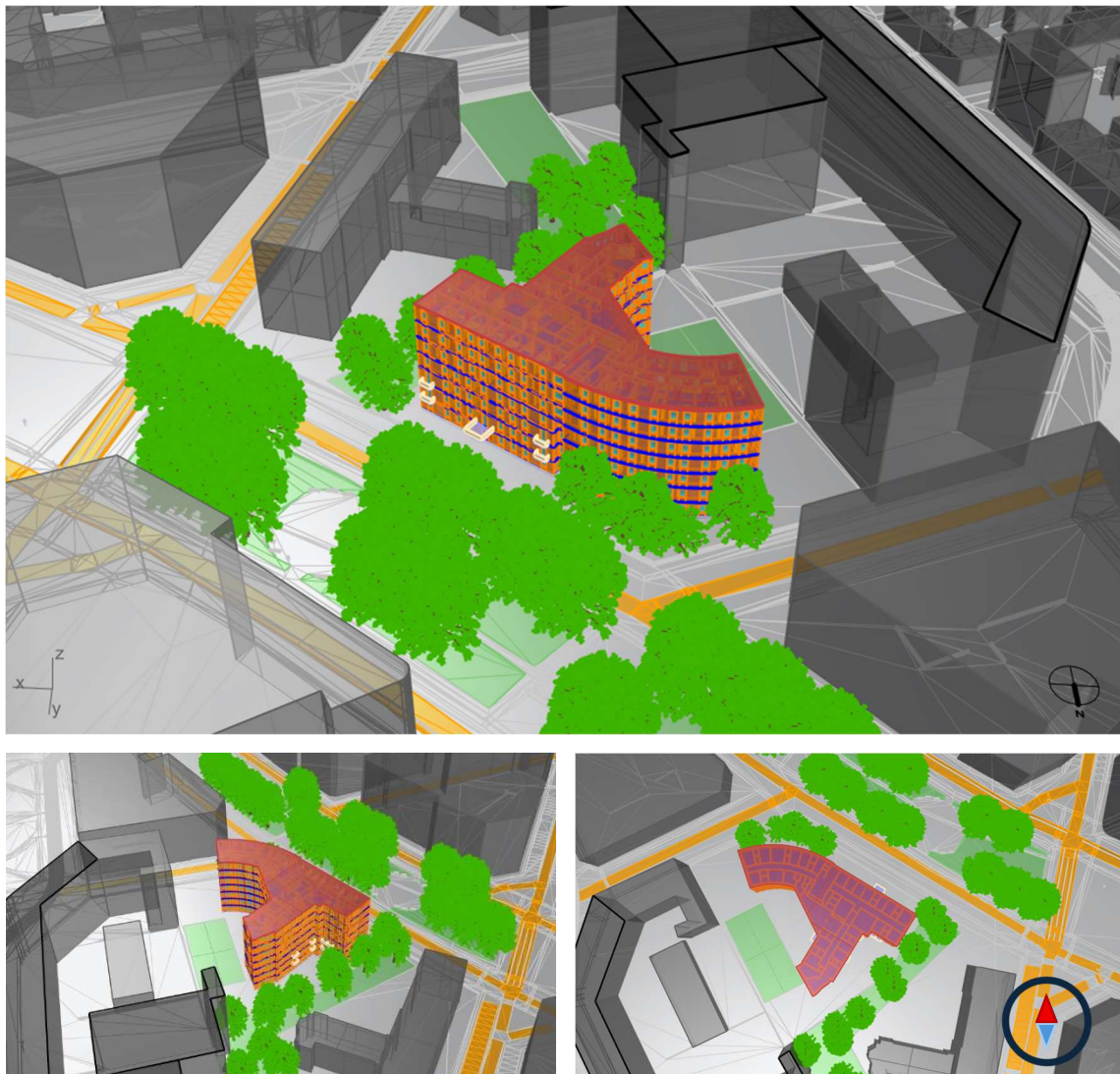
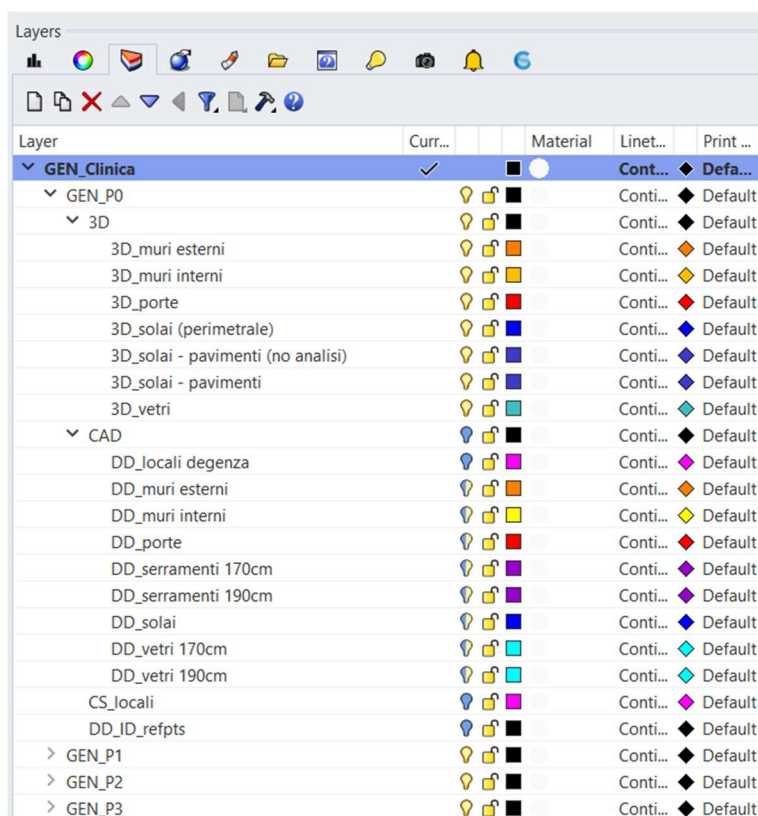


Figura 65: Viste assonometriche (alto e basso sinistra) e planare (basso destra) della clinica oggetto del caso studio

Le geometrie bidimensionali elaborate in AutoCAD sono state successivamente importate in Rhinoceros 7, utilizzando il template “Large Objects – Centimeters”, coerente con le unità adottate durante la ricostruzione del caso studio. La modellazione è stata sviluppata separatamente per ciascun piano, mantenendo la corrispondenza con le categorie geometriche definite nel file CAD.

I muri esterni e le partizioni interne sono stati ottenuti mediante estrusione delle relative polilinee, così come i solai e gli altri elementi opachi dell’edificio. Sono stati inoltre modellati balconi, aggetti e parapetti ritenuti rilevanti ai fini dell’ombreggiamento e della vista verso l’esterno. Gli elementi opachi sono stati rappresentati mediante volumi chiusi, mentre i vetri dei serramenti sono stati modellati come superfici singole prive di spessore geometrico, alle quali sono state successivamente associate le relative proprietà ottiche.

I volumi dei solai sono stati esplosi e organizzati in modo da distinguere le superfici di pavimento da quelle di soffitto. Tale operazione ha consentito di gestire separatamente le due categorie nelle successive fasi di assegnazione dei materiali e predisposizione del modello simulativo.



Layer	Curr...	Material	Linet...	Print ...
GEN_Clinica	✓		Conti...	◆ Defa...
GEN_P0			Conti...	◆ Default
3D			Conti...	◆ Default
3D_muri esterni			Conti...	◆ Default
3D_muri interni			Conti...	◆ Default
3D_porte			Conti...	◆ Default
3D_solai (perimetrale)			Conti...	◆ Default
3D_solai - pavimenti (no analisi)			Conti...	◆ Default
3D_solai - pavimenti			Conti...	◆ Default
3D_vetri			Conti...	◆ Default
CAD			Conti...	◆ Default
DD_locali degenza			Conti...	◆ Default
DD_muri esterni			Conti...	◆ Default
DD_muri interni			Conti...	◆ Default
DD_porte			Conti...	◆ Default
DD_serramenti 170cm			Conti...	◆ Default
DD_serramenti 190cm			Conti...	◆ Default
DD_solai			Conti...	◆ Default
DD_vetri 170cm			Conti...	◆ Default
DD_vetri 190cm			Conti...	◆ Default
CS_locali			Conti...	◆ Default
DD_ID_refpts			Conti...	◆ Default
> GEN_P1			Conti...	◆ Default
> GEN_P2			Conti...	◆ Default
> GEN_P3			Conti...	◆ Default

Figura 66: Organizzazione degli elementi nei layer, Rhinoceros

Il file Rhinoceros è stato organizzato mediante una struttura gerarchica di layer, articolata per piano e categoria costruttiva. Per ciascun livello sono state mantenute sia le geometrie tridimensionali sia le geometrie CAD di riferimento, normalmente disattivate durante le successive operazioni.

Prima della predisposizione dell'ambiente simulativo sono stati infine controllati le unità del modello, la presenza di superfici aperte mediante il comando “*ShowEdges*” e l'orientamento delle normali, così da individuare eventuali errori geometrici e ridurre il rischio di anomalie nelle analisi successive.

5.2.3 Codifica dei locali e predisposizione del modello per l'ambiente simulativo



Figura 67: Esempio di individuazione delle superfici corrispondenti ai locali da codificare univocamente (Piano Primo)

Parallelamente alla modellazione tridimensionale sono state ricostruite le superfici planari corrispondenti ai locali presenti nei diversi livelli dell'edificio. Sono stati considerati sia gli ambienti attualmente destinati alla degenza sia i locali con funzione differente, escludendo a priori gli spazi distributivi, i vani scala e i vani ascensore, i servizi igienici e i magazzini.

A ciascuna superficie è stato assegnato manualmente un codice univoco, composto dal numero del piano e da un numero progressivo. La numerazione è stata effettuata, per ogni livello, partendo dal locale collocato nella porzione superiore sinistra della pianta e proseguendo in senso orario. Sono stati così individuati 31 locali al piano P0, 27 ai piani P1, P2 e P3, 29 al piano P4, 28 al piano P5 e 27 al piano P6, per un totale di 196 superfici.

	ID	Description	Tags	Edit	Delete	Area(sq.m)	Spacing(m)	Sensors(#)
☒	1_01					22.6	0.50	51
☒	1_02					24.5	0.50	57
☒	1_03					25.2	0.50	59
☒	1_04					20.1	0.50	60
☒	1_05					26.8	0.50	69
☒	1_06					23.0	0.50	50
☒	1_07					21.2	0.50	51
☒	1_08					16.8	0.50	49
☒	1_09					21.5	0.50	56
☒	1_10					22.4	0.50	61
☒	1_11					13.5	0.50	34

Figura 68: Estratto di elenco delle superfici codificate in sezione dedicata ClimateStudio con ID, area e numero di sensori, Rhinoceros

Le superfici sono state costruite in corrispondenza delle geometrie tridimensionali del modello e hanno costituito la base per la successiva generazione delle griglie di calcolo (in ambiente non parametrico). La codifica iniziale è stata mantenuta anche nelle successive elaborazioni parametriche: qualora un locale fosse escluso perché non rispondente ai criteri adottati per l'individuazione delle stanze candidate, il relativo identificativo non veniva riassegnato. In questo modo è stata conservata una corrispondenza stabile tra geometria, locale e risultati delle simulazioni.

5.3 Simulazioni illuminotecniche e ambientali di riferimento mediante ClimateStudio plug-in di Rhinoceros

Al fine di validare il tool parametrico in Grasshopper è stato eseguito un ciclo di simulazioni mediante il plug-in ClimateStudio di Rhinoceros. Tali analisi hanno avuto la funzione di definire un riferimento (benchmark) con cui confrontare i risultati ottenuti nell'ambiente parametrico, verificando la coerenza del processo di acquisizione delle geometrie, generazione delle griglie, esecuzione delle simulazioni e post-processing dei dati.

Per rendere significativo il confronto, le due procedure sono state impostate mantenendo, per quanto possibile, condizioni comuni. In particolare, sono stati conservati il medesimo modello geometrico, le proprietà ottiche dei materiali, il file climatico, l'orientamento dell'edificio, le caratteristiche delle griglie di calcolo, le metriche analizzate e gli elementi di contesto considerati nei diversi scenari. L'obiettivo non è stato quindi confrontare due configurazioni differenti, ma verificare che il workflow sviluppato in Grasshopper fosse in grado di restituire risultati coerenti con quelli prodotti direttamente in ClimateStudio.

Per entrambe le procedure è stato utilizzato il file meteorologico *ITA_LM_Milano-Linate.AP.160800_TMYx.2004-2018*, riferito alla stazione di Milano Linate e costruito sul periodo climatico 2004–2018. Il modello è stato mantenuto con un North Offset pari a 0°, conservando l'orientamento geometrico definito in Rhinoceros. Le ulteriori impostazioni relative a materiali, griglie, metriche e scenari di simulazione vengono descritte nei paragrafi successivi.

5.3.1 Materiali e proprietà ottiche

Coerentemente con quanto riportato nei riferimenti normativi UNI EN 12464:2021 e UNI EN 17037:2023, si è proceduto alla definizione degli attributi degli elementi costituenti il modello digitale della clinica, utili alle successive simulazioni illuminotecniche e ambientali d'interesse.

Come definito dal paragrafo 5.1.4 - *Verifica della fornitura della luce diurna* - contenuto nella UNI EN 12464:2021, *“La procedura mediante software richiede un modello rappresentativo dello spazio insieme ai parametri principali (come qualsiasi ostruzione nelle vicinanze significativa, i valori del fattore di riflessione della superficie assegnata e il fattore di trasmissione delle vetrate) che siano una rappresentazione ragionevole di quelli per l'edificio reale completato.”*.

Il software utilizzato per le analisi sopracitate è ClimateStudio (CS), plug in di Rhinoceros v7.

TIPOLOGIA SUPERFICI PRINCIPALI	INTERVALLI CONSIGLIATI dei FATTORI DI RIFLESSIONE
soffitto	0,7 - 0,9
pareti	0,5 - 0,8
<i>pavimento *</i>	<i>0,2 - 0,4</i>
<i>pareti esterne *</i>	<i>0,2 - 0,4</i>
<i>terreno *</i>	<i>0,2</i>

** intervallo definito nel paragrafo B.3.1 della UNI EN 17037:2023*

Tabella 9: Intervallo di valori dei fattori di riflessione proposti da UNI EN 12464:2021 e UNI EN 17037:2023

I materiali, assegnati direttamente nella finestra di dialogo di CS dedicata, rispecchiano i dettami presenti nel paragrafo 5.2.2 - *Riflettanza delle superfici* - della UNI EN 12464:2021 (tema ripreso nel paragrafo B.3.1 della UNI EN 17037:2023) (Tabella 9) e vengono riportati di seguito:

LAYER RHINOCEROS	MATERIALE ASSEGNATO CS	RIFLETTANZA	RIFLETTANZA CONSIGLIATA (UNI EN 12464 e UNI EN 17037)
3D_muri esterni *	White Painted Room Walls	81%	0,5 - 0,8
3D_muri interni	White Painted Room Walls	81%	0,5 - 0,8
3D_porte	White Painted Wooden Door	86%	-
3D_solai - pavimenti	Floor LM83	20%	0,2 - 0,4
3D_solai - soffitti	White Painted Room Ceiling	82%	0,7 - 0,9
3D_balconi	Grey Exterior Plaster Facade	43%	0,2 - 0,4
3D_vetri **	Clear – Solarban 60 (3) (Argon)	12% (τ_{vis} 70%)	-
3D_copertura	Light Concrete Pavement	35%	0,2 - 0,4
3D_pavimentazione esterna	Concrete Pavement	37%	-
3D_edifici limitrofi	Grey Exterior Plaster Facade	43%	0,2 - 0,4
3D_erba	Grass 5	16%	0,2
3D_strada urbana	Asphalt Road	12%	-
CSTree - Leaves Detailed ***	Acer Platanoides	dinamico variabile	0,2
CSTree - Twig	Bark	15%	0,2
CSTree - Trunk	Bark	15%	0,2

** valori riferiti al lato interno dei muri esterni (perimetrali)*

*** materiale selezionato in funzione della tipologia di retrocamera ipotizzata (doppio vetro basso emissivo - AGC Glass Configurator)*

**** materiale che tiene conto della dinamicità dell'elemento (foglie variabile in funzione della stagione)*

Tabella 10: Definizione dei fattori di riflettanza degli elementi presenti nel modello digitale

Relativamente alle simulazioni view out, si è reso necessario assegnare delle *view tags* agli elementi costituenti il contesto. Di seguito se ne riporta la relativa definizione.

Layer	Material			View Tag
GEN_Clinica	None			Invisible (no material)
GEN_P1	None			Invisible (no material)
3D	None			Invisible (no material)
3D_balconi parapetto	Grey Exterior Plaster Facade	-	43 %	Default (opaque)
3D_balconi solaio	Floor LM83	-	20 %	Default (opaque)
3D_muri esterni	White Painted Room Walls	-	81 %	Default (opaque)
3D_muri interni	White Painted Room Walls	-	81 %	Default (opaque)
3D_porte	White Painted Wooden Door	-	86 %	Default (opaque)
3D_solai (perimetrale)	Floor LM83	-	20 %	Default (opaque)
3D_solai - pavimenti (r)	Floor LM83	-	20 %	Default (opaque)
3D_solai - soffitti	White Painted Room Ceiling	-	82 %	Default (opaque)
3D_vetri	Clear - Solarban 60 (3) (Argon) / Silver	70 %	12 %	Exterior Glazing
3D_solai - pavimenti	Floor LM83	-	20 %	Default (opaque)
GEN_Contesto	None			Invisible (no material)
3D_pavimentazione estern.	Light Concrete Pavement	-	35 %	Default (opaque)
3D_edifici limitrofi	Grey Exterior Plaster Facade	-	43 %	UrbanLandmark
3D_erba	Grass 5	-	16 %	Nature
3D_strada urbana	Asphalt road 4	-	13 %	Default (opaque)
3D_CSTreeBlocks	None			Invisible (no material)
CSTree Dense Tall	None			Invisible (no material)
Leaves Detailed	Acer Platanoides / LengthOfDay	-	0 %	Nature
Twig	Bark	-	15 %	Nature
Trunk	Bark	-	15 %	Nature
CSTree Medium Tall	None			Invisible (no material)
Leaves Detailed	Acer Platanoides / LengthOfDay	-	0 %	Nature
Trunk	Bark	-	15 %	Nature
Twig	Bark	-	15 %	Nature
CSTree Sparse Short	None			Invisible (no material)
Leaves Detailed	Acer Platanoides / LengthOfDay	-	0 %	Nature
Trunk	Bark	-	15 %	Nature
Twig	Bark	-	15 %	Nature

Figura 69: Estratto di dettaglio delle view tags assegnate agli elementi costituenti il contesto, Rhinoceros

5.3.2 Griglie di calcolo

Sono state successivamente impostate le aree di calcolo secondo quanto riportato all'interno del paragrafo B.2 - *Griglie di calcolo* - della UNI EN 17037:2023.

Tutti gli ambienti sono stati analizzati con lo stesso protocollo di valutazione, al fine di garantire comparabilità ed eventualmente simulare possibili scenari di riconversione funzionale. Non sono dunque state differenziate le varie destinazioni d'uso dei locali.

Poiché gli ambienti analizzati presentano dimensioni planimetriche tra loro simili, è stata adottata una griglia di calcolo uniforme per tutte le simulazioni. La dimensione della cella è stata definita verificando la conformità al limite massimo previsto dall'Appendice B.2 della UNI EN 17037:2023 per la stanza di dimensioni minori (pari a $p = 0,7$ m), garantendo pertanto il rispetto dei requisiti normativi per l'intero campione analizzato (passo della griglia adottato: 0,5 m, al fine di ottenere una rappresentazione più accurata della distribuzione dell'illuminamento negli spazi analizzati).

Sempre in accordo con quanto previsto dalla norma sopracitata, è stato predisposto il piano di riferimento a 0,85 m dal pavimento (nel caso-esempio di simulazioni daylight), con esclusione di una fascia perimetrale di 0,5 m.


Edit Occupied Area
✕

ID

1_01

Description

Sensor Spacing

50

Sensor Inset

target: 50 min: 50

Workplane Offset

85

Assessment Schedule

EN 17037 (daylit hours) ▾

Supplemental Lux

100

Target Lux

300

Excessive Lux

3000

sDA Time %

50

Figura 70: Parametri adottati per la generazione delle griglie di calcolo in ClimateStudio

Le griglie generate direttamente tramite ClimateStudio sono state utilizzate nelle simulazioni di riferimento. Tuttavia, la loro costruzione automatica, basata sui parametri di passo e distanza dal perimetro, ha prodotto una distribuzione non perfettamente regolare in prossimità di rientranze, partizioni o geometrie più articolate. Tale aspetto è stato affrontato nell'ambiente parametrico, dove la generazione delle griglie è stata affinata e associata in modo univoco ai singoli locali.

5.3.3 Metriche illuminotecniche e ambientali di riferimento

Le simulazioni sono state impostate considerando tre principali ambiti di valutazione: disponibilità di luce naturale, discomfort glare e qualità della vista verso l'esterno. Le metriche adottate sono state mantenute coerenti anche nelle elaborazioni in ambiente parametrico, così da consentire il confronto diretto tra i risultati ottenuti nei due ambienti di lavoro.

Criterio di definizione delle classi di Useful Daylight Illuminance (UDI)			
UDI failing (UDI _f)	UDI supplemental (UDI _s)	UDI acceptable (UDI _a)	UDI excessive (UDI _e)
$E \leq 100 \text{ lux}$	$100 \text{ lux} < E \leq 300 \text{ lux}$	$300 \text{ lux} < E \leq 3000 \text{ lux}$	$E > 3000 \text{ lux}$

E: Illuminamento registrato

Tabella 11: Schematizzazione delle classi di Useful Daylight Illuminance (UDI)

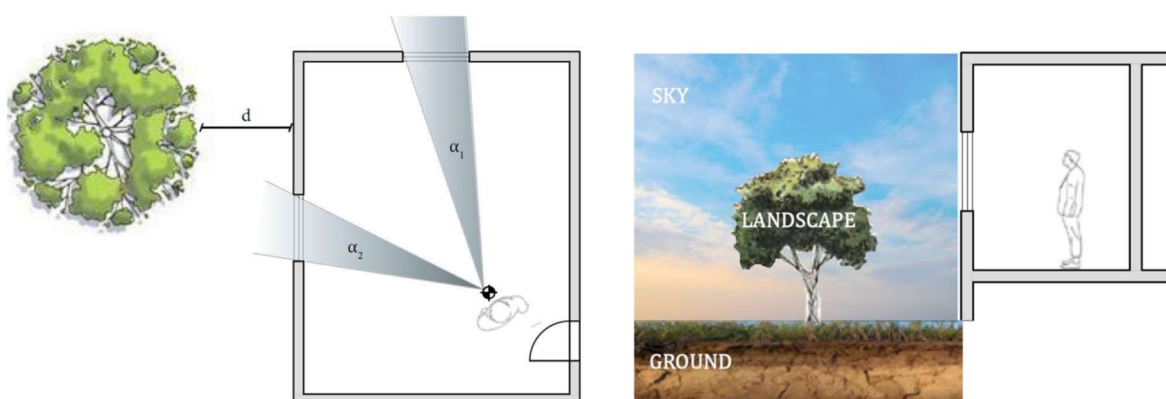
Per la valutazione della disponibilità di luce naturale si è fatto riferimento alle metriche annuali restituite dal workflow Custom Daylight Availability di ClimateStudio. In particolare, è stata considerata la Useful Daylight Illuminance (UDI), assunta come indicatore principale per la lettura delle prestazioni dei singoli

ambienti. Per ciascun sensore, le classi UDI esprimono la percentuale delle ore diurne considerate nell'arco dell'anno durante le quali l'illuminamento ricade nei diversi intervalli prestabiliti. La UDI consente di distinguere le condizioni di illuminamento insufficiente, supplementare, utile o eccessivo. In accordo con le impostazioni adottate, sono stati assunti 100 lux come soglia inferiore, 300 lux come valore obiettivo e 3000 lux come soglia oltre la quale l'illuminamento viene considerato eccessivo.

Criterio di definizione delle classi di Daylight Glare Probability (DGP)			
Imperceptible glare	Perceptible glare	Disturbing glare	Intolerable glare
$DGP \leq 34\%$	$34\% < DGP \leq 38\%$	$38\% < DGP \leq 45\%$	$DGP > 45\%$

Tabella 12: Schematizzazione delle classi di Daylight Glare Probability (DGP)

Il discomfort glare è stato analizzato mediante il workflow Annual Glare di ClimateStudio, basato sulla Daylight Glare Probability (DGP). Tale indice stima la probabilità che un osservatore sperimenti condizioni di abbagliamento visivo in funzione della luminanza della scena e della presenza di sorgenti luminose intense nel campo visivo. ClimateStudio restituisce i risultati distinguendo quattro classi: imperceptible glare, perceptible glare, disturbing glare e intolerable glare. Il software consente inoltre una lettura spaziale della frequenza annuale di disturbing e intolerable glare mediante valutazione su otto differenti direzioni di vista per ciascun punto osservato.



Criterio di valutazione dei tre parametri View Out in conformità con la UNI EN 17037:2023				
Parametro	Fail	Minimum	Medium	High
Angolo di visualizzazione orizzontale	$\alpha_{tot} \leq 14^\circ$	$14^\circ < \alpha_{tot} \leq 28^\circ$	$28^\circ < \alpha_{tot} \leq 54^\circ$	$\alpha_{tot} > 54^\circ$
Distanza di visione esterna	$d \leq 6 \text{ m}$	$6 \text{ m} < d \leq 20 \text{ m}$	$20 \text{ m} < d \leq 50 \text{ m}$	$d > 50 \text{ m}$
Numero di strati visibili	0	1	2	3

Tabella 13: Schematizzazione dei tre parametri View Out in conformità con la UNI EN 17037:2023

Per la valutazione della vista verso l'esterno si è fatto riferimento ai tre parametri previsti dalla UNI EN 17037:2023: angolo di visualizzazione orizzontale, distanza della vista esterna e numero di strati visibili. Quest'ultimo è valutato in relazione alla visibilità di cielo, paesaggio e terreno. La combinazione di tali criteri consente di attribuire a ciascun punto un livello di prestazione compreso tra fail, minimum, medium e high (si considera il punteggio peggiore registrato fra questi tre criteri). Per consentire al motore di simulazione di riconoscere correttamente le diverse componenti presenti nel campo visivo, alle superfici del modello sono state associate specifiche view tags disponibili in ClimateStudio (Figura 69). Tali attributi non modificano le proprietà ottiche dei materiali, ma permettono di classificare semanticamente gli elementi della scena ai fini dell'analisi della vista esterna.

6 Risultati e limitazioni

6.1 Analisi tecnica: validazione e utilizzo del tool parametrico

- **Input:** risultati ClimateStudio e Grasshopper relativi a UDI, discomfort glare e view out; tre scenari di benchmark del piano P0; preview e dati room-level e sensor-level delle stanze attualmente disponibili al confronto integrato;
- **Output:** valutazione della coerenza tra i due ambienti simulativi, individuazione degli eventuali scostamenti e dei limiti della validazione e rappresentazione delle aree di sovrapposizione tra condizioni favorevoli di luce e vista nelle stanze analizzate.

Il paragrafo verifica la coerenza del tool parametrico sviluppato in Grasshopper mediante il confronto con le simulazioni di benchmark eseguite direttamente attraverso ClimateStudio e ne applica gli output alle stanze associate ai questionari disponibili.

6.1.1 Scenari di benchmark

Le simulazioni eseguite direttamente mediante il plug-in ClimateStudio di Rhinoceros, come precedentemente discusso, sono state utilizzate come riferimento per verificare la coerenza e il corretto funzionamento del tool parametrico sviluppato in Grasshopper. A tal fine è stato selezionato il piano P0, ritenuto sufficientemente rappresentativo per la varietà delle esposizioni solari e delle condizioni di vista presenti. Il confronto è stato articolato attraverso tre configurazioni progressivamente più complete:

- **Scenario 1 - solo edificio:** modello della clinica privo degli elementi esterni;
- **Scenario 2 - edificio e contesto, senza alberature:** inserimento degli edifici e delle superfici urbane circostanti;
- **Scenario 3 - modello completo:** edificio, contesto urbano e alberature.

La suddivisione in tre scenari ha permesso di verificare separatamente l'influenza delle diverse componenti del modello e di individuare con maggiore facilità l'eventuale origine di scostamenti tra i risultati ottenuti nei due ambienti simulativi.

Il confronto relativo al modulo daylight è stato condotto attraverso i risultati UDI, analizzati sia graficamente sia numericamente per tutte le configurazioni (scenari). Per discomfort glare e view out è stato invece considerato il solo modello completo (Scenario 3), confrontando le relative rappresentazioni grafiche.

6.1.2 Coerenza, scostamenti e limiti della validazione

La coerenza tra i risultati ottenuti mediante ClimateStudio e il tool parametrico è stata valutata, per il modulo daylight, confrontando i valori room-level delle quattro classi UDI. Per ciascun locale in analisi è stato calcolato lo scostamento medio assoluto, espresso in punti percentuali:

$$\Delta_{UDI,medio} = \frac{|\Delta UDI_f| + |\Delta UDI_s| + |\Delta UDI_a| + |\Delta UDI_e|}{4}$$

Il valore ottenuto rappresenta un criterio operativo definito per valutare la coerenza fra due procedure non perfettamente sovrapponibili. Sono stati adottati i seguenti livelli di lettura:

Scostamento medio assoluto	Interpretazione
≤ 10 p.p.	coerenza accettabile - OK
$10 \text{ p.p.} < \text{scostamento} \leq 15 \text{ p.p.}$	scostamento da verificare - CHECK
$> 15 \text{ p.p.}$	divergenza rilevante - OUTLIER

Tabella 14: Definizione delle soglie di scostamento medio assoluto

Valori inferiori a 10 punti percentuali sono stati considerati compatibili con le differenze introdotte dalla discretizzazione delle griglie, dalla gestione delle schermature e dalla costruzione dei dati orari. La fascia compresa tra 10 e 15 punti individua invece casi che richiedono un controllo delle singole classi UDI e della relativa distribuzione spaziale. Oltre i 15 punti percentuali, lo scostamento è stato considerato sufficientemente elevato da richiedere una discussione specifica. Tali soglie hanno quindi esclusivamente funzione comparativa interna e non costituiscono criteri prestazionali ufficiali.

Nello Scenario 1, relativo al solo edificio, la maggior parte dei locali presenta scostamenti medi contenuti entro la fascia di coerenza accettabile. Il caso maggiormente divergente è rappresentato da ID_0_11, con uno scostamento medio pari a 17,9 p.p.

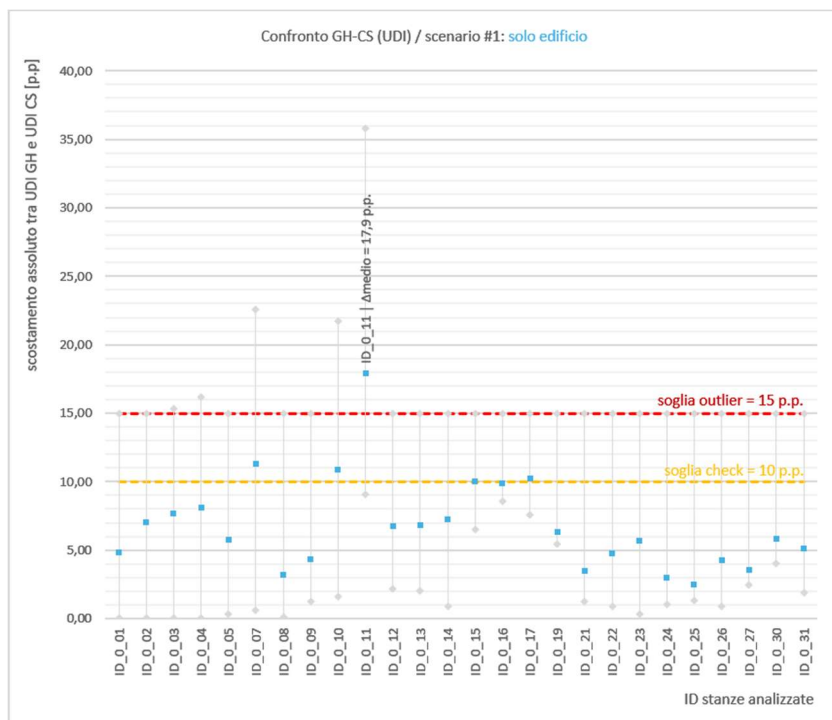


Figura 71: Confronto tra output UDI del modello parametrico GH/HB e risultati ClimateStudio, Scenario 1. Il punto rappresenta lo scostamento medio assoluto tra le quattro classi UDI; il segmento verticale rappresenta l'intervallo minimo-massimo degli scostamenti. Le soglie a 10 e 15 p.p. distinguono rispettivamente le condizioni OK, CHECK e OUTLIER

Nello Scenario 2, con l'introduzione del contesto urbano privo di alberature, emergono due casi oltre la soglia di 15 p.p. (ID_0_10 e ID_0_11), oltre ad alcuni locali ricadenti nella fascia di controllo.

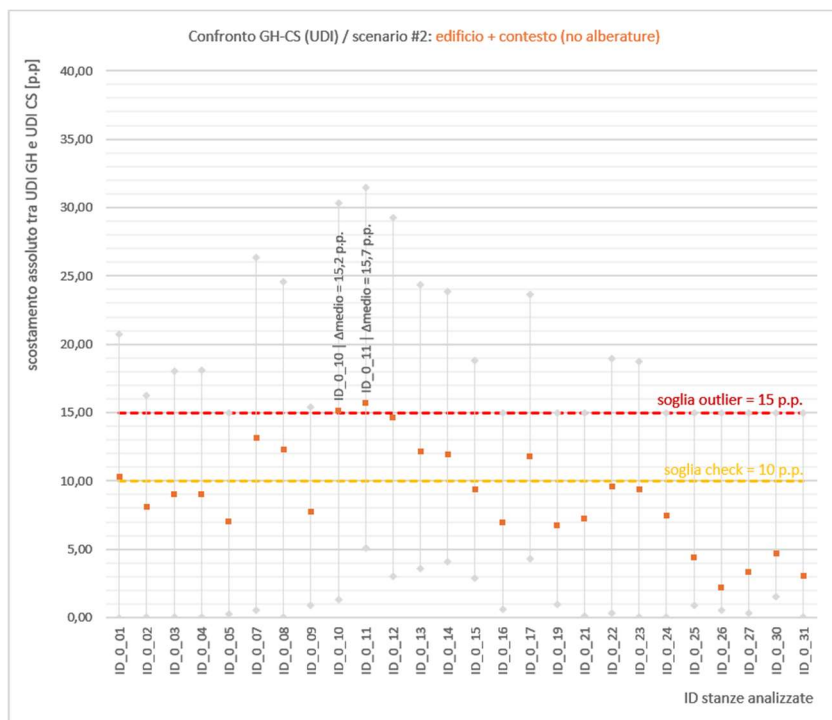


Figura 72: Confronto tra output UDI del modello parametrico GH/HB e risultati ClimateStudio, Scenario 2

Lo Scenario 3, corrispondente al modello completo, presenta scostamenti nei locali ID_0_07, ID_0_08 e ID_0_10 registrano valori medi pari rispettivamente a 16,7, 17,4 e 18,5 p.p.

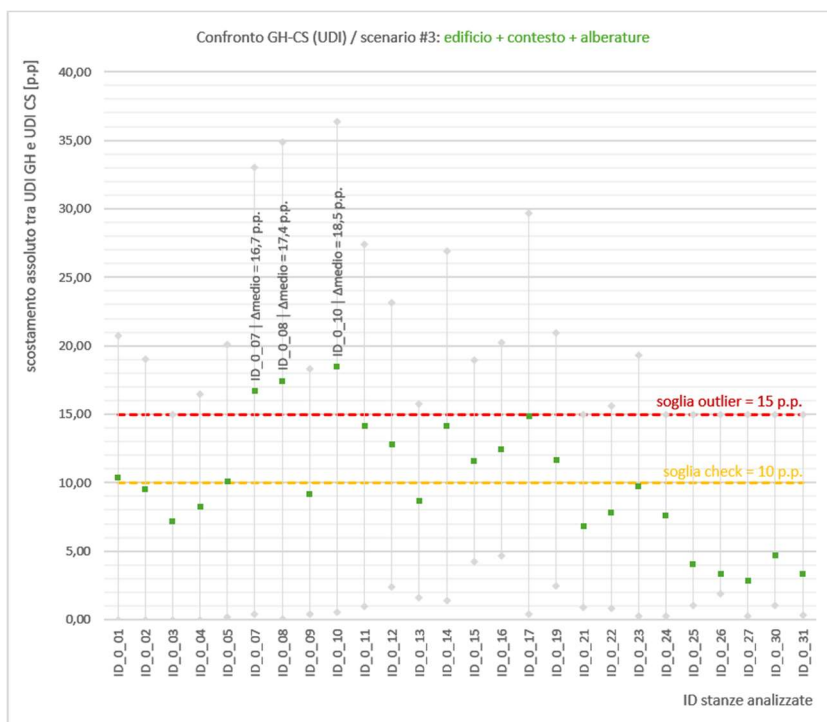


Figura 73: Confronto tra output UDI del modello parametrico GH/HB e risultati ClimateStudio, Scenario 3

L'aumento dei casi da verificare con la progressiva introduzione del contesto e delle alberature può suggerire che le principali differenze non sembrano dipendere esclusivamente dalla struttura generale del tool parametrico, ma probabilmente dalla rappresentazione e dal trattamento degli elementi esterni. In particolare, la semplificazione geometrica della vegetazione e le modalità con cui le superfici del contesto vengono acquisite dai due ambienti simulativi possono produrre variazioni nell'ostruzione della radiazione solare e della componente diffusa.

La valutazione numerica è stata affiancata dal confronto delle preview, verificando che la distribuzione delle classi UDI mantenesse un andamento spaziale compatibile. Tale controllo è necessario perché uno scostamento medio room-level non permette, da solo, di stabilire se le differenze siano diffuse uniformemente oppure concentrate in prossimità delle aperture e degli elementi schermanti.

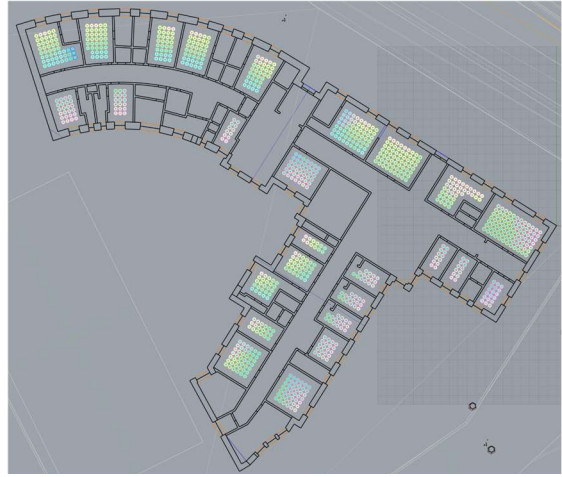


Figura 74: Confronto grafico della distribuzione spaziale dei risultati UDI ottenuti in ClimateStudio plug-in Rhinoceros (sinistra) e mediante il tool parametrico sviluppato in Grasshopper (destra), Scenario 1

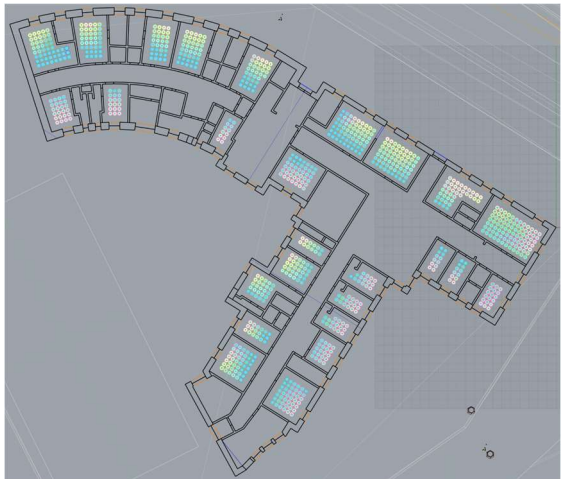
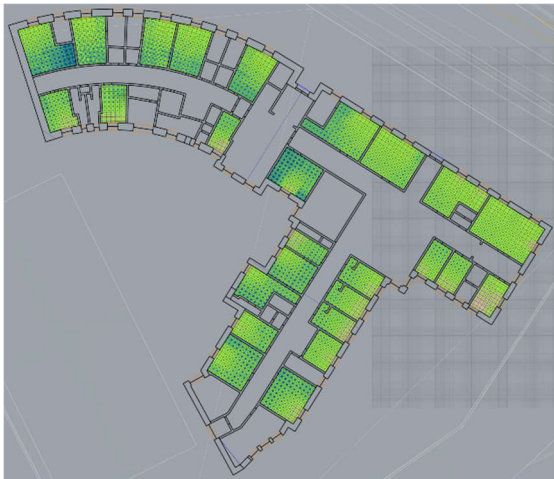


Figura 75: Confronto grafico della distribuzione spaziale dei risultati UDI ottenuti in ClimateStudio plug-in Rhinoceros (sinistra) e mediante il tool parametrico sviluppato in Grasshopper (destra), Scenario 2

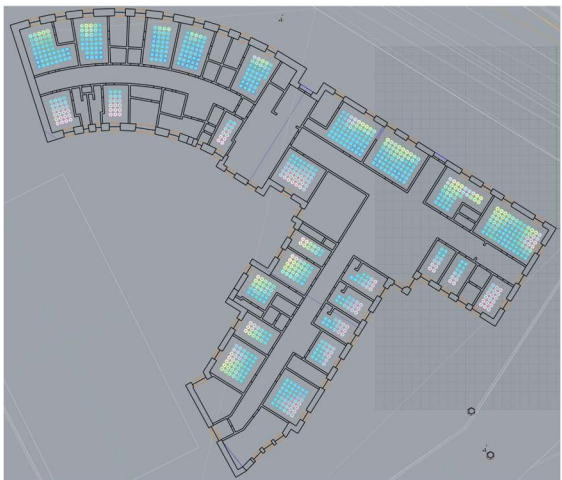
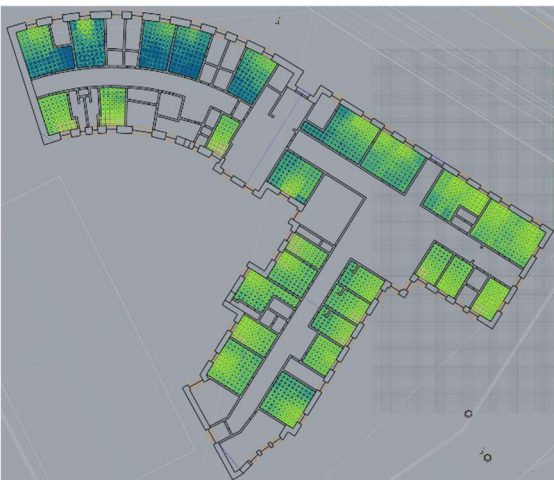


Figura 76: Confronto grafico della distribuzione spaziale dei risultati UDI ottenuti in ClimateStudio plug-in Rhinoceros (sinistra) e mediante il tool parametrico sviluppato in Grasshopper (destra), Scenario 3

Per discomfort glare e View Out la verifica è stata condotta sul solo modello completo attraverso il confronto delle rappresentazioni grafiche. Sono state controllate la corrispondenza delle griglie, la posizione delle aree critiche e la distribuzione delle classi. Questa parte della validazione deve tuttavia essere considerata prevalentemente qualitativa, non essendo stata accompagnata da un confronto numerico sistematico analogo a quello sviluppato per le classi UDI.

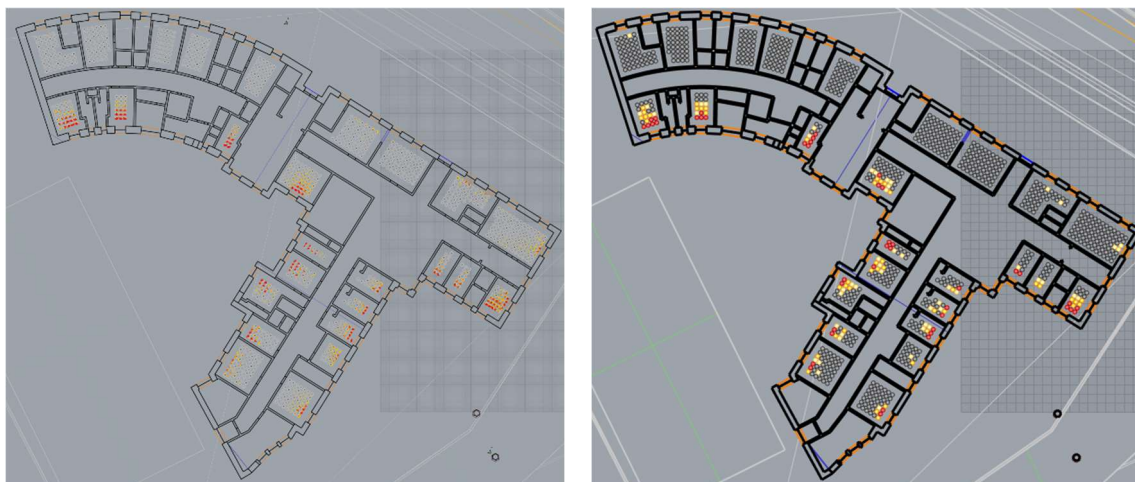


Figura 78: Confronto grafico della distribuzione spaziale dei risultati discomfort Glare ottenuti in ClimateStudio plug-in Rhinoceros (sinistra) e mediante il tool parametrico sviluppato in Grasshopper (destra), Scenario 3

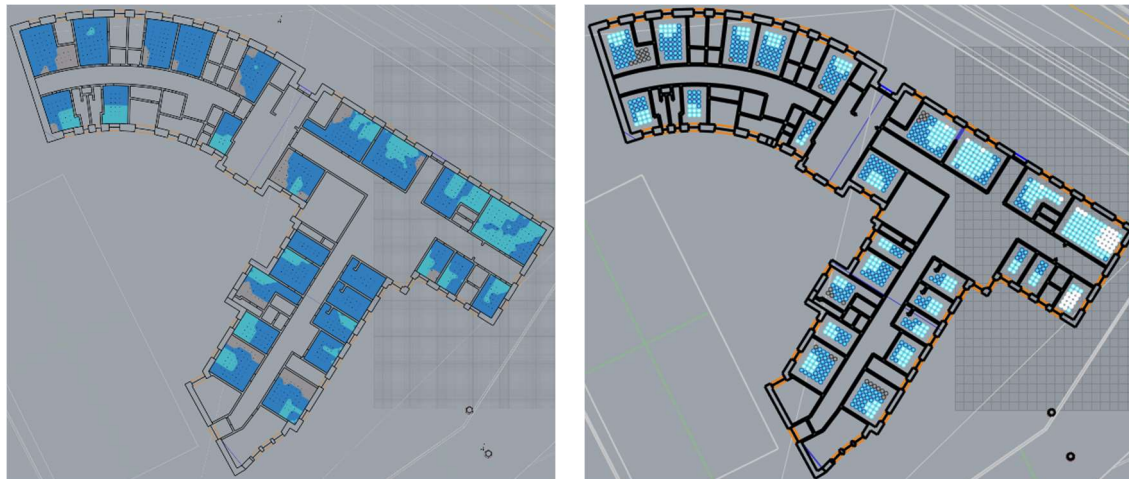


Figura 77: Confronto grafico della distribuzione spaziale dei risultati View Out ottenuti in ClimateStudio plug-in Rhinoceros (sinistra) e mediante il tool parametrico sviluppato in Grasshopper (destra), Scenario 3

Nel complesso, il confronto conferma la capacità del tool parametrico di riprodurre la struttura generale delle analisi e di restituire risultati organizzati coerentemente per sensore e per stanza.

6.1.3 Individuazione delle aree di comfort luminoso e visivo

A valle della validazione del tool parametrico appena discussa, i risultati sensor-level relativi a UDI, discomfort glare e View Out sono stati integrati per le stanze di degenza 208 (ID_2_06) e 218 (ID_2_20), attualmente associate ai questionari disponibili. I tre dataset vengono correlati mediante la combinazione tra identificativo della stanza e indice locale del sensore. Le coordinate planimetriche sono ricavate dal dataset UDI e le geometrie vengono ricostruite su una quota comune ai soli fini della rappresentazione, superando così la differenza tra i piani di analisi adottati per daylight e per glare/View Out.

Come già riportato nel paragrafo 4.1.7, sono stati considerati *favorevoli* i sensori caratterizzati da:

- classe *UDI* prevalente *acceptable*,
- classe di *glare* peggiore *imperceptible*,
- livello complessivo di *View Out almeno minimum*, determinato dal criterio peggiore tra angolo di vista, distanza esterna e numero di strati visibili.

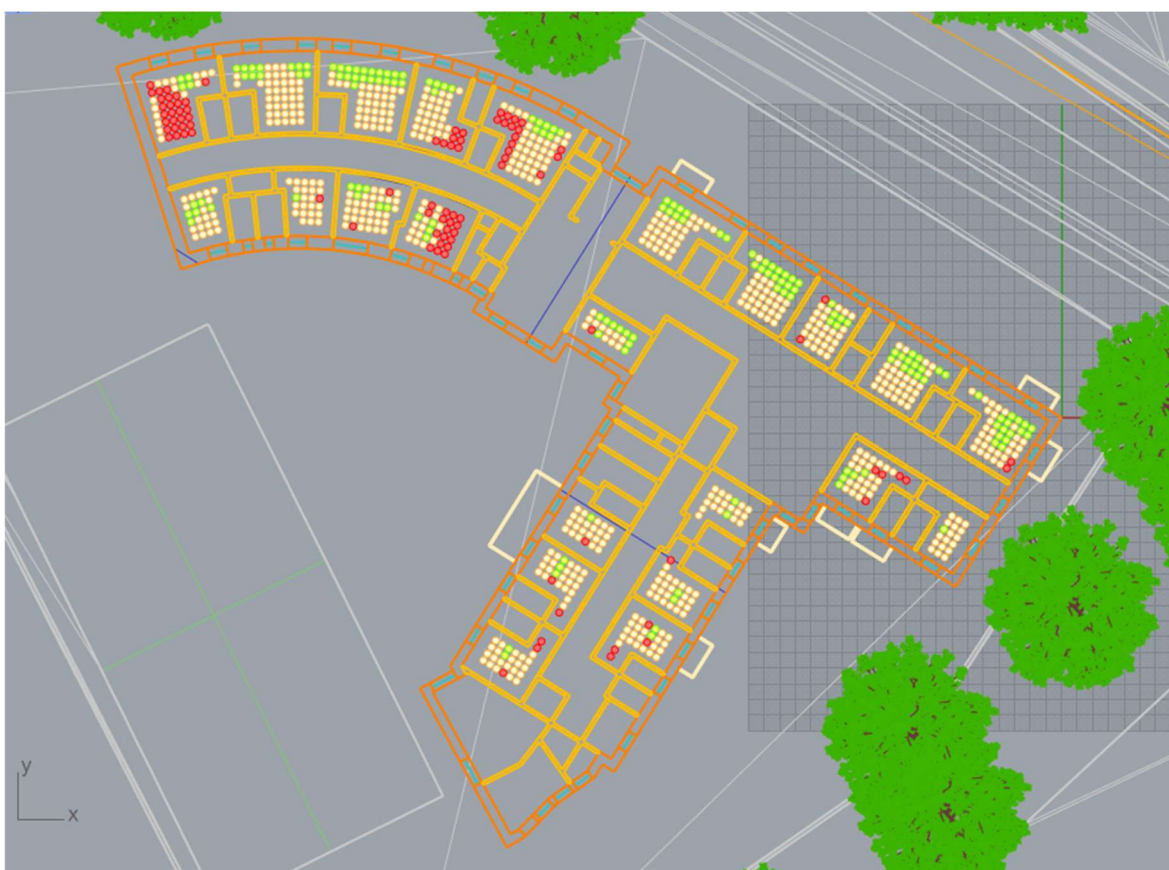


Figura 79: Distribuzione delle condizioni integrate di comfort luminoso e visivo a livello di piano (in esempio Piano Secondo): aree di comfort (verde), condizioni parzialmente favorevoli (arancio/giallo) e criticità (rosso)

L'intersezione logica delle tre condizioni permette di distinguere:

- in **verde**, i sensori che soddisfano **tutti e tre i criteri** e definiscono le aree di benessere luminoso e visivo;
- in **arancione**, i sensori che soddisfano **due criteri su tre** e rappresentano condizioni parzialmente favorevoli;
- in **rosso**, i sensori che soddisfano **uno o nessuno dei criteri** e individuano le principali criticità;
- in grigio, eventuali sensori privi di una corrispondenza completa tra i tre dataset.

Il modulo restituisce inoltre, per ciascuna stanza, il numero e la percentuale dei sensori appartenenti alle diverse categorie, le criticità riconducibili alle singole metriche e una stima dell'area di comfort, calcolata come prodotto tra il numero di sensori favorevoli e l'area associata alla cella della griglia. I risultati vengono infine conservati in forma integrata nei file CSV sensor-level e room-level. Di seguito si riportano le rappresentazioni grafiche relative alle due stanze analizzate.

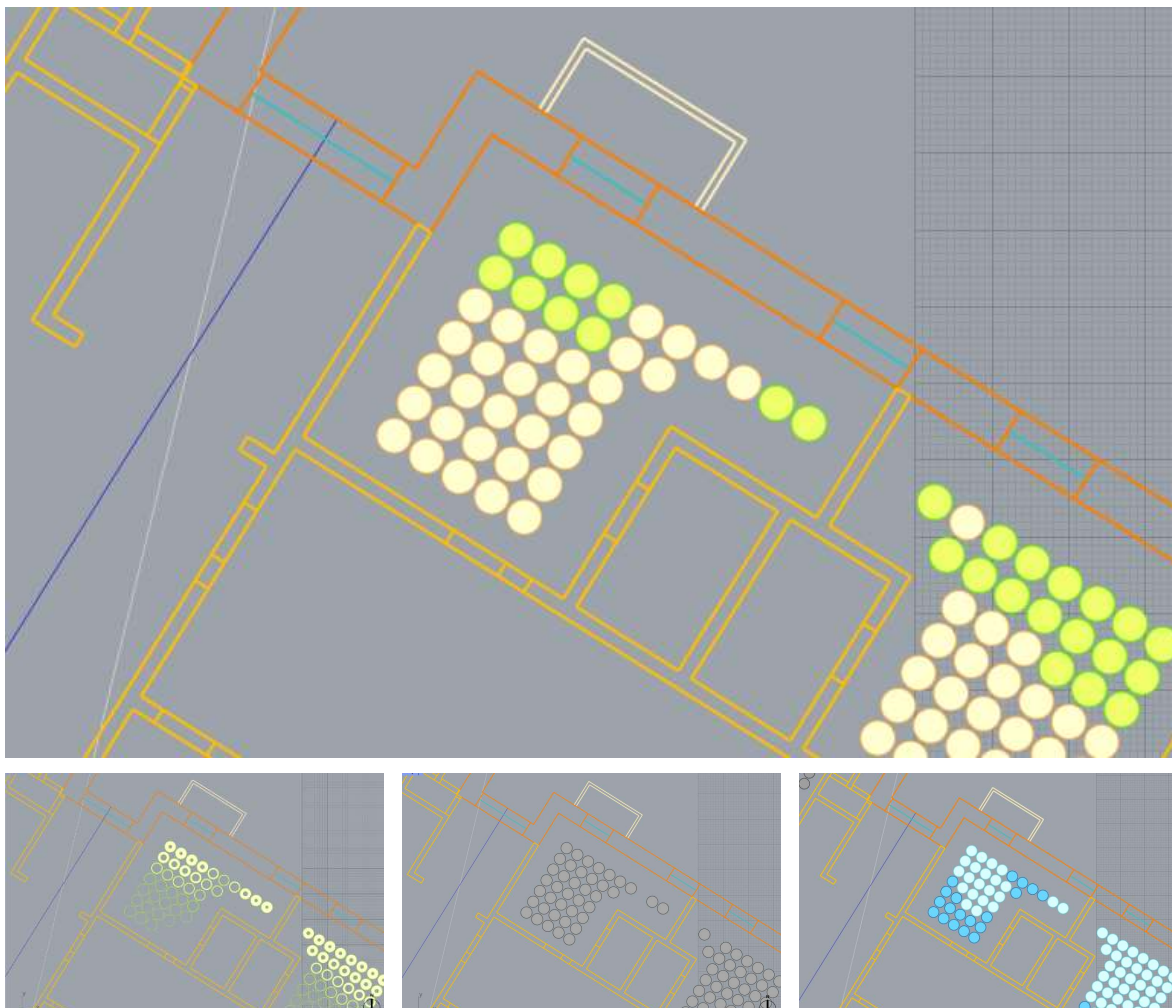


Figura 80: Distribuzione delle condizioni integrate di comfort luminoso e visivo relative alla stanza 208 (ID_2_06): aree di comfort (verde), condizioni parzialmente favorevoli (arancio/giallo) e criticità (rosso)

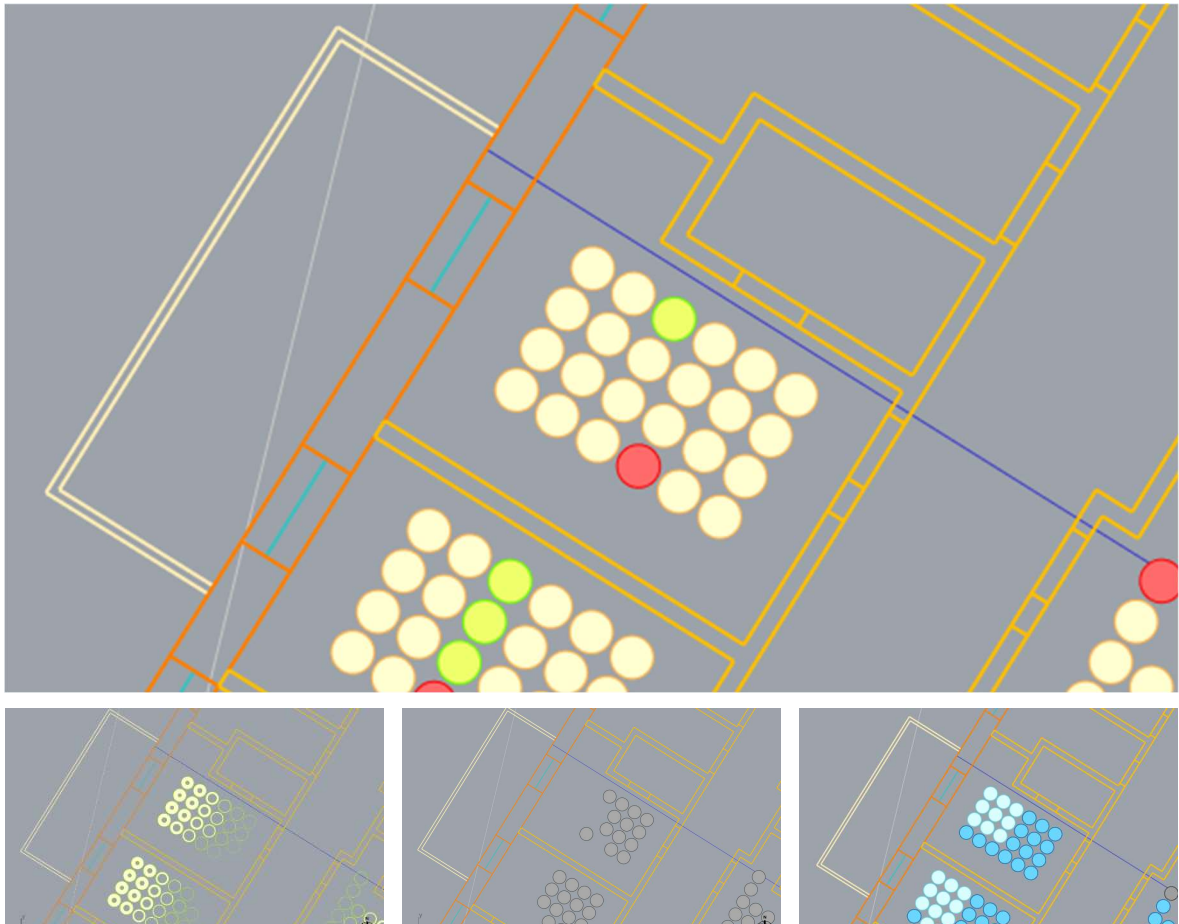


Figura 81: Distribuzione delle condizioni integrate di comfort luminoso e visivo relative alla stanza 218 (ID_2_20): aree di comfort (verde), condizioni parzialmente favorevoli (arancio/giallo) e criticità (rosso)

6.2 Analisi percettiva: stato della raccolta e limitazioni del campione

- **Input:** due questionari compilati, associati alle stanze 208 (ID_2_06) e 218 (ID_2_20), e struttura di codifica definita nel paragrafo 4.2.4;
- **Output:** prima lettura descrittiva delle risposte e valutazione dei limiti che impediscono, allo stato attuale, un'analisi statistica e la validazione degli indicatori sintetici esplorativi.

Il piano di rilevazione prevede il coinvolgimento di dodici stanze della casa di cura oggetto del caso studio, selezionate tra quelle attualmente utilizzate per la degenza:

- **Piano secondo:** 204 (ID_2_02), 208 (ID_2_06), 213 (ID_2_12), 218 (ID_2_20);
- **Piano terzo:** 304 (ID_3_02), 308 (ID_3_06), 314 (ID_3_12), 319 (ID_3_20);
- **Piano quinto:** 502 (ID_5_01), 507 (ID_5_07), 514 (ID_5_14), 519 (ID_5_22).

Al momento della redazione risultano disponibili soltanto due questionari, riferiti alle stanze 208 e 218. La numerosità non consente pertanto di verificare la coerenza interna degli item, validare gli indici sintetici proposti o sviluppare correlazioni, regressioni e confronti attendibili tra stanze. L'analisi viene quindi mantenuta a livello descrittivo e riferita ai singoli casi (sarà condotta successivamente, ad acquisizione dati minimi).

Le prime risposte mostrano alcuni elementi comuni: entrambi i pazienti valutano la stanza come eccellente e la qualità della luce naturale come buona, senza dichiarare fastidio dovuto alla luce o ai riflessi. In entrambi i casi, tuttavia, la luce naturale e la vista non vengono riconosciute come elementi capaci di migliorare la qualità complessiva della degenza. Emerge inoltre una differenza nell'accesso alla vista: il paziente della stanza 208 dichiara di poter vedere l'esterno dal letto, indicando prevalentemente alberi e verde, mentre quello della stanza 218 non dispone dello stesso accesso visivo.

Questi risultati evidenziano già la possibilità di giudizi non perfettamente coincidenti tra qualità delle singole componenti ambientali e impatto complessivo attribuito alla stanza. Considerata la limitata numerosità, tali differenze non possono però essere interpretate come tendenze generalizzabili e costituiscono esclusivamente una prima verifica della corretta applicazione del questionario, della codifica delle risposte e dell'associazione con le relative stanze. L'analisi quantitativa completa viene pertanto rimandata al proseguimento della raccolta.

I file dei questionari compilati sono riportati in *Appendice F*.

6.3 Attuazione del protocollo di integrazione fra analisi tecnica e percettiva

- **Input:** risultati tecnici sensor-level e room-level relativi a UDI, discomfort glare e View Out con definizione delle aree di comfort luminoso e visivo; risposte ai questionari associate alle stanze 208 (ID_2_06) e 218 (ID_2_20);
- **Output:** confronto preliminare tra prestazioni ambientali simulate e percezione dichiarata, finalizzato all'individuazione di convergenze, divergenze e possibili fattori confondenti.

Il protocollo definito nel paragrafo 4.3 è stato applicato ai due casi per i quali risultano disponibili entrambe le componenti di analisi. Data la numerosità del campione, il confronto assume carattere esclusivamente descrittivo e costituisce una verifica operativa dell'associazione tra risultati tecnici e risposte percettive.

La stanza 208 presenta una condizione integrata più favorevole: 10 sensori su 41, pari al 24,4%, soddisfano contemporaneamente i tre criteri, mentre i restanti risultano parzialmente favorevoli (non si rilevano condizioni critiche). Nella stanza 218 l'area di comfort comprende 1 sensore su 24, pari al 4,2%, mentre 22 sensori sono parzialmente favorevoli e uno risulta critico.

Dal momento che in entrambe le stanze il View Out raggiunge almeno il livello minimo in tutti i punti, le differenze dipendono soprattutto dal criterio UDI e, nella stanza 218, anche dalle condizioni di glare. Entrambi i pazienti valutano la stanza come eccellente e la luce naturale come buona, senza dichiarare fastidio dovuto alla luce o ai riflessi. Tale giudizio indica una **convergenza** maggiore con il profilo tecnico della stanza 208, mentre nella 218 emerge una parziale **divergenza** rispetto alle criticità di glare simulate. La differenza può essere ricondotta al diverso carattere delle due valutazioni: annuale, spaziale e conservativo nel modello; riferito invece alla posizione, al periodo di permanenza e all'esperienza effettiva nel questionario.

Una **divergenza** più evidente riguarda la vista esterna. Il paziente della stanza 208 dichiara di vedere l'esterno dal letto, prevalentemente alberi e verde, in accordo con il risultato tecnico. Nella stanza 218, invece, la vista non viene percepita come accessibile dal letto, nonostante il raggiungimento del livello minimo simulato. Ciò evidenzia come la disponibilità geometrica della vista non coincida necessariamente con la sua fruibilità reale, condizionata dalla posizione e dall'orientamento del paziente, dagli arredi e dalla gestione delle schermature (possibili **fattori confondenti**).

Pur non consentendo generalizzazioni, i due casi confermano l'applicabilità del protocollo e costituiscono una prima base per l'estensione della raccolta e delle successive analisi quantitative.

7 Conclusioni e sviluppi futuri

Il presente elaborato ha affrontato il rapporto tra caratteristiche dell'involucro edilizio e benessere negli spazi di degenza, concentrandosi sull'apporto di luce naturale e sulla qualità della vista verso l'esterno. Il percorso sviluppato ha mostrato come la valutazione di tali componenti non possa essere limitata alla lettura di singoli indicatori prestazionali, ma richieda un approccio integrato, capace di affiancare ai risultati tecnici l'esperienza effettivamente dichiarata dagli utenti.

La revisione sistematica della letteratura ha confermato la presenza di relazioni tra daylight, view out ed esiti riguardanti pazienti e personale sanitario, ma ha evidenziato anche un quadro frammentato per metodi, metriche e solidità delle evidenze. In particolare, i collegamenti tra prestazioni ambientali degli spazi ospedalieri e outcome clinici strutturati risultano ancora deboli e non sempre sostenuti da studi direttamente confrontabili. In questo contesto, il framework pre-PRISMA 2020 rappresenta un primo contributo del lavoro: la progettazione della strategia di ricerca è stata trasformata da insieme di scelte normalmente poco esplicitate a procedura tracciabile, iterativa e potenzialmente riproducibile, capace di accompagnare il ricercatore fino alla fase di identificazione disciplinata da PRISMA 2020.

Il secondo contributo riguarda la traduzione delle evidenze emerse in una metodologia applicativa. Il tool parametrico sviluppato in Grasshopper consente di acquisire e associare le geometrie dell'edificio, individuare i locali candidati a stanza di degenza, generare le griglie di calcolo e organizzare a livello di sensore e di stanza gli output relativi a UDI, discomfort glare e View Out. La successiva integrazione delle tre metriche permette di definire le porzioni degli ambienti nelle quali le condizioni selezionate risultano contemporaneamente soddisfatte, conservando al tempo stesso le informazioni sulle criticità determinate dai singoli parametri.

Il confronto con le simulazioni di benchmark eseguite direttamente in ClimateStudio ha restituito una coerenza generale tra i due ambienti simulativi. Gli scostamenti più rilevanti sono emersi con l'aumentare della complessità del modello, soprattutto in presenza del contesto urbano e delle alberature, confermando l'influenza esercitata dalle modalità di rappresentazione geometrica e dalla costruzione delle griglie e dei dati di calcolo. La validazione non assume pertanto valore generale per qualsiasi configurazione edilizia o climatica, ma dimostra il corretto funzionamento del tool parametrico nel perimetro del caso studio e ne rende espliciti i principali margini di attenzione.

Parallelamente, il questionario ha permesso di strutturare la componente percettiva dell'analisi e di collegarla ai risultati simulativi attraverso l'identificativo della stanza. L'applicazione ai primi due casi disponibili ha fatto emergere alcune convergenze, ma anche divergenze significative, in particolare tra disponibilità geometrica della vista e sua effettiva accessibilità dalla posizione del paziente. Sebbene la numerosità attuale non consenta inferenze statistiche, validazione degli indicatori sintetici o

generalizzazioni, il risultato conferma l'applicabilità del protocollo e mostra il valore informativo dello scostamento tra prestazione calcolata ed esperienza dichiarata. Il contributo principale non consiste quindi nella dimostrazione di una relazione causale definitiva, ma nella costruzione di una procedura capace di renderla osservabile e verificabile.

Gli sviluppi futuri dovranno riguardare innanzitutto l'estensione della raccolta percettiva alle stanze già individuate, così da verificare la coerenza interna degli item, consolidare gli indicatori esplorativi e sviluppare confronti e modelli quantitativi più robusti. Sarà inoltre opportuno integrare in modo più puntuale la posizione e l'orientamento effettivi del paziente, la disposizione degli arredi, l'uso delle schermature e le condizioni meteorologiche durante la permanenza. Sul piano tecnico, il tool potrà essere testato su ulteriori edifici, geometrie e contesti climatici, automatizzando ulteriormente l'output finale con la produzione delle schede room-level. Un'ulteriore estensione potrà infine coinvolgere il personale sanitario, ricongiungendo l'applicazione sperimentale all'ampiezza del quadro emerso dallo Stato dell'Arte.

Nel complesso, il lavoro propone un passaggio dalla conoscenza scientifica alla lettura operativa dello spazio di degenza. La qualità luminosa e visiva non viene restituita come valore astratto o uniforme, ma come condizione variabile nello spazio, dipendente dall'interazione tra edificio, contesto e utenza. In questa prospettiva, il metodo sviluppato costituisce una base ampliabile per supportare valutazioni e scelte progettuali maggiormente orientate al benessere di chi vive gli ambienti sanitari.

8 Bibliografia e sitografia

- [1] Ought, “Elicit,” Elicit [online at: <https://elicit.com/>].
- [2] OpenAI, “ChatGPT,” ChatGPT [online at: <https://chatgpt.com/>].
- [3] Google Cloud, “What is Prompt Engineering?,” Google Cloud [online at: <https://cloud.google.com/discover/what-is-prompt-engineering?hl=it#strategies-for-writing-better-prompts>].
- [4] R. Campos, V. Mangaravite, A. Pasquali, A. Jorge, C. Nunes, and A. Jatowt, “YAKE! Keyword extraction from single documents using multiple local features,” *Inf. Sci. (N. Y.)*, vol. 509, pp. 257–289, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.ins.2019.09.013.
- [5] Elsevier, “Scopus,” Scopus [online at: <https://www.scopus.com/>].
- [6] N. J.; W. L. Van Eck, “VOSviewer,” Leiden University, Centre for Science and Technology Studies [online at: <https://www.vosviewer.com/>].
- [7] National Library of Medicine (U.S.), “PubMed,” PubMed [online at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>].
- [8] B. L. University of Ljubljana, “Orange Data Mining,” Orange Data Mining [online at: <https://orangedatamining.com/>].
- [9] ResearchRabbit, “ResearchRabbit,” ResearchRabbit [online at: <https://app.researchrabbit.ai/>].
- [10] C. H. Wang, N. W. Kuo, and K. Anthony, “Impact of window views on recovery—an example of post-cesarean section women,” Dec. 01, 2019, *Oxford University Press*. doi: 10.1093/intqhc/mzz046.
- [11] H. Salonen *et al.*, “Design approaches for promoting beneficial indoor environments in healthcare facilities: a review,” Jan. 2013. doi: 10.1080/17508975.2013.764839.
- [12] Huisman E.R.C.M., “Quality of light in a long term care facility in the Netherlands,” *Gerontechnology Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 85–86, 2014.
- [13] R. S. Ulrich, “View through a window may influence recovery from surgery,” *Science (1979)*, vol. 224, no. 4647, pp. 420–421, 1984, doi: 10.1126/science.6143402.
- [14] K. M. Beauchemin and P. Hays, “Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions,” 1996.
- [15] K. M. Beauchemin, P. Hays, and M. B. Frcpc, “Dying in the dark: sunshine, gender and outcomes in myocardial infarction,” 1998.
- [16] F. Benedetti, C. Colombo, B. Barbini, E. Campori, and E. Smeraldi, “Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression,” 2001. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/jad
- [17] J. M. Walch, B. S. Rabin, R. Day, J. N. Williams, K. Choi, and J. D. Kang, “The effect of sunlight on postoperative analgesic medication use: A prospective study of patients undergoing spinal surgery,” *Psychosom. Med.*, vol. 67, no. 1, pp. 156–163, Jan. 2005, doi: 10.1097/01.psy.0000149258.42508.70.

- [18] J. H. Choi, L. O. Beltran, and H. S. Kim, "Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility," *Build. Environ.*, vol. 50, pp. 65–75, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.10.010.
- [19] M. M. Shepley, R. P. Gerbi, A. E. Watson, S. Imgrund, and R. Sagha-Zadeh, "The impact of daylight and views on ICU patients and staff," *Health Environments Research and Design Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 46–60, Jan. 2012, doi: 10.1177/193758671200500205.
- [20] R. K. Raanaas, G. G. Patil, and T. Hartig, "Health benefits of a view of nature through the window: A quasi-experimental study of patients in a residential rehabilitation center," *Clin. Rehabil.*, vol. 26, no. 1, pp. 21–32, Jan. 2012, doi: 10.1177/0269215511412800.
- [21] A. R. Joarder and A. Price, "Impact of daylight illumination on reducing patient length of stay in hospital after coronary artery bypass graft surgery," *Lighting Research and Technology*, vol. 45, no. 4, pp. 435–449, 2013, doi: 10.1177/1477153512455940.
- [22] R. S. Zadeh *et al.*, "IMPACT OF WINDOWS AND DAYLIGHT ON NURSES' HEALTH The Impact of Windows and Daylight on Acute-Care Nurses' Physiological, Psychological, and Behavioral Health," 2014.
- [23] A. Sherif, H. Sabry, A. Wagdy, I. Mashaly, and R. Arafa, "Shaping the slats of hospital patient room window blinds for daylighting and external view under desert clear skies," *Solar Energy*, vol. 133, pp. 1–13, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.03.053.
- [24] W. C. Chiu, P. S. Chang, C. F. Hsieh, C. M. Chao, and C. C. Lai, "The impact of windows on the outcomes of medical intensive care unit patients," *Int. J. Gerontol.*, vol. 12, no. 1, pp. 67–70, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.ijge.2017.06.002.
- [25] V. Pouyesh *et al.*, "The effects of environmental factors in waiting rooms on anxiety among patients undergoing coronary angiography: A randomized controlled trial," *Int. J. Nurs. Pract.*, vol. 24, no. 6, Dec. 2018, doi: 10.1111/ijn.12682.
- [26] M. Y. Park, C. G. Chai, H. K. Lee, H. Moon, and J. S. Noh, "The Effects of Natural Daylight on Length of Hospital Stay," *Environ. Health Insights*, vol. 12, 2018, doi: 10.1177/1178630218812817.
- [27] C. M. Calama-González, Á. L. León-Rodríguez, and R. Suárez, "Daylighting and energy performance evaluation of an egg-crate device for hospital building retrofitting in a mediterranean climate," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 8, Aug. 2018, doi: 10.3390/su10082714.
- [28] R. Smonig *et al.*, "Impact of natural light exposure on delirium burden in adult patients receiving invasive mechanical ventilation in the ICU: a prospective study," *Ann. Intensive Care*, vol. 9, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1186/s13613-019-0592-x.
- [29] S. Cesari, P. Valdiserri, M. Coccagna, and S. Mazzacane, "The energy saving potential of wide windows in hospital patient rooms, optimizing the type of glazing and lighting control strategy under different climatic conditions," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 8, Apr. 2020, doi: 10.3390/en13082116.

- [30] L. Zhu, D. Hu, S. J. Shah, and X. Hu, "A Design-Driven Approach Exploring Therapeutic Building-Nature Integration Strategies in Healthcare," *Health Environments Research and Design Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 282–300, Apr. 2025, doi: 10.1177/19375867251313990.
- [31] R. Jafarifiroozabadi, M. Woo, A. Joseph, P. MacNaughton, and S. Mihandoust, "The effects of window blind positions and control on patients' hospital and care quality perception: A mediation and moderation analysis," *Build. Environ.*, vol. 226, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109672.
- [32] J. Kim, K. Kral, W. H. Ko, M. Kent, S. Schiavon, and T. Dogan, "Window View Satisfaction Assessment Method: A Comparison of Physical Space, Virtual Reality, and Digital Image," *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 2025, doi: 10.1080/15502724.2025.2528893.