

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura Costruzione Città

Tesi di Laurea Magistrale

Qualità ambientale di aule universitarie: analisi soggettive e
oggettive delle condizioni di comfort termico e visivo.



Relatori

prof. Valerio Roberto Maria Lo Verso

prof. Enrico Fabrizio

Candidati

Antonio Lombardi

Niccolò Scacchetti

Mattia Torchia

Anno Accademico 2018/2019

L'architettura è davvero benessere. Penso che la gente voglia sentirsi bene in uno spazio... Da un lato si tratta di un riparo, dall'altro si tratta anche di un piacere.

Zaha Hadid

Abstract

L'utilizzo dei questionari oggi giorno è diventato uno degli strumenti più importanti per poter rilevare dei dati ed indagare su casi studio di qualsiasi ambito. Questi sono resi ancora più indispensabili quando si tratta di correlare sensazioni percepite soggettive con dei dati rilevati in loco e dunque definiti oggettivi.

Il lavoro qui di seguito esposto, tratta lo studio delle condizioni di comfort termico, acustico e visivo all'interno di 4 aule universitarie del Politecnico di Torino, in Italia. Ognuna di esse appartenente a tre differenti sedi dell'università, e dunque con caratteristiche morfologiche e strutturali differenti.

Per l'apposito studio si è redatto un questionario specifico, al fine di poter analizzare ciascun parametro soggettivo indispensabile per le correlazioni con i dati oggettivi rilevati.

Il primo passo si occupa di separare, in due stagioni opposte: estate e inverno, i dati forniti dagli studenti presenti all'interno delle aule selezionate come caso studio. Successivamente sono stati correlati con i dati oggettivi al fine di poter generare dei grafici di correlazione che mostrassero le corrispondenze e le divergenze tra i due metodi di analisi scelti.

Ogni aula è differente dalle altre, non solo strutturalmente ma anche a livello di sensazioni percepite interne, questo ha portato ad avere quattro macroanalisi differenti sulle quali soffermarsi per poter trarre delle conclusioni.

Si sono creati dunque diversi confronti, a partire con la prima divisione a seconda della stagione; poi una divisione in analisi oggettiva e soggettiva. Dopo il confronto tra dati oggettivi e soggettivi si è analizzata ogni aula mettendo a confronto le stagioni e poi infine come correlazioni finali il confronto fra le varie aule.

Si sono ottenuti così dati sufficienti che mostrano i punti di forza e di debolezza di ogni aula, ma anche di ogni sede.

Sommario

Capitolo 1: Introduzione	13
1.1 Il benessere ambientale nelle aule scolastiche.....	13
1.2 Politecnico di Torino: cenni storici	15
Capitolo 2: Metodologia	17
2.1. Individuazione aule selezionate come caso studio	17
2.1.1 Aula 4V	18
2.1.2 Aula 25.....	31
2.1.3 Aula 201.....	38
2.1.4 Aula 7I	45
2.2 Misure termoigrometriche	52
2.3 Campagna sperimentale.....	52
2.3.1 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati termici: analizzatore climatico per interni B&K 1213	52
2.3.2 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati termici: anemometro digitale portatile	55
2.4 Misure illuminotecniche	56
2.4.1 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati illuminotecnici: luxmetro portatile.....	57
2.4.1.1 Processo di funzionamento e applicazione al caso studio.....	62
2.4.2 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati illuminotecnici: spettrofotometro.....	63
2.4.2.1 Processo di funzionamento e applicazione al caso studio.....	66
2.5 Misure acustiche	67
2.5.1 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati illuminotecnici: applicazione OpeNoise	67
2.6 Stesura e somministrazione questionario	72
2.6.1 Questionario tipo.....	74
Capitolo 3: Fondamenti di benessere ambientale	83
3.1 Comfort termico	83
3.1.1 Benessere termoigrometrico	84
3.1.2 Equazione di bilancio dell'energia del corpo umano: Modello di Fanger	85
3.1.3 Variabili ambientali	88
3.1.3.1 Temperatura dell'aria	88

3.1.3.2	Temperatura media radiante.....	88
3.1.3.3	Velocità dell'aria.....	89
3.1.3.4	Deviazione standard della velocità dell'aria	90
3.1.3.5	Umidità relativa.....	90
3.1.3.6	Temperatura operativa	92
3.1.4	Variabili individuali.....	93
3.1.4.1	Vestiaro (CLO)	93
3.1.4.2	Livelli di attività (MET).....	94
3.1.5	Sistema di termoregolazione del corpo umano.....	96
3.1.6	Criteri di progettazione ambientali termici interni	97
3.1.7	Comfort termico adattativo.....	99
3.1.8	Comfort termico stazionario	100
3.1.8.1	Indice PMV	100
3.1.8.2	Indice PPD	101
3.1.9	Discomfort locale.....	103
3.1.9.1	Movimenti d'aria.....	103
3.1.9.2	Asimmetria temperatura media radiante	104
3.1.9.3	Differenza verticale della temperatura dell'aria.....	106
3.1.9.4	Pavimento troppo caldo o troppo freddo.....	107
3.2	Comfort visivo.....	108
3.2.1	Luce	109
3.2.1.1	Percezione della luce nel campo visibile	110
3.2.2	Grandezze fotometriche	115
3.2.2.1	Flusso luminoso	115
3.2.2.2	Intensità luminosa	116
3.2.2.3	Illuminamento	117
3.2.2.4	Luminanza.....	118
3.2.3	Comportamento della luce entrante in ambiente	120
3.2.3.1	Fattore di riflessione, assorbimento e trasmissione luminosa...121	
3.2.3.2	Illuminazione naturale.....	121
3.2.3.3	Fattore di luce diurna e fattore di luce diurna medio	123
3.2.3.4	Fattore di luce diurna medio secondo la Normativa Italiana127	
3.2.4	Criteri di progettazione ambientali illuminotecnici interni.....	129
3.2.4.1	Resa del colore	130
3.2.4.2	Luminanza.....	130
3.2.4.3	Illuminamento	131

3.2.4.4	Illuminamento medio mantenuto e fattore di manutenzione....	131
3.2.4.5	Abbagliamento e abbagliamento molesto	132
3.2.4.6	Colore della luce	134
3.2.4.7	Illuminazione naturale nei locali scolastici	135
3.2.5	Riferimenti normativi	137
Capitolo 4: Risultati delle analisi a confronto		141
	Comfort termico	141
4.1	Aula 4V	142
4.1.1	Stagione estiva	144
4.1.1.1	Analisi soggettive.....	144
4.1.1.2	Analisi oggettive	150
4.1.1.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	152
4.1.2	Stagione invernale.....	158
4.1.2.1	Analisi soggettive.....	158
4.1.2.2	Analisi oggettive	164
4.1.2.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	166
4.2	Aula 25	172
4.2.1	Stagione estiva	174
4.2.1.1	Analisi soggettive.....	174
4.2.1.2	Analisi oggettive	180
4.2.1.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	182
4.2.2	Stagione invernale.....	188
4.2.2.1	Analisi soggettive.....	188
4.2.2.2	Analisi oggettive	194
4.2.2.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	196
4.3	Aula 201	203
4.3.1	Stagione estiva	205
4.3.1.1	Analisi soggettive.....	205
4.3.1.2	Analisi oggettive	211
4.3.1.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	213
4.3.2	Stagione invernale.....	220
4.3.2.1	Analisi soggettive.....	220
4.3.2.2	Analisi oggettive	225
4.3.2.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	227
4.4	Aula 7I.....	236
4.4.1	Stagione estiva	238

4.4.1.1	Analisi soggettive.....	238
4.4.1.2	Analisi oggettive	244
4.4.1.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	246
4.4.2	Stagione invernale.....	254
4.4.2.1	Analisi soggettive.....	254
4.4.2.2	Analisi oggettive	260
4.4.2.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	262
	Comfort visivo.....	270
4.5	Aula 4V	270
4.5.1	Stagione estiva	273
4.5.1.1	Analisi soggettive.....	273
4.5.1.2	Analisi oggettive	277
4.5.1.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	279
4.5.2	Stagione invernale.....	286
4.5.2.1	Analisi soggettive.....	286
4.5.2.2	Analisi oggettive	290
4.5.2.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	292
4.6	Aula 25	301
4.6.1	Stagione estiva	303
4.6.1.1	Analisi soggettive.....	303
4.6.1.2	Analisi oggettive	307
4.6.1.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	309
4.6.2	Stagione invernale.....	314
4.6.2.1	Analisi soggettive.....	314
4.6.2.2	Analisi oggettive	318
4.6.2.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	320
4.7	Aula 201	327
4.7.1	Stagione estiva	329
4.7.1.1	Analisi soggettive.....	329
4.7.1.2	Analisi oggettive	333
4.7.1.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	335
4.7.2	Stagione invernale.....	342
4.7.2.1	Analisi soggettive.....	342
4.7.2.2	Analisi oggettive	346
4.7.2.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	348
4.8	Aula 7I.....	355

4.8.1	Stagione estiva	357
4.8.1.1	Analisi soggettive.....	357
4.8.1.2	Analisi oggettive	361
4.8.1.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	363
4.8.2	Stagione invernale.....	372
4.8.2.1	Analisi soggettive.....	372
4.8.2.2	Analisi oggettive	376
4.8.2.3	Confronto risultati soggettivi ed oggettivi	378
Capitolo 5: Calcolo analitico e confronto tramite software DIVA del Fattore di Luce Diurna medio		387
5.1	Interfaccia	387
5.1.1	Location	388
5.1.2	Nodes	389
5.1.3	Materials	389
5.1.4	Metrics	391
5.2	Risultati ottenuti	392
5.2.1	Aula 4V.....	392
5.2.2	Aula 25.....	395
5.2.3	Aula 201.....	397
5.2.4	Aula 7I	399
Conclusioni		403
	Comfort termico	403
	Comfort visivo.....	419
	Comfort acustico	429
Bibliografia		433
Appendici.....		437
	Aula 4V Stagione estiva	437
	Aula 4V Stagione invernale.....	443
	Aula 25 Stagione estiva	449
	Aula 25 Stagione invernale	455
	Aula 201 Stagione estiva	461
	Aula 201 Stagione invernale	467
	Aula 7I Stagione estiva.....	473
	Aula 7I Stagione invernale	479
Indice delle figure.....		485

Capitolo 1: Introduzione

1.1 Il benessere ambientale nelle aule scolastiche

“In Italia i ragazzi trascorrono dalle 4 alle 8 ore al giorno negli edifici scolastici, per almeno 10 anni. Si stima che il 15% della popolazione, pari a circa 10 milioni fra alunni e docenti, studi o lavori ogni giorno in circa 45.000 edifici pubblici su tutto il territorio nazionale.”¹

Il livello della qualità della vita si sta orientando verso degli standard sempre più elevati; ciò consegue una maggiore attenzione alla definizione dei requisiti di benessere microclimatico interno all’ambiente, atti a garantire adeguate condizioni negli spazi in cui l’uomo vive, studia e lavora.

In un’ottica futura di sostenibilità, il progetto edilizio ed impiantistico soprattutto, deve porre attenzione non solo alle soluzioni tecniche di carattere strutturale, ma anche a quelle di carattere gestionale della regolazione dei parametri ambientali interni che consentono all’utente di gestire correttamente il sistema “edificio-impianto”.

Generalmente con un livello di comfort più elevato si hanno, a parità di caratteristiche costruttive del sistema e di condizioni climatiche esterne, maggiori possibilità di benessere che ne implica una maggiore produttività ed efficienza degli individui che abitano questi spazi.

Le aule scolastiche sono dei luoghi estremamente delicati sia perché rappresentano il secondo posto, dopo le mura domestiche, dove bambini e ragazzi trascorrono il maggior tempo della giornata, sia per l’elevata densità di occupazione nelle aule.

Gli edifici scolastici dovrebbero disporre di ambienti salubri, che favoriscano l’apprendimento e l’attenzione degli studenti, che riducano al minimo la proliferazione di batteri e, di conseguenza, l’assenteismo. Fattori ambientali di disturbo, come elevate temperature e scarso ricambio d’aria, possono determinare un calo di attenzione e quindi una riduzione nel rendimento. Al contrario, se le persone lavorano in un adeguato contesto psico-fisico, l’efficienza, la produttività e il livello di benessere aumentano.

L’analisi del comfort all’interno degli ambienti di lavoro, di studio e di vita quotidiana, attualmente è molto diffusa a livello sia nazionale sia mondiale. Determinati studi hanno dimostrato che la produttività di una persona presente in questi ambienti è direttamente proporzionale alle migliori condizioni di comfort che si rilevano all’interno dell’ambiente stesso.

¹ Dato ISTAT: Istituto Nazionale di Statistica

Queste analisi comprendono sia l'analisi del comfort termico sia del comfort visivo ed acustico, insieme all'interno delle aule scolastiche influenzano tutti coloro che sfruttano quell'ambiente in qualsiasi fascia temporale. Sono stati condotti numerosi test per valutare le condizioni di comfort acustico all'interno delle aule scolastiche primarie, secondarie ed universitarie in Italia, con annesso il rendimento che ne dipende sugli studenti.

I test effettuati non riguardano solo l'acustica. Astolfi all'interno del suo articolo "Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms"² includeva elementi generali e specifici sia sulla qualità del comfort acustico sia su altri singoli aspetti come termica, acustica, qualità visiva e aria interna.

Un altro elemento importante da analizzare all'interno di edifici scolastici è la qualità visiva, quindi ci si sofferma soprattutto sull'illuminazione naturale proveniente dall'esterno dell'edificio e sull'illuminazione artificiale integrata per ottenere buoni valori di illuminamento.

I tre parametri presi in considerazione: comfort acustico, comfort visivo e comfort termico, hanno degli effetti differenti sulle persone che frequentano le aule. Ogni categoria di comfort viene analizzata sia attraverso uno studio soggettivo, con la somministrazione di questionari, sia tramite uno studio oggettivo, con i parametri utili all'analisi ricavati attraverso degli strumenti appositi.

Gli studi preposti per le aule scolastiche sono differenti da quelli effettuati sugli ambienti adibiti ad ufficio o ad abitazione, in quanto determinati parametri utilizzati variano a seconda dell'attività che si sta svolgendo al suo interno.

Nel presente studio verranno inizialmente riportate alcune nozioni teoriche sui parametri interni degli ambienti scolastici e non, poi verranno fatte alcune considerazioni sui risultati di una campagna di misurazioni nelle tre differenti sedi del Politecnico di Torino.

Lo scopo è di valutare se sono presenti particolari situazioni di disagio termico, visivo ed acustico e di capire se le condizioni riscontrate consentono un livello di benessere accettabile sia per gli studenti sia per le altre persone che ne frequentano gli spazi.

Importante ricordarsi che, spesso, il raggiungimento di una condizione termica accettabile va a scapito dei costi (in particolare di quelli di gestione). Quasi tutti gli edifici esistenti sono stati progettati secondo specifiche che si limitavano ad imporre parametri fissi, in condizioni estive e invernali e che questi non si discostassero troppo da determinati valori di progetto.

² A. Astolfi, F. Pellerey, *Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms*, J. Acoust. Soc. Am, 2008, pp. 163-173.

1.2 Politecnico di Torino: cenni storici

La tesi di seguito proposta fa riferimento ad alcune aule di una delle più grandi istituzioni universitarie d'Italia. È molto importante capire come questa università sia stata fondata e come, a livello costruttivo le varie sedi si sono modificate nel tempo. Le modifiche susseguitesì fanno parte dello studio, perché fanno variare in maniera molto differente gli elementi costruttivi delle aule e i relativi parametri che ne vengono ricavati.

Il Regio Politecnico di Torino nacque nel 1906 come istituzione, ma le sue vere origini sono datate molti anni prima.

La scuola di Applicazione per gli Ingegneri, sorta nel 1859 con la Legge Casati e il Museo dell'Agricoltura Italiano, e furono i diretti ascendenti. Illustri docenti e ricercatori seppero dare, sotto differenti aspetti, uno statuto a nuovi ambiti disciplinari, come l'elettrotecnica e la scienza delle costruzioni.

Nel 1859 la residenza sabauda del Valentino, venne ceduta alla Scuola di Applicazione per gli Ingegneri, oggi è di proprietà del Politecnico. Con l'avvento dei primi anni del Novecento, il Regio Politecnico di Torino iniziò a creare relazioni in più direzioni sia dal punto di vista scientifico sia in altri ambiti, con ciò molti giovani italiani si mossero verso Torino in cerca di aspirazione e un futuro professionale.

Alla fine della Seconda Guerra Mondiale il Politecnico di Torino così come altre facoltà universitarie italiane ed europee seguì un innalzamento del numero degli iscritti e un'espansione delle materie disciplinari proposte. Con l'avvento di ciò, nel 1958 venne inaugurato il grande complesso di corso Duca degli Abruzzi, successivamente ingrandito con la costruzione della Cittadella Politecnica.

Per poter realizzare l'attività di ricerca e formazione che offre oggi, il Politecnico è articolato in 11 Dipartimenti presenti nella sede centrale in corso Duca degli Abruzzi.

Il grande complesso di corso Duca degli Abruzzi, con 122.000 m², è la sede principale del dipartimento di Ingegneria e si completa con la Cittadella Politecnica: un complesso moderno di 170.000 m², in cui sono presenti spazi destinati agli studenti, attività di ricerca e servizi vari.

Capitolo 2: Metodologia

Affrontare uno studio così approfondito sia dal punto di vista soggettivo sia da quello oggettivo, molte volte potrebbe risultare approssimativo. Lo studio che ne emerge è frutto non solo delle analisi complessive effettuate sul campo ma anche di uno spunto iniziale basato sulla lettura di un articolo di giornale: “Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions”. Questo articolo scritto da Paola Ricciardi e Cinzia Buratti ha il fine di spiegare al meglio come l’analisi di determinate condizioni termoigrometriche, illuminotecniche ed acustiche sono percepite dagli studenti all’interno delle aule scolastiche. Inoltre, analizzano a fondo come la percezione di questi parametri influiscono in maniera differente la produttività degli studenti stessi.

Questo articolo, dunque, risulta molto importante a livello metodologico, essendo la base sulla quale poter erigere le fondamenta dello studio qui di seguito analizzato.

2.1. Individuazione aule selezionate come caso studio

Sono state selezionate 4 aule di tre differenti sedi del Politecnico di Torino: l’aula 4V della sede del Dipartimento di Architettura e Design presso il Castello del Valentino, l’aula 201 della sede del Dipartimento di Architettura e Design presso Il Lingotto, l’aula 7I presso la Cittadella Politecnica di corso Castelfidardo e l’aula 25 presso la sede principale del Politecnico di Torino in corso Duca degli Abruzzi.

La scelta delle aule è dovuta principalmente alla disponibilità dei docenti, degli studenti, alle quattro differenti posizioni delle stesse e alle diverse conformazioni strutturali e morfologiche.

Per ogni aula sono state riportate:

- misure architettoniche, successivamente importate su ARCHICAD³ per estrapolarne il risultato tridimensionale su software;
- misure termoigrometriche, utilizzando una stazione termica in loco (B&K1213);
- misure illuminotecniche attraverso luxmetro e spettrofotometro, forniti dal LAMSA⁴;

³ ARCHICAD: Software BIM, sviluppato dalla società ungherese Graphisoft per la modellazione bidimensionale e tridimensionale.

⁴ LAMSA: laboratorio di analisi e modellazione dei sistemi ambientali, situato presso il Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino.

- misure acustiche attraverso un'applicazione installata su un dispositivo Android per la rilevazione della quantità di rumore e calibrata presso il LAMSA.

Come accennato in precedenza, le aule analizzate per la stesura di tale tesi sono 4, appartenenti a tre diverse sedi del Politecnico di Torino. In ognuna di queste aule sono state effettuate diverse tipologie di misurazioni, ma antecedenti a questa e alla somministrazione del questionario, è stato eseguito il rilievo metrico. Tale rilievo è stato utile non solo per avere un modello tridimensionale a disposizione, ma anche per poterne calcolare le ostruzioni di oggetti esterni e di edifici circostanti per successive simulazioni.

Gli strumenti utilizzati durante le rilevazioni metriche sono stati:

- rotella metrica e distanziometro laser per poter avere delle precise misurazioni delle pareti, del soffitto, degli infissi e degli arredi presenti all'interno;
- pianta in PDF dettagliata con gli arredi ricavata dal portale del Politecnico di Torino.

2.1.1 Aula 4V

Situata all'interno della sede del Dipartimento di Architettura e Design presso il Castello del Valentino, l'aula presa in esame appartiene ad un intervento realizzato tra il 1912 e il 1947, denominato come processo di addensamento intorno al nucleo di fine ottocento.⁵ La zona era parte del Laboratorio per gli studi di aeronautica, in quanto era ancora presente la Scuola di Applicazione.

L'aula è posta al piano terreno con una superficie pari a 136 m² ed ha una capienza di 100 persone. La forma è rettangolare con superfici vetrate di differenti metrature poste a diverse altezze da terra sui lati Nord e Sud, mentre gli accessi verso l'interno della manica sono situati sui fianchi Est ed Ovest.

Le finestre sono classificate in maniera differente in base al loro orientamento: quelle a Nord sono state sostituite recentemente e hanno la presenza del vetro camera; quelle situate sulla parete Sud, invece presentano un'elevata usura del legno e hanno un vetro singolo.

L'illuminazione naturale interna all'aula è adeguata al corretto svolgimento delle lezioni, mentre durante le giornate di cielo coperto, la sola presenza delle superfici vetrate non soddisfa interamente il fabbisogno di illuminazione naturale.

⁵ G. Sisto, M. Lorenzo, *Castello del Valentino, facoltà di architettura, progetti a confronto*, Torino, Celid, Luglio 1988.

Si fa uso dunque, dell'illuminazione artificiale installata all'interno: impianto di illuminazione artificiale composto da 21 corpi illuminanti, divisi a loro volta da 4 tubi fluorescenti.

Per quanto riguarda il sistema di riscaldamento, sono presenti 8 semplici terminali di emissione: radiatori in ghisa, posti in corrispondenza delle finestre. Assente invece, l'impianto di ventilazione meccanica e raffrescamento dell'aula.



Fig. 1 Foto interno aula 4V, vista verso Sud.



Fig. 2 Foto interno aula 4V, vista verso Sud-Est.



Fig. 3 Foto interno aula 4V, vista verso Est.



Fig. 4 Foto interno aula 4V, vista verso Nord.



Fig. 5 Foto interno aula 4V, vista verso Nord-Est.



Fig. 6 Foto interno aula 4V, vista verso Sud-Ovest.



Fig. 7 Foto interno aula 4V, vista verso Ovest.



Fig. 8 Foto interno aula 4V, dettaglio corpi illuminanti.



Fig. 9 Foto interno aula 4V, dettaglio terminale di emissione: radiatore in ghisa.

Pianta aula 4V - Castello del Valentino

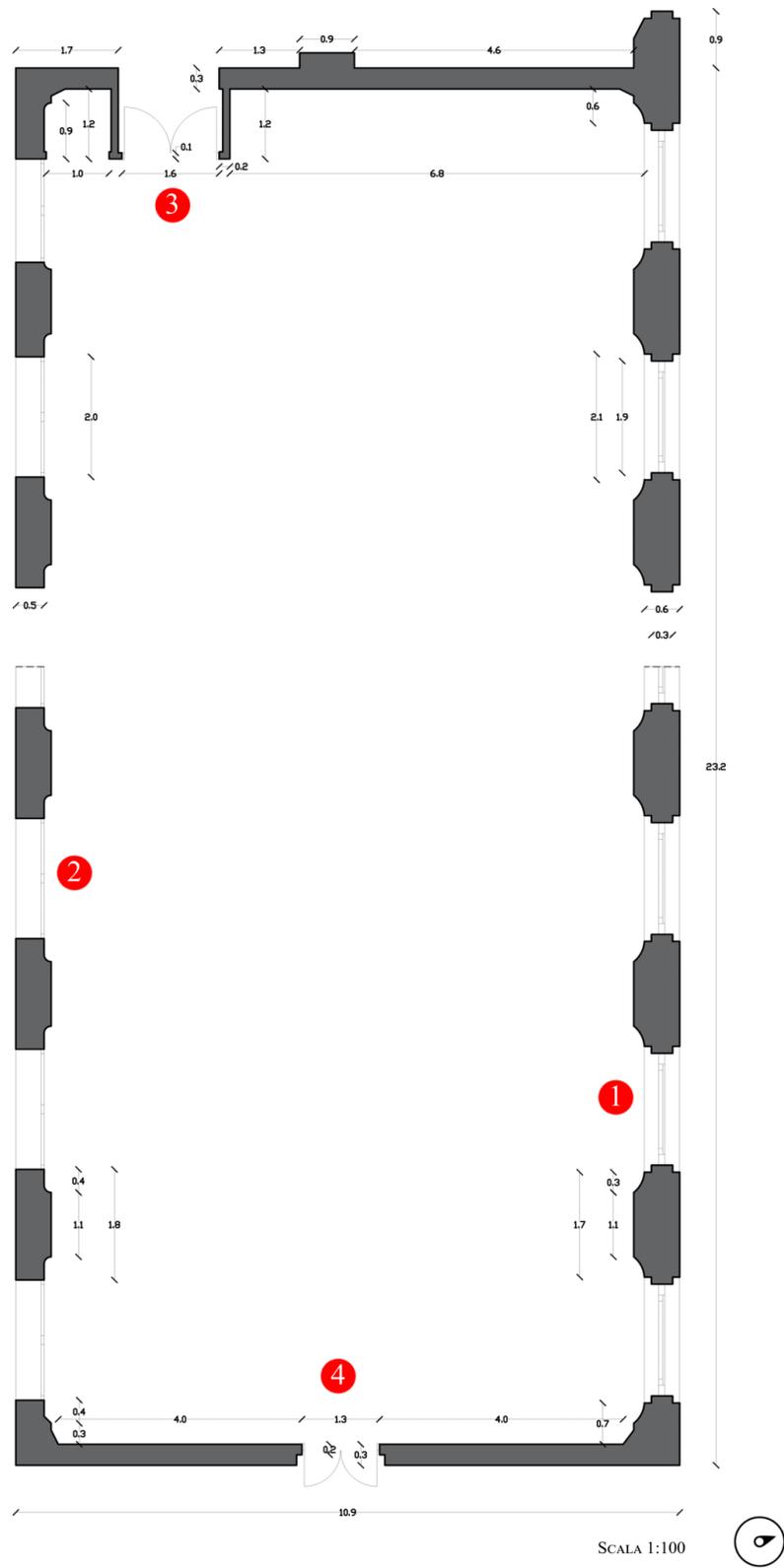


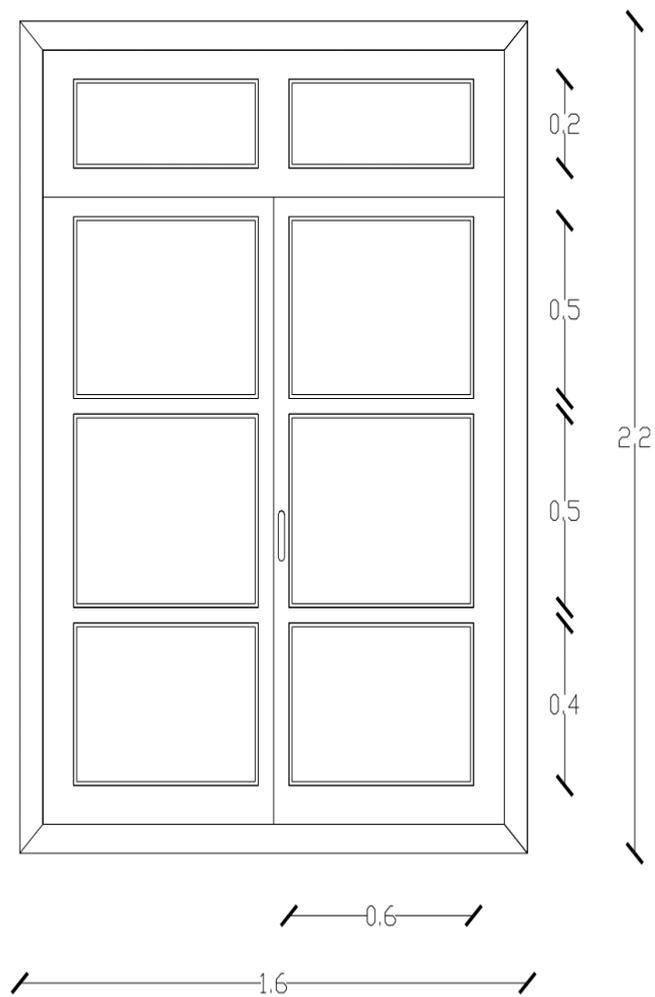


Fig. 10 Foto interno aula 4V, dettaglio 1: finestra verso Nord.



Fig. 11 Foto interno aula 4V, dettaglio 1: finestra verso Nord.

Dettaglio n. 1 – Scala 1:20

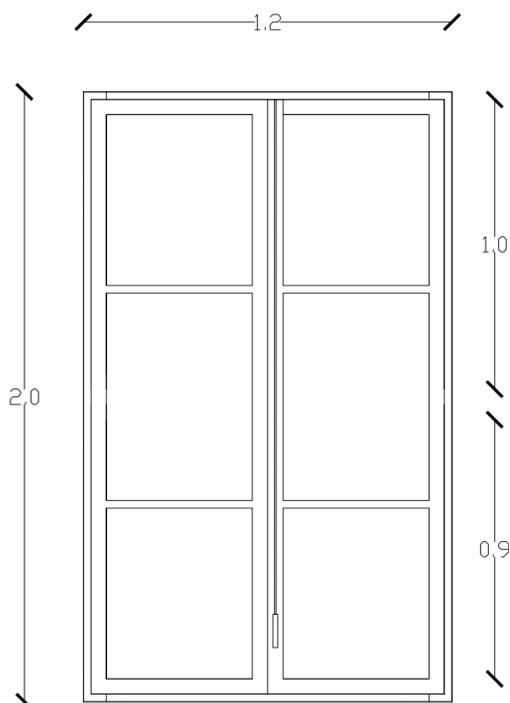


- Finestra a doppia anta apribile
- Telaio in legno
- Dimensioni: 2.2 m x 1.6 m
- Vetro camera



Fig. 12 Foto interna aula 4V, dettaglio 2: finestra verso Sud.

Dettaglio n. 2 – Scala 1:20



- Finestra a doppia anta apribile
- Telaio in legno
- Dimensioni: 2 m x 1.2 m
- Vetro singolo

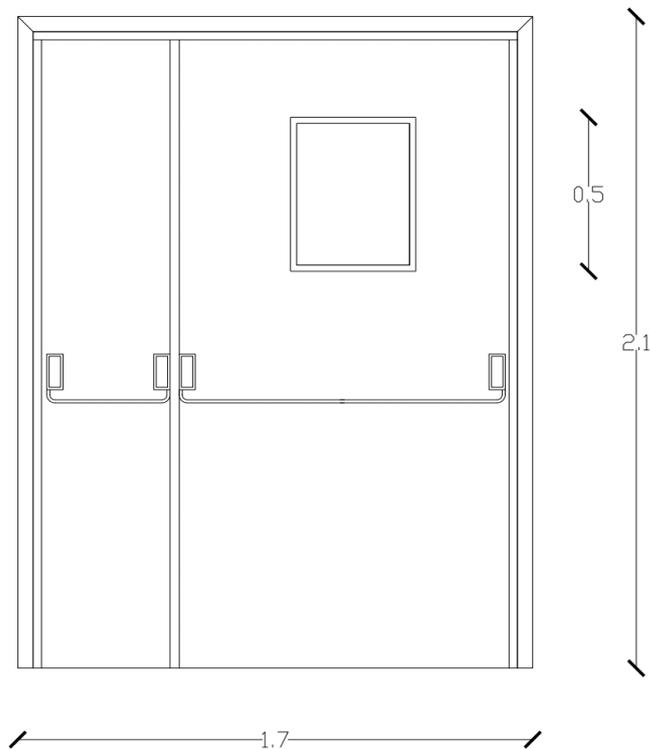


Fig. 13 Foto interno aula 4V, dettaglio 3: porta verso Ovest.



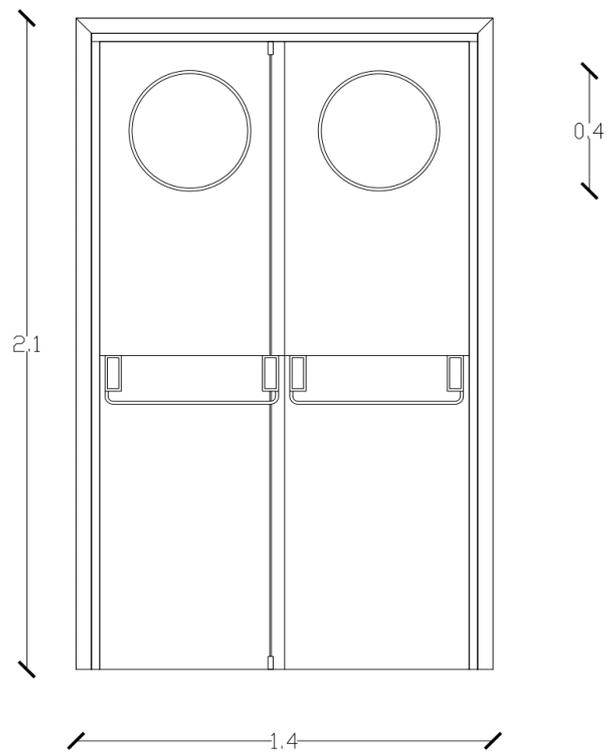
Fig. 14 Foto interno aula 4V, dettaglio 4: porta verso Est.

Dettaglio n. 3 – Scala 1:20



- Porta a doppia anta
- Telaio in acciaio
- Dimensioni: 2.1 m x 1.4 m
- Vetro singolo

Dettaglio n. 4 – Scala 1:20



- Porta a doppia anta
- Telaio in acciaio REI 120 tagliafuoco
- Dimensioni: 2.1 m x 1.7 m
- Vetro singolo

2.1.2 Aula 25

Situata nella sede principale del Politecnico di Torino in corso Duca degli Abruzzi, quest'aula è posta all'interno di una delle molte maniche della sede che si affacciano su Corso Luigi Einaudi, fu inaugurata insieme a tutta la struttura del Politecnico il 5 novembre 1958⁶.

L'aula è posta al piano terra con una superficie pari a 69 m² ed ha una capienza di 71 persone.

La forma è rettangolare con un orientamento Est-Ovest. Presenta tre aperture vetrate sulla parete orientata a Sud, mentre gli altri tre lati affacciano verso l'interno del fabbricato con due porte poste sulla parete a Nord.

Gli infissi delle finestre sono in alluminio e presentano vetro camera per ogni singolo componente, per quanto riguarda invece le porte, sono in alluminio con la presenza di vetro singolo.

L'illuminazione naturale all'interno dell'ambiente, per la maggior parte della giornata è limitata dall'ombreggiamento causato dalle ostruzioni degli edifici posti di fronte e dalla presenza di alberi presenti sul corso. L'illuminazione artificiale è composta da 8 corpi illuminanti a doppio tubo fluorescente.

Il sistema di riscaldamento è composto da tre elementi riscaldanti: radiatori in ghisa, situati al di sotto delle finestre.

Assente, invece, l'impianto di raffrescamento e di ventilazione meccanica.

⁶ *Il Politecnico di Torino e la costruzione della città del Novecento*, Torino, AGIT, ottobre 2018.



Fig. 15 Foto interno aula 25, vista verso Sud.



Fig. 16 Foto interno aula 25, vista verso Est.



Fig. 17 Foto interno aula 25, vista verso Nord.



Fig. 18 Foto interno aula 25, vista verso Ovest.

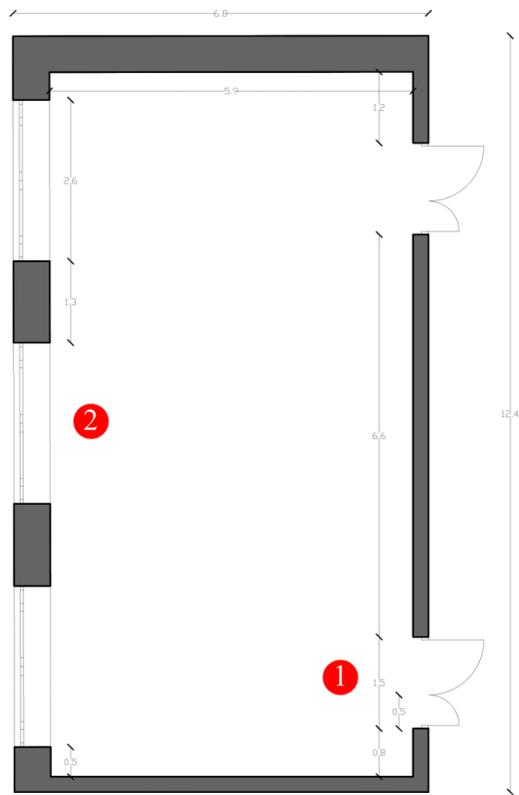


Fig. 19 Foto interno aula 25, dettaglio corpi illuminanti.



Fig. 20 Foto interno aula 25, dettaglio terminale di emissione: radiatore in ghisa.

Pianta aula 25 – Sede principale Politecnico



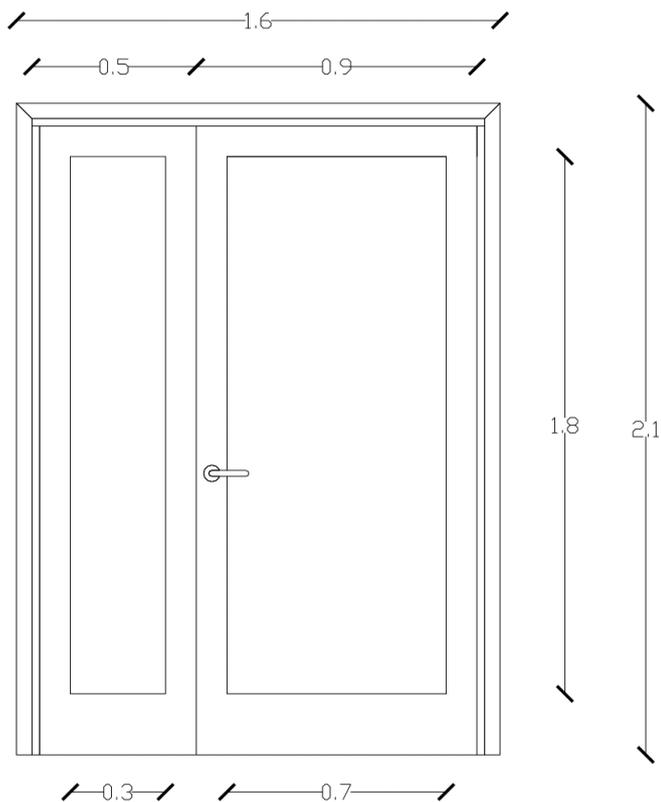
SCALA 1:100





Fig. 21 Foto interno aula 25, dettaglio 1: porta su corridoio.

Dettaglio 1 – Scala 1:20

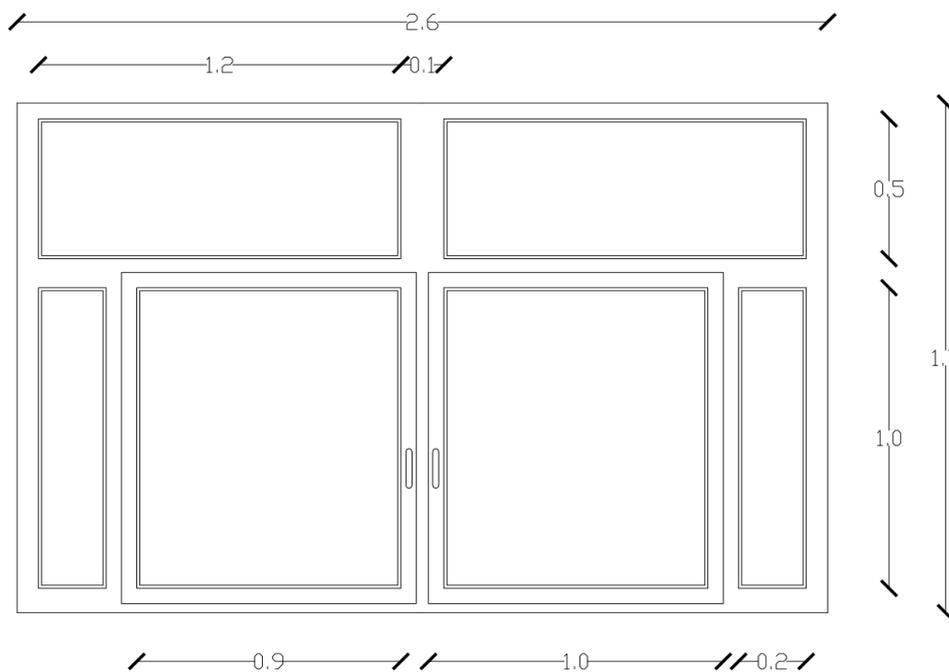


- Porta a doppia anta
- Telaio in alluminio
- Dimensioni:
2.1 m x 1.6 m



Fig. 22 Foto interno aula 25, dettaglio 2: finestra.

Dettaglio 2 – Scala 1:20



- Finestra a doppia anta apribile
- Telaio in alluminio
- Dimensioni: 1.7 m x 2.6 m
- Vetro camera su tutte le superfici

2.1.3 Aula 201

Situata all'interno della sede del Dipartimento di Architettura e Design presso il Lingotto, fa parte di un progetto di riqualificazione di edilizia industriale. L'edificio denominato "Lingotto", nel 1982, vide la sua chiusura annunciata dalla FIAT. La casa automobilistica, infatti, aveva inaugurato altri stabilimenti in Italia, e nei suoi piani erano gli altri due più grandi stabilimenti nella città, Mirafiori e Rivalta, a dover guardare al futuro e alla globalizzazione.

Così, nel 1983, la Fiat bandì un concorso di riqualificazione intera di tutto l'edificio.

La fabbrica dismessa fu un emblema di quell'archeologia industriale che caratterizzava tutte le città industriali europee. Le sue grandiose misure, inoltre, erano un'ulteriore difficoltà per il suo recupero e ripensamento.

Il vincitore del concorso fu l'architetto genovese Renzo Piano con il suo progetto che modificava in parte la struttura interna, affinché, le più moderne tecnologie costruttive andassero a plasmare quegli spazi vuoti ed immensi.

L'edificio nel complesso ha diverse attività contenute al suo interno: Pinacoteca Giovanni e Maria Agnelli, un Auditorium, un Hotel, un centro commerciale e in aggiunta un blocco dedicato sia al Politecnico di Torino sia all'Università di Torino. La maggior parte degli spazi, aule comprese, vennero inaugurati nel 2002.

L'aula in questione è posta al secondo piano del blocco edificio riservato al Politecnico di Torino, ed ha una superficie pari a 150 m² e una capienza di 119 persone.

La forma è quadrangolare con superfici vetrate su tutti e quattro i lati: le pareti ad Est e a Sud affacciano verso l'esterno del fabbricato, mentre le altre due affacciano verso l'interno.

Gli infissi delle vetrate sono in alluminio a taglio termico, con presenza di vetro camera per tutte le singole superfici trasparenti.

L'illuminazione naturale soddisfa abbondantemente il fabbisogno di luce all'interno dell'aula. Durante le lezioni, chiudendo le tende poste sia internamente all'aula sia esternamente, con l'illuminazione artificiale attiva, il fabbisogno di luce soddisfa i requisiti. L'impianto di illuminazione artificiale è composto da 18 corpi illuminanti a doppio tubo fluorescente.

Il sistema di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione è composto da un impianto misto aria-acqua. I terminali di emissioni per il riscaldamento sono 12 radiatori in alluminio posti in corrispondenza delle facciate vetrate.

Per l'impianto di raffrescamento e ventilazione meccanica, sono presenti delle bocchette di ventilazione a griglia poste sul soffitto, di fianco ai corpi illuminanti.



Fig. 23 Foto interno aula 201, vista verso Sud.



Fig. 24 Foto interno aula 201, vista verso Est.

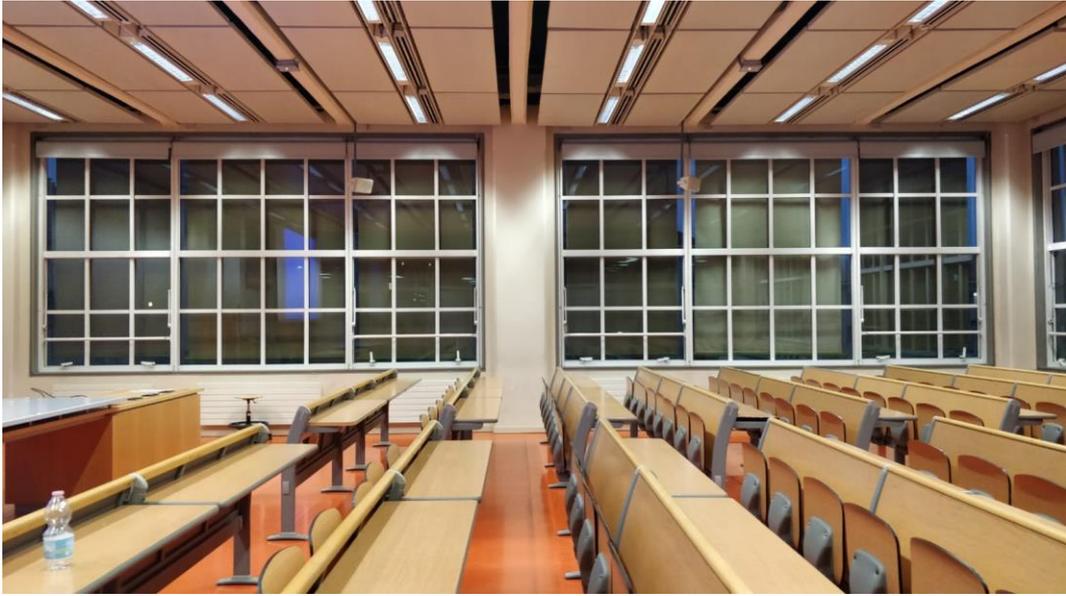


Fig. 25 Foto interno aula 201, vista verso Nord.



Fig. 26 Foto interno aula 201, vista verso Ovest.

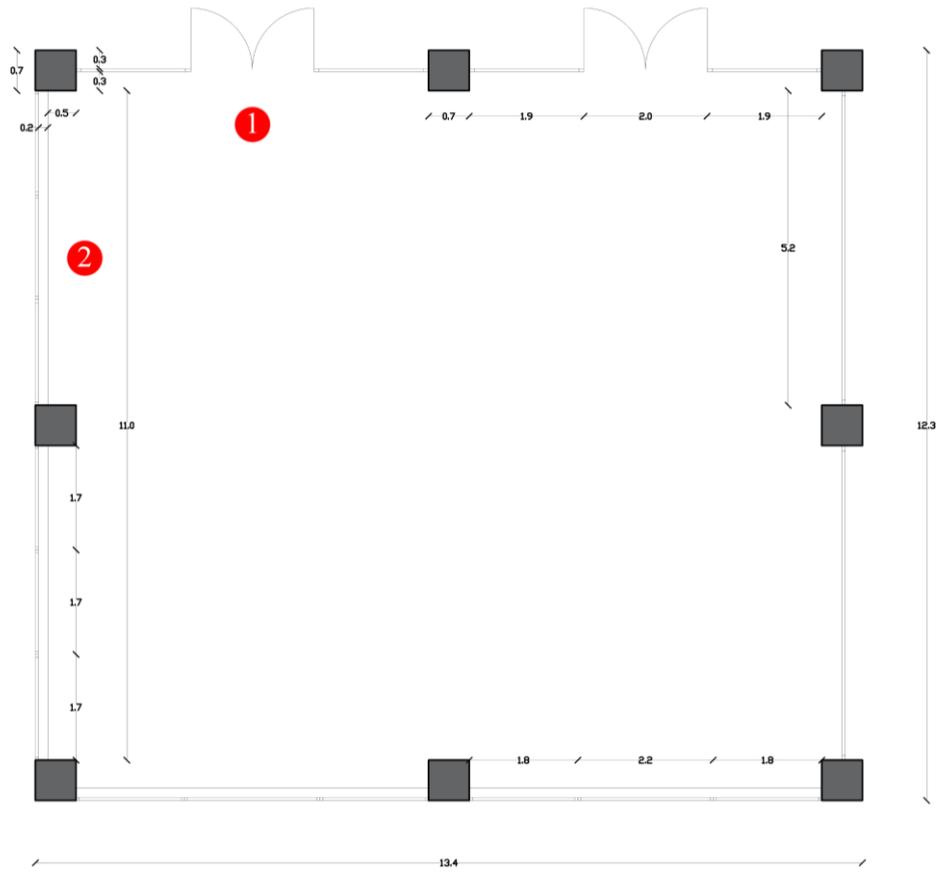


Fig. 27 Foto interno aula 201, dettaglio corpo illuminante.



Fig. 28 Foto interno aula 201, dettaglio terminale di emissione: radiatore in alluminio.

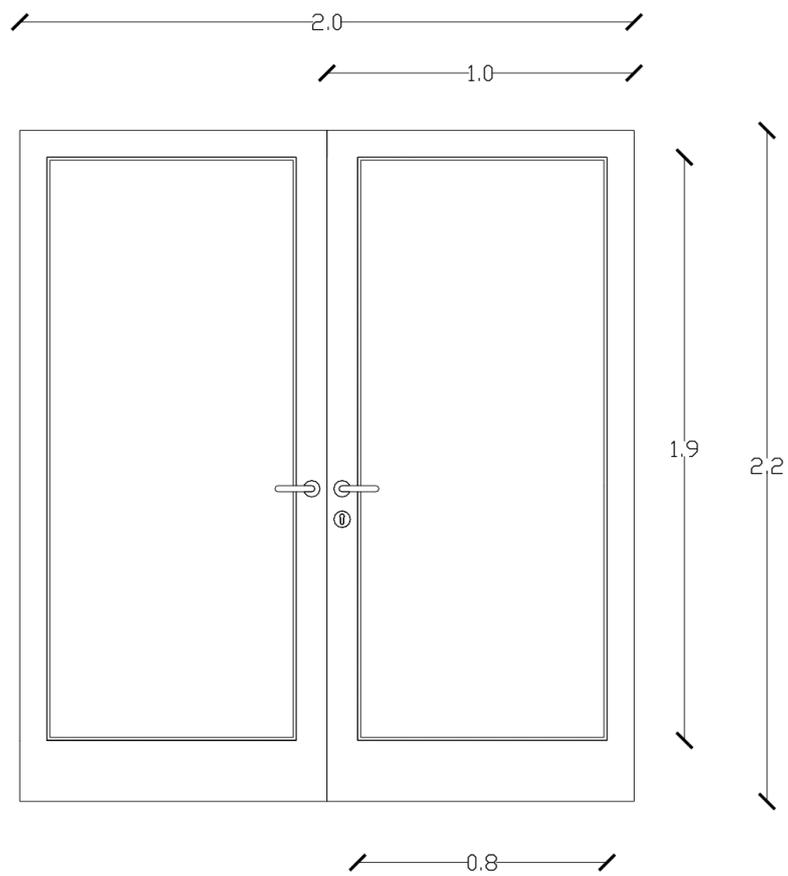
Pianta aula 201 – Lingotto



SCALA 1:100

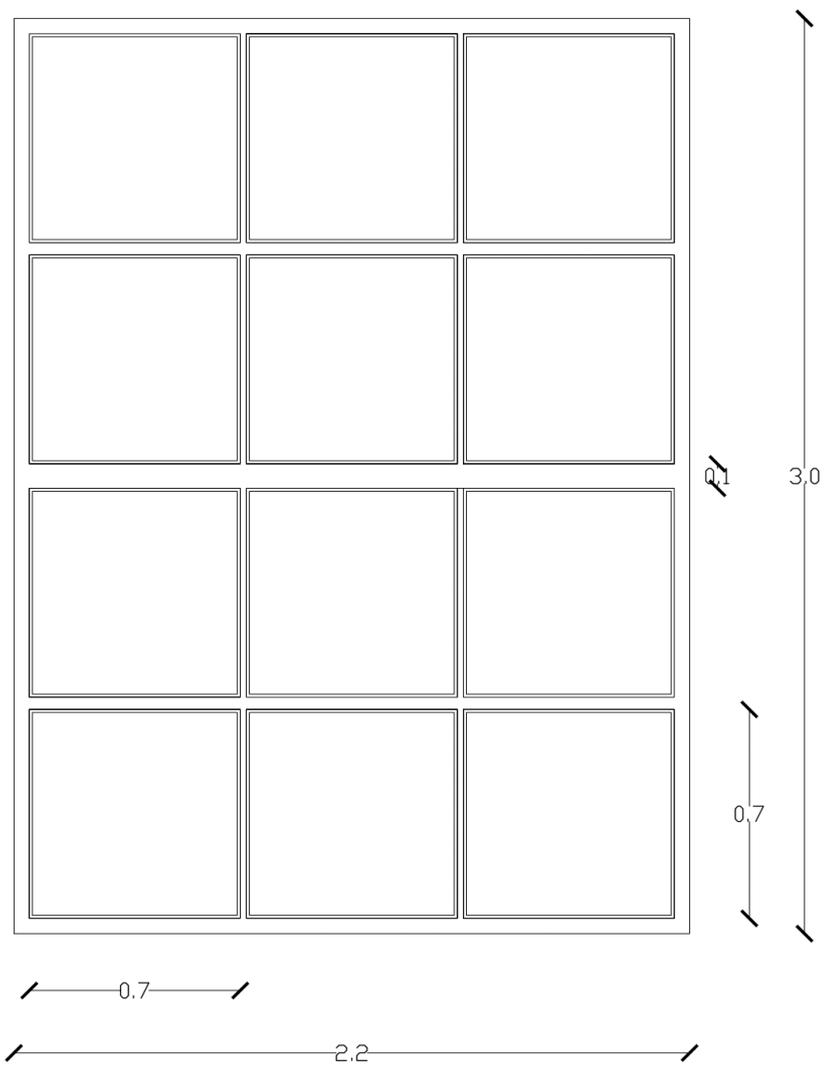


Dettaglio n. 1 – Scala 1:20



- Porta-finestra a doppia anta apribile
- Telaio in alluminio
- Dimensioni: 2.2 m x 2 m
- Vetro camera

Dettaglio n. 2 – Scala 1:20



- Finestra multipla una di tre
- Telaio in alluminio
- Dimensioni: 3 m x 2.2 m
- Vetro camera

2.1.4 Aula 7I

Situata all'interno della sede della Cittadella Politecnica tra corso Castelfidardo e Via Boggio, questa aula si trova all'interno della corte interrata, parte del grande progetto di restauro e riuso di alcuni edifici appartenenti alle Officine Grandi Riparazioni del 2004 (completato nel 2006).

L'aula è posta al piano interrato della corte con una superficie pari a 162 m² ed ha una capienza di 141 persone.

La forma è rettangolare con un'intera parete vetrata posta verso Est, mentre gli altri tre lati affacciano verso l'interno del fabbricato. Le porte sono situate sul lato Ovest ed affacciano all'interno del corridoio della corte interrata.

Gli infissi della parete vetrata sono in alluminio con taglio termico, mentre le porte interne sono in legno. Inoltre, tutte le superfici trasparenti della parete sono dotate di vetrocamera.

L'illuminazione naturale presente all'interno dell'aula è gradevole e adeguata, talvolta vengono chiuse le tende interne installate come schermature per evitare fastidiosi abbagliamenti. L'impianto di illuminazione artificiale è composto da 24 corpi illuminanti, ognuno dei quali è formato da 4 tubi fluorescenti.

Il sistema di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione è composto da un impianto a tutt'aria con terminali di emissioni, quali bocchette di ventilazione a griglia poste sul soffitto.



Fig. 29 Foto interno aula 7I, vista verso Sud.



Fig. 30 Foto interno aula 7I, vista verso Nord.



Fig. 31 Foto interno aula 7I, vista verso Ovest.



Fig. 32 Foto interno aula 7I, vista verso Sud-Ovest.



Fig. 33 Foto interno aula 7I, dettaglio corpo illuminante e griglia in alluminio per ventilazione meccanica.

Pianta aula 7I – Cittadella Politecnica

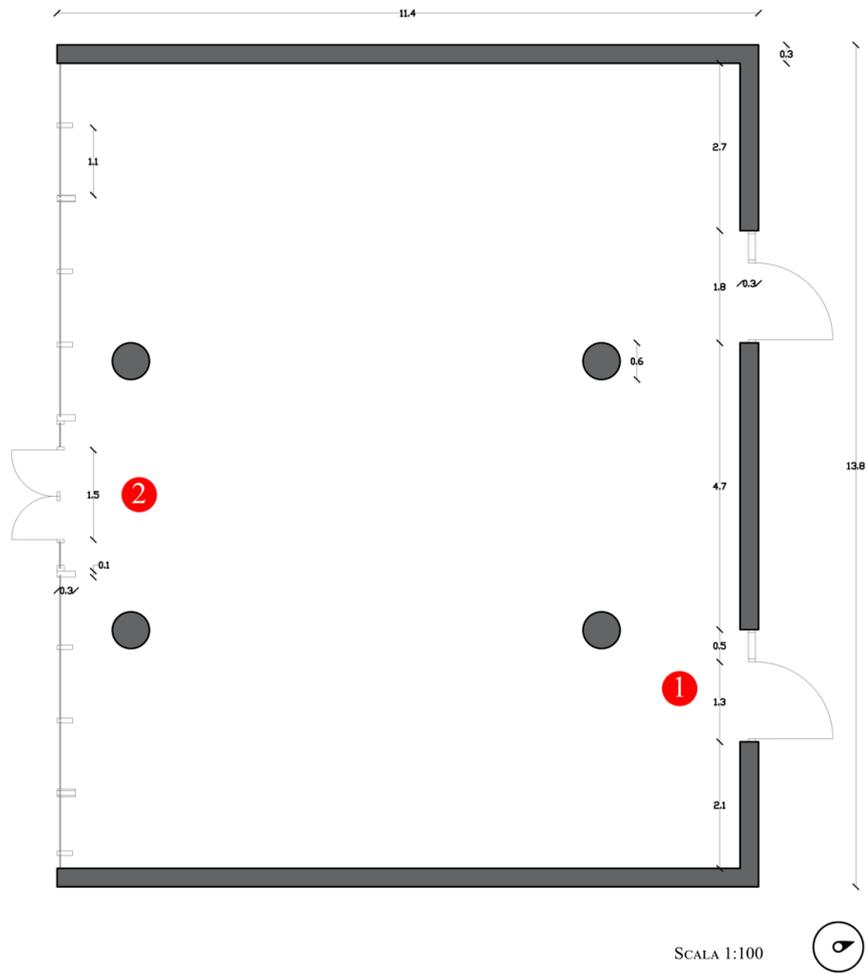


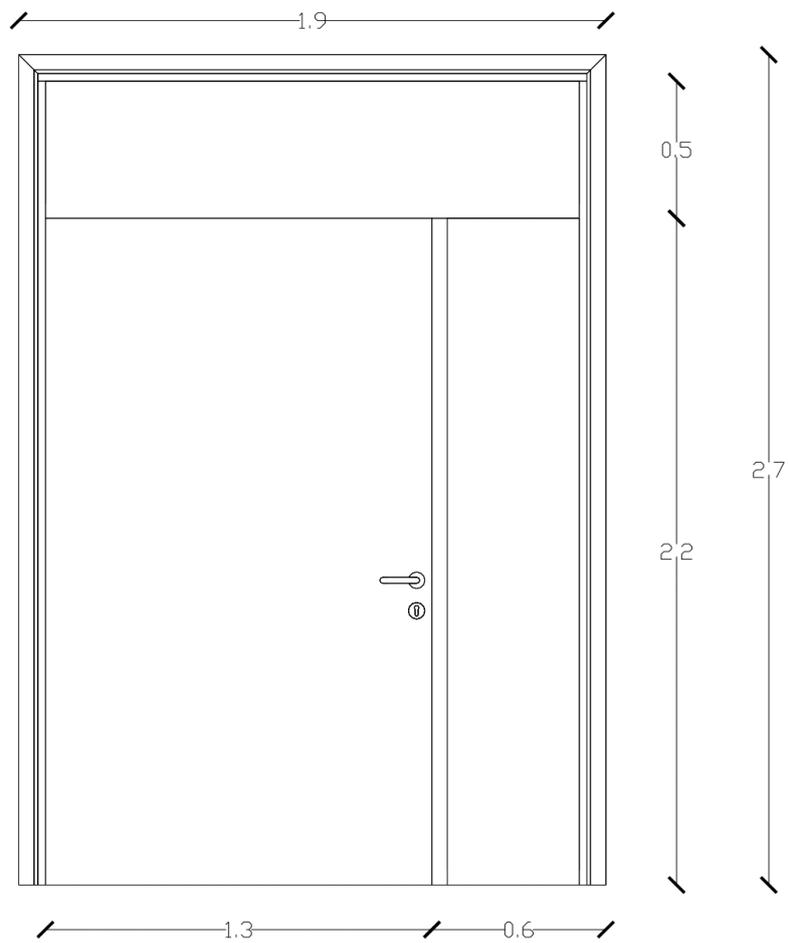


Fig. 34 Foto esterno aula 7I, dettaglio 1: porta su corridoio verso Nord.



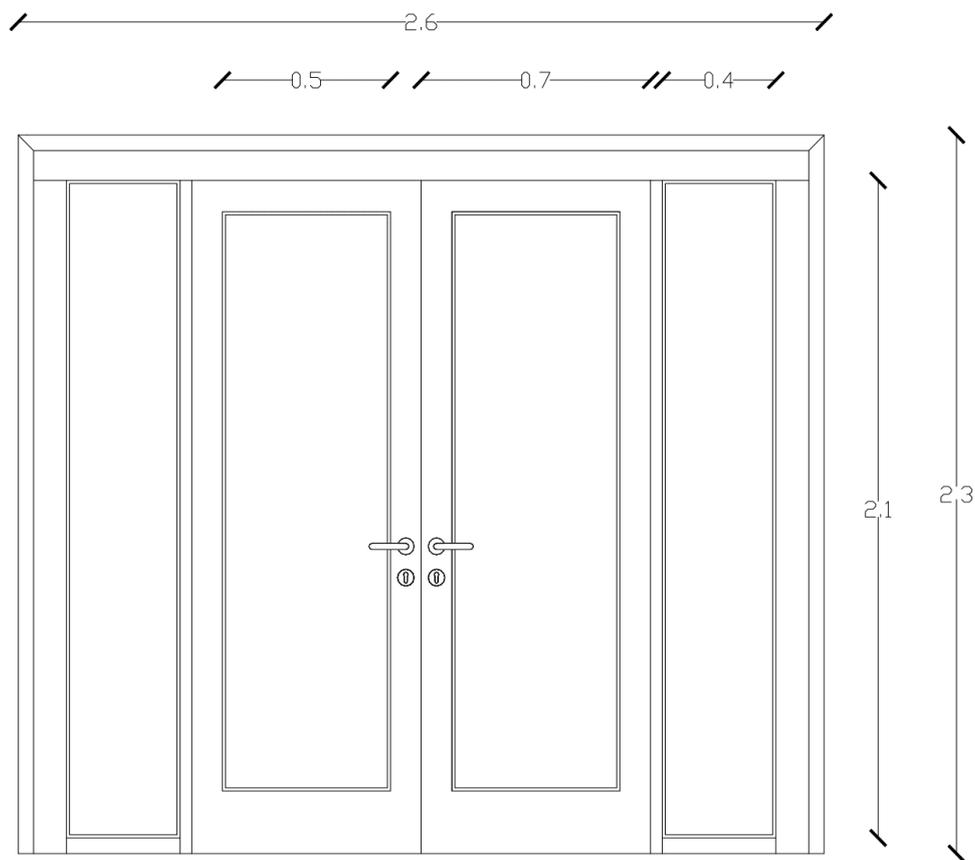
Fig. 35 Foto esterno aula 7I, dettaglio 2: porta su cortile verso Sud.

Dettaglio n. 1 – Scala 1:20



- Porta a due ante, una sola apribile
- Telaio in legno
- Dimensioni: 2.7 m x 1.9 m

Dettaglio n. 2 – Scala 1:20



- Porta-finestra a doppia anta
- Telaio in alluminio
- Doppia superficie vetrata sui lati
- Dimensioni: 2.3 m x 2.6 m
- Vetro camera su tutte le superfici

2.2 Misure termoigrometriche

Le misure termoigrometriche sono state rilevate all'interno delle quattro aule prese in considerazione in differenti giorni ed in differenti punti dell'aula. La rilevazione dei parametri termo-igrometrici è avvenuta attraverso un analizzatore climatico per interni B&K 1213: uno strumento digitale dotato di differenti sonde che rilevano tutti i parametri di cui abbiamo bisogno.

Oltre all'utilizzo di questo strumento, è stato anche utilizzato un anemometro digitale per la rilevazione dell'umidità relativa presente all'interno delle aule.

2.3 Campagna sperimentale

I dati oggetto di analisi sono stati rilevati nell'anno 2019, durante i mesi di maggio e giugno per la stagione estiva, e durante il mese di novembre per la stagione invernale.

2.3.1 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati termici: analizzatore climatico per interni B&K 1213

L'analizzatore climatico per interni è uno strumento in grado di rilevare i fattori ambientali in un ambiente interno, alcuni tipi di analisi vengono effettuate con la presenza di persone nell'ambiente durante il tempo di svolgimento dei loro incarichi lavorativi.

Questo strumento soddisfa le richieste e le specifiche degli strumenti della norma ISO 7726 per le misure fisiche dell'ambiente interno. La capacità che ha questo strumento è quella di poter rilevare quattro fattori ambientali: velocità dell'aria, temperatura dell'ambiente, umidità relativa e infine temperatura radiante piana in due direzioni opposte.

Tutti i dati vengono rilevati e analizzati da un microprocessore, collegato ai sensori per poi essere riportati attraverso un display digitale.

In riferimento alla figura 36, si può notare il display dove vengono riportati i dati in base alla scelta che viene effettuata sul microprocessore premendo il tasto collegato ai dati di cui si desidera leggere il valore misurato.



Fig. 36 Microprocessore analizzatore climatico.

Durate la fase di montaggio della strumentazione tutti i sensori vanno collegati opportunamente nella parte posteriore del microprocessore attraverso degli imbrocchi univoci per ogni fattore da analizzare (Fig. 36).



Fig. 37 Retro microprocessore analizzatore climatico.

La tipologia del dato emesso dal microprocessore cambia in riferimento al sensore che li rileva. Prima che lo strumento rilevi correttamente la misura impiega circa 3/4 minuti, questo perché il sensore ha bisogno di assestarsi e inoltre perché per quanto riguarda la velocità dell'aria, il microprocessore ci restituisce due valori. Il primo valore indica una velocità ogni 5 secondi mentre il secondo una media delle velocità ogni 3 minuti.

Per quanto riguarda gli altri fattori, come la temperatura dell'aria avremo un unico dato espresso in C°, così anche per l'umidità relativa in %.

Per quanto riguarda la temperatura piana radiante invece verrà restituito un doppio valore A e B. Questo perché il sensore rileva le temperature sue due fronti opposti.

I sensori vanno montati su un treppiedi facendo però attenzione alla regolazione dell'altezza perché questa avrà influenza sul calcolo della temperatura radiante. L'altezza ottimale deve essere intesa come l'altezza di un individuo da seduto.

Per un corretto rilevamento termoisometrico all'interno di un ambiente è bene partire dalla scelta dei punti fondamentali da rilevare, successivamente si vedrà come sono stati scelti.

Dopo la scelta accurata dei punti si può passare all'utilizzo dello strumento per rilevare i dati necessari allo studio che si sta svolgendo. Si parte dall'analizzatore climatico: strumento composto da due parti: il treppiedi che è l'elemento che sostiene i quattro sensori e la centralina.

Il treppiedi deve essere regolato in altezza perché nel calcolo della temperatura media radiante (t_{mr}) i valori cambiano a seconda se la misurazione viene rilevata da diverse posizioni del soggetto preso come punto di riferimento.

Una volta regolato il treppiedi si iniziano a collegare i vari sensori alla centralina. La centralina possiede nella parte posteriore dei connettori univoci per ogni sensore, dove andranno inseriti successivamente, e posti sulla parte alta del treppiedi all'interno dei tre appositi spazi ad incastro.

Una volta collegato il tutto si procede all'accensione tramite il tasto ON/OFF dello strumento ma prima di poter iniziare a rilevare le varie misure bisogna aspettare circa 3/4 minuti che si assesti l'apparecchio.

Lo strumento nella parte frontale è composto da diversi tasti che mostrano sul display i vari risultati, rilevati dal sensore corrispondente.

I tasti presenti sono:

- **Temperature air (temperatura dell'aria):** indica la temperatura dell'aria istantanea;

- **Air velocity (velocità dell'aria):**
 - **Mean value:** indica la velocità media istantanea come primo risultato e la velocità media rilevata nell'arco di 3 minuti;
 - **Dev. St.:** indica la deviazione standard istantanea come primo risultato e come secondo la deviazione standard dopo 3 minuti.
- **Radiation (Temperatura piana radiante):** indica le temperature delle superfici, ed è molto importante posizionare correttamente il sensore perché quest'ultimo rileva sulle due facce A e B, opportunamente segnate all'interno, due temperature superficiali opposte.

2.3.2 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati termici: anemometro digitale portatile

L'anemometro digitale è uno strumento portatile progettato per rilevare umidità relativa, velocità e temperatura dell'aria fornendo risultati istantanei.



Fig. 38 Anemometro digitale portatile.

È uno strumento molto maneggevole ed è stato utilizzato per le misure esterne in prossimità delle finestre. Anche questo strumento ha bisogno di alcuni minuti per assestarsi per poter poi leggere l'umidità relativa (U.R.).

2.4 Misure illuminotecniche

In parallelo al rilevamento delle misure di comfort termico sono state effettuate anche le misure sulla quantità e sulla qualità della luce entrante negli ambienti scolastici da noi scelti e soggetti ad analisi.

Analizzando la normativa vigente (UNI EN 12464-1; UNI 10840) sull'illuminazione minima degli ambienti scolastici si può ottenere un confronto fra i dati utilizzati per il progetto di tali ambienti, e la loro situazione attuale.

Per fare ciò siamo intervenuti andando ad effettuare misurazioni sul campo che possano essere confrontate coi dati presenti sulle normative. È presente una lista contenente illuminamenti minimi da rispettare in diversi ambienti, tra i quali gli ambienti scolastici, oggetto della nostra analisi.

Siamo intervenuti andando ad effettuare misurazioni sul campo e andando a ricavare dati numerici che possano essere confrontati coi dati presenti sulle normative.

Le aule scolastiche sono progettate secondo criteri che dovrebbero garantire ai fruitori di tali ambienti le giuste condizioni di comfort visivo, tuttavia col passare del tempo si può andare incontro ad alcuni fattori che portano gli ambienti a non rispettare più le condizioni ideali, ad esempio manutenzione mancante o inefficiente delle finiture, deterioramento delle finiture, oppure aggiornamenti della normativa vigente che suggeriscono cambiamenti.

Il nostro primo obiettivo è stato quello di verificare se i soggetti che comunemente usufruiscono dei locali scolastici, ovvero docenti e studenti, riescono a svolgere correttamente il proprio compito visivo. L'obiettivo dello studente è quello di comprendere al meglio quello che viene spiegato dal docente ed utilizzare strumenti di supporto alla didattica a sua scelta (computer, supporti cartacei, ecc...), mentre il compito di quest'ultimo è quello di cercare di essere compreso al meglio dagli studenti utilizzando anch'egli strumenti di supporto.

Entrambi i soggetti svolgono il loro compito da una postazione precisa all'interno dell'ambiente ed è quindi possibile delineare dei piani di lavoro, ovvero estensioni approssimabili a superfici orizzontali o verticali dove vengono localizzati i punti che i soggetti usufruenti dell'ambiente in questione mirano principalmente per effettuare il "compito visivo".

Per effettuare le misurazioni di illuminazione ci siamo serviti di due strumenti: un luxmetro foto radiometro portatile ed uno spettrofotometro portatile.

Sono stati utilizzati questi due strumenti in quanto rappresentano la miglior soluzione per questo tipo di lavoro, un'accuratezza di risultati consona all'obiettivo, ed una facile reperibilità considerando la disponibilità degli stessi in alcuni dipartimenti del Politecnico di Torino.

2.4.1 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati illuminotecnici: luxmetro portatile

Il **Luxmetro** è uno strumento, utilizzato in campo illuminotecnico in grado di misurare alcune delle principali grandezze fotometriche.

È stato utilizzato un luxmetro foto radiometro HD2302.0 alimentato a batterie, preso in prestito dal LAMSA del Politecnico di Torino.

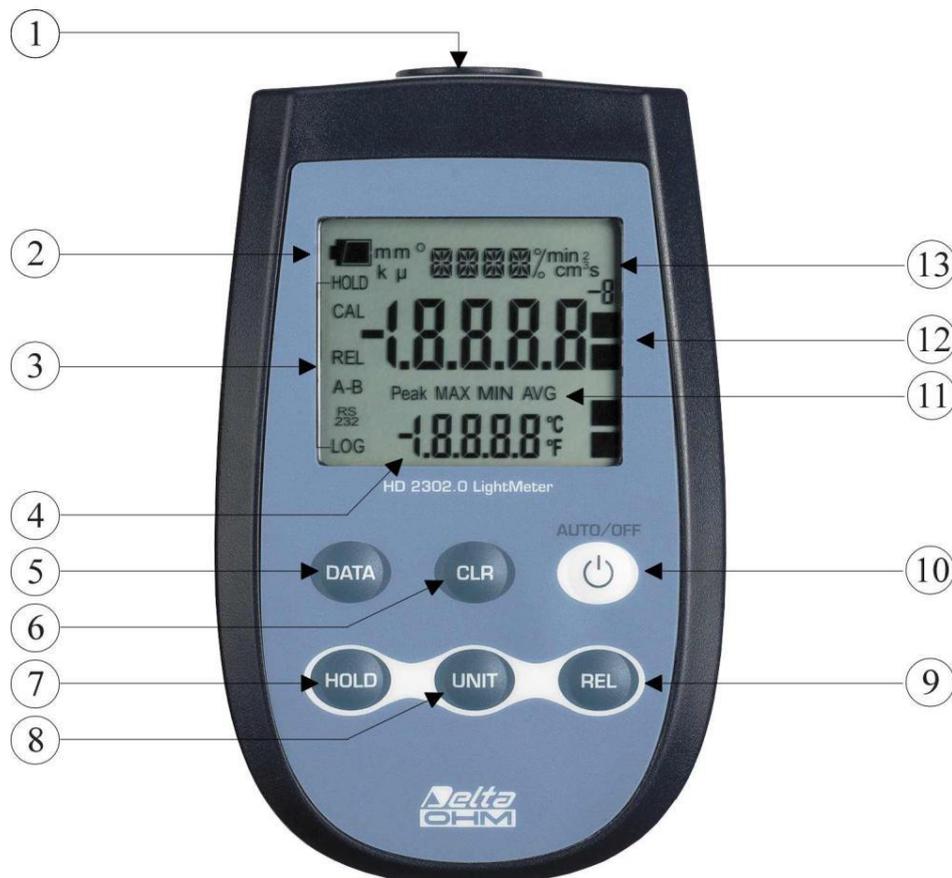


Fig. 39 Luxmetro HD2302.0, da Manuale Luxmetro Delta Ohm HD2302.0 Geass.

1. Ingresso per sonde, connettore 8 poli DIN45326.
2. Simbolo di batteria: indica il livello di carica delle batterie.
3. Indicatori di funzione.
4. Riga di visualizzazione secondaria.
5. Tasto **DATA**: visualizza il massimo (MAX), il minimo (MIN) e la media (AVG) delle misure correnti.
6. Tasto **CLR**: azzera i valori di massimo, di minimo e di media delle misure acquisite.

7. Tasto **HOLD**: blocca la misura.
8. Tasto **UNIT**: permette la selezione dell'unità di misura.
9. Tasto **REL**: attiva la modalità di misura relativa (visualizza la differenza tra il valore attuale e quello memorizzato nel momento in cui è stato premuto il tasto).
10. Tasto **ON-OFF/AUTO-OFF**: accende e spegne lo strumento; premuto insieme con il tasto HOLD, disabilita la funzione di autospegnimento.
11. Simboli MAX (valore massimo), MIN (valore minimo) e AVG (valore medio).
12. Riga di visualizzazione principale.
13. Riga dei simboli e dei commenti.



Fig. 40 Luxmetro HD2302.0, vista frontale, da Manuale Luxmetro Delta Ohm HD2302.0 Geass.

Lo strumento in questione è in grado di misurare: luminanza, illuminamento, PAR e irradiazione.

È possibile connettere diversi tipi di sonde a seconda della tipologia di misura che si desidera ottenere. Nel nostro caso è stata utilizzata una sonda di misura dell'illuminamento LP 471 PHOT osservabile in Figura 41.



Fig. 41 Sonda di misura dell'illuminamento LP 471 PHOT, da Manuale Luxmetro Delta Ohm HD2302.0 Geass.

La sonda LP 471 PHOT dedicata alla misura di illuminamento viene riconosciuta automaticamente dallo strumento all'accensione, per avviarne il funzionamento occorre semplicemente connetterla nello slot dedicato. Lo strumento riconosce automaticamente anche l'unità di misura a cui attribuire, che è possibile modificare a piacimento dall'utente con il tasto UNIT. Essendo tarate in fabbrica, questa e le altre sonde utilizzabili, non richiedono ulteriori operazioni di taratura.

La sonda è completa di modulo SICRAM, ovvero il cavo che trasferisce i dati captati dalla sonda allo strumento. La sonda ha una risposta spettrale che rispecchia la visione fotopica standard, rientra nella classe B secondo CIE N° 69, ed è presente un diffusore per la correzione del coseno. Lo strumento è in grado di misurare dati compresi nel campo da 0,01 a 200103 lux.

La parte terminale della sonda, il fotosensore, è in grado di captare la luce in un campo visivo equivalente ad una semisfera. È importante tenere in considerazione questa caratteristica perché qualunque ostruzione che rientra in tale campo visivo comporta una misura errata.

Sonda di misura dell'ILLUMINAMENTO LP 471 PHOT completa di modulo SICRAM in linea con lo strumento

Campo di misura (lux):	0.01...199.99	...1999.9	...19999	...199.99·10 ³
Risoluzione (lux):	0.01	0.1	1	0.01·10 ³
Campo spettrale:	in accordo con curva fotopica standard V(λ)			
α (coefficiente di temperatura) f ₆ (T):	<0.05% K			
Incertezza di calibrazione:	<4%			
f ₁ (accordo con risposta fotopica V(λ)):	<6%			
f ₂ (risposta come legge del coseno):	<3%			
f ₃ (linearità):	<1%			
f ₄ (errore sulla lettura dello strumento):	<0.5%			
f ₅ (fatica):	<0.5%			
Classe:	B			
Deriva ad un anno:	<1%			
Temperatura di lavoro:	0...50 °C			
Norma di riferimento	CIE n°69 – UNI 11142			

Fig. 42 Caratteristiche tecniche della sonda LP 471 PHOT, da Manuale Luxmetro Delta Ohm HD2302.0 Geass.



5. **DATA** : TASTO DATA

Premendo una sola volta questo tasto si ottiene il valore massimo (MAX) delle misure acquisite dalla sonda connessa allo strumento, aggiornandole con l'acquisizione delle nuove misure prese in seguito;

se si preme una seconda volta si ottiene il valore minimo (MIN);

se si preme una terza volta si ottiene il valore medio (AVG).

Lo strumento ha una frequenza di acquisizione dei dati di 1 secondo. I valori MAX, MIN e AVG restano in memoria finché lo strumento è acceso, anche se si esce dalla funzione di calcolo DATA. A strumento spento i dati precedentemente memorizzati vengono cancellati. All'accensione, lo strumento automaticamente inizia a memorizzare i valori di MAX, MIN e AVG.



6. **CLR** : TASTO CLR

Viene utilizzato per azzerare i valori delle misure acquisite in precedenza.



7. **HOLD** : TASTO HOLD

Viene utilizzato per bloccare la misura in corso, comparirà quindi la scritta "HOLD" sul display, ripremendo il tasto lo strumento provvede a riprendere la misura aggiornata.



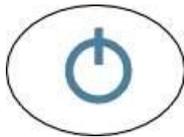
8. : TASTO UNIT

Serve per cambiare l'unità di misura delle misure fra le alternative previste. Funziona premendo ripetutamente il tasto fino ad ottenere l'unità di misura desiderata.



9. : TASTO REL

Visualizza la differenza tra il valore attuale e quello misurato alla pressione del tasto. Sul display, a sinistra, compare la scritta "REL".



10. : TASTO ON/OFF

Lo strumento viene acceso e spento tramite il tasto on/off. Nel momento in cui viene acceso il display si presenta con tutti i segmenti accesi e avvia un autotest per verificare la presenza della sonda connessa per poi passare alla misura istantanea rilevata. Se, all'accensione dello strumento, non è collegata alcuna sonda, nella riga raffigurante simboli in alto compare il messaggio "PROB", mentre nel display in posizione centrale viene visualizzato il messaggio "ERR".

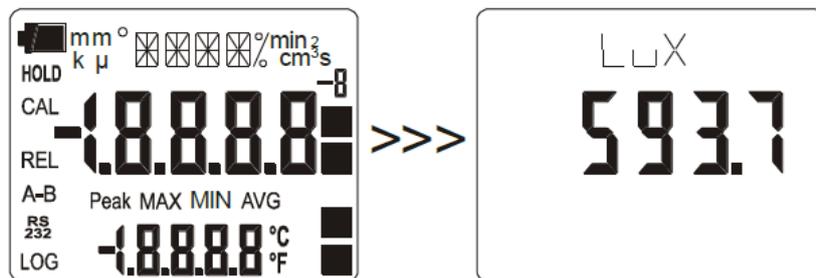


Fig. 43 Passaggio del display da autotest a misurazione istantanea appena dopo l'accensione.

2.4.1.1 Processo di funzionamento e applicazione al caso studio

Come prima cosa per effettuare una misurazione va connessa sonda allo strumento, dopo l'accensione sul display verrà visualizzata la misurazione istantanea ed anche il valore minimo e massimo a partire dal momento dell'accensione. Il fotosensore capta la radiazione luminosa, viene trasmesso un segnale elettrico allo strumento che elabora il dato e lo rende visibile sul display.

Nel nostro caso il luxmetro è stato utilizzato per il calcolo del coefficiente di trasmissione luminosa dei vetri, e del coefficiente di riflessione luminosa delle finiture dell'ambiente.

Per quanto riguarda i vetri è stato possibile calcolare il coefficiente di trasmissione luminosa τ provvedendo ad effettuare una duplice misura di illuminamento.

La prima misurazione calcolata è stata quella dell'illuminamento esterno sul piano verticale esterno del vetro a contatto con l'ambiente esterno (al di fuori dell'infisso), mentre la seconda misurazione è stata presa sul piano verticale del vetro interno all'ambiente. Sono state ottenute così due misurazioni di illuminamento il quale rapporto fornisce il coefficiente di trasmissione luminosa τ caratteristico della tipologia di vetro.

Il coefficiente di trasmissione luminosa τ definisce quanta radiazione luminosa è in grado di trasmettere il vetro se colpito da essa, di conseguenza avendo a disposizione due misurazioni che esprimono la quantità di radiazione luminosa su unità di superficie con e senza la superficie trasmittente è possibile determinare tale coefficiente.

$$\tau = \frac{E_{i,v}}{E_{e,v}} \quad [-]$$

- $E_{e,v}$ = Illuminamento puntuale sul piano verticale all'esterno della superficie vetrata [lx]
- $E_{i,v}$ = Illuminamento puntuale sul piano verticale sulla faccia esterna della superficie vetrata [lx]

Le finiture dell'ambiente tra cui soffitti, pavimenti, partizioni, banchi, comunemente non sono trasparenti, di conseguenza contribuiscono ad aumentare il FLD_m del locale. Il calcolo del FLD_m per la progettazione illuminotecnica di un locale va effettuato senza considerare il contributo di riflessione luminosa dovuto all'arredo interno all'ambiente, tuttavia se si vuole andare a verificare le condizioni

di comfort visivo di un ambiente esistente, nel calcolo del FLD_m vengono considerati anche tali contributi.

Per calcolare i coefficienti di riflessione luminosa ρ delle finiture è stato applicato il seguente ragionamento: il coefficiente di riflessione luminosa di un qualsiasi materiale sarà pari al rapporto tra l'illuminamento dovuto alla radiazione luminosa riflessa dal materiale in questione (che funge da sorgente luminosa riflettente) calcolato a una certa distanza scelta dall'utente e consona al rilevamento della radiazione da parte dello strumento e, l'illuminamento incidente sulla superficie del materiale dovuto alla radiazione globale.

$$\rho = \frac{E_r}{E_g} \quad [-]$$

- E_r = Illuminamento dovuto alla radiazione luminosa riflessa dal materiale calcolato a una certa distanza scelta dall'utente e consona al rilevamento della radiazione da parte dello strumento [lx]
- E_g = Illuminamento incidente sulla superficie del materiale dovuto alla radiazione globale [lx]

2.4.2 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati illuminotecnici: spettrofotometro

Al contrario del luxmetro, lo **spettrofotometro** di cui ci siamo serviti è composto da un unico pezzo con strumenti accessori al suo interno in grado di effettuare misure di vario genere.

Lo spettrofotometro oltre ad essere in grado di restituire i valori di illuminamento in maniera analoga al luxmetro, può mostrare gli spettri di emissione della radiazione misurata, temperatura di colore correlata, indice di resa cromatica. È dotato di una precisione decisamente migliore di un luxmetro comune, infatti è stato preferito come utilizzo allo stesso luxmetro, per effettuare misure di illuminamento sui piani di lavoro, valutare correttamente e con maggiore accuratezza il comfort visivo degli utenti dei nostri casi studio.

Con lo spettrofotometro da noi utilizzato è possibile misurare contemporaneamente luce, colore e sfarfallio ottico.



Fig. 44 Foto dello spettrofotometro acceso.



Fig. 45 Componenti dello spettrofotometro utilizzato GL OPTIS 1.0 touch FL.

La faccia principale dello strumento si presenta con un componente fondamentale, il diffusore con il sensore di immagine. Lo spettrofotometro, che ha un display touchscreen e attacco universale, presenta un sensore di immagine CMOS. Questo sensore con tecnologia CMOS è un dispositivo a semiconduttore che funge da "occhio elettronico" con l'utilizzo di fotodiodi. La testina di misurazione con correzione del coseno di classe B è un accessorio standard che consente la corretta misurazione della luce dall'emisfero 180° (2 Pi) sopra il sensore, secondo la legge del coseno di Lambert.

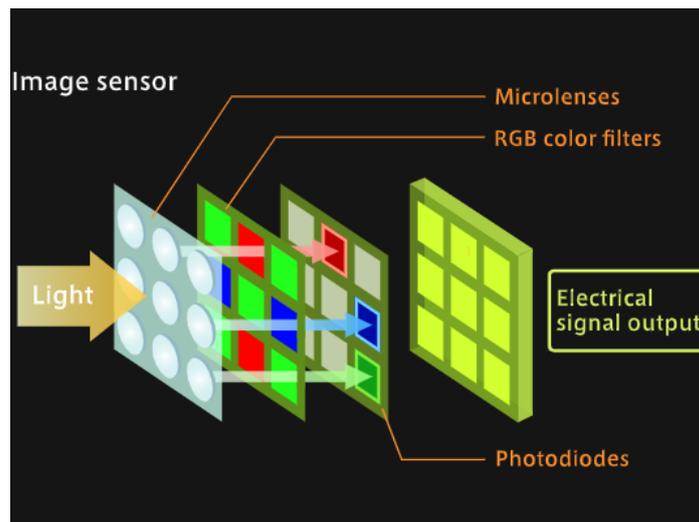


Fig. 46 Componenti del sensore di immagine con tecnologia CMOS.

La legge di Lambert afferma che: “l'illuminamento prodotto da una sorgente su una superficie è direttamente proporzionale all'intensità luminosa della sorgente e al coseno dell'angolo che la normale alla superficie forma con la direzione dei raggi luminosi ed è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente”. Di conseguenza, qualora la sorgente non fosse posizionata sopra il sensore, si otterrà comunque una misura corretta.

È anche presente un sensore in grado di misurare lo sfarfallio della radiazione luminosa.

La parte fondamentale dello strumento è il touchscreen, è governato da un sistema operativo Android, semplice e intuitivo. Da qui è possibile avviare tutte le operazioni dello strumento.

Effettuata la misurazione vengono visualizzati i seguenti parametri:

- Profilo spettrale completo
- Grafici di cromaticità secondo gli standard CIE
- Coordinate di colore
- Tutti i parametri di illuminazione come CCT, CRI e i singoli indici R1 - R14
- Valori di colore del picco

Uno slot SD disposto sul lato destro dello strumento consente di inserire una memoria estraibile per raccogliere i dati e se lo si desidera, trasferirli sul pc per un'analisi più dettagliata.

È possibile ricaricare lo strumento tramite un cavo micro-USB collegabile dalla parte inferiore dello strumento direttamente alla corrente.

2.4.2.1 Processo di funzionamento e applicazione al caso studio

Ci siamo serviti dello spettrofotometro per il calcolo del fattore medio di luce diurna presente nei vari ambienti analizzati e per capire se ci sono zone degli ambienti dove si è in discomfort visivo.

Trattandosi di aule scolastiche del Politecnico di Torino abbiamo individuato come soggetti e comuni utenti degli spazi, gli studenti e i professori. Lo spettrofotometro esegue una misura di tipo puntuale di conseguenza abbiamo provveduto ad individuare dei punti strategici nelle aule consoni al tipo di obiettivo che ci siamo proposti. Considerando i banchi come piano di lavoro dello studente abbiamo provveduto in ogni ambiente ad effettuare la misura su un certo numero di questi a seconda della posizione e della vastità dello spazio.

In alcuni ambienti analizzati il numero di banchi presenti era considerevole e la differenza di risultato ottenuto dalla misurazione di due banchi limitrofi trascurabile, di conseguenza si è optato in questo tipo di casi di effettuare una misurazione a file di banchi alternate riuscendo ad ottenere comunque un adeguato numero di campioni.

Considerando invece la cattedra e la lavagna come piani di lavoro principali per il docente abbiamo provveduto ad effettuare la misurazione con lo strumento su tutte queste tipologie di piano di lavoro presenti nell'aula, nel caso fossero presenti più cattedre o più lavagne (o una sola per tipo ma di dimensione considerevoli da variare nettamente la singola misura). Successivamente verrà spiegata in maniera più precisa e relativa al singolo ambiente la metodologia di scelta dei punti di misura.

Tutte le misurazioni, eccetto quelle sul piano della lavagna, sono state effettuate su un piano orizzontale.

Per effettuare la misura con lo spettrofotometro è sufficiente attendere l'accensione dello strumento (tramite il pulsante ON/OFF dedicato) e cliccare “measure” sul touchscreen dello strumento.

Lo strumento riporta tre tipi di risultato per ogni singola misura:

- Illuminamento [lx]

- Temperatura di colore correlata [K]
- Indice di resa cromatica

Per la nostra investigazione abbiamo ritenuto opportuno analizzare i valori di illuminamento e temperatura di colore correlata.

Lo strumento effettua la misura captando la radiazione luminosa incidente nel lasso temporale di circa 1 secondo. Ripetendo questo processo in ogni punto dell'ambiente scelto da noi abbiamo ottenuto una griglia di punti per il calcolo del fattore di luce diurna medio.

2.5 Misure acustiche

Le misure acustiche sono state rilevate attraverso l'utilizzo di un'applicazione scaricabile dal play store di un qualsiasi smartphone.

L'applicazione si chiama OpeNoise e consente di utilizzare il microfono del dispositivo per rilevare l'intensità del rumore.

Oltre le misure relative al comfort termico e visivo sono state effettuate anche delle misure acustiche per stabilire un criterio di soddisfazione di comfort globale per gli occupanti delle aule.

L'obiettivo di questa analisi è stato quello di capire se il livello di rumore di fondo presente nell'aula compromettesse l'intelligibilità del professore da parte degli studenti.

2.5.1 Strumentazione scelta per le misurazioni dei dati illuminotecnici: applicazione OpeNoise

Per ottenere un risultato relativo al rumore di fondo degli ambienti ci siamo serviti di una app per smartphone Android chiamata "OpeNoise" scaricabile gratuitamente dal Play Store fornita da Arpa Piemonte. Questo strumento non è progettato per un utilizzo professionale ma per l'analisi che abbiamo effettuato è stato ritenuto attendibile.

L'App consente di misurare il livello di pressione sonora equivalente ponderato A (L_{Aeq}), definibile come la media integrata nel tempo del livello di pressione sonora.

È quindi possibile ottenere un valore riferito alla rumorosità complessiva. L'app fornisce i valori minimi L_{Amin} , massimi L_{Amax} e il valore medio L_{Aeq} in funzione del tempo trascorso dall'avvio dell'analisi.

Il parametro di misura utilizzato è il decibel [dB_A] che fa riferimento alla curva di ponderazione sonora A. Per utilizzare correttamente lo strumento ci siamo dovuti servire di un fonometro utilizzato presso il LAMSA del Politecnico di Torino. Il fonometro è composto da una centralina collegata ad una sorgente sonora.



Fig. 47 Dettaglio della sorgente sonora del fonometro.



Fig. 48 Dettaglio della centralina del fonometro.

L'utilizzo di questo strumento è dovuto alla calibrazione della app OpeNoise. Una volta acceso lo strumento e impostato a frequenze sonore scelte dall'utente è possibile emettere un suono dalla sorgente sonora di cui si conoscono esattamente le caratteristiche.

OpeNoise una volta scaricata, è calibrata in maniera anomala, ma è dotata di un comando di calibrazione che permette di settarla correttamente paragonandola ai dati di fonometro professionale.

Una volta tarata in modo corretto è possibile effettuare le misure descritte in precedenza. Successivamente, scelti all'interno degli ambienti i punti che si ritenevano più significativi, sono state effettuate le misurazioni di L_{Aeq} per un tempo di 30 secondi per ogni punto.

OpeNoise è in grado di riportare per ogni misurazione 4 diversi grafici:

- Il grafico “Globali” riporta l'andamento temporale dei livelli sonori globali
- Il grafico “1/3 ottava” riporta lo spettro di frequenze in terzi di ottava istantanei
- Il grafico “Sonogramma” riporta lo spettro di frequenze in terzi di ottava nel tempo
- Il grafico “FFT” riporta lo spettro delle frequenze in banda costante calcolato con FFT (Con FFT si intende Fast Fourier Transform, ovvero una tecnica per calcolare lo spettro delle frequenze con una larghezza di banda costante).

La misura del rumore inizia automaticamente con l'apertura di OpeNoise. Premendo il pulsante di reset si azzerano tutti i livelli e si inizia una nuova misura.

Per Android: La misura si interrompe selezionando “Esci” nel menu principale oppure digitando il pulsante “Indietro” del dispositivo (digitando il pulsante “Home” la misura continua in background) oppure premendo il pulsante più a destra nella barra principale.



Fig. 49 Esempio di grafico “Globali” da OpeNoise.

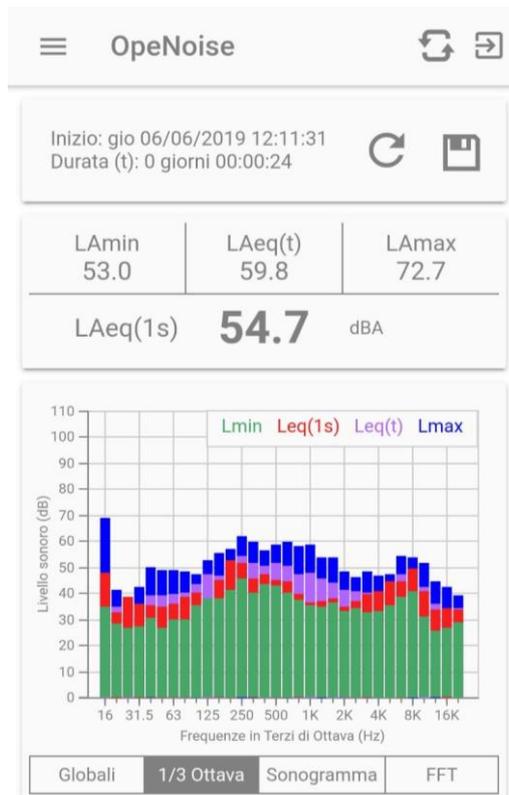


Fig. 50 Esempio di grafico “1/3 Ottava” da OpeNoise.

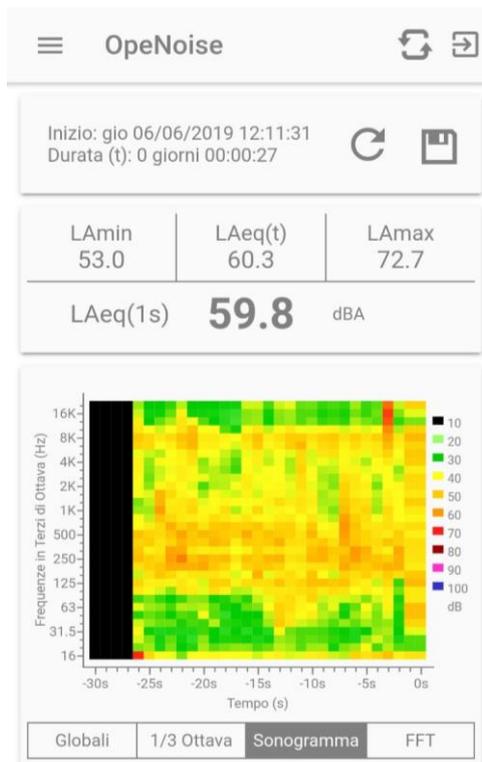


Fig. 51 Esempio di grafico “Sonogramma” da OpeNoise.



Fig. 52 Esempio di grafico “FFT” da OpeNoise.

2.6 Stesura e somministrazione questionario

Per poter effettuare un'attenta analisi a livello soggettivo all'interno degli ambienti presi in considerazione, il metodo ritenuto più adeguato, e da noi utilizzato è stata la somministrazione di un questionario. Tale questionario è uno strumento importante per l'analisi delle condizioni termoigrometriche, di acustica e di illuminazione degli ambienti interni, in quanto aiuta a suddividere l'insieme di persone sottoposte ad analisi in gruppi omogenei e distinti in base alle proprie sensazioni.

Il questionario per poter ottenere dei buoni risultati deve essere impostato in maniera soddisfacente, in modo tale da poter ottenere il numero maggiore di informazioni mirate per ogni singolo parametro.

L'organizzazione delle domande è stata impostata in modo tale da analizzare a fondo tutti gli aspetti caratteristici dell'aula in cui si è somministrato il questionario. La parte iniziale si occupa delle caratteristiche dell'individuo e delle caratteristiche dell'aula. Successivamente si sviluppano tre parti dedicate in modo mirato alle tre tipologie di comfort: termico, visivo ed acustico.

Le domande proposte analizzano tutti gli aspetti per poter effettuare un confronto soggettivo-oggettivo dei vari parametri estrapolati. La messa a punto di un questionario coinvolge competenze assai differenti, in particolare elementi di scienze della comunicazione, psicologia e statistica, e coinvolge diverse decisioni che riguardano diversi aspetti sintetizzati.

La stesura del questionario deve dunque seguire determinati aspetti:

- decisioni preliminari: valutazioni relative alla scelta degli studenti ai quali somministrare le domande e scelta del metodo di somministrazione;
- contenuto delle domande: l'efficacia della domanda è un aspetto molto determinante per ottenere le informazioni desiderate;
- terminologia da utilizzare per la formulazione dei quesiti;
- sequenza dei quesiti;
- somministrazione e successiva revisione dei dati.

Al termine della stesura del questionario, lo si è somministrato all'interno delle aule soggette ad analisi. Ogni risposta è prettamente personale, molte domande sono relative a dati termo-igrometrici e quindi basati sulle sensazioni che lo studente o il docente presente in differenti zone dell'aula rileva al momento della compilazione della domanda. Ogni singola domanda si occupa di un aspetto caratteristico in termini di comfort, ed ognuna di questa aiuta a completare un quadro molto più complesso.

I dati grafici ricavati da ciascun questionario somministrato, sono stati suddivisi per ogni aspetto in base alla posizione degli studenti/docenti all'interno dell'aula, in modo tale da poter ottenere un quadro completo per ogni zona e facilitarne la correlazione con i dati oggettivi rilevati nelle stesse zone.

Una domanda importante è la distinzione di genere: maschio e femmina; perché da questo dipende il vestiario del soggetto, dato molto importante per stilare il CLO (grandezza individuale) preciso di ogni soggetto.

Un altro parametro è il tempo trascorso dal soggetto in aula, questo perché il soggetto dopo diverso tempo si adatta al clima interno. Il corpo umano, come descritto reagisce alle variazioni di temperatura in modo differente ed autonomo.

Per le risposte, si è deciso di utilizzare due tipologie di scala: a cinque e a sette valori definita come scala Likert.

La scala Likert è una tecnica per la misura dell'atteggiamento. Tale tecnica si distingue principalmente per la possibilità di applicazione di metodi di analisi degli item basati sulle proprietà statistiche delle scale di misura a intervalli o rapporti. Tale tecnica consiste principalmente nel mettere a punto un certo numero di affermazioni (tecnicamente definite item) che esprimono un atteggiamento positivo e negativo rispetto ad uno specifico oggetto. La somma di tali giudizi tenderà a delineare in modo ragionevolmente preciso l'atteggiamento del soggetto nei confronti dell'oggetto.

Per ogni item si presenta una scala di accordo/disaccordo, generalmente a 5 o 7 modalità. Ai rispondenti si chiede di indicare su di esse il loro grado di accordo o disaccordo con quanto espresso dall'affermazione.

Infine, sono stati correlati i dati soggettivi percepiti dagli individui con i dati rilevati sul campo tramite la strumentazione, in modo tale da ottenere prima dei risultati e poi delle conclusioni di confronto.

2.6.1 Questionario tipo

Questionario sul comfort termico ed illuminazione interna.

Siamo tre studenti: Antonio Lombardi, Nicolò Scacchetti e Mattia Torchia del Politecnico di Torino e stiamo svolgendo una tesi di fisica, la finalità di questo questionario è la determinazione del comfort degli utenti all'interno di determinate aule della sede del Politecnico di Torino in termini di comfort termico, illuminazione e comfort acustico esistente.

Si raccomanda di rispondere alle domande tenendo conto di ciò che si percepisce al momento della compilazione del questionario.

Il questionario è ANONIMO: non dovrai quindi personalizzarlo in alcun modo mettendo il tuo nome, né qualcosa che ti possa identificare (un simbolo, una sigla, ecc). Per noi è importante che tu lo compili da solo, senza chiedere suggerimenti ai tuoi compagni. Quando l'avrai compilato sarà infatti mescolato a quello degli altri, perciò rispondi tranquillamente e senza timori.

Grazie per la collaborazione.

*Campo obbligatorio

Caratteristiche dell'individuo

1. A quale sesso appartieni? *

Contrassegna solo un ovale.

- Maschio
 Femmina

2. A quale fascia di età appartieni? *

Contrassegna solo un ovale.

- 18-20
 21-23
 24-26
 27-altro

3. In quale aula ti trovi in questo momento? *

Contrassegna solo un ovale.

- 4V
 7I
 25
 201

4. Che professione svolgi all'interno dell'Ateneo? *

Contrassegna solo un ovale.

- Docente
 Studente
 Personale
 Altro: _____

5. Da quanto tempo ti trovi in aula? *

Contrassegna solo un ovale.

- 0-10min
- 10-30 min
- 30-1h
- piu di 1h
- Altro: _____

Caratteristiche dell'aula

6. Sono presenti ostruzioni o oggetti esterni che limitano l'illuminazione naturale? *

Contrassegna solo un ovale.

- Si, alberi
- Si, edifici di fronte
- Si, sistemi di schermatura esterni (appartenenti all'edificio in cui si trova l'aula)
- No

Comfort termico

Stato psicofisico di soddisfazione che un individuo prova nei confronti delle condizioni termoisometriche dell'ambiente in cui si trova.

7. In che zona dell'aula ti trovi in questo momento? *

Contrassegna solo un ovale.

- Prima-terza fila lato destro
- Prima-terza fila centro
- Prima-terza fila lato sinistro
- Zona centrale lato destro
- Zona centrale centro
- Zona centrale lato sinistro
- Terzultima-ultima fila lato destro
- Terzultima-ultima fila centro
- Terzultima-ultima fila lato sinistro
- Cattedra

8. Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico? *

Contrassegna solo un ovale.

- | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Molto insoddisfatto | <input type="radio"/> | Molto soddisfatto |

9. Quale attività stai svolgendo in questo momento? *

Contrassegna solo un ovale.

- Sto studiando
- Sono seduto, rilassato
- Sto svolgendo attività di ufficio, laboratorio, scuola
- Sto insegnando
- Sono in piedi rilassato
- Altro: _____

10. Qual' è la sensazione termica all'interno dell'aula? *

Contrassegna solo un ovale.

- Molto freddo
- Freddo
- Poco freddo
- Neutra
- Poco caldo
- Caldo
- Molto caldo

11. Come preferiresti la condizione termica dell'ambiente? *

Contrassegna solo un ovale.

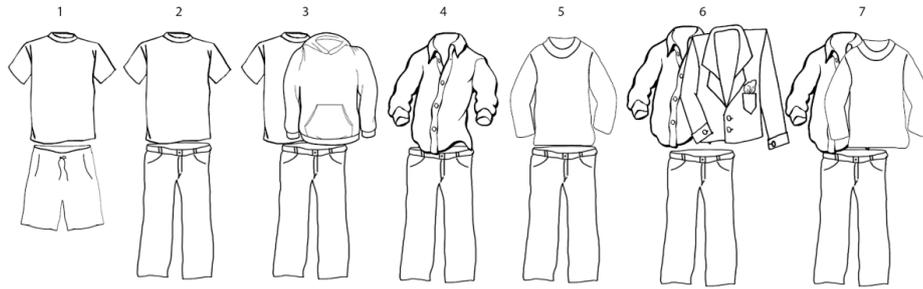
- Più fredda
- Nessun cambiamento
- Più calda

12. In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti? *

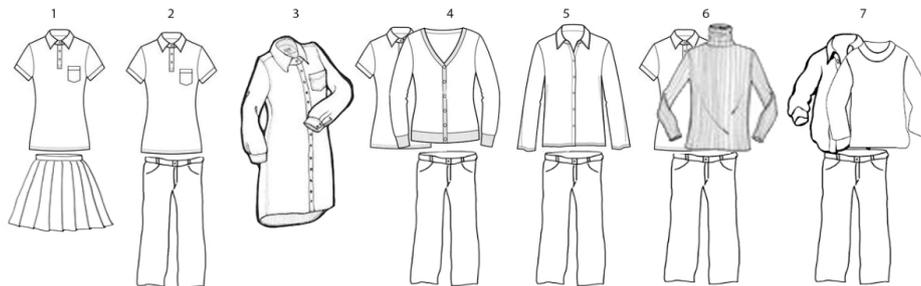
Contrassegna solo un ovale.

- 1 T-shirt - Pantaloncino / T-shirt - Gonna o Pantaloncino
- 2 T-shirt - Pantalone
- 3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito
- 4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglionicino - Pantalone
- 5 Maglionicino - Pantalone / Camicia- pantalone
- 6 Camicia - Giacca - Pantalone / T-shirt- Dolcevita- pantalone
- 7 Camicia - Maglionicino - Pantalone
- Altro: _____

Abbigliamento tipo indossato (uomo)



Abbigliamento tipo indossato (donna)



13. Trovi differenze termiche all'interno dell'aula? *

Contrassegna solo un ovale.

- Sì
 No

14. Come percepisci i movimenti d'aria? *

Contrassegna solo un ovale.

- Molto deboli
 Deboli
 Neutri
 Forti
 Molto forti

15. Percepisci una differenza di temperatura tra caviglie e testa? *

Contrassegna solo un ovale.

- Sì
 No

16. Nell'aula ti è possibile controllare le condizioni ambientali termiche? *

Contrassegna solo un ovale.

- Sì
 No

17. In riferimento alla domanda precedente, in che modo puoi controllarle? *

Seleziona tutte le voci applicabili.

- Apertura/chiusura porte e finestre
- Elementi schermanti
- Valvole termostatiche
- Nessuna delle precedenti
- Altro: _____

18. Come reputi le condizioni ambientali complessive di comfort termico, in questo istante? *

Contrassegna solo un ovale.

- Per niente piacevoli
- Spiacevoli
- Poco piacevoli
- Né piacevoli, né spiacevoli
- Abbastanza piacevoli
- Piacevoli
- Molto piacevoli

Illuminazione naturale ed artificiale

L'illuminazione è il risultato dell'illuminare mediante l'utilizzo di flussi luminosi, naturali (mediati da elementi architettonici) o emessi da sorgenti artificiali (apparecchiature generalmente elettriche) allo scopo di ottenere determinati livelli di luce (illuminamenti) sull'oggetto (in senso lato) da illuminare.

19. All'interno dell'aula quale fonte luminosa si percepisce? *

Contrassegna solo un ovale.

- Luce naturale
- Luce artificiale
- Luce naturale e luce artificiale
- Nessuna delle precedenti (proiezione tramite proiettore)

20. Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula? *

Contrassegna solo un ovale.

- Per niente piacevole
- Spiacevole
- Poco piacevole
- Né piacevole, né spiacevole
- Abbastanza piacevole
- Piacevole
- Molto piacevole

21. Puoi controllare l' abbagliamento da luce naturale all'interno dell'aula? *

Contrassegna solo un ovale.

- Sì
 No

22. Se sì, in che modo puoi controllare la variazione di illuminazione naturale interna all'aula?

Seleziona tutte le voci applicabili.

- Schermature interne
 Schermature esterne
 Nessuna schermatura
 Altro: _____

23. Quanta porzione di cielo è possibile vedere dal tuo posto all'interno nell'aula? *

Contrassegna solo un ovale.

- Nessuna porzione di cielo
 Una piccola porzione di cielo
 Una discreta porzione di cielo
 Un'ampia porzione di cielo
 Un'ampissima porzione di cielo (la maggior parte della vista)

24. Quanto è piacevole la vista verso l'esterno? *

Contrassegna solo un ovale.

- Per niente piacevole
 Poco piacevole
 Né piacevole, né spiacevole
 Abbastanza piacevole
 Molto piacevole

25. Come ritieni la qualità dell'illuminazione artificiale all'interno dell'aula? *

Contrassegna solo un ovale.

- Per niente piacevole
 Spiacevole
 Poco piacevole
 Né piacevole, né spiacevole
 Abbastanza piacevole
 Piacevole
 Opzione 7

26. Percepisci elementi di abbagliamento nel tuo campo visivo? *

Contrassegna solo un ovale.

- Sì
 No

27. Se sì, quali?

Contrassegna solo un ovale.

- Superfici riflettenti
- Ostruzioni esterne riflettenti
- Sorgenti/apparecchi di illuminazione artificiale
- Sorgenti di luce naturale (attraverso le finestre)

28. Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione dei seguenti elementi? *

Contrassegna solo un ovale per riga.

	Per niente soddisfatto	Poco soddisfatto	Né insoddisfatto, né soddisfatto	Abbastanza soddisfatto	Molto soddisfatto	Non applicabile
Lavagna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Piano di lavoro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schermo di proiezione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aula	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

29. Come percepisci il colore della luce? *

Contrassegna solo un ovale.

- Molto fredda
- Fredda
- Abbastanza fredda
- Né fredda, né calda
- Abbastanza calda
- Calda
- Molto calda

30. Come descrivi le condizioni ambientali complessive di illuminazione, in questo istante? *

Contrassegna solo un ovale.

- Insufficienti
- Scarse
- Discrete
- Sufficienti
- Buone
- Ottime
- Eccellenti

Acustica

L'acustica è quella branca della fisica che studia il suono, le sue cause, la sua propagazione e la sua ricezione.

31. Come percepisci la qualità delle condizioni sonora? *

Contrassegna solo un ovale.

- Scarsa
- Discreta
- Mediocre
- Buona
- Ottima

Considerazioni complessive

32. Come descrivi l'intelligibilità del professore/ Altri studenti presenti in aula ? *

Contrassegna solo un ovale.

- Estremamente incomprensibile
- Incomprensibile
- Abbastanza incomprensibile
- Né incomprensibile, né comprensibile
- Abbastanza comprensibile
- Comprensibile
- Estremamente comprensibile

33. Come percepisci la quantità di rumore presente in aula e dall'estero

Contrassegna solo un ovale.

- Scarsa
- Discreta
- Mediocre
- Buona
- Ottima

34. Come reputi le condizioni ambientali complessive (Comfort termico, illuminazione e acustica), in questo istante? *

Contrassegna solo un ovale.

- Per niente piacevoli
 - Spiacevoli
 - Poco piacevoli
 - Né piacevoli, né spiacevoli
 - Abbastanza piacevoli
 - Piacevoli
 - Molto piacevoli
-

Capitolo 3: Fondamenti di benessere ambientale

Ai giorni nostri la comunità urbana è strutturata facendo sì che l'uomo trascorra buona parte della propria vita all'interno di uno spazio confinato, destinato sia a luogo di lavoro che ad abitazione.

L'uomo ha sempre cercato di creare un ambiente termico confortevole, e ancora oggi si cerca come obiettivo principale di progettare un edificio con ambienti che siano confortevoli per gli individui che li vivono.

3.1 Comfort termico

Che cos'è il comfort termico? Secondo la norma UNI-EN ISO 7730 è definito come: "Quella condizione mentale di soddisfazione nei riguardi dell'ambiente termico". Questa definizione è molto difficile da tradurre in parametri fisici perché il comfort dipende da diversi fattori che non sono solo oggettivi ma anche soggettivi.

Il termine benessere molte volte viene dato per scontato, la prima ragione è perché ogni organismo umano è differente: diverse sensazioni di caldo o di freddo, di rumore o di silenzio, di luce o d'ombra.

Tutto questo dipende dalle esperienze sensitive che ogni singola persona matura nel tempo attraverso percezioni e stimoli. Col tempo le conoscenze delle leggi fisiche che regolano gli stimoli si sono tradotti in dati oggettivi, ma il vero problema sono le risposte a tali stimoli, perché sono percezioni soggettive che variano da individuo a individuo.

Non è da sottovalutare la condizione psicofisica dell'individuo in quanto ha la capacità di inibire completamente la scala delle sensazioni, come ad esempio uno stato febbrile o una situazione di pericolo.

Questo comporta la necessità di avere un campione abbastanza significativo di persone ai quali somministrare domande con risposte empiriche, ad esempio: più caldo o meno caldo, più luce o meno luce, ecc..., arrivando a definire una condizione di comfort che lasci il minor numero di persone insoddisfatte.

Secondo la norma vigente in un ambiente con all'interno 100 persone dove 10/15 di esse sono insoddisfatte ci si trova comunque in una situazione di comfort generale.

Si vuole concludere questa introduzione tenendo presente che l'obiettivo del benessere deve essere raggiunto attraverso una serie di azioni concomitanti nella fase di progettazione e non un problema da risolvere in seguito a edificio ultimato.

3.1.1 Benessere termoigrometrico

Condizione di benessere termo-igrometrico: quella particolare condizione psicofisica in cui l'individuo esprime soddisfazione nei confronti del microclima: molto semplicemente un corpo non avverte né sensazioni di freddo né sensazioni di caldo trovandosi così in una condizione di neutralità termica.

Il corpo umano è un sistema termodinamico che smaltisce la sua potenza termica nell'ambiente, sviluppata in seguito al suo metabolismo basale, senza però variare la temperatura del corpo: fissa a 37 °C, stabilita dalla fisiologia dell'individuo.

Lo scambio con l'ambiente di calore avviene tramite somma di sette contributi:

- ϕ_{co} = Potenza termica scambiata per conduzione
- ϕ_c = Potenza termica scambiata per convezione
- ϕ_I = Potenza termica scambiata per irraggiamento
- $\phi_{re,s}$ = Potenza termica conseguente al riscaldamento dell'aria respirata
- ϕ_d = Potenza termica dispersa per diffusione di vapore attraverso la pelle
- ϕ_{su} = Potenza termica dispersa per sudorazione
- $\phi_{re,l}$ = Potenza termica dispersa nella respirazione per effetto solo dell'evaporazione dell'acqua



Fig. 53 Scambio di calore tra corpo e ambiente.

- La sommatoria di $\phi_{co} + \phi_c + \phi_I + \phi_{re, s}$ riguarda la potenza termica sensibile dispersa ϕ_s .
- La sommatoria di $\phi_d + \phi_{su} + \phi_{re, l}$ riguarda la potenza termica latente dispersa ϕ_l .
- La sommatoria della potenza termica sensibile (ϕ_s), della potenza termica latente (ϕ_l) e della potenza meccanica (ϕ_M) deve essere uguale alla potenza sviluppata dell'organismo (ϕ_m), che equivale al metabolismo.

Nel caso in cui $\dot{\phi}_A$, ossia variazione di energia interna nell'unità di tempo, sia pari a zero, allora:

$$\phi_m = \phi_M + \phi_{ll} + \phi_s \quad [W]$$

3.1.2 Equazione di bilancio dell'energia del corpo umano: Modello di Fanger

Poul Ole Fanger, esperto nel campo del comfort termico e della percezione degli ambienti interni, nel 1970 pubblica *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*.

Fu il primo a capire come il benessere termico dell'uomo è dato da una combinazione di fattori, suddivisi in parametri ambientali e parametri individuali che dovevano essere inseriti in un'unica formula divenuta la base per la norma UNI EN ISO 7730⁷.

I parametri ambientali sono composti da:

- Temperatura dell'aria
- Temperatura media radiante
- Velocità dell'aria
- Umidità relativa
- Temperatura operativa

I parametri individuali sono composti da:

- Vestiario
- Livello di attività metabolica

⁷ UNI EN ISO 7730: Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.

La combinazione di questi fattori che non sono indipendenti l'un l'altro porta alla condizione di comfort termico.

La formula di equazione di bilancio termico corpo umano - ambiente è la seguente:

$$S = M - W - E_{sk} - R_{res} - C - R - C_k \quad [W]$$

- S = variazione di energia interna del corpo umano nell'unità di tempo [W]
- M = potenza meccanica scambiata tra il corpo e l'ambiente [W]
- E_{sk} = potenza termica dispersa per evaporazione attraverso la pelle [W]
- R_{res} = potenza termica dispersa nella respirazione (saturazione dell'aria),
costituita da una quota di calore latente e una quota di calore sensibile [W]
- C = potenza termica scambiata per convezione [W]
- R = potenza termica scambiata per irraggiamento [W]
- C_k = potenza termica scambiata per conduzione [W]

Fanger definisce la condizione termica neutrale agendo su tre parametri dell'equazione:

- Bilancio termico dell'organismo deve essere nullo
- Sudorazione nei limiti del comfort;
- Temperatura della pelle compreso in un range definito.

$$S = 0 \quad [W]$$

$$E_{sk} = 0.42 \cdot [M - (1 - \eta) - 58.15] \quad [W]$$

$$T_{sk} = 35.7 - 0.0275 \cdot M \cdot (1 - \eta) \quad [^{\circ}C]$$

Dove η è il rendimento meccanico dell'uomo, mentre t_{sk} è la temperatura superficiale della pelle.

Aver posto $S = 0$, definisce che il corpo è posto in una condizione di omeotermia (mantiene la stessa temperatura); ma questa condizione non è sufficiente per garantire il benessere termico dell'individuo ma necessaria per la salute dell'individuo.

L'equazione può essere descritta così:

$$M = C + R + C_k + C_{ve} + E_{ve} + E_d + E_{sw} \quad [W]$$

Durante alcune indagini si è visto come l'uomo preferisca non sudare durante un'attività sedentaria ma quando svolge attività motoria. Tali indagini hanno dato prova che durante un'attività faticosa l'uomo preferisce una temperatura della pelle più bassa rispetto ad una attività sedentaria, quindi all'aumento delle temperature interne devono esserci temperature periferiche più basse.

Si arriva quindi all'equazione di benessere di Fanger sostituendo i valori E_{sk} e T_{sk} :

$$S = f \cdot (M, I_{cl}, T_a, P_a, V_a, T_{mr}, T_{sk}, E_{sk})$$

- Variabili ambientali:
 - T_a = temperatura dell'aria
 - P_a = pressione parziale di vapore acqueo
 - V_a = velocità dell'aria
 - T_{mr} = temperatura media radiante
- Variabili individuali:
 - M = metabolismo
 - ICL = resistenza termica all'abbigliamento
- Variabili fisiologiche:
 - T_{sk} = temperatura media della superficie della pelle
 - E_{sk} = potenza dispesa per evaporazione della pelle

Affinché un individuo si trovi in condizioni di comfort termoisometrico, occorre che le variabili ambientali, individuali e fisiologiche soddisfino contemporaneamente l'equazione di bilancio del corpo umano ($S = 0$) e le due equazioni di benessere (E_{sk} e T_{sk}).

3.1.3 Variabili ambientali

3.1.3.1 Temperatura dell'aria

L'ambiente termico viene definito attraverso un parametro molto comune: temperatura dell'aria.

La temperatura dell'aria (t_a) ha come unità di misura i gradi Celsius ($^{\circ}\text{C}$) o i gradi Kelvin (K) che però a loro volta si basano su una scala di misura differente.

La temperatura dell'aria è la temperatura dell'ambiente rilevata nell'immediato intorno di una persona.

3.1.3.2 Temperatura media radiante

“La norma UNI 7730 fornisce due raccomandazioni inerenti all'asimmetria della temperatura radiante. La prima stabilisce che l'asimmetria della temperatura radiante delle finestre o altre superfici fredde deve essere inferiore a 10°C rispetto ad un piccolo piano verticale posto a 0,6m dal pavimento. La seconda raccomanda che l'asimmetria della temperatura radiante di un soffitto riscaldato non deve superare i 5°C rispetto ad un piccolo piano verticale posto a 0,6m dal pavimento”⁸.

Temperatura radiante piana (t_{pr}): temperatura uniforme della superficie di uno spazio sul quale il flusso radiante incidente su una parte di un piccolo elemento della superficie è uguale al flusso radiante incidente nell'ambiente reale.

Temperatura media radiante (t_{mr}): temperatura uniforme della superficie di uno spazio racchiuso immaginario dove lo scambio di calore per irraggiamento fra questo spazio racchiuso ed una persona, è uguale allo scambio per irraggiamento tra lo spazio e l'ambiente reale non uniforme.

$$T_{mr} = F_{p-1} \cdot t_1 + F_{p-2} \cdot t_2 + \dots + F_{p-n} \cdot t_n \quad [^{\circ}\text{C}]$$

in cui F_{p-n} è il fattore di forma tra una persona e la superficie n nell'ambiente, e t_n è la temperatura della superficie n nell'ambiente.

La temperatura media radiante si calcola moltiplicando i valori delle sei misure di temperatura delle superfici per i fattori di proiezioni corrispondenti,

⁸ A. Sacchi, G. Cagliaris, *Climatizzazione*, Torino, UTET, 1996.

successivamente si sommano i risultati e si divide la somma per i fattori dell'area proiettata.

Tabella 1 Fattori dell'area proiettata per una persona seduta ed una in piedi.

Fattori della superficie proiettata			
Posizione della persona	Alto/basso	Destra/sinistra	Avanti/dietro
In piedi	0.08	0.23	0.35
seduta	0.18	0.22	0.30

Esempio persona seduta:

$$t_r = [0.18 \cdot (t_{pr} [\text{alto}] + t_{pr} [\text{basso}]) + 0.22 \cdot (t_{pr} [\text{des.}] + t_{pr} [\text{sin.}]) + 0.30 \cdot (t_{pr} [\text{avan.}] + t_{pr} [\text{dietr.}])] / [2 \cdot (0.18 + 0.22 + 0.30)] \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Esempio per una persona in piedi:

$$t_r = [0.08 \cdot (t_{pr} [\text{alto}] + t_{pr} [\text{basso}]) + 0.23 \cdot (t_{pr} [\text{des.}] + t_{pr} [\text{sin.}]) + 0.35 \cdot (t_{pr} [\text{avan.}] + t_{pr} [\text{dietr.}])] / [2 \cdot (0.08+0.23+0.35)] \quad [^{\circ}\text{C}]$$

3.1.3.3 Velocità dell'aria

“La norma ISO 7730 raccomanda che la velocità dell'aria media (su un periodo di tre minuti) non deve eccedere i 0,15 m/s nel periodo invernale. Questo limite può aumentare a 0,25 m/s durante il periodo estivo.”⁹ La sua unità di misura è il m/s.

⁹ UNI EN ISO 7730: Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.

Tabella 2 Valori della velocità media dell'aria secondo la ISO-DIS 7730 e la ASHRAE 55 – 2004.

Categoria	Inverno		Estate	
	T _o (C°)	V (m/s)	T _o (C°)	V (m/s)
A	22±1	0.10	24.5±1	0.12
B	22±2	0.16	24.5±1.5	0.19
C	22±3	0.21	24.5±3	0.24

3.1.3.4 Deviazione standard della velocità dell'aria

La **deviazione standard** è la radice quadrata (positiva) della varianza campionaria:

$$\sigma = \sqrt{s^2 n} = \sqrt{\frac{(\Sigma 1)^2 + \dots + (\Sigma n)^2}{n}}$$

Per motivi di correttezza statistica, al crescere del numero di misurazioni effettuate, si usa una formula leggermente diversa, lo **scarto quadratico medio**, dividendo per N-1 invece che per N:

$$S_x = \sqrt{\frac{(\Sigma 1)^2 + \dots + (\Sigma n)^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{(x_1 - x_m)^2 + \dots + (x_n - x_m)^2}{N-1}}$$

3.1.3.5 Umidità relativa

L'**umidità relativa (UR)** è un indice di quantità di vapore: indica il rapporto percentuale tra la quantità di vapore contenuta in una massa d'aria e la quantità massima (cioè a saturazione) che il volume d'aria può contenere nelle stesse condizioni di temperatura e pressione e cioè il rapporto tra la pressione parziale del vapore e la pressione di saturazione.

Tanto è più alta la temperatura dell'aria tanto è maggiore la quantità di vapore d'acqua contenuta al suo interno.

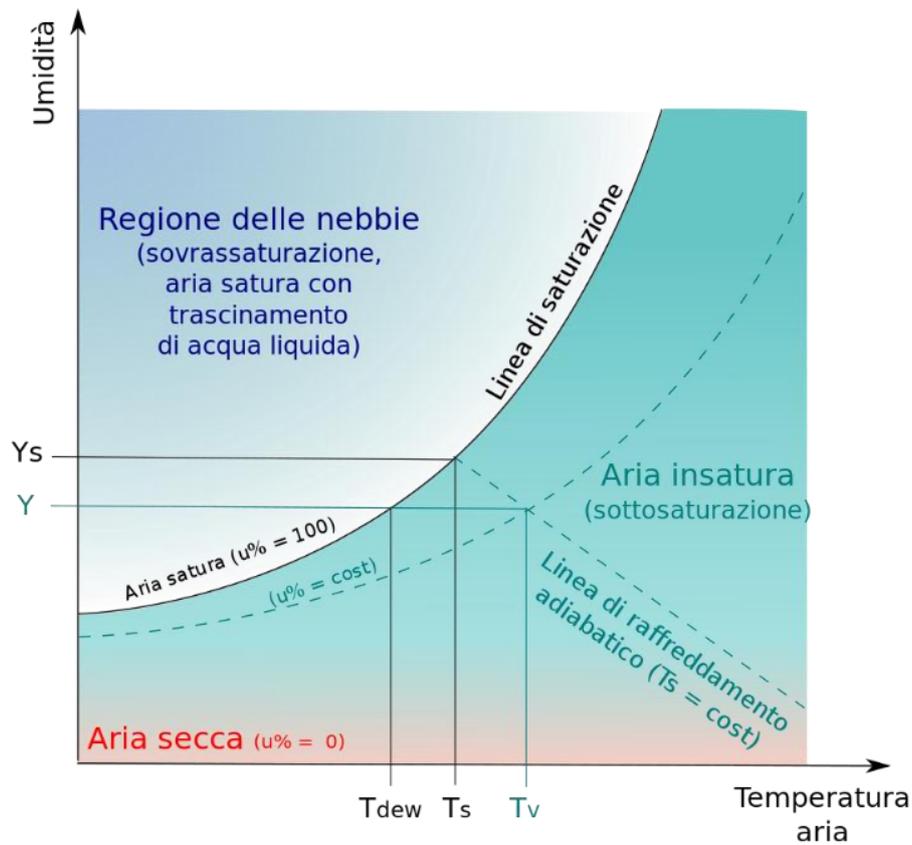


Fig. 54 Diagramma psicrometrico, utilizzato per descrivere le proprietà dell'aria umida.

L'umidità relativa ha valori che variano da $0\% < UR < 100\%$, dove allo 0% risulta essere aria secca, mentre al 100% aria satura di vapore.

- $UR = m_v / m_{vs}$ [%]
- $m_v =$ massa del vapore [kg]
- $m_{vs} =$ massa del vapore saturo a pari temperatura [kg]

Il corpo umano, così come gli oggetti, è permeabile e scambia vapore acqueo con l'ambiente che lo circonda.

3.1.3.6 Temperatura operativa

La temperatura operativa può essere definita come quella temperatura uniforme dell'aria e delle pareti dell'ambiente che provocherebbe per il soggetto lo stesso scambio termico per convezione e radiazione che si ha nell'ambiente reale.

Il modo più rigoroso per calcolarla è il seguente:

$$t_o = [(h_r \cdot t_{mr}) + (h_c \cdot t_a)] / \alpha \quad [^{\circ}\text{C}]$$

- $t_{mr} =$ Temperatura media radiante
[$^{\circ}\text{C}$]
- $t_a =$ Temperatura dell'aria
[$^{\circ}\text{C}$]
- $h_c =$ Coefficiente di scambio convettivo per l'uomo
[-]
- $h_r =$ Coefficiente di scambio radiativo per l'uomo
[-]
- $\alpha =$ $h_c + h_r =$ coefficiente di adduzione termica sulla superficie corporea
[-]

Nella pratica, se la differenza tra temperatura media radiante e temperatura dell'aria è inferiore a 4°C e la velocità dell'aria è inferiore a $0,2 \text{ m/s}$ si può assumere t_o pari alla media aritmetica di t_{mr} e t_a :

$$t_o = [(t_{mr} + t_a)] / 2 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

3.1.4 Variabili individuali

3.1.4.1 Vestiario (CLO)

Fattore fondamentale per il benessere dell'individuo è il vestiario, che costituisce una resistenza termica al di sopra della pelle.

La resistenza termica ha come unità di misura m^2K/W anche se viene utilizzata una misura incoerente: CLO.

$$1 \text{ CLO} = 0.155 \text{ [m}^2 \text{ C}^\circ\text{/W]}$$

Tabella 3 Valori resistenza termica abbigliamento da normativa UNI EN-ISO 7730.

Abbigliamento	I _{cl}	
	(m ² C/W)	(clo)
Nudo	0	0
Pantaloncini	0,015	0,1
Abbigliamento tropicale: mutande , T-shirt, calzini leggeri e sandali	0,05	0,3
Abbigliamento leggero estivo: mutande, pantalone leggero, camicia a maniche corte con collo sbottonato, calzini leggeri, scarpe	0,08	0,5
Abbigliamento da lavoro leggero: maglia intima leggera, camicia da lavoro di cotone a maniche lunghe, pantaloni da lavoro, calzini di lana, scarpe	0,11	0,7
Abbigliamento invernale per ambienti chiusi: maglia intima, camicia a maniche lunghe, pantaloni, giacca o pullover a maniche lunghe, calzini pesanti, scarpe	0,16	1
Abbigliamento invernale per ambienti esterni: biancheria intima di cotone con maglia a maniche lunghe e mutande larghe, camicia, vestito completo, soprabito con cintura, calzini di lana e scarpe pesanti.	0,23	1,5

In alternativa, quando si conosce esattamente da che tipi di capi è composto l'abbigliamento, possiamo usare il metodo seguente: dalla tabella 4 si può valutare la resistenza termica dei singoli capi (I_{cl}). La resistenza termica totale dell'abbigliamento (I_{cl}) si determina dalla somma di tutte le resistenze dei singoli capi (ΣI_{cl}) usando la seguente relazione: $I_{cl} = \Sigma I$.

Tabella 4 Resistenza termica dei singoli capi.

Capo	I _{cl}	
	(m ² °C/W)	(clo)
collant	0,005	0,03
calzini: leggeri	0,003	0,02
pesanti	0,008	0,05
abbigliamento intimo: slip e reggiseno	0,005	0,03
sottoveste corta	0,02	0,13
sottoveste lunga	0,025	0,19
mutande	0,005	0,03
maglia intima	0,006	0,04
camicia: T-shirt	0,014	0,09
leggera, maniche corte	0,023	0,15
leggera, maniche lunghe	0,031	0,2
normale, maniche lunghe	0,039	0,25
gonna: pesante	0,039	0,25
abito: leggero	0,031	0,2
pesante	0,062	0,4
pullover: leggero	0,031	0,2
medio	0,043	0,28
giacca: medio peso	0,054	0,35
pantaloni: leggeri	0,031	0,2
medi	0,039	0,25
pesanti	0,043	0,28
scarpe: suola pesante	0,006	0,04

3.1.4.2 Livelli di attività (MET)

Che cos'è il metabolismo?

Il corpo umano è un laboratorio, in continua attività, in cui le sostanze che assumiamo subiscono nel corpo dei processi di trasformazione chimica (energia termica, energia meccanica interna e energia elettrica) che nel complesso costituiscono il metabolismo.

Come nel caso dell'abbigliamento, anche qui abbiamo un'unità incoerente per quanto riguarda il metabolismo: MET.

Il **MET** (Metabolic Equivalent of Task) è un'unità di equivalente metabolico e viene usata per stimare il costo metabolico di un'attività fisica:

$$1 \text{ MET} = 58.2 \quad [\text{W/m}^2]$$

che dipende esclusivamente dalla sola attività fisica del soggetto.

Si considera come area di superficie corporea media circa 1.8 m², calcolabile con il metodo dell'area di Dubois:

$$A = 0.202 \cdot (m_b)^{0.425} \cdot (h_b)^{0.725} \quad [m^2]$$

- A = superficie corpo umano nudo [m²]
- m_b = massa [kg]
- h_b = altezza [m]

La potenza metabolica specifica è composta da due componenti:

- **Potenza metabolica basale:** esprime la potenza messa in gioco per il solo funzionamento degli organi vitali. Si misura nel soggetto a riposo fisico e mentale: equivale a circa 43 [W/m²].
- **Potenza metabolica addizionale:** funzione unicamente dell'attività svolta, dipendente cioè dalle condizioni di lavoro dell'organismo.

Tabella 5 Il metabolismo energetico norma UNI EN-ISO 7730.

Attività	Metabolismo energetico	
	(W/m ²)	(met)
Disteso	46	0,8
Seduto, rilassato	58	1
In piedi, rilassato	70	1,2
Attività sedentaria (ufficio, casa, scuola, laboratorio)	70	1,2
Attività in piedi (compere, laboratorio, industria leggera)	93	1,6
Attività in piedi (commesso, lavori domestici, lavori a macchina)	116	2
Attività moderata (lavoro pesante a macchina, lavoro in garage)	165	2,8



Fig. 55 Relazione attività svolta - MET.

3.1.5 Sistema di termoregolazione del corpo umano

L'uomo possiede la capacità di adattarsi a quasi tutti gli ambienti per via di un sistema di termoregolazione, posto nell'ipotalamo connesso ai vari termo-recettori della pelle.

Grazie a questo meccanismo l'uomo riesce a mantenere costante la sua temperatura corporea intorno ai 37 °C.

Ma che cos'è la temperatura corporea?

Con **temperatura corporea** si intende la media pesata tra temperatura interna degli organi, temperatura della pelle e temperatura esterna. Per un soggetto seduto, a riposo e in condizioni normali la temperatura corporea t_b può essere determinata con la relazione (Gagge 1970):

$$t_b = 0.9 \cdot t_{cr} + 0.1 \cdot t_{sk} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

- t_{cr} = temperatura interna
- t_{sk} = temperatura della pelle

Durante il periodo estivo/invernale, in cui le temperature superano/risultano più basse di quella interna del corpo umano, l'uomo inconsciamente mette in atto dei processi termoregolatori.

Durante il periodo estivo per evitare che la temperatura aumenti abbiamo una vasodilatazione della circolazione sanguigna periferica. Se la temperatura è eccessivamente alta, avviene il processo di sudorazione che permette di rilasciare vapore acqueo e mettere in gioco il flusso termico.

Durante il periodo invernale sostanzialmente avviene il caso opposto: ovvero dobbiamo aumentare la temperatura interna del corpo. Quindi il corpo attua una

vasocostrizione periferica della circolazione sanguigna. Quindi la temperatura della pelle superficiale tenderà a diminuire.

Si può inoltre innalzare la temperatura modificando la propria attività, aumentando così il metabolismo, che può a sua volta aumentare per via dei brividi.

Il corpo risulterà in una condizione di benessere quando non verranno attivati tutti questi meccanismi interni.

3.1.6 Criteri di progettazione ambientali termici interni

La norma UNI EN 16798-1 specifica al suo interno i seguenti criteri ambientali riguardanti l'ambiente interno:

- Ambiente termico
- Indoor Air quality (IAQ)
- Ventilazione
- Umidità
- Illuminazione
- Rumore

Questi criteri vengono poi utilizzati per diversi scopi: dimensionamento dei sistemi impiantistici, calcolo dell'energia di costruzione e la valutazione a breve e lungo termine dell'ambiente interno.

Nella tabella sottostante si hanno diverse categorie di qualità ambientale interna rapportata al livello di aspettativa.

Tabella 6 Categoria e livello di aspettativa.

Category	Level of expectation
IEQ _I	High
IEQ _{II}	Medium
IEQ _{III}	Moderate
IEQ _{IV}	Low

Un livello di aspettativa normale equivale al livello medio con categoria IEQ_{II}. Le aspettative delle persone che occupano l'ambiente interno variano a seconda dell'ambiente: se ventilato naturalmente o attraverso meccanicamente.

Nel caso in cui l'ambiente è ventilato naturalmente verrà utilizzato il metodo adattativo. Se l'ambiente utilizza impianti meccanici si adotteranno gli indici PMV e PPD.

Nella tabella 7 si nota come in base all'ambiente, alla categoria e approssimativamente ad un'attività sedentaria si ha una temperatura minima per quanto riguarda il caso invernale e una massima per il caso estivo, questo riguarda gli ambienti con impianti di raffrescamento meccanizzati.

Tabella 7 Temperatura minima e massima in relazione alla categoria e tipo di spazio.

Type of building/ space	Category	Operative temperature °C	
		Minimum for heating (winter season), approximately 1.0 clo	Maximum for cooling (summer season), approximately 0,5 clo
Residential buildings, living spaces (bed room's, living rooms, kitchens, etc.) Sedentary activity ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
	IV	16,0	28,0
Residential buildings, other spaces (utility rooms, storages, etc.) Standing-walking activity ~1,5 met	I	18,0	
	II	16,0	
	III	14,0	
Offices and spaces with similar activity (single offices, open plan offices, conference rooms, auditorium, cafeteria, restaurants, class rooms, Sedentary activity ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
	IV	18,0	28,0
NOTE A 50 % relative humidity level and low air velocity level (<0,1 m/s) is assumed.			

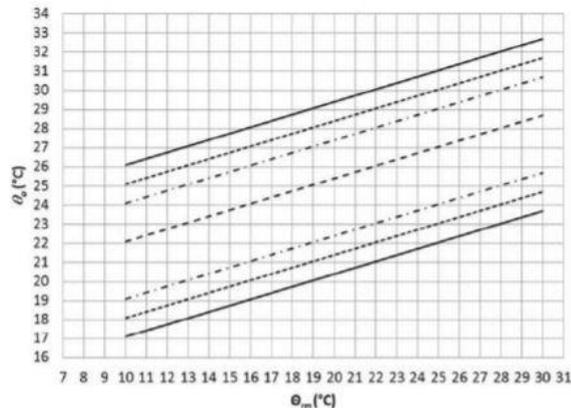
Per quanto riguarda invece gli ambienti privi di impianto di raffrescamento meccanico gli intervalli di temperatura interna operativa sono in funzione della temperatura media esterna. La temperatura media esterna può essere calcolata con la formula sottostante:

$$\Theta_m = (\Theta_{ed-1} + 0.8 \cdot \Theta_{ed-2} + 0.6 \cdot \Theta_{ed-3} + 0.5 \cdot \Theta_{ed-4} + 0.4 \cdot \Theta_{ed-5} + 0.3 \cdot \Theta_{ed-6} + 0.2 \cdot \Theta_{ed-7}) / 3.8 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Una volta calcolata la temperatura media esterna mensile e scelta la categoria, si ottiene un limite inferiore e un limite superiore di temperatura. Nell'immagine sotto riportata è mostrato come in base alla categoria scelta variano i limiti inferiori e superiori di temperatura.

Category I	upper limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 2$
	lower limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 3$
Category II	upper limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 3$
	lower limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 4$
Category III	upper limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 4$
	lower limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 5$

$$\theta_c = 0,33\theta_{rm} + 18,8$$



3.1.7 Comfort termico adattativo

Come alternativa al modello di bilancio termico stazionario che verrà analizzato successivamente, come ad esempio il PMV, si hanno i modelli adattativi. Questi tengono conto oltre alle variabili oggettive (velocità dell'aria, temperatura media radiante, umidità e temperatura dell'aria) e soggettive (attività metabolica e abbigliamento), anche le condizioni termiche esterne e la zona climatica in cui ci si trova. Il modello di comfort presenta dunque una correlazione tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura di comfort degli occupanti. Alla base si ha il processo per il quale il corpo umano si adatta (inclusa la variazione del tasso metabolico) al clima locale e stagionale. Di conseguenza, i soggetti considereranno temperature interne diverse come confortevoli secondo la località e la stagione.

Il modello adattivo si basa su correlazioni misurate tra l'impressione soggettiva di comfort della gente con la temperatura interna e la temperatura dell'aria esterna. Rispetto al modello di Fanger, il modello adattivo considera un più ampio range di temperature come "confortevoli" e pertanto permette una più agevole integrazione di tecnologie.

"I modelli adattativi a differenza del PMV non considerano il soggetto in modo passivo, ma con la capacità di adattarsi agli ambienti che lo circondano tenendo conto come già detto in precedenza del luogo e della tipologia di clima.

Alla base del modello di comfort adattivo c'è la convinzione che il soggetto, consciamente o inconsciamente, svolge un ruolo attivo nella creazione delle condizioni termiche che preferisce e che, per raggiungere più facilmente la soddisfazione nei confronti del microclima, attua un processo di adattamento, definito come quel processo di graduale diminuzione delle reazioni individuali agli stimoli ambientali. Si distinguono tre tipi di adattamento:

- **Comportamentale:** complesso dei cambiamenti che una persona mette in atto, consciamente o no, per modificare i parametri che regolano il bilancio termico del corpo; può essere suddiviso in personale, tecnologico e culturale;

- **Fisiologico:** l'esposizione prolungata a date condizioni riduce lo stress; nelle condizioni tipiche degli ambienti moderati questo tipo di adattamento ha un'influenza trascurabile sulla percezione del comfort;
- **Psicologico:** le esperienze pregresse e le aspettative modificano la percezione degli stimoli sensoriali e la reazione ad essi.

Tra i tre meccanismi di adattamento quello comportamentale fornisce alle persone un ruolo attivo nel mantenimento del proprio comfort, proprio perché direttamente legato al bilancio termico del corpo umano.”¹⁰

3.1.8 Comfort termico stazionario

3.1.8.1 Indice PMV

P.O. Fanger come già precedentemente accennato, analizza l'equazione di bilancio termico chiarendo quali sono i fattori da cui dipende. Il problema è che la neutralità termica è condizione necessaria ma non sufficiente per avere una condizione di comfort termico.

Decise allora di creare un'indagine statistica, creando una scala di sensazioni, dove si pone in relazione la condizione ambientale e il benessere termico.

Questa scala di sensazioni è correlata all'indice **PMV** (Predicted Mean Vote) ed è una funzione matematica dei sei parametri precedentemente descritti, esprimendo il valore medio dei voti di un campione di persone, in relazione alla scala delle sensazioni termiche a 7 punti che varia da -3 a +3.

Tabella 8 Scala di sensazione termica correlata al PMV.

SENSAZIONE TERMICA	VOTO
Molto caldo	+3
Caldo	+2
Leggermente caldo	+1
Neutrale	0
Leggermente freddo	-1
Freddo	-2
Molto freddo	-3

¹⁰www.mygreenbuildings.org/2009/12/29/indici-di-comfort-termico-fanger-pmv-modello-adattivo-e-diagramma-bioclimatico-di-givoni.html (Ultima modifica: 28 novembre 2019).

La relazione tra il carico termico S e l'indice PMV è la seguente:

$$PMV = [0,3030^{(-0,036M)} + 0,028] \cdot S \quad [-]$$

Sostituendo S dell'equazione di carico termico (paragrafo 3.1.2) si ha:

$$PMV = [0,303^{(-0,036 M)} + 0,028] \cdot \{ (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \} \quad [-]$$

- M = metabolismo energetico [W]
- W = potenza meccanica efficace [W]
- H = M / W [-]
- Pa = pressione parziale del vapore d'acqua [Pa]
- h_c = coefficiente di convezione tra aria e abiti [W/m²K]
- t_a = temperatura dell'aria [°C]
- f_{cl} = coefficiente di area dell'abbigliamento [Icl]
- I_{cl} = isolamento termico dell'abbigliamento [W K/m²]
- T_{cl} = temperatura superficiale media del vestiario [°C]
- T_r = temperatura media radiante [°C]

La norma UNI EN-ISO 7730:2006 ha preso come riferimento questo modello in modo tale da avere una previsione indicativa della soddisfazione degli utenti in relazione ai parametri ambientali misurati.

3.1.8.2 Indice PPD

PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied): Percentuale di persone insoddisfatte delle condizioni di comfort termico all'interno di un ambiente.

Correlando gli indici PMV e PPD si ottiene:

$$PPD = 100 - 0,95^{(-0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad [%]$$

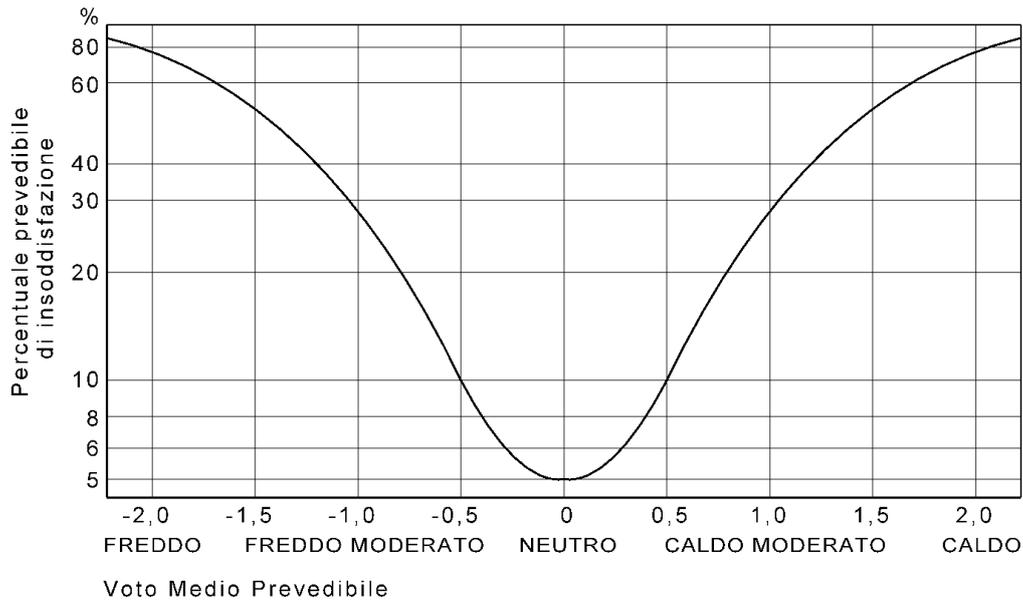


Fig. 56 Diagramma esplicativo del PPD.

La formula sopra espressa e rappresentata nel diagramma soprastante, mostra che anche se il PMV è uguale a zero abbiamo un PPD > 5%.

Questo avviene perché un ambiente è considerato confortevole quando $-0.5 < PMV < 0.5$, ossia una percentuale di insoddisfatti PPD < 10%.

Tabella 9 UNI EN ISO 7730:2006.

PMV	PPD%	Valutazione ambiente termico
+3	100	Molto caldo
+2	75.7	Caldo
+1	26.4	Leggermente caldo
+0.85	20	Ambiente termicamente accettabile
$+0.5 < PMV < -0.5$	<10	Benessere termico
-0.85	20	Ambiente termicamente accettabile
-1	26.8	Fresco
-2	74.6	Freddo
-3	100	Molto freddo

3.1.9 Discomfort locale

“È chiaro però che, anche nel caso in cui i valori medi delle grandezze microclimatiche siano tali da garantire le condizioni globali di benessere, può succedere che in alcuni punti tali condizioni possono non essere rispettate a causa di disuniformità locali.

Negli ambienti di lavoro, soprattutto quelli destinati ad attività sedentarie si possono riscontrare delle fluttuazioni o disuniformità anche significative delle grandezze microclimatiche tali da indurre nel soggetto condizioni di disagio.

Quando le condizioni globali di benessere sono assicurate, occorre verificare che tali condizioni siano anche verificate nel sottosistema ambientale costituito dall'intorno immediato del singolo posto di lavoro.”¹¹

All'interno di un ambiente possono esserci diverse cause che portano il soggetto ad una situazione di disagio locale. Si possono identificare quattro cause principali:

- Variazioni di velocità dell'aria
- Asimmetria della temperatura media radiante
- Differenza di temperatura verticale
- Pavimento troppo caldo o troppo freddo

3.1.9.1 Movimenti d'aria

L'uomo non riesce a percepire le correnti di aria, “quindi quello di cui si lamenta è il raffreddamento indesiderato anche di una più piccola parte del corpo dovuto al movimento dell'aria.”¹²

Il problema è molto importante soprattutto negli ambienti condizionati dove nella maggior parte dei casi le correnti sono difficilmente evitabili.

La parti più soggette a questo fenomeno sono quelle scoperte, ad esempio mani, braccia e caviglie. Durante il periodo estivo si possono rilevare correnti d'aria fino a 0.16 m/s, mentre nel periodo invernale fino a 0.12 m/s.

La norma UNI EN ISO 7730 ha introdotto l'equazione del rischio da correnti d'aria all'interno di un ambiente basandosi su uno studio effettuato su 150 soggetti.

La percentuale di persone che si prevede possano essere insoddisfatte a causa di una corrente d'aria, può essere calcolata usando la seguente equazione:

¹¹ G. Moncada Lo giudice, M. Coppi, *Benessere termico e qualità dell'aria interna*, Milano, Masson, 1997.

¹² G. Moncada Lo giudice, M. Coppi, *Benessere termico e qualità dell'aria interna*, Milano, Masson, 1997.

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v_a - 0.05) \cdot 0.62 \cdot (37 \cdot SD + 3.14) \quad [\%]$$

- DR = rischio da corrente d'aria [%]
- t_a = temperatura dell'aria [°C]
- v_a = velocità media locale dell'aria [m/s]
- SD = deviazione standard della velocità dell'aria [m/s]

Per descrivere come fluttua la velocità dell'aria, spesso si usa il termine: intensità di turbolenza, definita come:

$$Tu = 100 \cdot SD/v_a \quad [\%]$$

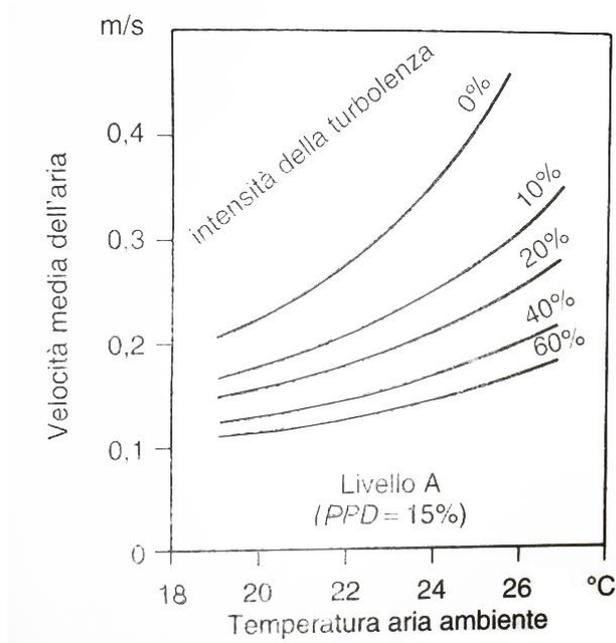


Fig. 57 Grafico scannerizzato da "Benessere termico e qualità dell'aria interna".

3.1.9.2 Asimmetria temperatura media radiante

Se si sta in piedi di fronte ad un falò ardente in un giorno di freddo, dopo un po' di tempo si sentirà la parte posteriore del corpo fastidiosamente fredda. A questo disagio non si può ovviare mettendosi più vicini al fuoco, perché ne risulterebbe un aumento della temperatura corporea. Questo è un esempio di quanto una radiazione

termica non uniforme possa essere causa di una sensazione di discomfort per il corpo.

“Un altro caso per esempio, si presenta in inverno in presenza di grosse superfici vetrate che costituiscono zone più fredde rispetto alle pareti opache; tale situazione comporta una dissimmetria nello scambio radiativo del soggetto; altro esempio potrebbe essere quello di un impianto di riscaldamento a soffitto.”¹³

Per rappresentare questa non uniformità del campo radiante, viene usata la grandezza asimmetria media radiante (t_{mr}), anche detta asimmetria della temperatura radiante (Δt_{pr}), definita come la differenza tra la temperatura piana radiante (t_{pr}) delle due facce opposte di un elemento piano.

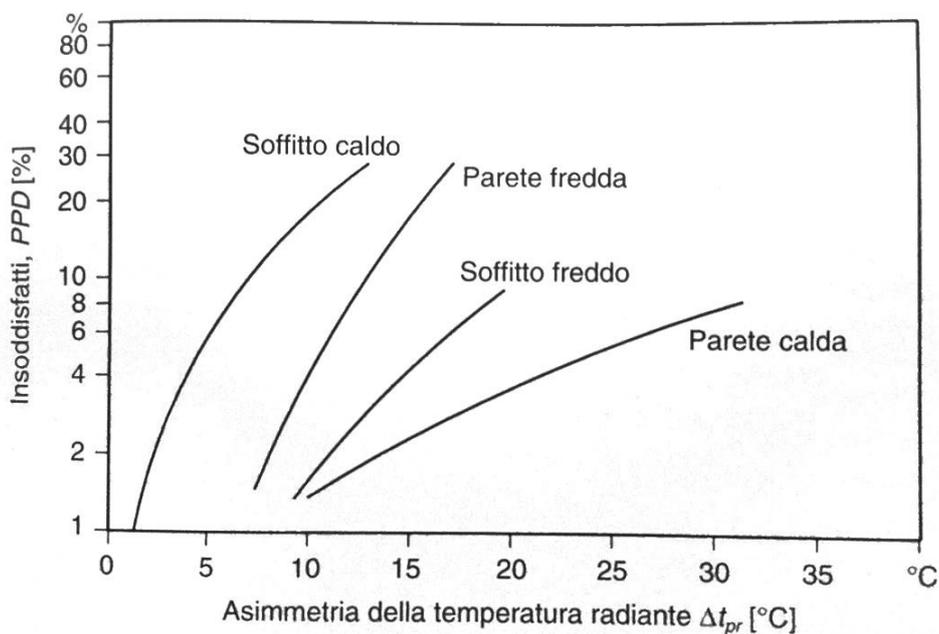


Fig. 58 Grafico scannerizzato da "Benessere termico e qualità dell'aria interna".

“Nell’ordine si notano quattro curve: soffitto caldo, parete verticale fredda, soffitto freddo, parete verticale calda. Sia la norma UNI EN ISO 7730 che la norma ASHRAE prevedono che la percentuale di insoddisfatti per questo tipo di disagio non superi il 5%, il che significa:

- Per attività leggera, quasi sedentaria, l’asimmetria media radiante in direzione orizzontale ($\Delta t_{pr, h}$) valutata cioè rispetto ad un elementino piano disposto verticalmente (finestre o superfici verticali fredde) deve essere inferiore a 10°C;

¹³ G. Moncada Lo giudice, M. Coppi, *Benessere termico e qualità dell’aria interna*, Milano, Masson, 1997.

- Per attività leggera, quasi sedentaria, l'asimmetria media radiante in direzione verticale ($\Delta t_{pr, v}$) valutata cioè rispetto ad un elementino piano disposto orizzontalmente (soffitto riscaldato) deve essere inferiore a 5 - 7 °C.”¹⁴

Nel grafico soprastante si nota come non sono state prese in considerazione dalle norme le superfici verticali calde o il soffitto freddo. Questo perché per avere un PPD = 5% la Δt_{pr} avrebbe dovuto essere superiore rispettivamente a 22°C e 15°C, valori non raggiungibili in ambiente moderato.

Ricordiamo che la norma UNI EN ISO 7730 prevede la misurazione delle temperature piane radianti collocando l'elementino piano di riferimento orizzontale/verticale a 0.60 m.

3.1.9.3 Differenza verticale della temperatura dell'aria

Molto spesso non è piacevole sentire caldo alla testa e contemporaneamente avvertire freddo ai piedi, a prescindere che questo possa essere causato da irraggiamento o convezione.

“Tali gradienti determinano differenti condizioni di scambio termico tra i piedi ed il capo del soggetto; tale situazione è particolarmente fastidiosa quando la temperatura a livello delle caviglie è inferiore a quella del capo. L'indice microclimatico relativo è stato proposto da Fanger ed è rappresentato dalla percentuale di insoddisfatti.”¹⁵

È possibile mettere in relazione la percentuale di persone insoddisfatte con la differenza di temperatura tra testa e caviglia (Fig. 59).

¹⁴ G. Moncada Lo giudice, M. Coppi, *Benessere termico e qualità dell'aria interna*, Milano, Masson, 1997.

¹⁵ G. Moncada Lo giudice, M. Coppi, *Benessere termico e qualità dell'aria interna*, Milano, Masson, 1997.

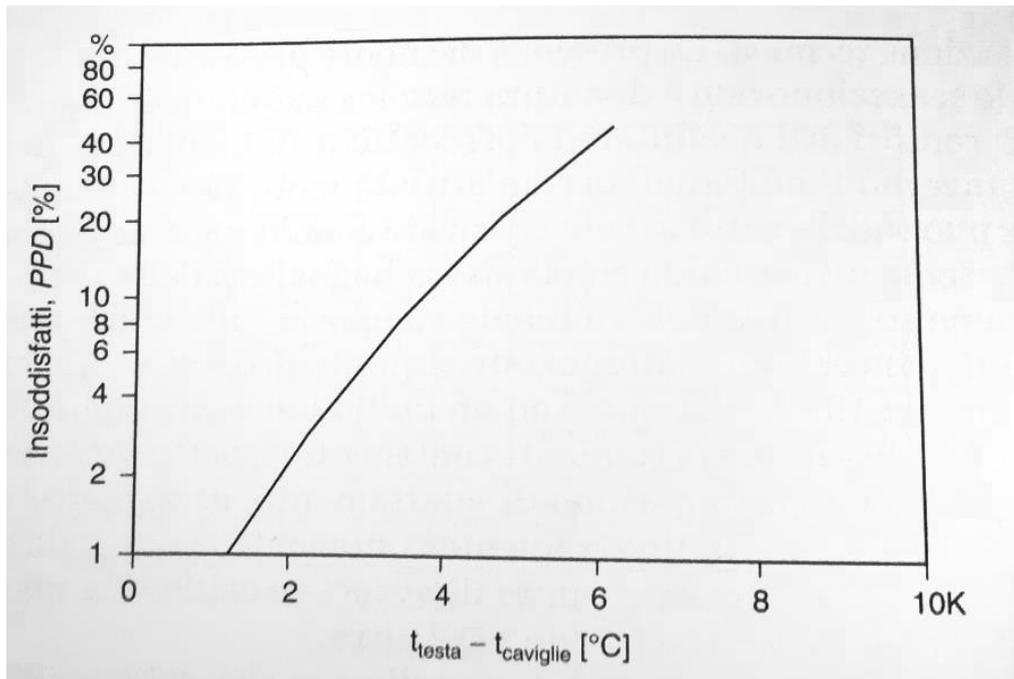


Fig. 59 Grafico scannerizzato da "Benessere termico e qualità dell'aria interna".

La norma UNI EN ISO 7730 ritiene accettabile un PPD del 5% corrispondente a un Δt di circa 3°C. La misurazione delle temperature avviene seguendo come riferimento l'altezza di un soggetto da seduto.

3.1.9.4 Pavimento troppo caldo o troppo freddo

Il discomfort locale ai piedi, dovuto al contatto diretto con il pavimento, può essere spesso determinato da una temperatura di quest'ultimo troppo alta o troppo bassa.

“Tale situazione provoca attraverso lo scambio termico che avviene sulla pianta dei piedi ancora una disuniformità di temperatura del corpo del soggetto. Per mantenere una percentuale di insoddisfatti PPD 5%, la temperatura del pavimento deve essere compresa tra circa 20°C e 30°C.”¹⁶

¹⁶ G. Moncada Lo giudice, M. Coppi, *Benessere termico e qualità dell'aria interna*, Milano, Masson, 1997.

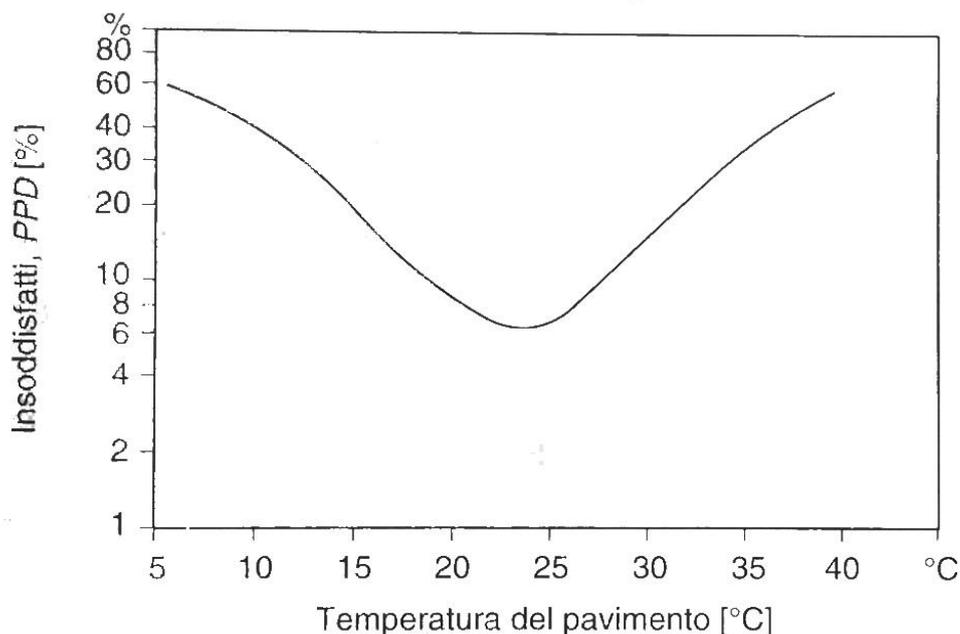


Fig. 60 Grafico scannerizzato da "Benessere termico e qualità dell'aria interna".

3.2 Comfort visivo

Spesso pare scontato riuscire a percepire gli spazi, i colori e le forme in un ambiente interno. In realtà non ci si rende conto della complessità del lavoro che i progettisti svolgono, al fine di garantire ai soggetti che vivono l'ambiente, le giuste condizioni di comfort visivo.

Il **comfort visivo** può essere definito come lo stato in cui la persona può svolgere diversi compiti all'interno di un ambiente. Sostanzialmente il comfort visivo viene determinato dal grado di prestazione visiva: velocità e accuratezza nello svolgimento di un compito visivo, e dalla gradevolezza dell'ambiente.

Se si fa riferimento al caso delle aule universitarie, viene naturale il collegamento con la capacità degli studenti di vedere correttamente sul proprio banco o sulla lavagna. Per giudicare questo parametro occorre però fare riferimento a valori standard normativi che garantiscono dei minimi per la corretta visione delle cose, cioè garantiscono che l'utente sia in comfort visivo.

Comfort è spesso sinonimo di benessere, e come tale fa riferimento alla salute dell'individuo. È scientificamente provato che l'illuminazione naturale per l'uomo ha molti più vantaggi rispetto a quella artificiale. La luce naturale è una radiazione di tipo dinamico e di conseguenza stimola molto di più l'individuo, a maggior ragione un ragazzo giovane.

Da molti anni a questa parte si tende a massimizzare la quantità di luce naturale negli ambienti scolastici per agevolare gli studenti, risparmiare energia per l'illuminazione artificiale e rendere gli ambienti più gradevoli.

Analizzando però un edificio scolastico esistente, luogo in cui gli studenti trascorrono parte della giornata, può essere interessante capire le condizioni di illuminazione presenti in modo da avere un confronto con quelli di nuova costruzione.

3.2.1 Luce

Può essere definita come l'energia raggiante emessa in quantità discrete (quanta o fotoni di energia) la cui propagazione avviene per onde elettromagnetiche.

L'onda elettromagnetica viene generata dall'alternarsi ciclico di campi elettrici e campo magnetici, ed è caratterizzata da tre grandezze principali:

Lunghezza d'onda λ [m]: È la distanza percorsa dall'onda durante un'oscillazione completa. È una grandezza fondamentale per la definizione dello spettro visibile.

Considerando le varie forme di onde elettromagnetiche emesse da una sorgente, l'occhio umano percepisce solamente quelle con lunghezza d'onda compresa in un intervallo specifico che va dai 380 nm ai 780 nm. Oltre il margine sinistro dello spettro si trova il campo ultravioletto, mentre oltre il margine destro si trova il campo infrarosso.

Ad ogni radiazione elettromagnetica corrisponde un colore che viene percepito dall'occhio umano. Si va quindi a creare una scala di valori (spettro) a cui corrispondono determinate gradazioni di colore associate ad una lunghezza d'onda λ .

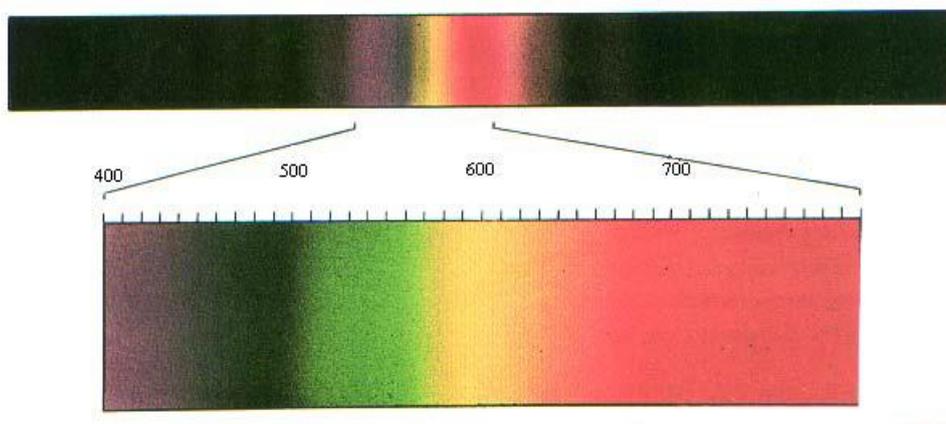


Fig. 61 Rappresentazione dello spettro visibile.

Esistono vari tipi di onde elettromagnetiche che variano a seconda del campo di utilizzo: onde lunghe, onde medie, onde corte, onde cortissime, onde infrarosse, onde visibili, onde ultraviolette, radiazioni nucleari, radiazioni cosmiche.

Esse vengono sintetizzate e classificate all'interno dello spettro elettromagnetico, a seconda della loro lunghezza d'onda λ .

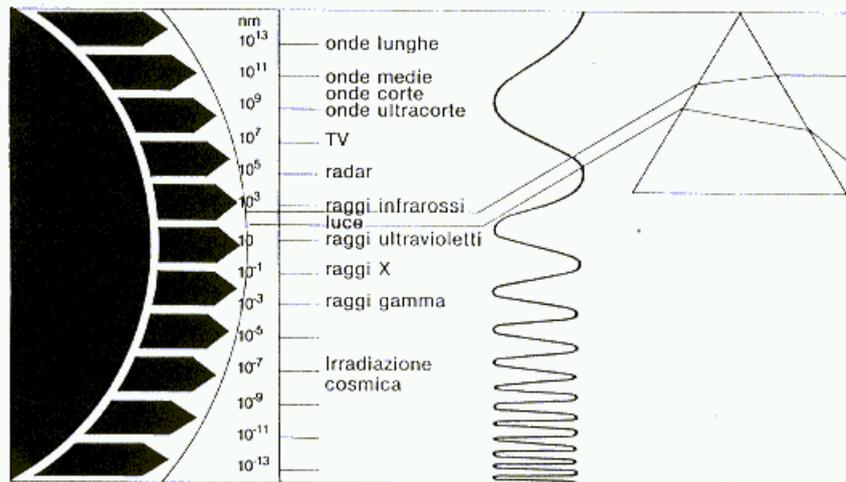


Fig. 62 Rappresentazione dello spettro elettromagnetico.

Velocità di propagazione c [m/s]: Varia a seconda del mezzo di propagazione, nel vuoto è pari a 300000 km/s (C_0). Negli altri mezzi dipende dall'indice di rifrazione n del mezzo riferito al vuoto:

$$c = \frac{C_0}{n} \quad [\text{m/s}]$$

Frequenza f [Hz]: Numero di oscillazioni complete effettuate nell'unità di tempo. È legata alle altre due grandezze descritte in precedenza tramite la relazione:

$$c_0 = \lambda \cdot f \quad [\text{m/s}]$$

3.2.1.1 Percezione della luce nel campo visibile

La luce viene percepita dall'osservatore attraverso l'organo sensoriale visivo, l'occhio umano, importante è quindi analizzare come avviene tecnicamente questo processo e quali parametri influenzano e caratterizzano la sensazione visiva. L'energia raggiante luminosa stimola l'organo sensoriale della visione determinando nel soggetto una sensazione visiva.

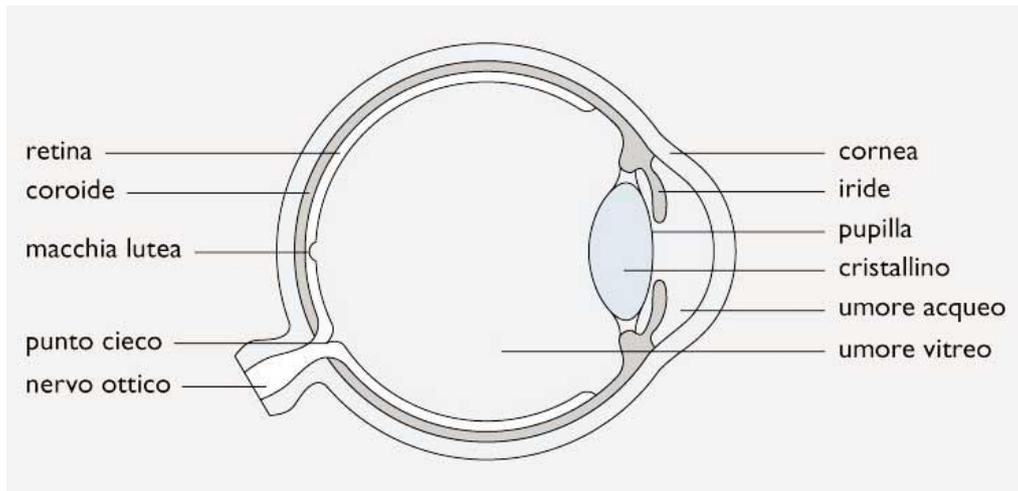


Fig. 63 Rappresentazione dell'organo sensoriale umano.

L'occhio umano è costituito da 4 componenti che sono: sistema ottico, sistema di messa a fuoco, pupilla e retina.

Il sistema ottico ha come obiettivo quello di dare una corretta definizione all'immagine ed è composto da: cornea, umore acqueo, cristallino e umore vitreo. Viene proiettata sulla retina un'immagine capovolta e rimpicciolita, attraverso il nervo ottico tale immagine viene trasmessa al cervello che ha il compito di raddrizzarla. L'occhio riceve un fascio di raggi luminosi divergenti da tutti i punti nel campo visivo. Il cristallino può essere definito come una lente biconvessa, e non fa altro che concentrare i raggi derivanti da ogni punto dell'oggetto verso punto preciso della retina, viene quindi così creata l'immagine retinica attraverso la somma dei numerosi punti immagine.

Il sistema di messa a fuoco è composto dal cristallino e da una serie di piccoli muscoli, ha lo scopo ottenere un'immagine nitida indipendentemente dalla distanza tra l'occhio e l'oggetto.

La distanza fra il cristallino e l'oggetto è irrilevante in quanto l'occhio si adatta automaticamente; questa azione prende il nome di "accomodamento". Tale processo permette di vedere con nitidezza gli oggetti a distanza maggiore di 6 metri. Quando si osservano oggetti situati a distanza minore di 6 m avviene la contrazione dei muscoli "ciliari" che portano ad un aumento della curvatura del cristallino, esso raggiunge una convessità tale da poter garantire un'immagine nitida. L'elasticità del cristallino risulta quindi determinante per ottenere una buona qualità dell'immagine. In giovane età il cristallino è molto elastico e permette di vedere nitidamente oggetti molto vicini, col passare degli anni può essere necessario l'utilizzo di lenti correttive.

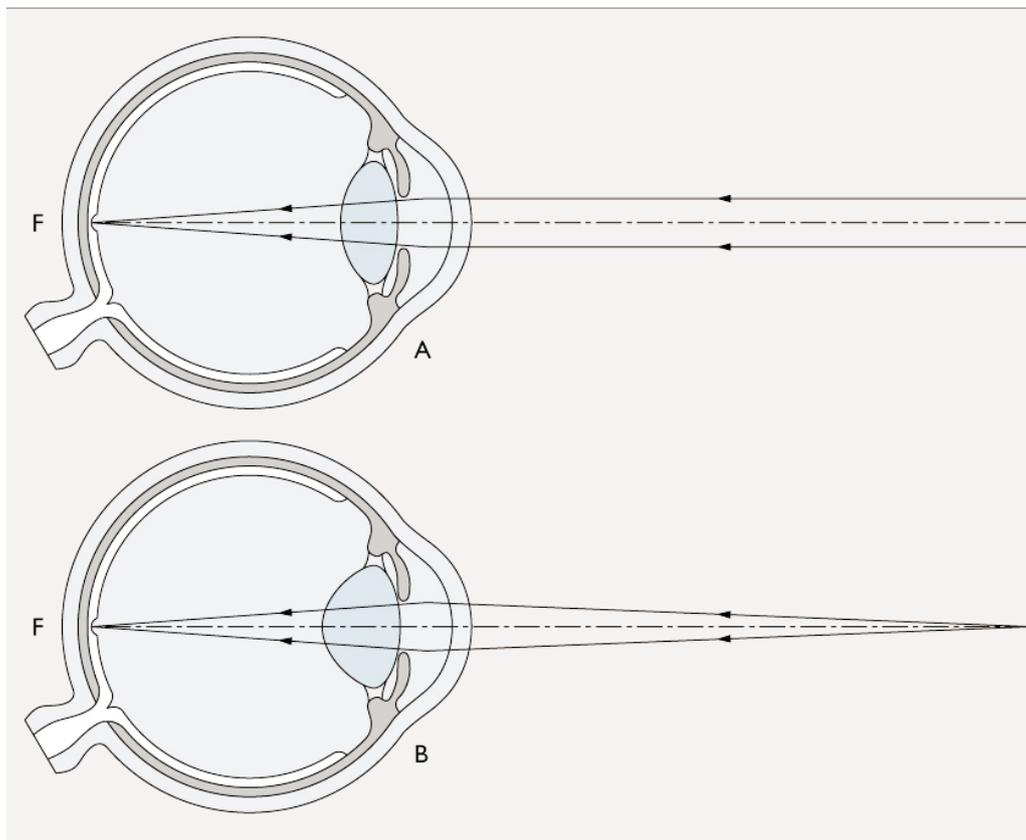


Fig. 64 Rappresentazione del sistema di messa a fuoco dell'occhio umano.

La pupilla ha il compito di regolare la quantità di luce che entra nell'occhio, varia il suo diametro dai 2 agli 8 mm grazie ai muscoli ciliari. Ad una contrazione corrisponde un eccesso di radiazione percepita, al contrario, ad una dilatazione della pupilla corrisponde una bassa percezione di luce.

La retina è costituita da un gran numero di cellule sensibili alla luce che si differenziano in: "bastoncelli" e "coni". Vengono anche chiamati organi "recettori", i coni percepiscono i colori delle radiazioni, mentre i bastoncelli la loro intensità. Gli impulsi luminosi raccolti dai coni e dai bastoncelli vengono trasmessi al cervello tramite il nervo ottico. I bastoncelli, a differenza dei coni, non sono sensibili al colore.

Entrambi possono modificare la propria sensibilità a seconda della quantità di luce percepita contribuendo così a realizzare l'adattamento dell'occhio. La disposizione dei bastoncelli e dei coni è diversa a seconda della zona della retina. La fovea, è una piccola cavità al centro della retina, in questa zona sono presenti unicamente i coni. Al di fuori di quest'area coni e bastoncelli sono disposti casualmente e la proporzione di coni diminuisce man mano che ci si allontana dalla zona centrale della retina.

In presenza di scarse condizioni di illuminazione, quindi paragonabile ad una situazione notturna, il compito della visione è affidato ai soli bastoncelli per cui la

percezione periferica è superiore a quella foveale e non si riescono ad ottenere sensazioni sul colore, in questo caso viene attribuito il nome di visione scotopica.

Se invece la quantità di luce è sufficiente si attivano anche i coni di conseguenza è possibile ottenere informazioni sui colori, questo processo riscontrabile in una normale giornata con luce diurna viene detto visione fotopica.

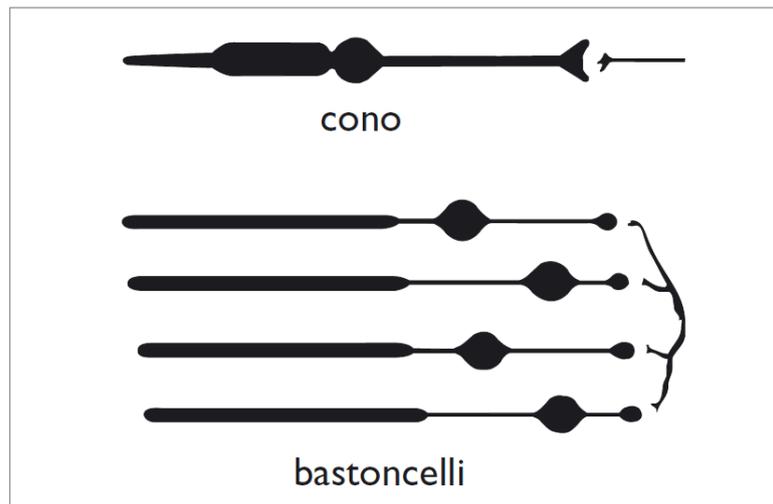


Fig. 65 "Coni" e "Bastoncelli".

L'occhio umano quindi, grazie ai suoi organi recettori percepisce la radiazione visibile nel suo campo visivo, definibile come l'estensione angolare entro la quale un oggetto può essere visto quando la testa e gli occhi sono immobili.

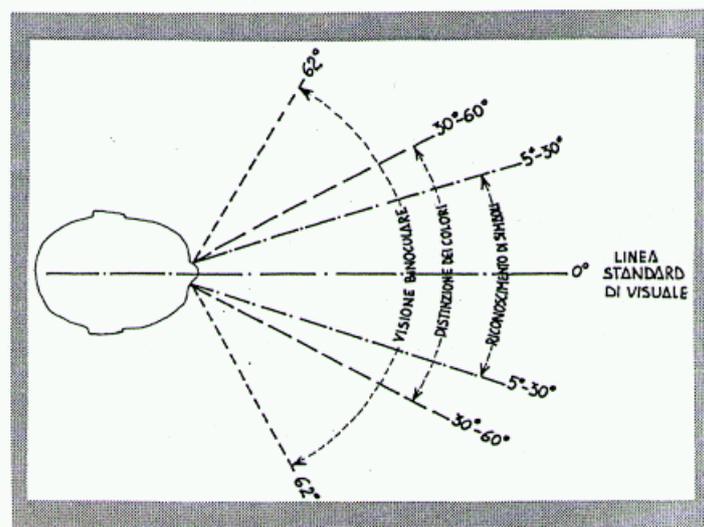


Fig. 66 Rappresentazione in sezione orizzontale del campo visivo dell'occhio umano.

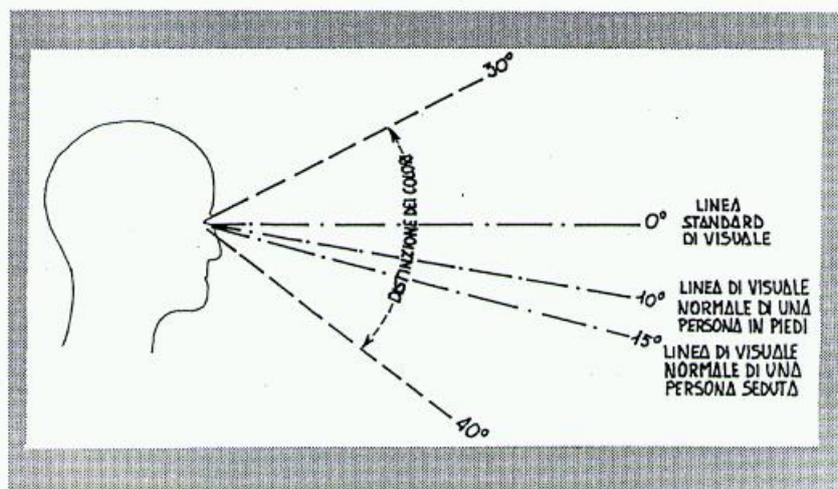


Fig. 67 Rappresentazione in sezione verticale del campo visivo dell'occhio umano.

A parità di lunghezza d'onda però, l'occhio umano non percepisce alla stessa intensità la radiazione luminosa. Esso ha la particolarità di essere più sensibile a certi tipi di radiazioni, specie quelle che hanno lunghezza d'onda prossima a 555 nm (sensibilità massima) al quale corrisponde una colorazione giallo verde, mentre alle radiazioni violette (lunghezza d'onda minima, prossima al campo ultravioletto) corrisponde una percezione dell'intensità luminosa decisamente meno accentuata.

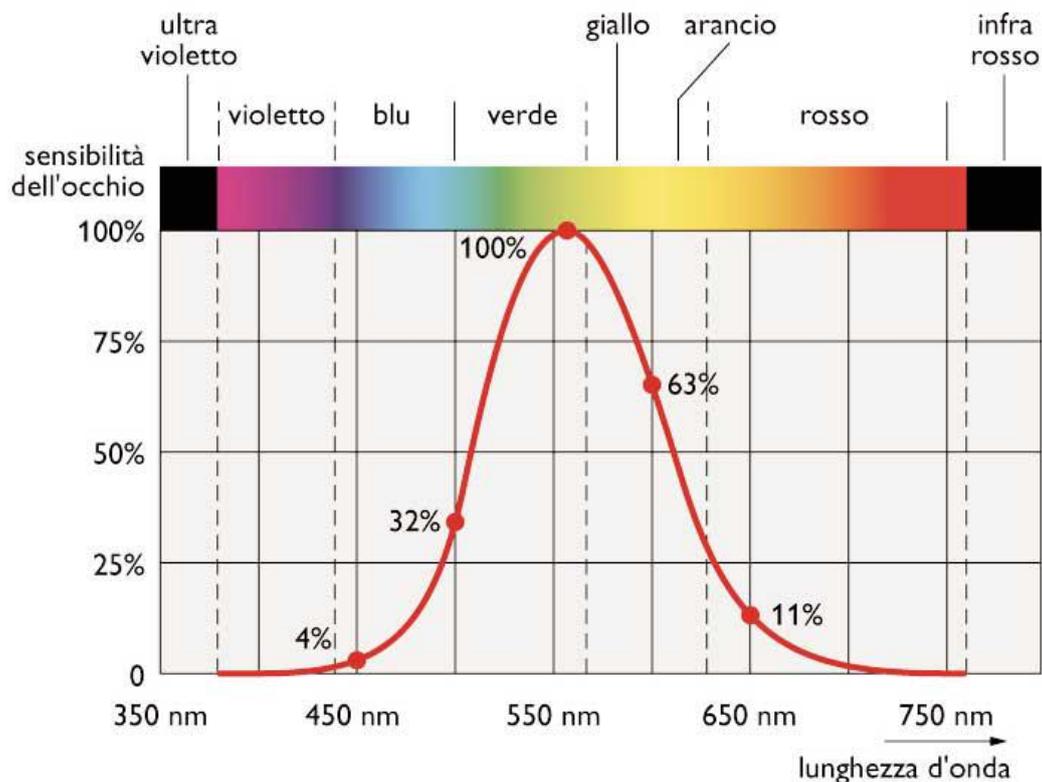


Fig. 68 Schema della sensibilità spettrale dell'occhio umano.

Considerando quindi $\lambda = 555 \text{ nm}$ come massima intensità soggettiva in visione fotopica (visione diurna) e $\lambda = 510 \text{ nm}$ come massima intensità soggettiva in visione scotopica (visione notturna) è possibile classificare le radiazioni con diverse lunghezze d'onda in base ad un coefficiente che prende il nome di “fattore di visibilità relativa $V(\lambda)$ ”.

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_{max}} \quad [-]$$

Dove $K(\lambda)$ è la lunghezza d'onda della radiazione presa in esame e K_{max} è la lunghezza d'onda massima (a seconda che ci si trovi in visione fotopica o scotopica).

Tuttavia, l'occhio non può percepire in maniera distinta e precisa ogni singola radiazione con una determinata lunghezza d'onda. Se più radiazioni con lunghezza d'onda compresa nel campo visibile colpiscono nello stesso momento l'occhio, esse danno luogo alla luce bianca, composta dalla miscelazione di varie tonalità. La luce bianca quindi, non avrà una specifica lunghezza d'onda ma dipenderà dai fasci luminosi che l'hanno generata.

3.2.2 Grandezze fotometriche

Sono grandezze fisiche derivanti dalle grandezze radiometriche, ovvero relative alla radiazione elettromagnetica, che vanno confrontate con lo spettro visibile dell'occhio umano. Alcune delle principali grandezze fotometriche sono il flusso luminoso, l'intensità luminosa, l'illuminamento, la luminanza, e la temperatura di colore correlata.

3.2.2.1 Flusso luminoso

Il **flusso luminoso** Φ_v viene definito come la quantità di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo.

La sua unità di misura è il lumen [lm], che può essere definito come il flusso luminoso emesso nell'angolo solido unitario da una sorgente puntiforme, posta al centro di una sfera di raggio unitario, di intensità luminosa pari a 1 candela.

$$\Phi_v = \frac{K_{max} (d\Phi_v(\lambda))}{(d(\lambda))} \cdot V(\lambda)d\lambda \quad [\text{lm}]$$

3.2.2.2 Intensità luminosa

L'**intensità luminosa** viene definita come il flusso luminoso (Φ) emesso da una sorgente puntiforme, per unità di angolo solido (Ω) in una determinata direzione (densità angolare del flusso).

È identificata come I e ha come unità di misura la candela [$\text{cd} = \text{lm}/\text{sr}$]:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad [\text{cd}]$$

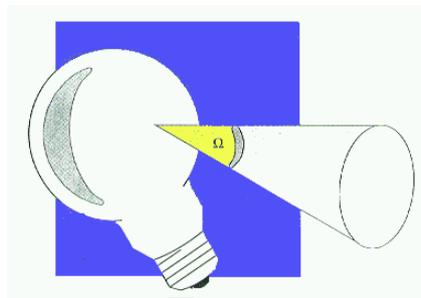


Fig. 69 Angolo solido.

Facendo riferimento a sorgenti luminose puntiformi, è necessario introdurre il concetto di solido fotometrico definibile come: “Superficie chiusa delimitata dal luogo dei punti estremi dei segmenti di lunghezza proporzionale all’intensità della sorgente nelle diverse direzioni”¹⁷.

Da questa definizione deriva un parametro fondamentale nella classificazione delle sorgenti luminose ovvero l’indicatrice di emissione: intersecando un piano verticale passante per il baricentro della sorgente luminosa con il solido fotometrico si può ottenere una curva che prende il nome di “indicatrice di emissione” e rappresenta la distribuzione dell’intensità luminosa della sorgente nel piano.

¹⁷ A. Sacchi, G. Cagliaris, *Illuminotecnica ed acustica*, Torino, UTET, 1996.

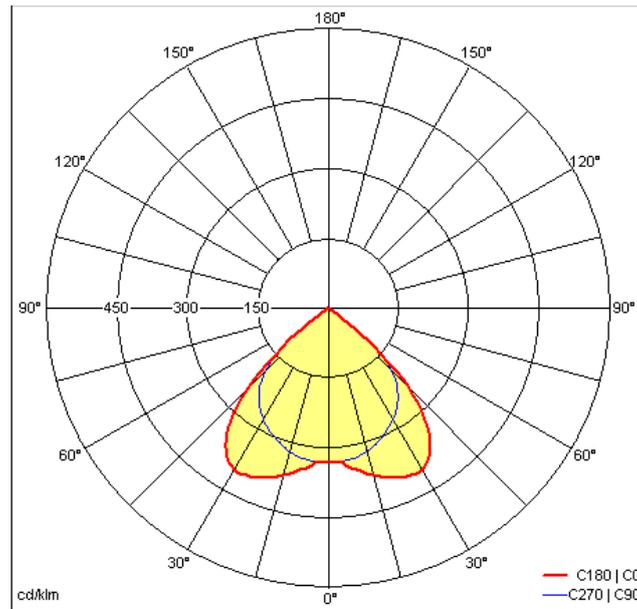


Fig. 70 Indicatrice di emissione.

Questo parametro è importante in quanto viene utilizzato in fase progettuale per decidere quali apparecchi sono più efficaci di altri in un determinato contesto, e se si desidera illuminare di più o di meno alcune particolari zone dell'ambiente.

3.2.2.3 Illuminamento

Definibile come: “Rapporto tra il flusso luminoso incidente su una superficie elementare e l'area della superficie elementare stessa”.

Viene misurata in lux [lx] ed equivale ad un flusso luminoso su unità di superficie $[\text{lm}/\text{m}^2]$ ¹⁸.

È una grandezza fondamentale in illuminotecnica in quanto utilizzata come parametro principale per la definizione di normative tecniche di illuminazione dei locali, sia in condizione di illuminazione naturale che di illuminazione artificiale.

Permette inoltre di avere una valutazione oggettiva essendo indipendente dalla posizione dell'osservatore.

¹⁸ A. Sacchi, G. Cagliaris, *Illuminotecnica ed acustica*, Torino, UTET, 1996.

Viene indicato come E ma spesso è riferito ad un locale o ad una superficie estesa per questo viene considerato un illuminamento medio E_{med} :

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad [lx]$$

3.2.2.4 Luminanza

La norma UNI EN 12464 definisce questa grandezza come: “Rapporto tra flusso luminoso emesso o riflesso da una superficie luminosa, per unità di angolo solido in una determinata direzione, e la superficie emettente proiettata su un piano perpendicolare alla direzione stessa”¹⁹.

Al contrario dell’illuminamento, la luminanza è una grandezza soggettiva poiché equivale alla quantità di luce che effettivamente raggiunge l’occhio dell’osservatore, la direzione che viene presa come riferimento è quella che va dal baricentro della superficie emettente o riflettente all’occhio dell’osservatore. La posizione dell’osservatore è quindi fondamentale e al variare di questa, è possibile capire se, e in quali punti dell’ambiente, la luminanza assume valore troppo elevati provocando abbagliamento.

Viene indicata come L e ha come unità di misura il nit che corrisponde a candele su unità di superficie [cd/m^2]:

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA \cdot \cos \alpha \cdot d\Omega} \quad \left[\frac{cd}{m^2} \right]$$

Dove Φ è il flusso luminoso emesso o riflesso dalla sorgente luminosa, Ω è l’angolo solido nella direzione dell’occhio dell’osservatore, α è l’angolo formato tra la normale della superficie luminosa e la normale della superficie emettente proiettata in direzione dell’occhio dell’osservatore.

¹⁹ A. Sacchi, G. Cagliaris, *Illuminotecnica ed acustica*, Torino, UTET, 1996.

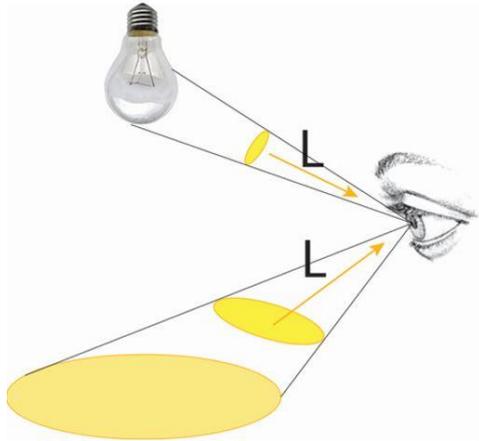


Fig. 71 Rappresentazione grafica del concetto di luminanza.

3.2.2.5 Temperatura di colore correlata

La **temperatura di colore correlata** esprime la tonalità di colore della luce paragonandola direttamente con la temperatura assoluta di un corpo nero, che irradia luce con la stessa tonalità di colore emessa dalla sorgente in esame.

La ripartizione delle radiazioni nello spettro visibile identifica il colore della luce, più precisamente la sua tonalità di colore.

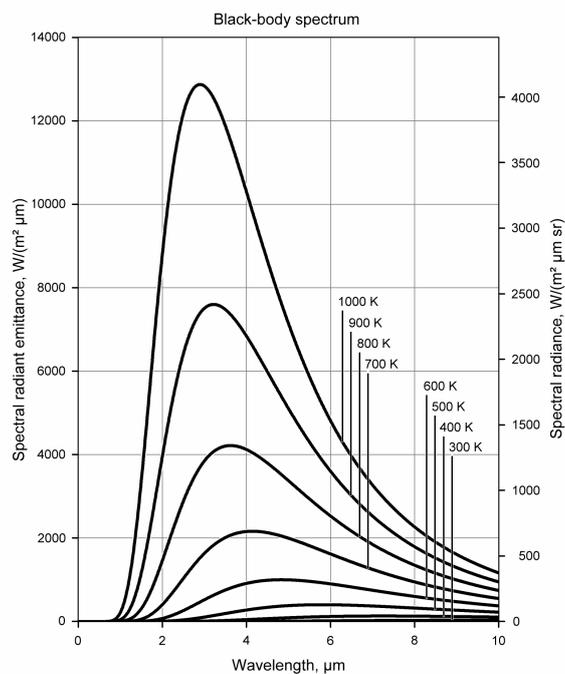


Fig. 72 Radianza spettrale del corpo nero a diverse temperature.

Per esempio, se una lampada possiede una temperatura di colore pari a 3000 K vuole dire che la luce prodotta dalla stessa ha la medesima tonalità di quella prodotta dal corpo nero una volta raggiunta la temperatura di riferimento di 3000 K.

La definizione può considerarsi valida nonostante vengano analizzati comunemente corpi che vengono detti “grigi”, simili ai corpi neri poiché presentano anch’essi uno spettro di emissione continuo, ma possiedono emissività inferiore, il corpo nero rappresenta una situazione ideale.

3.2.3 Comportamento della luce entrante in ambiente

La radiazione luminosa che incontra una superficie piana viene suddivisa in tre componenti: una parte viene assorbita, una parte viene riflessa e una parte viene trasmessa (fig. 73).

È quindi possibile andare ad individuare tre diversi coefficienti che caratterizzano le diverse superfici. Questo perché ogni superficie dipende dal materiale con cui viene realizzata che ne individua le proprietà di riflessione, trasmissione ed assorbimento.

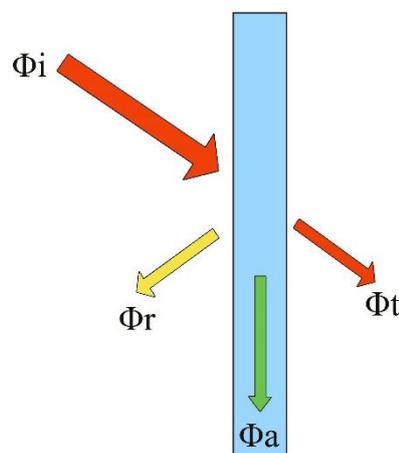


Fig. 73 Interazione luce su una superficie.

3.2.3.1 Fattore di riflessione, assorbimento e trasmissione luminosa

Le grandezze in gioco sono Φ_i ovvero il flusso luminoso incidente, Φ_r è il flusso luminoso riflesso, Φ_t è il flusso luminoso trasmesso e Φ_a è il flusso luminoso assorbito.

Il **fattore di assorbimento luminoso** α_i è dato dal rapporto fra il flusso assorbito Φ_a e il flusso luminoso incidente Φ_i .

$$\alpha_i = \frac{\Phi_a}{\Phi_i} \quad [-]$$

Il **fattore di riflessione luminosa** ρ_i è dato dal rapporto fra il flusso riflesso Φ_r e il flusso incidente Φ_i .

$$\rho_i = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad [-]$$

Il **fattore di trasmissione luminosa** τ_i è dato dal rapporto fra il flusso trasmesso Φ_t e il flusso incidente Φ_i .

$$\tau_i = \frac{\Phi_t}{\Phi_i} \quad [-]$$

I valori dei tre fattori sono adimensionali poiché ottenuti tramite rapporto fra due flussi e rappresentano una percentuale del flusso incidente.

3.2.3.2 Illuminazione naturale

Per calcolare illuminamento in un punto qualsiasi della superficie terrestre è necessario definire quali sono le fonti di radiazione luminosa. Le uniche sorgenti luminose sempre presenti sono il sole, da cui deriva la radiazione diretta, e la volta celeste.

Quest'ultima riflette parte della radiazione diretta in maniera diffusa, in parte la assorbe e in parte la trasmette. Infine, c'è da considerare la quota di riflessione del terreno, la quota assorbita e la quota che il terreno trasmette vanno disperse.

Di conseguenza, sommando queste tre quote di radiazione luminosa ovvero radiazione diretta, radiazione diffusa e radiazione riflessa dal terreno si ottiene una la cosiddetta “radiazione solare globale” che è la radiazione “di calcolo” per ottenere l’illuminamento in un punto della superficie terrestre.

L’involucro, di un qualsiasi ambiente interno che si desidera analizzare, è formato dalla somma di tutte le superfici (muri, pavimento, soffitto, superfici vetrate) che racchiudono il locale.

Viene definito **involucro opaco** la somma di tutte le superficie che racchiudono il volume del locale che non permettono, neanche in minima parte, la trasmissione della radiazione luminosa.

Viene invece definito **involucro trasparente** la somma di tutte le superfici trasparenti, ovvero le superfici vetrate presenti nel locale, che consentono la trasmissione della radiazione luminosa all’interno del locale.

È possibile calcolare l’efficienza luminosa della radiazione solare η_n come rapporto fra il flusso luminoso ed il flusso energetico:

$$\eta_n = \frac{\Phi_l}{\Phi_e} \quad [\text{lm/W}]$$

Essa dipende dall’altezza solare, da quanto è coperto il cielo, e dal contenuto di vapore acqueo in atmosfera.

Solitamente presenta valori caratteristici come in questa scala:

- Radiazione Globale – Cielo sereno: 80-115 [lm/W]
- Radiazione Globale – Cielo coperto: 100-130 [lm/W]
- Radiazione Diffusa – Cielo sereno: 110-150 [lm/W]
- Radiazione Diretta: 50-120 [lm/W]

Sapendo che il flusso energetico Φ_e equivale all’irradianza solare I (energia radiante emessa dal sole) si può ottenere il valore di illuminamento sulla superficie terrestre E secondo la relazione:

$$E = \eta_n \cdot I \quad [\text{lx}]$$

Per calcolare l’illuminamento dovuto all’illuminazione naturale in un ambiente confinato, bisogna anche fare riferimento alle condizioni della volta celeste. L’illuminamento dipende dalla luminanza della volta celeste, e quest’ultima dipende da tre fattori: posizione del sole, torbidità e condizioni metereologiche. In

base a queste considerazioni vengono redatti tre modelli di cielo che rappresentano le situazioni più plausibili della volta celeste.

Cielo sereno: quando si presenta una distribuzione della luminanza variabile in funzione della posizione del sole.

Cielo coperto a luminanza costante: quando si ha una distribuzione della luminanza uniforme. Questa situazione viene utilizzata in fase di progetto illuminotecnico in quanto è una situazione peggiorativa e prevede quindi una progettazione a favore di sicurezza.

Cielo coperto a luminanza variabile: quando si ha una distribuzione di luminanza variabile in funzione dell'angolo solare zenitale.

L'illuminamento naturale in un punto di un ambiente interno è dovuto dalle seguenti componenti di flussi luminosi:

- dal flusso luminoso, come componente diretta, dovuto alle sorgenti primarie esterne, (sole e volta celeste) indicato come Φ_d
- dal flusso luminoso, come componente riflessa, dovuto alle ostruzioni e dalle superfici esterne, (terreno, edifici adiacenti) indicato come $\Phi_{r,e}$
- dal flusso luminoso, come componente indiretta, dovuto alle riflessioni multiple che si verificano sulle superfici interne dell'ambiente, indicato come $\Phi_{r,i}$

L'illuminamento in un punto interno del locale E, sarà quindi ottenuto dalla somma degli illuminamenti dovuti alle tre componenti di flusso presenti:

$$E = E_d + E_{r,e} + E_{r,i} \quad [\text{lx}]$$

3.2.3.3 Fattore di luce diurna e fattore di luce diurna medio

$$\text{FLD} = \frac{E_i}{E_{e,h}} = \frac{E_d + E_{r,e} + E_{r,i}}{E_{e,h}} \quad [\%]$$

- E_i = Illuminamento in un punto interno all'ambiente
- $E_{e,h}$ = Illuminamento su un piano orizzontale esterno, dovuto all'intera volta celeste, escludendo il contributo della radiazione solare diretta

- SC = $E_d / E_{e, h}$ = componente diretta
- ERC = $E_{r, e} / E_{e, h}$ = componente riflessa esternamente
- IRC = $E_{r, i} / E_{e, h}$ = componente riflessa internamente

Per calcolare simultaneamente le tre componenti descritte in precedenza, si ricorre al calcolo del FLD_m , ovvero fattore di luce diurna medio.

È dato dal rapporto fra l'illuminamento medio all'interno dell'ambiente e l'illuminamento esterno:

$$FLD_m = \frac{E_{i, med}}{E_{e, h}} \quad [-]$$

- $E_{i, med}$ = Illuminamento medio all'interno dell'ambiente [lx]
- $E_{e, h}$ = Illuminamento esterno [lx]

La teoria di calcolo del FLD_m si basa sul principio di conservazione dell'energia, si può quindi dire che il flusso entrante in ambiente Φ_{en} [lm] è pari al flusso assorbito dall'ambiente Φ_a [lm].

Il **flusso entrante in ambiente** Φ_{en} [lm] è dato dal prodotto di quattro termini:

$$\Phi_{en} = E_{e, h} \cdot \mathcal{E} \cdot A_f \cdot \tau_l \quad [lm]$$

- \mathcal{E} = Fattore finestra [-]
- A_f = Area superficie vetrata netta [m²]
- τ_l = Fattore di trasmissione luminosa del vetro [-]

Il **fattore finestra** \mathcal{E} è un parametro dipendente dalla posizione e dalle dimensioni geometriche dell'infisso, oltre che dalla presenza di ostruzioni poste nel campo visivo dell'infisso che intercettano la radiazione luminosa.

Questo parametro, nel caso in cui non siano presenti ostruzioni, è dato dal rapporto fra l'illuminamento esterno sul baricentro della finestra $E_{e, f}$ [lx] e l'illuminamento esterno $E_{e, h}$ [lx]. \mathcal{E} è adimensionale e può essere differente da finestra a finestra. Nel caso di un ambiente confinato con più infissi è necessario andare a calcolare ogni fattore finestra relativo al singolo infisso.

$$\mathcal{E} = \frac{E_{e, f}}{E_{e, h}} \quad [-]$$

Il **fattore di trasmissione luminosa** τ_1 è un parametro specifico del vetro installato sulla finestra ed esprime quanta radiazione luminosa il vetro è in grado di trasmettere all'interno dell'ambiente. È un parametro fondamentale in fase di progetto, essenziale per la scelta del vetro, da cui dipende la condizione di illuminazione naturale dell'ambiente.

Con il termine A_f si intende l'area totale vetrata. La finestra tuttavia, è composta da una parte vetrata e una parte di telaio che è costruito in materiale diverso dal vetro (acciaio, legno, PVC per esempio) e quindi possiede anche un coefficiente di trasmissione luminosa differente, e sicuramente molto più basso di quello del vetro.

È quindi necessario ai fini di calcolo andare a sottrarre l'area complessiva occupata dal telaio dall'area totale della finestra per ottenere A_f .

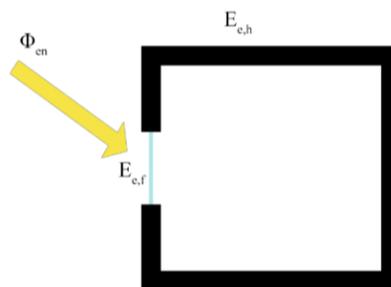


Fig. 74 Rappresentazione di un ambiente confinato con un singolo infisso, dove vengono illustrate le posizioni di calcolo degli illuminamenti $E_{e, h}$, $E_{e, f}$, rispetto ad un flusso luminoso entrante Φ_{en} .

Facendo riferimento ad un ipotetico locale di pianta quadrata con un'unica apertura sono valide le seguenti considerazioni:

$$\Phi_a = E_{i, med} \cdot \alpha_{l, m} \cdot A_{tot} \quad [lm]$$

$$\Phi_a = E_{i, med} \cdot (1 - \rho_i) \cdot A_{tot} \quad [lm]$$

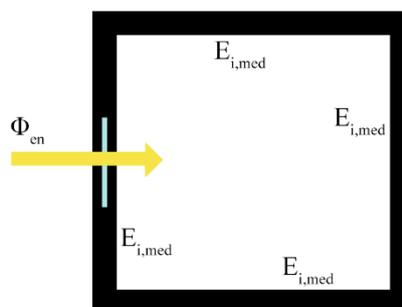


Fig. 75 Rappresentazione di un ambiente confinato con un singolo infisso: concetto di illuminamento medio $E_{i, med}$.

Il **flusso luminoso** Φ_a assorbito dall'ambiente nel momento in cui viene a contatto con le superfici interne dell'ambiente viene in parte riflesso e in parte diffuso, considerando come opache le superfici interne dell'ambiente non si ha una trasmissione luminosa di queste ($\tau_l = 0$).

Essendoci però diverse superfici con materiali differenti si avranno anche α e ρ differenti. È necessario quindi andare a calcolare un $\alpha_{l, m}$ e un $\rho_{l, m}$ che sono coefficienti medi ponderati, tengono conto della dimensione delle varie superfici assorbenti e riflettenti.

Essendo:

$$\Phi_a = \Phi_{en} = E_{e, h} \cdot \mathcal{E} \cdot A_f \cdot \tau_l \quad [\text{lm}]$$

È possibile scrivere la seguente equazione:

$$E_{e, h} \cdot \mathcal{E} \cdot A_f \cdot \tau_l = E_{i, med} \cdot (1 - \rho_{l, m}) \cdot A_{tot}$$

Di conseguenza l'illuminamento medio dell'ambiente interno $E_{i, med}$ sarà uguale a:

$$E_{i, med} = \frac{E_{e, h} \cdot \mathcal{E} \cdot A_f \cdot \tau_l}{(1 - \rho_{l, m}) \cdot A_{tot}} \quad [\text{lx}]$$

• $E_{i, med} =$	Illuminamento medio all'interno dell'ambiente	[lx]
• $\Phi_a =$	Flusso assorbito dall'ambiente	[lm]
• $\tau_l =$	Fattore di trasmissione luminosa del vetro	[-]
• $A_{tot} =$	Superficie totale dell'ambiente	[m ²]
• $\alpha_{l, m} =$	Fattore di assorbimento luminoso apparente ponderato medio dell'ambiente	[-]
• $\rho_{l, m} =$	Fattore di riflessione luminosa medio ponderato delle superfici interne dell'ambiente	[-]

Il **fattore di luce diurna medio** viene calcolato con la seguente formula:

$$\text{FLD}_m = \frac{E_{i, med}}{E_{e, h}} = \frac{E_{e, h} \cdot \mathcal{E} \cdot A_f \cdot \tau_l}{E_{e, h} \cdot (1 - \rho_{l, m}) \cdot A_{tot}} = \frac{\mathcal{E} \cdot A_f \cdot \tau_l}{(1 - \rho_{l, m}) \cdot A_{tot}} \quad [\%]$$

3.2.3.4 Fattore di luce diurna medio secondo la Normativa Italiana

Secondo la normativa italiana vigente il calcolo del fattore di luce diurna medio va fatto nel seguente modo:

$$FLD_m = \frac{A_f \cdot \tau_l}{(1 - \rho_{l,m}) \cdot A_{tot}} \cdot \varepsilon \cdot \Psi \quad [\%]$$

- A_f = Superficie vetrata netta dell'infixo [m²]
- $\rho_{l,m}$ = Fattore di riflessione luminosa medio
- ponderato delle superfici interne dell'ambiente [-]
- A_{tot} = Superficie totale dell'ambiente [m²]
- τ_l = Fattore di trasmissione luminosa del vetro [-]
- ε = Fattore finestra [-] o [%]
- Ψ = Fattore di riduzione del fattore finestra [-] o [%]

Il fattore finestra ε nel caso in cui non vi fossero ostruzioni, dipenderà unicamente dalla posizione dell'infixo e varierà nel seguente modo:

- $\varepsilon = 1$, se è posizionato su una superficie orizzontale
- $\varepsilon = 0,5$, se è posizionato su una superficie verticale

Nel caso in cui vi sia un infisso posizionato su superficie verticale e vi siano ostruzioni:

- $\varepsilon < 0,5$

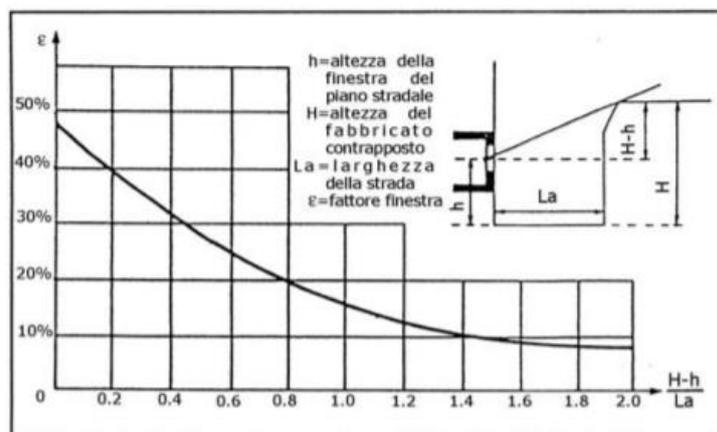


Fig. 76 Grafico per il calcolo del fattore finestra ε .

Sull'asse delle ascisse del grafico in figura soprastante è presente l'espressione $\frac{H-h}{L_a}$. Dove H [m] è l'altezza dell'ostruzione a partire dal terreno e h [m] è l'altezza calcolata dal terreno (piano stradale) al baricentro della finestra.

L_a [m] è invece la distanza dell'ostruzione dal filo esterno della finestra.

Sull'asse delle ordinate è presente il fattore finestra \mathcal{E} espresso in percentuale [%]. Nell'area del grafico è presente una curva. Per leggere il valore del fattore finestra \mathcal{E} , una volta ottenuto il valore di $\frac{H-h}{L_a}$ è opportuno traslare il valore ottenuto sulla curva e riportare il punto localizzato sull'asse delle ascisse ottenendo così il valore di \mathcal{E} della finestra analizzata. Viene introdotto un coefficiente di riduzione del fattore finestra Ψ , che tiene conto del posizionamento del filo esterno dell'infilso rispetto al vano murario ove è contenuto. Nel caso in cui la finestra sia posizionata sul filo esterno della parete, il coefficiente Ψ sarà uguale a 1 in quanto non si ha un decremento del flusso di luce entrante in ambiente e il fattore Ψ non andrà a modificare il valore di \mathcal{E} (trattandosi di un prodotto), se invece la finestra è arretrata rispetto al filo esterno della parete, l'ombra generata dal muro sulla finestra ridurrà il flusso di luce entrante, il coefficiente avrà un valore compreso tra 0 e 1 calcolabile graficamente.

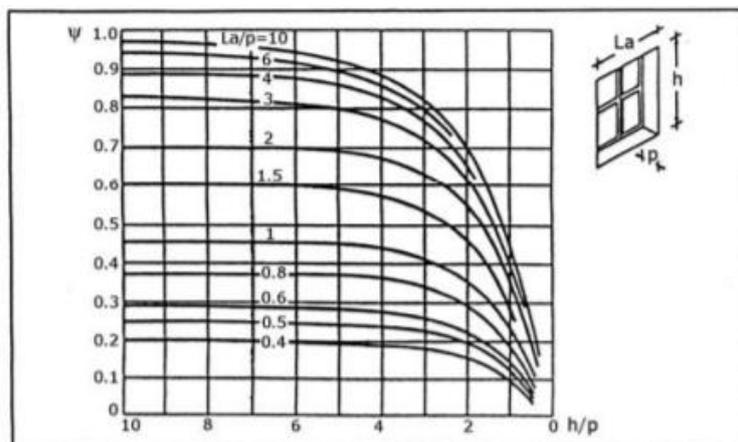


Fig. 77 Grafico per il calcolo del fattore di riduzione del fattore finestra Ψ .

Il grafico in figura (fig. 68) riporta sull'asse delle ascisse il rapporto h/p dove:

- h = Altezza della finestra [m]
- p = Distanza tra il filo esterno della finestra e il filo esterno del muro ove è posizionata [m]

Sull'asse delle ordinate è presente il valore di Ψ , e nell'area del grafico sono presenti una serie di curve dove ognuna di esse rappresenta il rapporto L_a/p dove:

- L_a = Lunghezza della finestra [m]
- p = Distanza tra il filo esterno della finestra e il filo esterno del muro ove è posizionata [m]

Dopo aver calcolato le grandezze in questione proprie del singolo infisso in analisi e ottenuti il valore sulle ordinate la curva di appartenenza, va effettuata l'intersezione di questi due valori ottenendo un punto preciso sul grafico. Riportando la posizione di tale punto sull'asse delle ascisse si ottiene il valore di Ψ .

Il **fattore di riflessione luminosa medio ponderato** delle superfici interne dell'ambiente

$\rho_{l,m}$ [-] viene calcolato tramite la media ponderata dei vari fattori di riflessione luminosa dei materiali delle superfici interne dell'ambiente.

$$\rho_{l,m} = \frac{(\rho_{l,1} \cdot A_1) + (\rho_{l,2} \cdot A_2) + \dots + (\rho_{l,n} \cdot A_n)}{(A_1 + A_2 + \dots + A_n)} \quad [-]$$

- ρ_l = fattore di riflessione luminosa del materiale [-]
- $A_{1,2,n}$ = superfici delle differenti finiture con relativo materiale [m²]

3.2.4 Criteri di progettazione ambientali illuminotecnici interni

La norma UNI EN 12464 – 1 – 2011: Luce e illuminazione dei posti di lavoro. Parte 1: Posti di lavoro in interni, fornisce alcune definizioni su parametri fondamentali per il comfort visivo nei posti di lavoro.

“La Norma UNI EN 12464 - 1 sostituisce la precedente 10380, avente come tema i requisiti illuminotecnici per i posti di lavoro in interni. In tale norma vengono analizzati i compiti visivi abituali, evidenziando le esigenze di comfort visivo e dando indicazioni sui livelli di illuminamento, uniformità e grado massimo di abbagliamento necessari alle diverse prestazioni visive, incluse quelle che comportano l'utilizzo di videoterminali.”²⁰

²⁰ Norma UNI EN 12464 – 1 – 2011: Luce e illuminazione dei posti di lavoro.

3.2.4.1 Resa del colore

Resa del colore R_a [-]: “è un indice che definisce la capacità di una lampada a restituire in modo adeguato i colori. Il valore massimo è 100 e diminuisce al diminuire della qualità della resa del colore.

Il valore minimo di tale indice è indicato in tabella per ogni compito visivo.” Il valore minimo di R_a è definito in funzione del tipo di ambiente, attività e compito. È importante al fine di garantire una situazione di comfort visivo, che le sorgenti con un indice di resa del colore inferiore a 80 non siano presenti in ambienti interni.

3.2.4.2 Luminanza

“Al fine di ottenere una corretta illuminazione è necessario soddisfare tre esigenze fondamentali, quali comfort visivo (sensazione di benessere), la prestazione visiva (svolgimento del compito anche in situazioni difficili e protratte) e la sicurezza.

Per soddisfare tali esigenze è utile considerare alcuni parametri fondamentali che caratterizzano l’ambiente luminoso: distribuzione delle luminanze: è necessario evitare contrasti di luminanze troppo elevati o troppo bassi al fine di aumentare il comfort visivo.”²¹

La distribuzione delle luminanze nel campo visivo influenza l’adattamento alla vista, la visibilità del compito e il comfort visivo.

Di conseguenza è opportuno evitare:

- luminanze molto elevate che possono causare abbagliamento;
- contrasti di luminanza elevati che provocano affaticamenti della vista a causa delle numerose variazioni di adattamento dell’occhio;
- luminanze troppo basse e contrasti di luminanza troppo bassi che possono rendere l’ambiente di lavoro poco stimolante, a volte causando sonnolenza.

Fattori di riflessione raccomandati per eseguire il calcolo delle luminanze:

- soffitto: da 0.6 a 0.9
- pareti: da 0.3 a 0.8
- piani di lavoro: da 0.2 a 0.6
- pavimento: da 0.1 a 0.5

²¹ Norma UNI EN 12464 – 1 – 2011: Luce e illuminazione dei posti di lavoro.

3.2.4.3 Illuminamento

L'illuminamento è un parametro fondamentale per la progettazione illuminotecnica, è importante che venga garantito nella zona del compito visivo e nella zona circostante. La normativa UNI EN 12464 definisce i valori raccomandati per l'illuminamento medio mantenuto. Partendo dal fatto che i lineamenti del volto umano vengono visualizzati chiaramente a 20 lux, viene impostato come primo valore per la scala degli illuminamenti raccomandati.

La scala degli illuminamenti raccomandati (in lux) è:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000

Oltre l'illuminamento nella zona del compito visivo va anche considerato l'illuminamento nelle zone immediatamente circostanti in modo che ci sia uniformità di illuminamento ed evitare spiacevoli inconvenienti come abbagliamento molesto, affaticamento alla vista. Anche la distribuzione delle luminanze all'interno del locale deve essere uniforme.

Tabella 10 Correlazione tra Illuminamento nella zona del compito e quelle immediatamente circostanti.

Illuminamento del compito visivo [lx]	Illuminamento delle zone immediatamente circostanti [lx]
= 750	500
500	300
300	200
= 200	E_{compito}
Uniformità: = 0,7	Uniformità: = 0,5

3.2.4.4 Illuminamento medio mantenuto e fattore di manutenzione

Viene introdotto il concetto di **Illuminamento medio mantenuto** E_m [lx] ovvero l'illuminamento necessario a garantire il comfort visivo su certe superfici nella zona del compito visivo, che deve sempre essere garantito. Per essere garantito, è quindi opportuno definire quale criterio viene usato per far sì che il requisito di illuminamento sia sempre soddisfatto.

Correlato al concetto di Illuminamento medio mantenuto, è il concetto di **Fattore di manutenzione M**, ovvero un coefficiente opportunamente scelto dal progettista

dovuto alla tipologia di ambiente, alla probabilità di deterioramento degli impianti e la loro manutenzione (più, o meno frequente). Viene quindi attribuito questo fattore a favore di sicurezza compreso tra 0 e 1 che andrà ad abbassare il valore dell'Illuminamento medio dell'ambiente per la verifica secondo la normativa vigente.

$$\bar{E}_m = E_{med} \cdot M \quad [lx]$$

- \bar{E}_m = Illuminamento medio mantenuto [lx]
- E_{med} = Illuminamento medio [lx]
- M = Fattore di manutenzione [-]

Tabella 11 Valori raccomandati di M a seconda delle caratteristiche del locale.

Grado di impolveramento del locale	FATTORE DI MANUTENZIONE M		
	Sorgente ad incandescenza o alogena	Sorgente a vapori di mercurio o sodio	Sorgente a vapori di alogenuri
Minimo	0,85	0,75	0,65
Medio	0,70	0,65	0,55
Elevato	0,60	0,50	0,45

3.2.4.5 Abbagliamento e abbagliamento molesto

Nel caso in cui vi siano luminanze troppo elevate causate da superfici nel campo visivo dell'utente, si può verificare una situazione di abbagliamento. A seconda dell'entità può essere percepito come molesto o debilitante.

Si ha abbagliamento diretto nel caso in cui vi sia una sorgente luminosa nel campo visivo, e abbagliamento riflesso se una o più superfici riflettenti causano abbagliamento all'utente per riflessione.

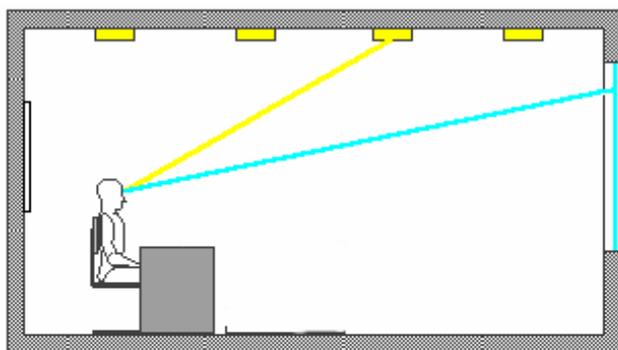


Fig. 78 Abbagliamento diretto.

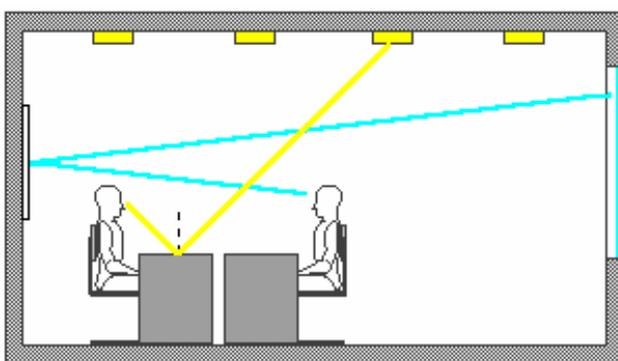


Fig. 79 Abbagliamento riflesso.

L'abbagliamento molesto va calcolato secondo i termini della norma CIE, che introduce l'indice unificato di abbagliamento **UGR (Unified Glare Rating)**:

$$UGR = 8 \log_{10} \cdot \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad [-]$$

- L_b : luminanza di sfondo, calcolata con E_{ind} per $\pi-1$, dove E_{ind} è l'illuminamento verticale indiretto al livello dell'occhio dell'osservatore [cd/m²]
- L è la luminanza, delle parti luminose di ogni apparecchio di luminoso in direzione dell'occhio dell'osservatore [cd/m²]
- ω è l'angolo solido, delle parti luminose di ogni apparecchio di illuminazione, nella direzione dell'occhio dell'osservatore [sr]
- p è l'indice di posizione di Guth, che è funzione dello scostamento angolare rispetto all'asse della visione, per ogni singolo apparecchio luminoso.

A seconda del tipo di ambiente la normativa prevede valori limiti di UGR:

Tabella 12 Valori di Ugr raccomandanti a seconda del tipo di ambiente.

	UGR	< 13	Abbagliamento inesistente o irrilevante
13 <	UGR	< 16	Applicazioni anche molto impegnative
16 <	UGR	< 19	Uffici
19 <	UGR	< 22	Applicazioni industriali
22 <	UGR	< 25	Lavorazioni grossolane; magazzini
25 <	UGR	< 28	Ambienti di transito; applicazioni con scarse esigenze
28 <	UGR		Abbagliamento elevato

3.2.4.6 Colore della luce

La Norma UNI EN 12464-1 definisce i valori di temperatura di colore correlata T_{CP} alla quale corrispondono i termini “Calda”, “Intermedia” e “Fredda” in modo tale da avere un riferimento numerico correlato al linguaggio tecnico:

- $T_{CP} < 3000$ [K]: apparenza del colore della luce “Calda”
- $3300 < T_{CP} < 5300$ [K]: apparenza del colore della luce “Intermedia”
- $T_{CP} > 5300$ [K]: apparenza del colore della luce “Fredda”

A seconda della tipologia di ambiente, il colore della luce influenza in modo più o meno favorevole la gradevolezza dell’ambiente per l’utente. È quindi compito del progettista prevedere un tipo di apparenza del colore della luce consono alla destinazione d’uso dell’ambiente progettato secondo alcune accortezze come:

- Materiale e colore delle finiture dell’ambiente
- Esposizione
- Tipologia di sorgenti luminose previste

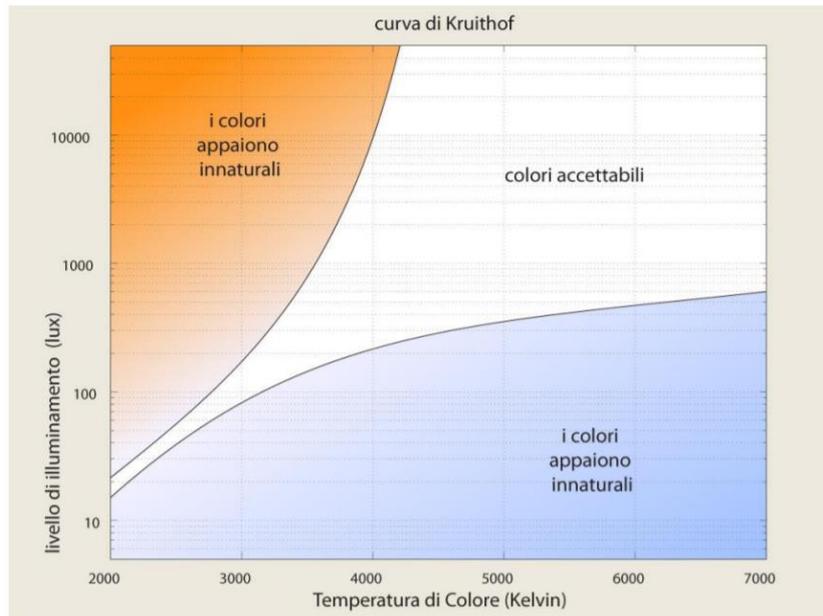


Fig. 80 Curva di Kruithof.

3.2.4.7 Illuminazione naturale nei locali scolastici

L'illuminazione naturale ha benefici sulla gradevolezza dei locali e sul benessere degli utenti, a maggior ragione quando si tratta di ambienti come quelli scolastici, frequentati da ragazzi giovani che trascorrono buona parte della loro giornata entro di essi. Uno dei vantaggi dell'illuminazione naturale è sicuramente il risparmio di energia elettrica rispetto all'illuminazione artificiale, ma ancor più importante è l'effetto che ha sul benessere di chi la percepisce.

I principali vantaggi della luce naturale sono:

- luce dinamica nel tempo
- luce stimolante e produttiva
- riconoscibilità cromatica degli ambienti

Esiste una correlazione fra la luce naturale e la salute dell'utente. L'alternarsi del giorno e della notte da cui dipende il periodo di sonno/veglia si rispecchia nel ritmo circadiano.

La luce naturale, soprattutto quella del mattino inibisce la produzione di melatonina favorendo la capacità di concentrarsi attivamente nelle ore del mattino e nel pomeriggio, orario in cui lo studente ed il professore deve essere attivo.

Questa è una delle motivazioni per il quale nelle scuole si tende sempre a massimizzare la superficie trasparente. La luce fredda del mattino favorisce la concentrazione, mentre la luce calda della sera aiuta a rilassarsi.



Fig. 81 Variazione della TCC durante l'arco della giornata.

Le Norme UNI EN 12464-1 e UNI 10840 contengono valori di FLD_m , \bar{E}_m , UGR, R_a da rispettare negli ambienti. La norma UNI 10840 fa proprio riferimento ai locali scolastici. L'illuminamento medio mantenuto viene riferito alle zone del compito. Tali zone variano in termini di altezza perciò viene stabilito un valore standard di 0,8 m per la cattedra e 0,6 m per i banchi degli studenti.

3.2.5 Riferimenti normativi

- UNI EN 12464 – 1 – 2011: Luce e illuminazione dei posti di lavoro. Parte 1: Posti di lavoro in interni.

Tabella 13 Valori di E_m , UGR_L , U_o , R_a raccomandati per le diverse tipologie di ambienti di lavoro.

Tipo di interno, mansione o attività		E_m	UGR_L	U_o	R_a
Uffici	Archivio, copisteria etc.	300	19	0,40	80
	Scrivere, leggere, scrivere a macchina, elaborazione dati	500	19	0,60	80
	Disegno tecnico	750	16	0,70	80
	Postazioni CAD	500	19	0,60	80
	Sale conferenze e riunioni	500	19	0,60	80
	Banchi reception	300	22	0,60	80
	Archivi	200	25	0,40	80
Negozi	Aree di vendita	300	22	0,40	80
	Zone casse	500	19	0,60	80
	Banchi di confezionamento	500	19	0,60	80
Aree pubbliche	Sale d'ingresso	100	22	0,40	80
	Guardaroba	200	25	0,40	80
	Sale d'attesa	200	22	0,40	80
	Casse/sportelli	300	22	0,60	80
Ristoranti e hotel	Banchi reception, portinerie	300	22	0,60	80
	Cucine	500	22	0,60	80
	Sale ristoranti, sale funzionali	-	-	-	80
	Ristoranti self service	200	22	0,40	80
	Buffet	300	22	0,60	80
	Sale conferenze (meglio con luce regolabile)	500	19	0,60	80
	Corridoi	100	25	0,40	80
Teatri, sale da concerto, cinema, sale manifestazioni	Sale prove	300	22	0,60	80
	Guardaroba	300	22	0,60	90
	Platee - manutenzione, pulizia	200	22	0,50	80
	Palcoscenici - costruzione	300	25	0,40	80
Padiglioni fieristici ed espositivi	Illuminazione generale	300	22	0,40	80
Musei	Oggetti non sensibili alla luce	secondo le esigenze espositive			
	Oggetti sensibili alla luce				
Librerie	Scaffali di libri	200	19	0,40	80
	Zone di lettura	500	19	0,60	80
	Banconi	500	19	0,60	80
Garages pubblici	Entrata/uscita veicoli (di giorno)	300	25	0,40	40
	Entrata/uscita veicoli (di notte)	75	25	0,40	40
	Passaggi veicoli	75	25	0,40	40
	Posti auto	75	-	0,40	40
	Sportelli	300	19	0,60	80

- UNI 10840-2000 Locali scolastici. Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale.

Tabella 14 Valori di E_m , UGR, U_o , R_a raccomandati per le diverse tipologie di ambienti di lavoro.

Tipo di interno, mansione o attività

Strutture didattiche		E_m	UGR _L	U_o	R_a
Scuole materne, giardini d'infanzia (prescolastici)	Sale gioco	300	22	0,40	80
	Sale presepi	300	22	0,40	80
	Sale bricolage (lavori manuali)	300	19	0,60	80
Centri didattici	Aule, sale seminari (meglio con luce regolabile)	300	19	0,60	80
	Aule per corsi serali/adulti (meglio con luce regolabile)	500	19	0,60	80
	Aule universitarie (meglio con luce regolabile)	500	19	0,60	80
	Lavagne nere, verdi o bianche	500	19	0,70	80
	Banchi dimostrativi	500	19	0,70	80
	Aule di disegno	500	19	0,60	80
	Aule di disegno in scuole d'arte	750	19	0,70	90
	Aule di disegno tecnico	750	16	0,70	80
	Aule di esercitazioni e laboratori	500	19	0,60	80
	Aule per lavori manuali	500	19	0,60	80
	Officine	500	19	0,60	80
	Aule per prove di musica	300	19	0,60	80
	Aule di computer	300	19	0,60	80
	Laboratori linguistici	300	19	0,60	80
	Officine di preparazioni	500	22	0,60	80
	Sale d'ingresso	200	22	0,40	80
	Corridoi e passaggi	100	25	0,40	80
	Scale	150	25	0,40	80
	Sale di riunioni e aree comuni per studenti	200	22	0,40	80
	Sale docenti	300	19	0,60	80
	Biblioteche: scaffali libri	200	19	0,60	80
	Biblioteche: zone di lettura	500	19	0,60	80
	Raccolte di materiale didattico	100	25	0,40	80
	Palestre, sale ginnastica, piscine	300	22	0,60	80
	Mense scolastiche	200	22	0,40	80
	Cucine	500	22	0,60	80
Strutture sanitarie					
Ambienti generici	Sale d'attesa	200	22	0,40	80
	Corridoi: di giorno	100	22	0,40	80
	Corridoi: pulizie	100	22	0,40	80
	Corridoi: di notte	50	22	0,40	80
	Corridoi multifunzionali	200	22	0,60	80
	Sale di soggiorno diurno	200	22	0,60	80

“La norma specifica i criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale delle aule e di altri locali scolastici, in modo da garantire le condizioni generali per il benessere e la sicurezza degli studenti e degli altri utenti della scuola.”²²

²² Norma UNI EN 12464 – 1 – 2011: Luce e illuminazione dei posti di lavoro.

Nella seguente tabella vengono indicati i valori di Fattore medio di luce diurna, indicato come η_m , corrispondenti ai vari ambienti ad uso scolastico.

La resa del colore è un parametro dipendente dalle sorgenti luminose utilizzate: le sorgenti ad incandescenza hanno R_a indicativamente pari a 100 che corrisponde al massimo possibile ed una percezione ideale dei colori, le lampade a fluorescenza sono caratterizzate da R_a generalmente intorno all'80, che rappresenta il limite per gli ambienti scolastici, le lampade ai vapori di sodio, hanno una resa del colore R_a pari o inferiore a 50 e non sono quindi adatte all'illuminazione dei locali scolastici. Questo tipo di lampade può essere utilizzato per l'illuminazione di esterni.

Tabella 15 Valori di η_m , raccomandati per le diverse tipologie di ambienti scolastici.

Tipo di ambiente, di compito visivo o di attività	η_m (%)
Asili nido e asili d'infanzia	
Aule giochi	≥ 5
Nido	≥ 5
Aule lavori artigianali	≥ 3
Edifici scolastici	
Aule in scuole medie superiori	≥ 3
Aule in scuole serali e per adulti	-
Sale di lettura	≥ 3
Lavagna	-
Tavolo per dimostrazioni	-
Aule educazione artistica	≥ 3
Aule educazione artistica in scuole d'arte	≥ 3
Aule per disegno tecnico	≥ 3
Aule di educazione tecnica e laboratori	≥ 3
Aule lavori artigianali	≥ 3
Laboratori di insegnamento	≥ 3
Aule di musica	≥ 3
Laboratori di informatica	≥ 3
Laboratori linguistici	≥ 3
Aule di preparazione e officine	≥ 3
Ingressi	≥ 1
Aree di circolazione e corridoi	≥ 1
Scale	≥ 1
Aule comuni e Aula Magna	≥ 2
Sale professori	≥ 2
Biblioteca: soaffali	-
Biblioteca: area di lettura	≥ 3
Magazzini materiale didattico	≥ 1
Palazzetti, palestre e piscine	≥ 2
Mensa	≥ 2
Cucina	≥ 1
Bagni	≥ 1

Purtroppo, ai giorni nostri non esiste un criterio di progettazione che permetta di massimizzare l'ingresso di luce nei locali e al tempo stesso massimizzare le prestazioni termiche dei locali stessi. Bisogna quindi trovare un compromesso tra questi due fattori. Dal punto di vista dell'illuminazione, aumentare l'area finestrata di un locale comporta vantaggi in termini di luce entrante in ambiente oltre che creare risparmio dovuto ad un minor utilizzo dell'illuminazione artificiale.

Dal punto di vista termico aumentare l'area finestrata di un locale comporta maggiori carichi termici estivi quindi maggiori costi dovuti al raffrescamento estivo, e maggiori dispersioni termiche in inverno quindi costi dovuti al riscaldamento.

Capitolo 4: Risultati delle analisi a confronto

Al termine del confronto tra i dati oggettivi rilevati in loco nelle varie aule e i dati soggettivi estrapolati dal questionario somministrato durante i rilievi, si notano diversi dettagli importanti da prendere in considerazione.

La correlazione dei dati è avvenuta principalmente attraverso l'elaborazione di determinati grafici riguardanti sia lo studio illuminotecnico e termico sia quello acustico. Grafici che permettono la visualizzazione dei diversi tipi di comfort e discomfort all'interno delle zone in cui le aule sono suddivise. In ogni zona, ogni studente reagisce in maniera differente rispetto agli altri.

Per quanto riguarda lo studio effettuato nelle aule durante la stagione estiva, quest'ultimo ha portato differenti conclusioni per ogni aula studiata.

Le conclusioni sono trattate di seguito per ogni aula sia per il comfort termico e visivo sia per quello acustico per la stagione estiva e per quella invernale.

Ogni grafico fa riferimento ad una zona dell'aula ben precisa, queste sono divise in tre fasce: prima-terza fila, fila centrale e terzultima-ultima fila. Le zone si leggono guardando sempre la cattedra, in quanto ogni fascia è suddivisa a sua volta in lato destro, sinistro e centrale.

Comfort termico

Il comfort termico si basa principalmente su due metodologie di studio: comfort adattativo per le aule non raffrescate meccanicamente (aula 4V e aula 25), e comfort stazionario per le aule dotate di un impianto meccanico di raffrescamento (aula 7I e aula 201).

Un'altra analisi effettuata all'interno delle aule mette in relazione le correnti d'aria percepite dagli studenti nelle varie zone dell'aula con i dati della velocità dell'aria oggettivi rilevati sul campo.

Inoltre, verranno analizzati i grafici della sensazione termica e del comfort termico sia per le varie zone, nel caso qualcuna di queste dovesse essere rilevante, sia in termini complessivi di tutta l'aula.

4.1 Aula 4V

L'aula 4V, situata all'interno della sede del Politecnico di Torino presso il Castello del Valentino, è stata analizzata durante il periodo estivo il giorno 11/06/2019 alle ore 15:30, mentre per il periodo invernale il giorno 13/11/2019 alle ore 12:50.

Prima di iniziare il rilievo dei dati termici, illuminotecnici e acustici sono stati organizzati i punti fondamentali di interesse per l'acquisizione dei dati. La disposizione dei punti per il rilievo non è stata casuale come abbiamo già detto precedentemente, ma è stata studiata in modo accurato. Si è deciso di selezionare i punti di rilievo per fasce all'interno dell'aula in modo tale da avere nella stessa fascia più misurazioni in punti diversi.

Le fasce in rosso sono localizzate in tre zone dell'aula, all'inizio, al centro e alla fine dell'aula.

Come si può notare, se si prendessero in considerazione i punti 1, 2, 3 posti nella stessa fascia, all'inizio dell'aula, rappresentata dal rettangolo rosso, si nota che:

- il punto 1 è situato a fianco della finestra (verso Nord)
- il punto 2 è posto sul corridoio
- il punto 3 situato nell'altra zona dove è posta l'altra fila di banchi (verso Sud)

Questo permette di avere un controllo uniforme di tutta la fascia sia oggettivamente che soggettivamente parlando.

Anche per la zona centrale posta nella fascia rettangolare blu si è utilizzato la stessa tecnica in modo tale da avere un controllo uniforme per tutta la lunghezza dell'aula, dall'ingresso posto lato segreteria didattica (verso Est) fino alla cattedra (verso Ovest).

In contemporanea all'acquisizione dei dati termici, illuminotecnici ed acustici presi su ogni superficie interessata, è stato somministrato il questionario atto a comprendere le sensazioni di benessere soggettive dell'individuo in quell'istante. L'aula come descritta in precedenza per quanto riguarda la parte metrica, durante il rilievo era occupata da studenti per circa il 25% per la stagione estiva e circa il 50% per la stagione invernale. L'aula presenta un sistema di radiatori posti al di sotto delle finestre, la ventilazione invece è naturale.

Durante il rilievo dei dati estivi l'aula presentava quattro finestre aperte, le porte chiuse ed i radiatori spenti, mentre durante i rilievi invernali all'interno dell'aula sia le finestre sia le porte erano chiuse ed i radiatori accesi.

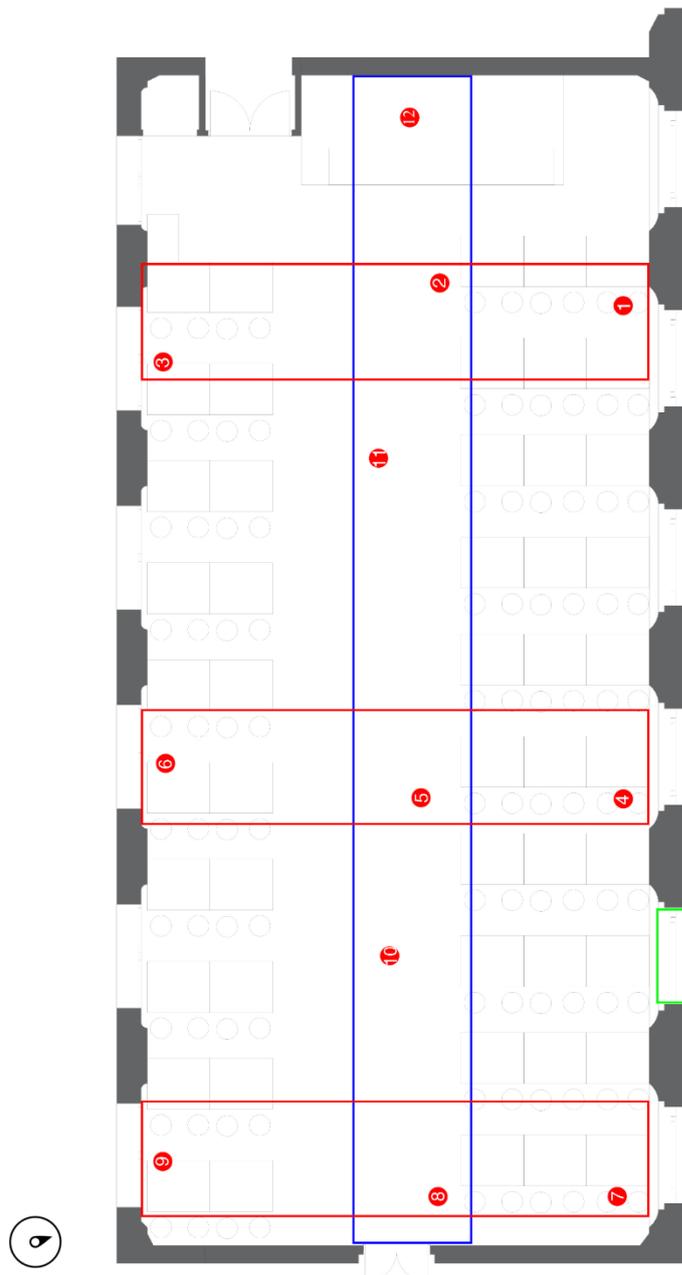


Fig. 82 Pianta aula 4V con in rosso i punti di rilievo termico.

4.1.1 Stagione estiva

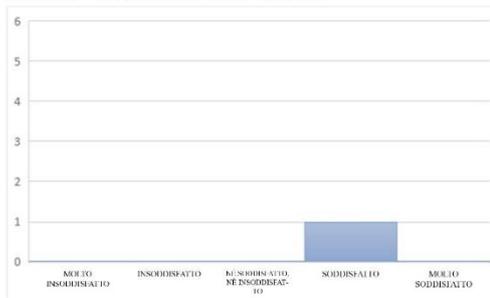
4.1.1.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

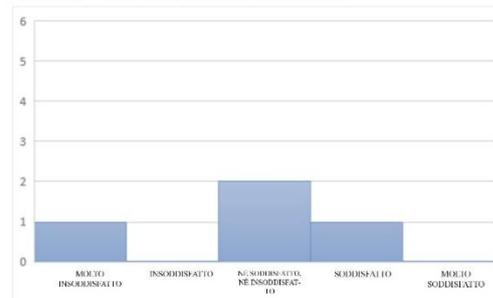
“Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?”

Qualità comfort termico percepita

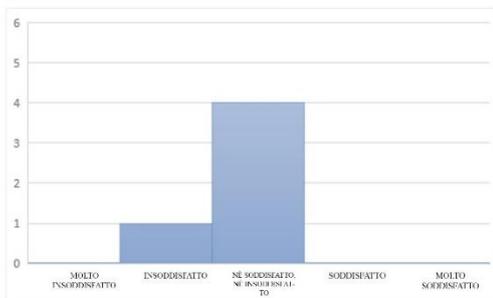
Prima - terza fila lato destro



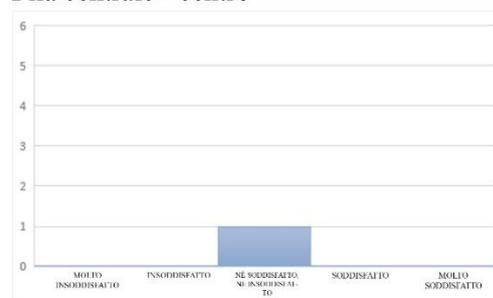
Prima - terza fila lato sinistro



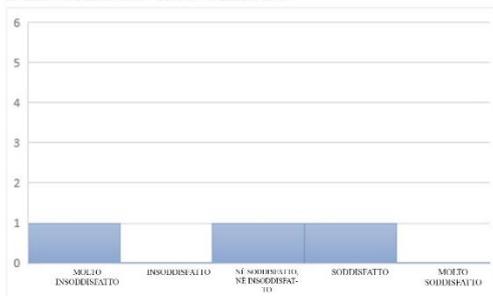
Fila centrale lato destro



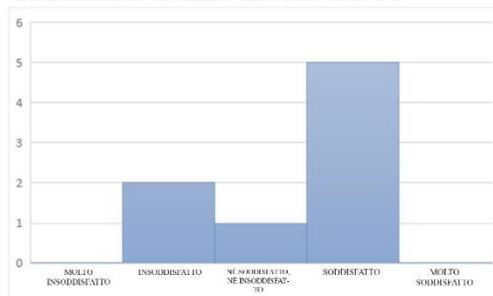
Fila centrale - centro



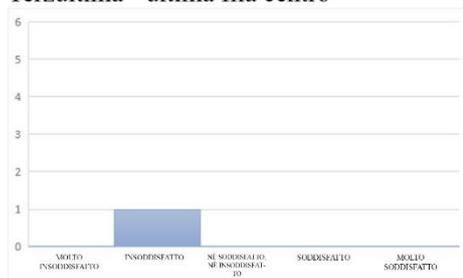
Fila centrale lato sinistro



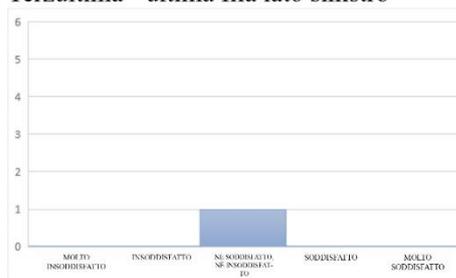
Terzultima - ultima fila lato destro



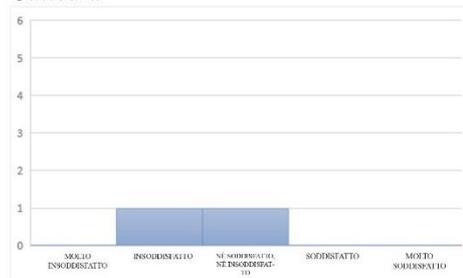
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



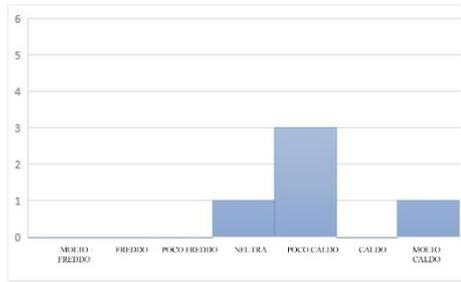
Come si può notare dai grafici, la zona con più variazione di risposte e dunque maggiormente analizzabile è la terzultima-ultima fila lato destro.

In questa zona la finestra presente di fianco ai banchi era aperta e per questo motivo, anche se le condizioni interne erano indirizzate verso delle sensazioni termiche di caldo, gli individui provavano delle sensazioni maggiormente soddisfacenti. Questo è dovuto all'aria a temperatura più bassa proveniente dall'esterno che influenza le caratteristiche climatiche della zona.

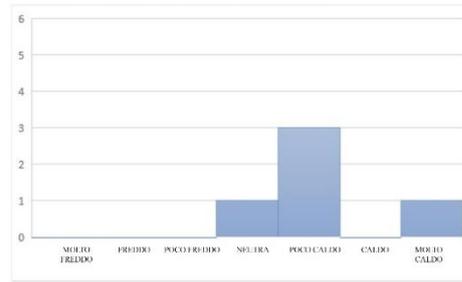
“Qual è la sensazione termica all’interno dell’aula?”

Sensazione termica percepita

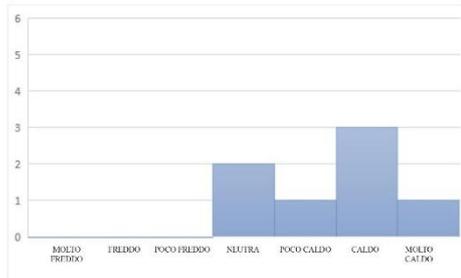
Prima - terza fila lato destro



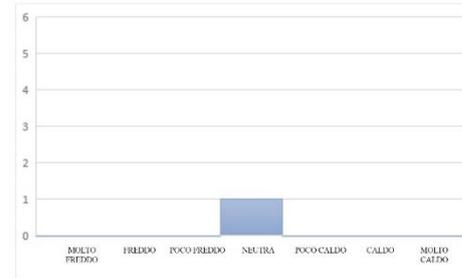
Prima - terza fila lato sinistro



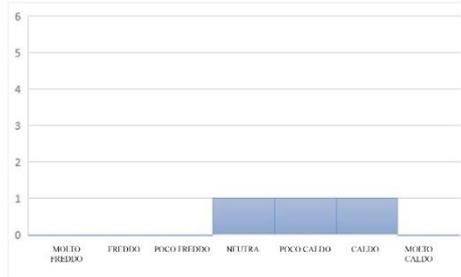
Fila centrale lato destro



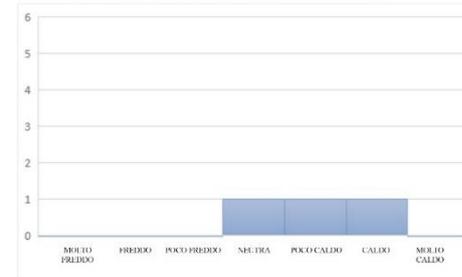
Fila centrale - centro



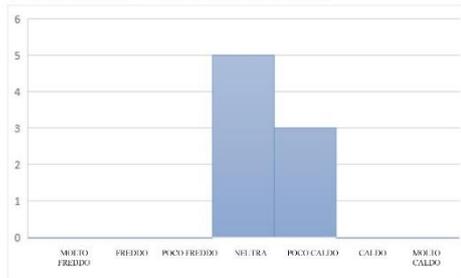
Fila centrale lato sinistro



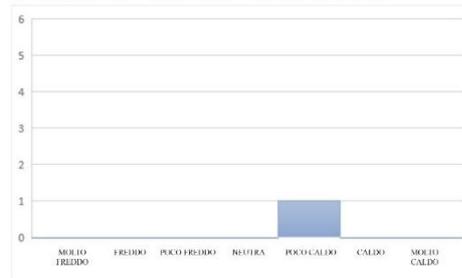
Terzultima - ultima fila lato destro



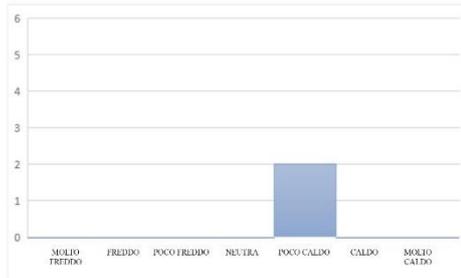
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



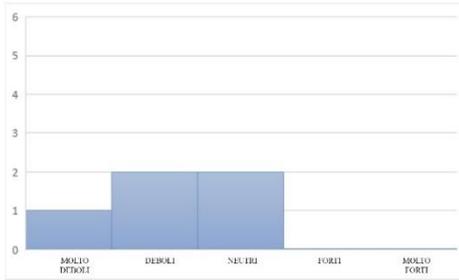
Analizzando i grafici sovrastanti, si nota come la maggior parte degli individui presenti all'interno dell'aula abbia risposto alla domanda "Qual'è la sensazione termica all'interno dell'aula?" in modo molto uniforme e con una risposta orientata verso la sensazione di caldo.

Questo fattore, se si analizzano contemporaneamente i dati soggettivi e quelli oggettivi rilevati (tabella 16), è influenzato molto dal vestiario degli individui. Vestiario non adatto alla stagione e dunque che ne provoca sensazioni alterate. Tuttavia, è da considerarsi anche l'attività svolta durante il momento del rilievo, in quanto tutti gli studenti stavano svolgendo un test ed è buona consuetudine l'utilizzo di un vestiario consono alla prova.

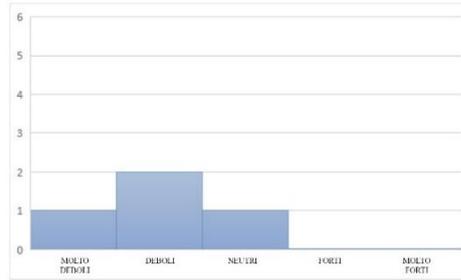
“Come percepisci i movimenti d’aria?”

Flussi d’aria percepiti

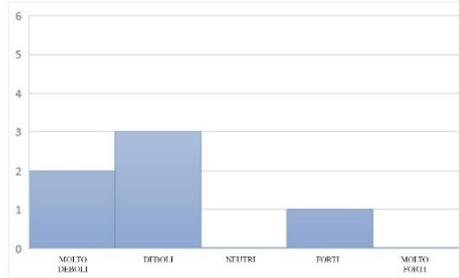
Prima - terza fila lato destro



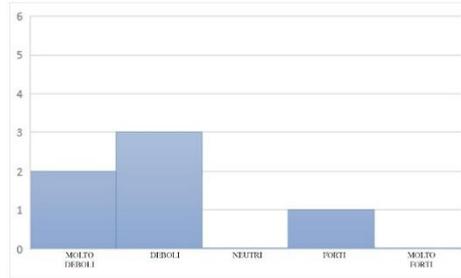
Prima - terza fila lato sinistro



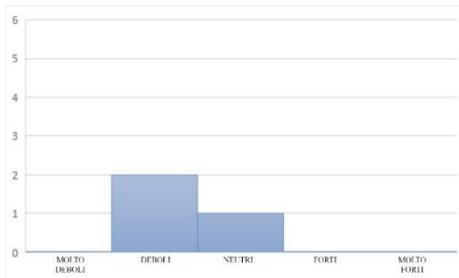
Fila centrale lato destro



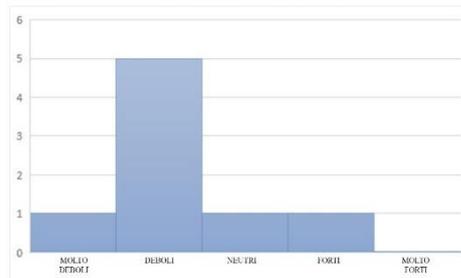
Fila centrale - centro



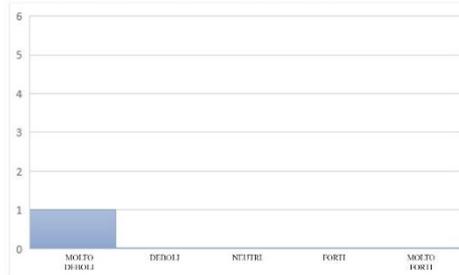
Fila centrale lato sinistro



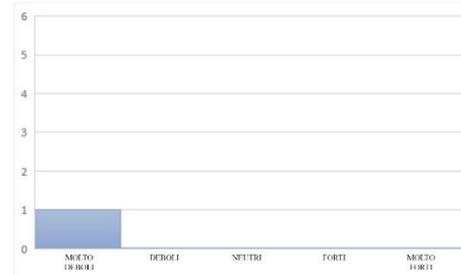
Terzultima - ultima fila lato destro



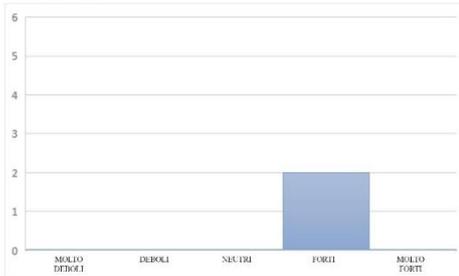
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Tenendo in considerazione i valori dei dati termici rilevati (vedi tabella 16) e le condizioni interne dell'aula (prima ed ultima finestra lato Nord aperte), si spiegano i dati estrapolati dal questionario in questo modo: i grafici inerenti al lato destro dell'aula tendono ad avere una maggioranza di risposte “deboli” e “molto deboli” anche se la velocità dell'aria rilevata presentava dei valori abbastanza alti.

Questo non vuol dire che non ci sia correlazione di risposte, ma che gli studenti hanno attribuito quella data velocità d'aria secondo le loro sensazioni di percezione e di sensibilità riferiti a questo fattore.

4.1.1.2 Analisi oggettive

COMFORT TERMICO	Condizioni esterne	T_a [°C]	V_a [m/s]	V_a [m/s] ingresso fin.	U.R. [%]
	Nuvoloso	23.7	0.5	0.8	66

I dati qui di seguito esposti fanno riferimento al rilievo termico ed illuminotecnico eseguito all'interno dell'aula. Per quanto riguarda la tabella 16, i dati rilevati si fermano al parametro U.R (umidità relativa), mentre i dati CLO, MET, PMV e DRAFT RISK sono stati calcolati secondo le loro rispettive equazioni (vedi capitolo 3).

Tabella 16 Dati termici estivi rilevati in aula 4V.

PUNTO DI MISURA	ORARIO	Ta(°C)	POSIZIONE SONDA	Tpr (°C)	Tmr punto (°C)	To (°C)	Va (m/s) 5s	Va(m/s)3m	Dev Va (m/s) 5s	Dev Va (m/s) 3m	U.R %	CLO	MET	PMV	DRAFT RISK	
1	15:30	25.2	SINISTRA (A)	25.7	25.8	25.5	0.08	0.09	0.01	0.03	54	T-Shirt	0.09	1.20	0.15	0.01
			DESTRA (B)	26.6								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.4								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.7								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.6								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	26.6									0.42			
2	15:39	25.3	SINISTRA (A)	25.7	25.4	25.4	0.10	0.12	0.03	0.12	53	T-Shirt	0.09	1.20	0.07	0.03
			DESTRA (B)	25.5								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.4								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.4								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.8								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.8									0.42			
3	15:45	24.9	SINISTRA (A)	25.2	25.4	25.2	0.05	0.07	0.03	0.06	59	T-Shirt	0.09	1.20	0.03	0.01
			DESTRA (B)	25.8								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.5								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.4								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.9								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.6									0.42			
4	15:56	25.4	SINISTRA (A)	25.5	25.4	25.4	0.02	0.07	0.02	0.04	53	T-Shirt	0.09	1.20	0.59	0.00
			DESTRA (B)	26.0								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.4								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.3								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	23.8								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	26.2								Felpa	0.28			
5	16:02	25.4	SINISTRA (A)	25.4	25.5	25.5	0.15	0.15	0.07	0.12	53	T-Shirt	0.09	1.20	0.03	0.04
			DESTRA (B)	25.5								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.7								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	26.0								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.6								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.6									0.42			
6	16:08	25.3	SINISTRA (A)	25.3	25.5	25.4	0.09	0.09	0.01	0.05	52	T-Shirt	0.09	1.20	-0.33	0.01
			DESTRA (B)	25.8								Pantalascino	0.06			
			BACK (A)	25.8								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.5								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	25.0								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.5									0.23			
7	16:18	24.8	SINISTRA (A)	26.3	25.7	25.2	0.01	0.17	0.03	0.14	59	T-Shirt	0.09	1.20	-0.09	0.06
			DESTRA (B)	24.6								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.1								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	27.3								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.9								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.7									0.42			
8	16:23	25.4	SINISTRA (A)	25.4	25.4	25.4	0.11	0.09	0.05	0.04	60	T-Shirt	0.09	1.20	0.17	0.01
			DESTRA (B)	25.8								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.4								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.2								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.6								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.9									0.42			
9	16:30	24.7	SINISTRA (A)	25.0	25.2	25.0	0.04	0.04	0.30	0.03	52	T-Shirt	0.09	1.20	-0.04	0.00
			DESTRA (B)	25.4								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.1								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.5								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.8								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.5									0.42			
10	16:35	25.3	SINISTRA (A)	25.2	25.2	25.3	0.10	0.15	0.06	0.08	55	T-Shirt	0.09	1.20	-0.01	0.03
			DESTRA (B)	25.4								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.3								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.5								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.3								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.4									0.42			
11	15:45	25.2	SINISTRA (A)	25.8	25.6	25.4	0.10	0.13	0.05	0.06	64	T-Shirt	0.09	1.20	0.16	0.02
			DESTRA (B)	25.4								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	26.1								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.5								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.7								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.7									0.42			
12	16:50	25.8	SINISTRA (A)	25.7	25.5	25.8	0.03	0.08	0.06	0.07	54	Camicia	0.20	1.60	0.91	0.01
			DESTRA (B)	25.7								Pantalone	0.25			
			BACK (A)	25.0								Miranda	0.04			
			FRONT (B)	25.9								Calzini	0.02			
			PAVIMENTO (A)	24.7								Scarpe	0.02			
			SOFFITTO (B)	25.9									0.53			
MEDIA		25.2			25.5	25.3	0.07	0.10	0.06	0.07	55.7		0.14	0.02		

Analizzando i dati termici rilevati nell'aula 4V, si nota come determinati parametri abbiano dei valori molto costanti per tutti i punti di rilievo, tranne qualche punto d'eccezione.

Se si prende in considerazione la velocità dell'aria, si osserva che nei punti 2, 5, 7, 10, 11 il valore relativo a questa risulta abbastanza alto rispetto alla media ottenuta. Questo fenomeno è dovuto principalmente alle condizioni interne dell'aula durante il rilievo: finestre aperte in corrispondenza dei punti 1 e 7 (vedi fig. 82), che dunque creano delle correnti d'aria ma un draft risk basso essendo durante la stagione estiva.

Un altro parametro da analizzare è il PMV: dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool. Nei punti 4, 6 e 12 il PMV ha dei valori molto distanti dallo 0 (valore neutro).

Nel punto 4 il PMV è 0,59, valore che tende a una sensazione termica più calda. Questo fattore è influenzato dal CLO, in quanto lo studente che prova questa sensazione risulta avere un vestiario pesante rispetto alla stagione. Lo stesso avviene per il punto 6 ma in modo opposto.

Nel punto 12 invece il PMV è 0,91. Anche se il CLO risulta essere più basso rispetto ai punti spiegati in precedenza, in questo caso i fattori influenzanti sono il MET (attività metabolica svolta) e la temperatura dell'aria in quel punto (valore più alto rispetto agli altri punti). Se l'individuo presente nel punto 12 avesse svolto un'attività sedentaria, il suo PMV (considerando fissi gli altri parametri) avrebbe avuto un valore pari a 0,38²³.

²³ Dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool.

4.1.1.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Aula 4V: ambiente in cui è presente un impianto di riscaldamento ma è assente quello di raffreddamento. Per poter trarre delle conclusioni sulla parte termica si è utilizzato il metodo del comfort adattativo già precedentemente descritto nel paragrafo 3.1.7.

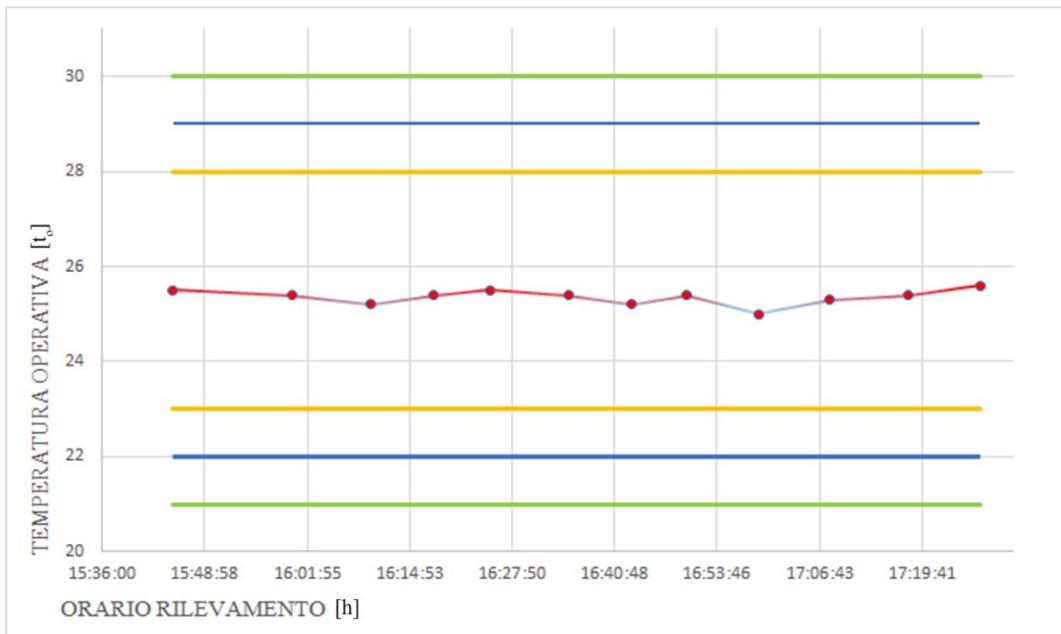


Fig. 83 Comfort adattativo: correlazione tra la temperatura operativa e l'orario di rilievo.

Il primo grafico (fig. 83) spiega il comfort termico adattativo. Il grafico è strutturato in modo da avere dei limiti inferiori e superiori, calcolati attraverso un'equazione che tiene conto della temperatura media giornaliera dei sette giorni precedenti al rilievo (vedi paragrafo 3.1.7). I limiti sono rappresentati nel grafico attraverso tre colori: verde per la categoria III, blu per la categoria II e giallo per la categoria I.

Sull'asse delle ascisse (x) è posto l'orario del rilievo mentre sull'asse delle ordinate (y) le temperature operative interne all'aula.

I pallini in rosso collegati dalla linea spezzata rappresentano le temperature operative in determinate ore della giornata.

Questi punti, anche se rilevati all'interno di una fascia orario molto stretta, rientrano tutti all'interno degli intervalli limite. Attraverso dunque questo grafico, si può notare che l'aula anche se non raffrescata meccanicamente e dunque sottoposta ad aerazione naturale, presenta la maggior parte delle zone in cui sono state rilevate le temperature operative in perfetto comfort.

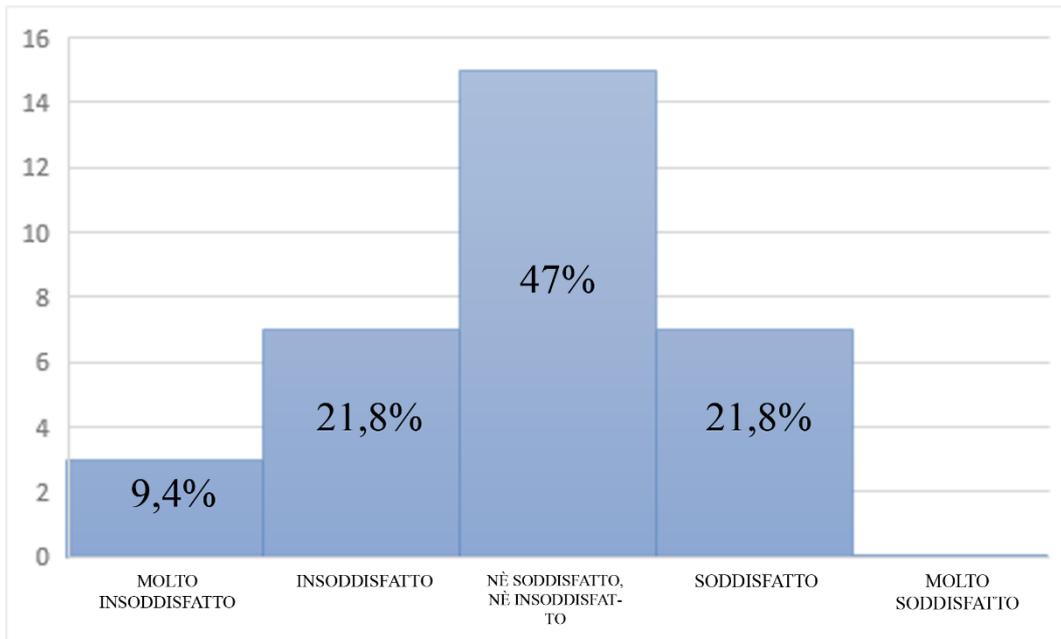


Fig. 84 Grafico istogramma: condizioni complessive della qualità del comfort termico.

Gli studenti, attraverso il questionario, hanno espresso la loro sensazione sulle condizioni di comfort termico. Il grafico soprastante (fig. 84) esprime tutte le risposte degli studenti attraverso una scala di soddisfazione a cinque valori, in cui la risposta neutra: “né soddisfatto, né insoddisfatto” prevale rispetto alle altre.

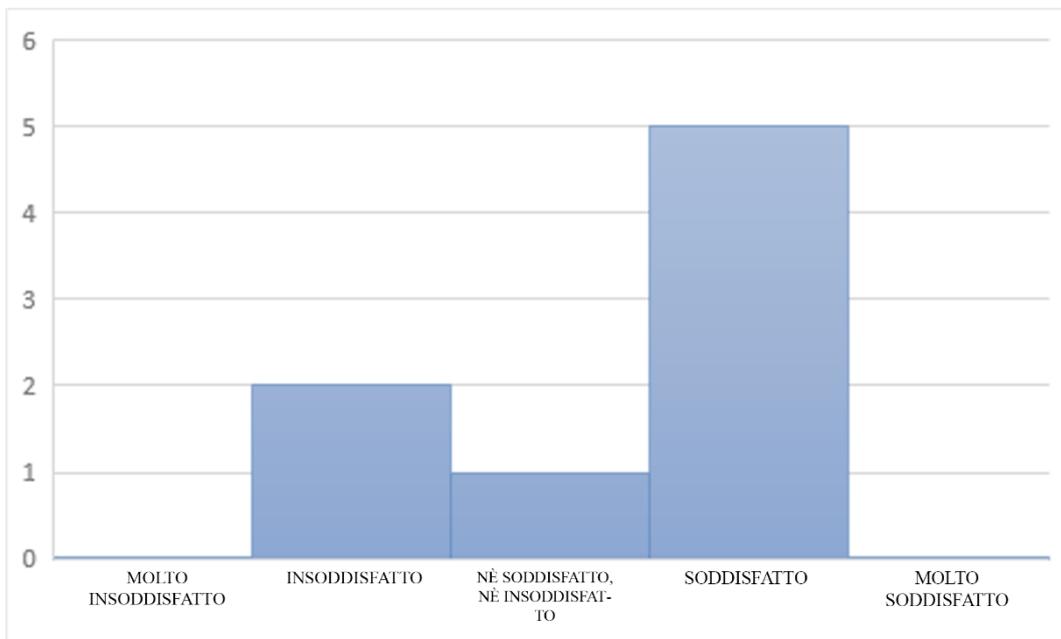


Fig. 85 Qualità del comfort termico: terzultima-ultima fila lato destro.

La figura 85 mostra una delle zone più soddisfacenti a livello di qualità del comfort termico. Questa sensazione potrebbe essere dovuta alla presenza della finestra aperta, posta in corrispondenza della zona di rilievo.

Alcuni studenti sono invece in una situazione di discomfort, questo perché ogni singola persona percepisce in modo differente la qualità del comfort termico. Questo è dovuto principalmente ad una tipologia di vestiario inadatto alle condizioni stagionali.

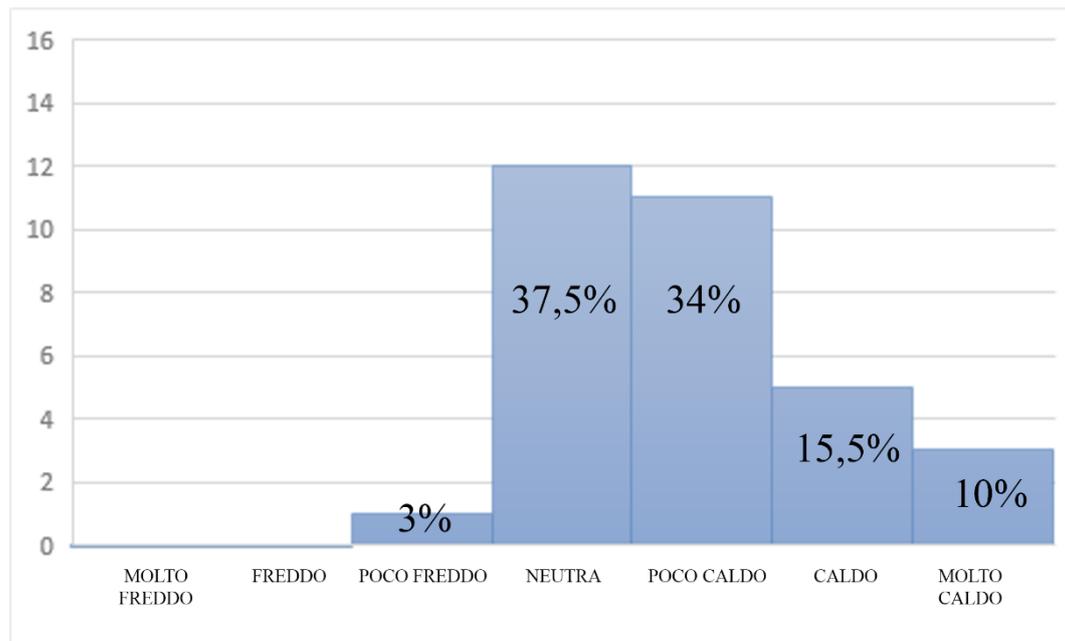


Fig. 86 Grafico istogramma: condizioni complessive della sensazione termica percepita.

La sensazione termica è un altro parametro molto importante all'interno dello studio termico di un'aula. Le risposte estrapolate dal questionario e rappresentate nel grafico soprastante (fig. 86) risultano per lo più essere: "neutra" e "poco caldo". Queste sensazioni sono dovute alle condizioni termiche interne all'aula, che come rappresentato precedentemente si trova in una condizione di comfort.

Un fattore molto importante da tenere in considerazione è la velocità dell'aria. Questa a seconda se ci troviamo nella stagione estiva o invernale può portare rispettivamente ad un miglioramento del comfort termico o addirittura aumentarne il discomfort.

All'interno dell'aula gli studenti percepiscono per lo più un movimento d'aria debole (vedi fig. 87). Analizzando nel dettaglio le varie zone e i vari dati rilevati durante il rilievo, si può notare come nel punto di rilievo 7 (vedi allegato A: Tavola comfort termico 4V estivo) si ha una velocità dell'aria pari a 0,17 m/s, che però dagli studenti è stata percepita come debole all'interno del questionario (vedi fig. 88).

Per una persona quantificare la velocità di una corrente d'aria è molto difficile in quanto sono dei flussi molto deboli, difficilmente paragonabili ad un valore numerico.

Nel caso dell'aula 4V si è riuscito ad associare una risposta soggettiva sui movimenti d'aria ad un valore oggettivo numerico rilevato.

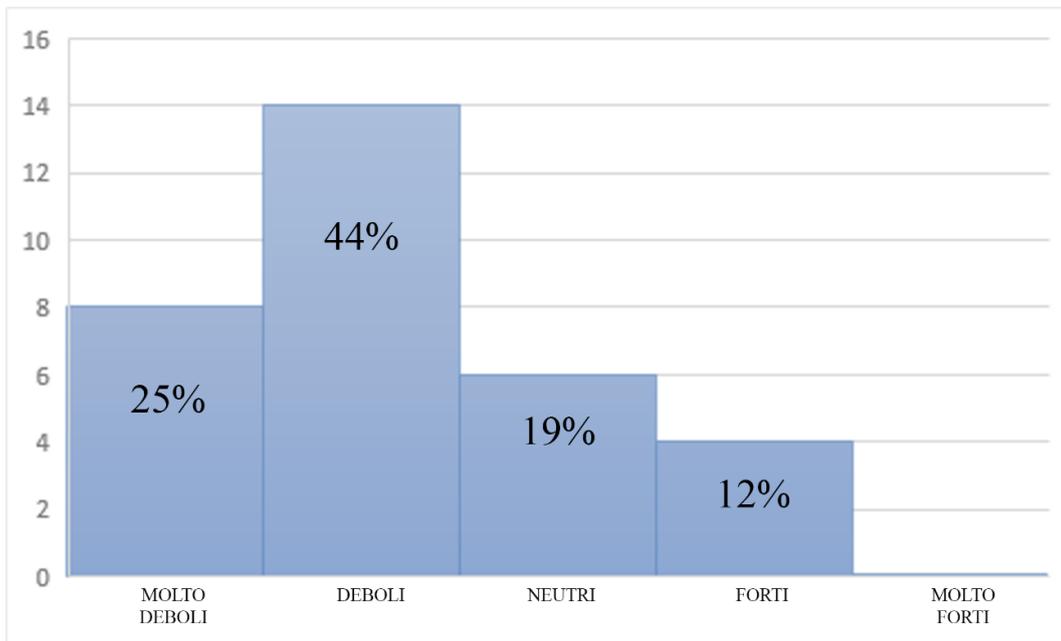


Fig. 87 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.

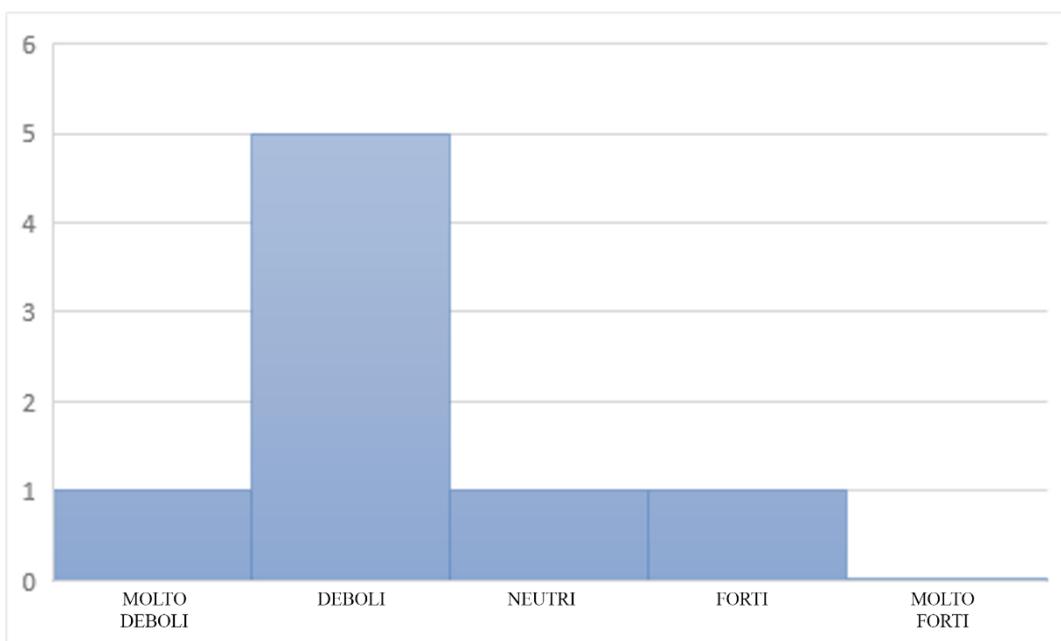


Fig. 88 Terzultima-ultima fila lato destro: correnti d'aria percepite.

L'analisi delle risposte sulle correnti d'aria ha generato un'altra correlazione tra le correnti d'aria percepite dagli studenti (convertite attraverso una scala numerica di valori da -1 a 1 con intervalli di 0.5) e la velocità dell'aria rilevata in aula con gli appositi strumenti.

Dal grafico sottostante si nota come si discostano dalla linea di tendenza solamente 4 punti che equivalgono alle zone terzultima-ultima fila lato destro e prima-terza fila lato sinistro.

Questa variazione di valori durante il periodo estivo genera una situazione di comfort maggiore. Ciò lo si può notare maggiormente attraverso il grafico sulla qualità del comfort termico della zona terzultima-ultima fila lato destro (fig. 85) in cui la percentuale di soddisfatti è maggiore rispetto alle altre zone dell'aula.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

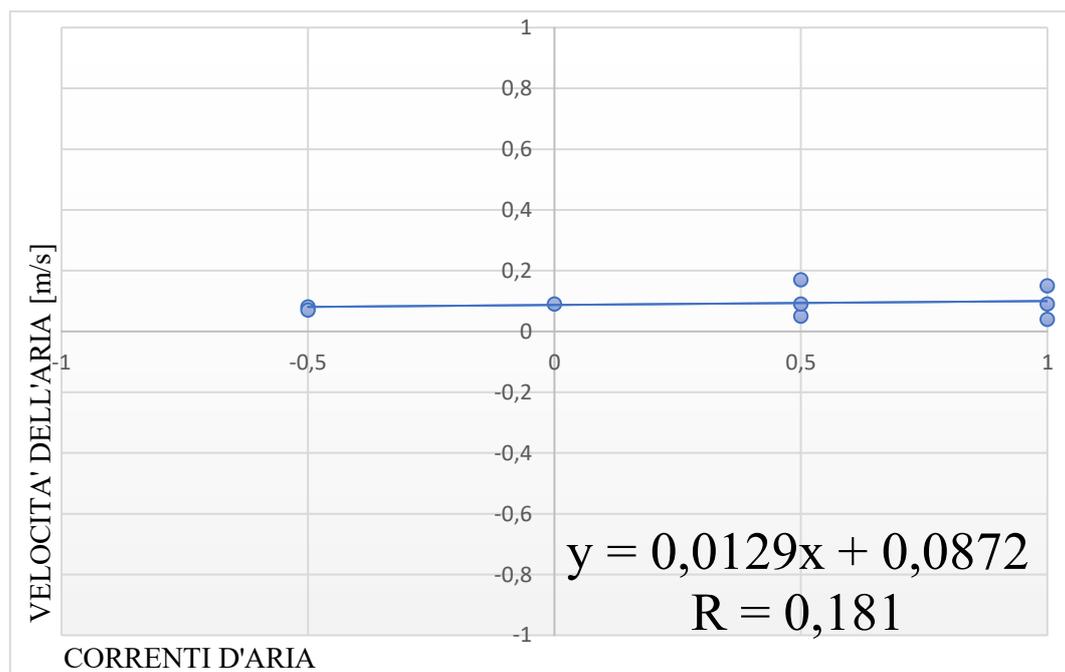


Fig. 89 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.

Un'ulteriore analisi è la correlazione tra le correnti d'aria percepite dagli studenti e il draft risk (vedi paragrafo 3.1.9) calcolato attraverso determinate equazioni.

Il grafico sottostante mostra come solo un punto risulta distaccato dalla linea di tendenza, questo corrisponde alla zona terzultima-ultima fila lato destro, zona in cui si ha la maggior presenza di correnti d'aria.

Questo dimostra che in quella zona vi è più probabilità che gli individui risultino in discomfort per via delle correnti d'aria, ma essendo nel periodo estivo questo rischio non perviene.

All'interno del grafico vi è inoltre l'equazione della retta y che ne determina l'andamento e anche il termine R che invece determina la proporzionalità delle due matrici di dati. Diretta se R tende a 1, inversa se R tende a -1.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

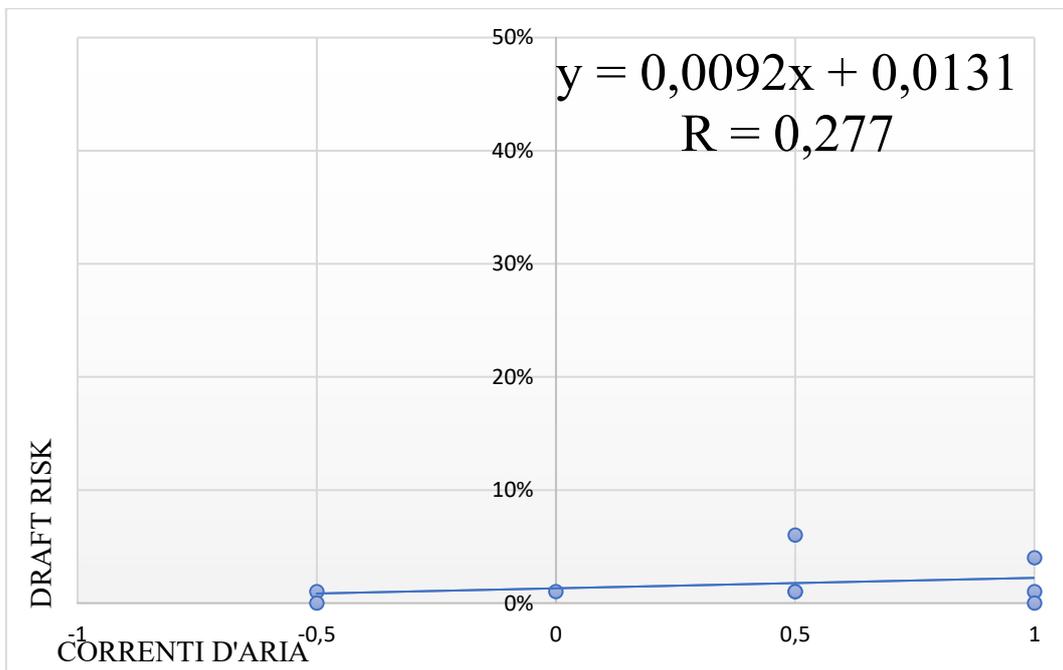


Fig. 90 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.

4.1.2 Stagione invernale

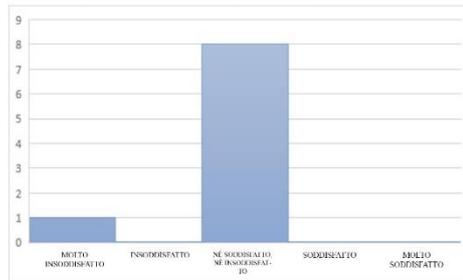
4.1.2.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

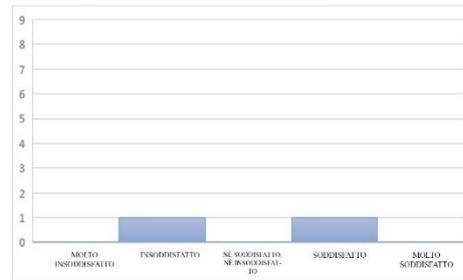
“Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?”

Qualità comfort termico percepita

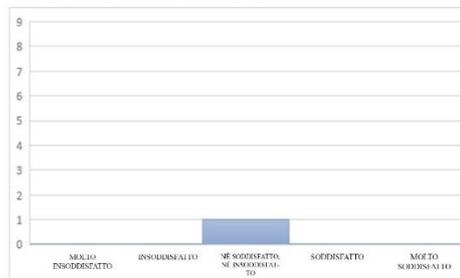
Prima - terza fila lato destro



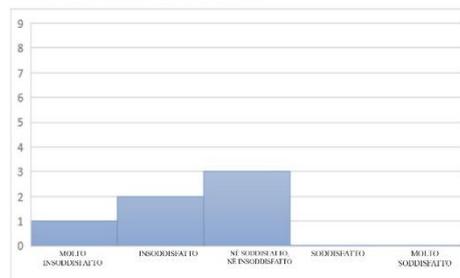
Prima - terza fila lato sinistro



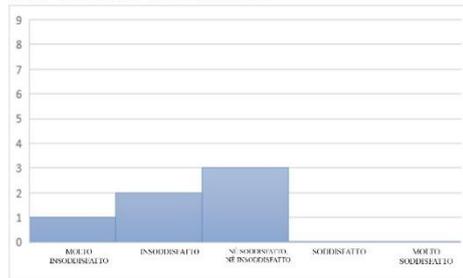
Prima - terza fila centro



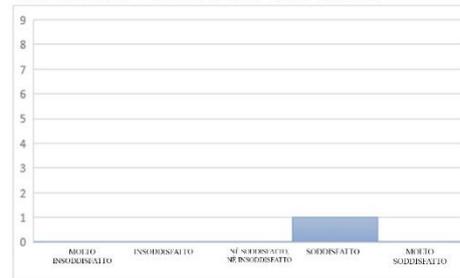
Fila centrale lato destro



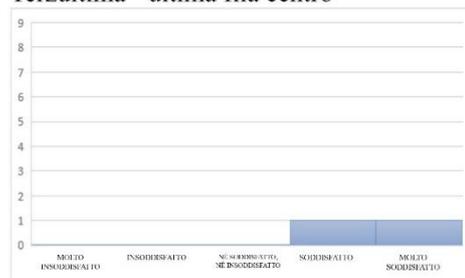
Fila centrale lato sinistro



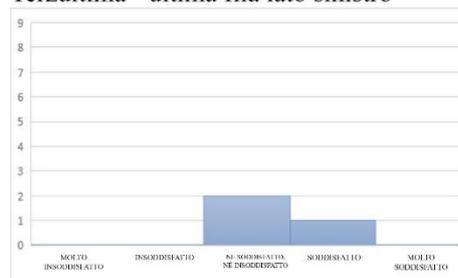
Terzultima - ultima fila lato destro



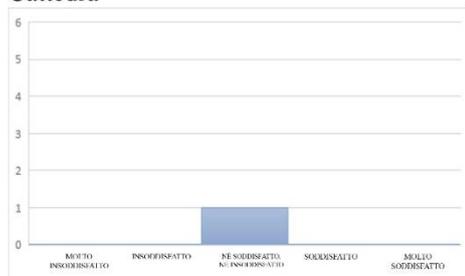
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



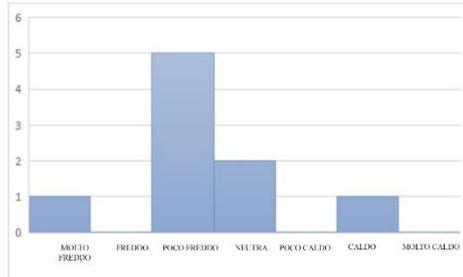
Come si può notare dai grafici soprastanti, soprattutto nella prima fila lato destro, la maggior parte degli studenti hanno valutato la condizione dell'ambiente "né soddisfatto, né insoddisfatto" ritenendo l'ambiente neutralmente confortevole.

Solamente nella zona centrale, sia sinistra che a destra, dell'aula abbiamo una risposta più disaggregata verso l'insoddisfazione nei confronti dell'ambiente termico.

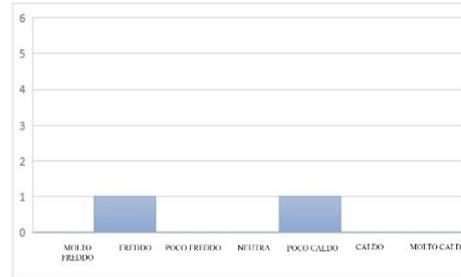
“Qual è la sensazione termica all’interno dell’aula?”

Sensazione termica percepita

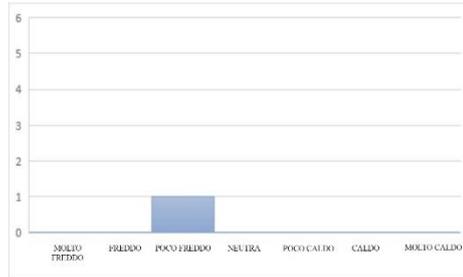
Prima - terza fila lato destro



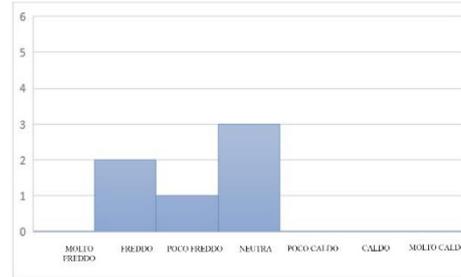
Prima - terza fila lato sinistro



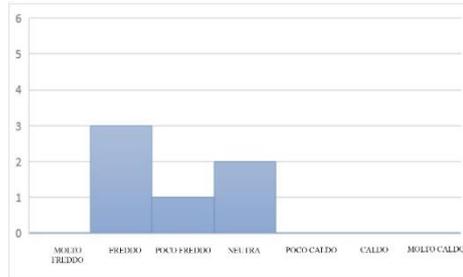
Prima - terza fila centro



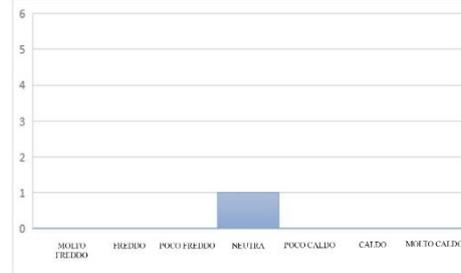
Fila centrale lato sinistro



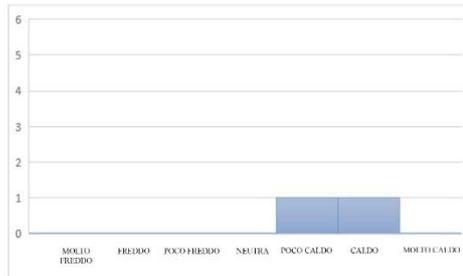
Fila centrale lato destro



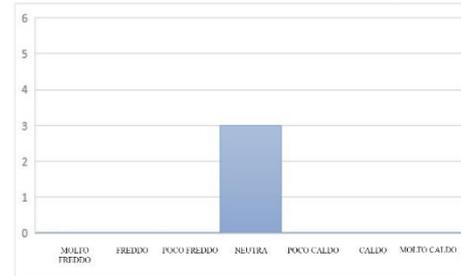
Terzultima - ultima fila lato destro



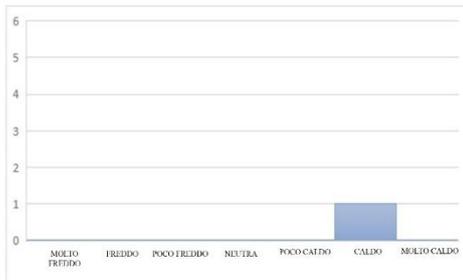
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Analizzando i dati soprastanti notiamo come gli studenti soprattutto nelle prime file e nella zona centrale provano una sensazione termica orientata verso il freddo. Una delle probabili cause è dovuta all'apertura della porta, posta a fianco della cattedra, collegata attraverso un piccolo corridoio a una porta sempre aperta che dà sull'ambiente esterno.

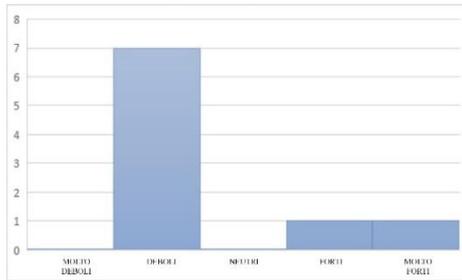
Questo comporta l'entrata di aria fredda all'interno dell'aula causando un abbassamento della temperatura.

Un'altra causa è il vestiario degli individui che risulta avere un CLO abbastanza basso comportando così la sensazione di freddo.

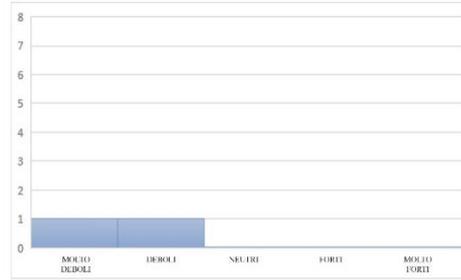
“Come percepisci i movimenti d’aria?”

Flussi d’aria percepiti

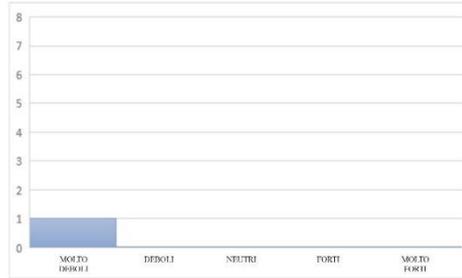
Prima - terza fila lato destro



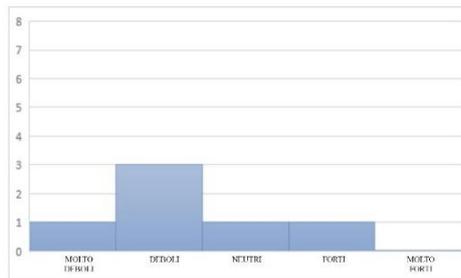
Prima - terza fila lato sinistro



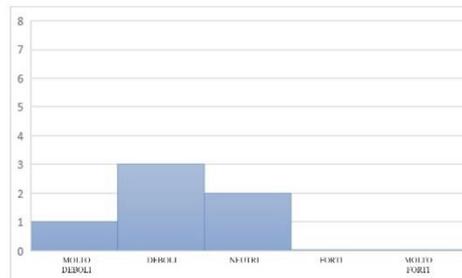
Prima - terza fila centro



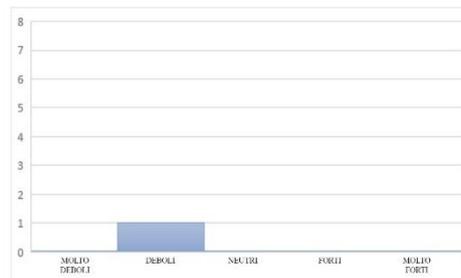
Fila centrale lato destro



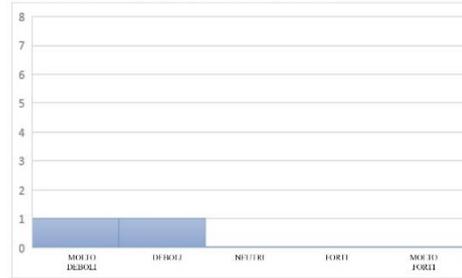
Fila centrale lato sinistro



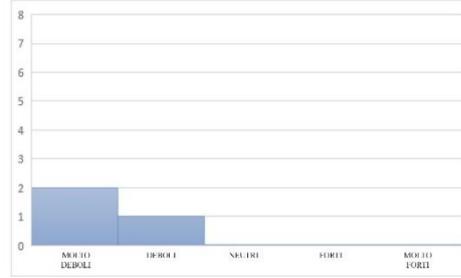
Terzultima - ultima fila lato destro



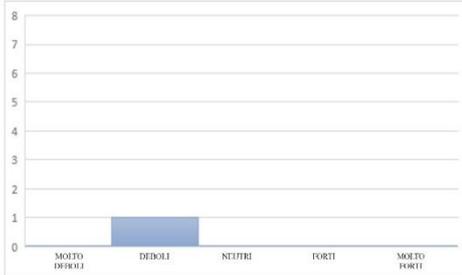
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Come notiamo dai grafici sul flusso d'aria, tutta la zona risente di movimenti d'aria verso un andamento debole, percezione conforme ai dati rilevati attraverso apposito strumento.

4.1.2.2 Analisi oggettive

COMFORT TERMICO	Condizioni esterne	T _a [°C]	V _a [m/s]	V _a [m/s] ingresso fin.	U.R. [%]
	Soleggiato		11.5	0.97	0

I dati qui di seguito esposti fanno riferimento al rilievo termico ed illuminotecnico eseguito all'interno dell'aula. Per quanto riguarda la tabella 17, i dati rilevati si fermano al parametro U.R (umidità relativa), mentre i dati CLO, MET, PMV e DRAFT RISK sono stati calcolati secondo le loro rispettive equazioni (vedi capitolo 3).

Tabella 17 Dati termici invernali rilevati in aula 4V.

PUNTO DI MISURA	ORARIO	Ta(°C)	Tpr(°C)	Tmr punto(°C)	Te(°C)	Va(m/s)5s	Va(m/s)3m	Dev Va(m/s)5s	Dev Va(m/s)3m	U.R %	CLO	MET	PMV	DRAFT RISK				
1	12:50	23.4	Sinistra (A)	24	22.2	22.8	0.10	0.09	0.03	0.07	50	T-Shirt	0.09	1.2	-0.73	0.02		
			Destra (B)	21														
			Back (A)	22.9														
			Front (B)	22.2														
			Pavimento (A)	20.2														
2	12:56	23.4	Sinistra (A)	22.4	23.0	23.2	0.01	0.06	0.01	0.06	50	T-Shirt	0.09	1.2	-0.02	0.00		
			Destra (B)	24.5														
			Back (A)	23.1														
			Front (B)	23.2														
			Pavimento (A)	21.2														
3	13:00	23.3	Sinistra (A)	21.2	22.2	22.7	0.08	0.05	0.02	0.04	50	T-Shirt	0.09	1.2	-0.13	0.00		
			Destra (B)	23.3														
			Back (A)	22.5														
			Front (B)	22.3														
			Pavimento (A)	21.1														
4	13:05	28.1	Sinistra (A)	24.6	23.4	25.0	0.05	0.03	0.04	0.05	50	T-Shirt	0.09	1.2	0.7	0.00		
			Destra (B)	21.6														
			Back (A)	22.5														
			Front (B)	25.6														
			Pavimento (A)	21.5														
5	13:09	23.3	Sinistra (A)	23.2	23.2	23.3	0.04	0.06	0.03	0.07	50	Camicia	0.25	1.2	-0.23	0.00		
			Destra (B)	23.6														
			Back (A)	22.8														
			Front (B)	23.7														
			Pavimento (A)	22.5														
6	13:13	23.4	Sinistra (A)	24.6	23.7	23.6	0.09	0.09	0.02	0.03	50	T-Shirt	0.09	1.2	0.06	0.01		
			Destra (B)	23.6														
			Back (A)	22.7														
			Front (B)	24.3														
			Pavimento (A)	23.9														
7	13:27	23.4	Sinistra (A)	23.6	22.7	23.0	0.06	0.05	0.05	0.04	50	Maglione	0.28	1.2	-0.23	0.00		
			Destra (B)	22.1														
			Back (A)	22.2														
			Front (B)	23.2														
			Pavimento (A)	21.7														
8	13:21	23.2	Sinistra (A)	23	22.4	22.7	0.00	0.04	0.00	0.05	50	Camicia	0.2	1.2	-0.3	0.00		
			Destra (B)	24.8														
			Back (A)	20.9														
			Front (B)	23.4														
			Pavimento (A)	21.4														
9	13:28	24	Sinistra (A)	22.6	22.5	23.1	0.07	0.06	0.03	0.05	50	Camicia	0.2	1.2	-0.32	0.00		
			Destra (B)	23.1														
			Back (A)	21.5														
			Front (B)	21														
			Pavimento (A)	22.1														
10	13:33	24.1	Sinistra (A)	23.5	23.0	23.5	0.05	0.06	0.02	0.06	50	T-Shirt	0.09	1.2	0.08	0.00		
			Destra (B)	23.6														
			Back (A)	22.1														
			Front (B)	23.3														
			Pavimento (A)	22.1														
11	13:40	23.4	Sinistra (A)	23.3	23.5	23.4	0.06	0.09	0.03	0.09	50	T-Shirt	0.09	1.2	0.03	0.02		
			Destra (B)	24.4														
			Back (A)	23.2														
			Front (B)	23.7														
			Pavimento (A)	22.5														
12	13:45	22.8	Sinistra (A)	23.1	23.3	23.2	0.00	0.01	0.00	0.01	50	Camicia	0.2	1.6	0.28	-0.01		
			Destra (B)	23.4														
			Back (A)	23.4														
			Front (B)	24														
			Pavimento (A)	21														
MEDIA		23.8		22.9	23.3	0.05	0.06	0.02	0.05	50		0.12	1.2	-0.07	0.00			

Analizzando i dati termici rilevati nell'aula 4V, si nota come determinati parametri abbiano dei valori molto costanti per tutti i punti di rilievo, tranne qualche punto d'eccezione.

Se si prende in considerazione la velocità dell'aria, si osserva che in tutti i punti il valore relativo a questa risulta abbastanza basso.

Un altro parametro da analizzare è il PMV: dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool. Nei punti 1, 4 e 9 il PMV ha dei valori molto distanti dallo 0 (valore neutro).

Nel punto 1 il PMV è -0,73, valore che tende a una sensazione termica più fredda. Questo fattore è influenzato dal CLO, in quanto lo studente che prova questa sensazione risulta avere un vestiario leggero rispetto alla stagione. Lo stesso avviene per il punto 4 dove l'abbigliamento risulta avere un CLO più alto provando una sensazione di caldo.

Nel punto 12 invece il PMV è 0,23. Anche se il CLO risulta essere una media rispetto ai punti spiegati in precedenza, in questo caso il fattore influenzante è il MET (attività metabolica svolta).

L'individuo posto in quel punto svolge un'attività differente dagli altri individui situati nell'aula. Svolgendo l'attività di docente con un MET più alto rispetto agli studenti gli permette di mantenere un vestiario più leggero risultando comunque in comfort.

4.1.2.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Aula in cui è presente solo un impianto di riscaldamento, mentre assente quello di raffrescamento. Per poter trarre delle conclusioni sulla parte termica sono stati utilizzati i parametri calcolati del PMV e del PPD, approfonditi ai rispettivi paragrafi 3.1.8.1 e 3.1.8.2.

L'utilizzo di questo metodo durante la stagione invernale è possibile solo se l'ambiente in cui ci si trova per l'analisi è "moderato", cioè le condizioni ambientali non sono influenzate dalle caratteristiche dell'aula

Il grafico sottostante rappresenta la correlazione estrapolata tra la sensazione termica di ogni individuo tratta dalle risposte del questionario e il dato PMV. I dati sono stati correlati sulla base della posizione degli individui in modo tale da avere delle sensazioni precise.

Gli assi di riferimento del grafico sono così suddivisi: sulle ascisse ci sono i dati del PMV, mentre sulle ordinate i valori della sensazione termica percepita, convertita secondo una scala di valori con un range da -1.5 a 1.5 (vedi tabella conversione sottostante).

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

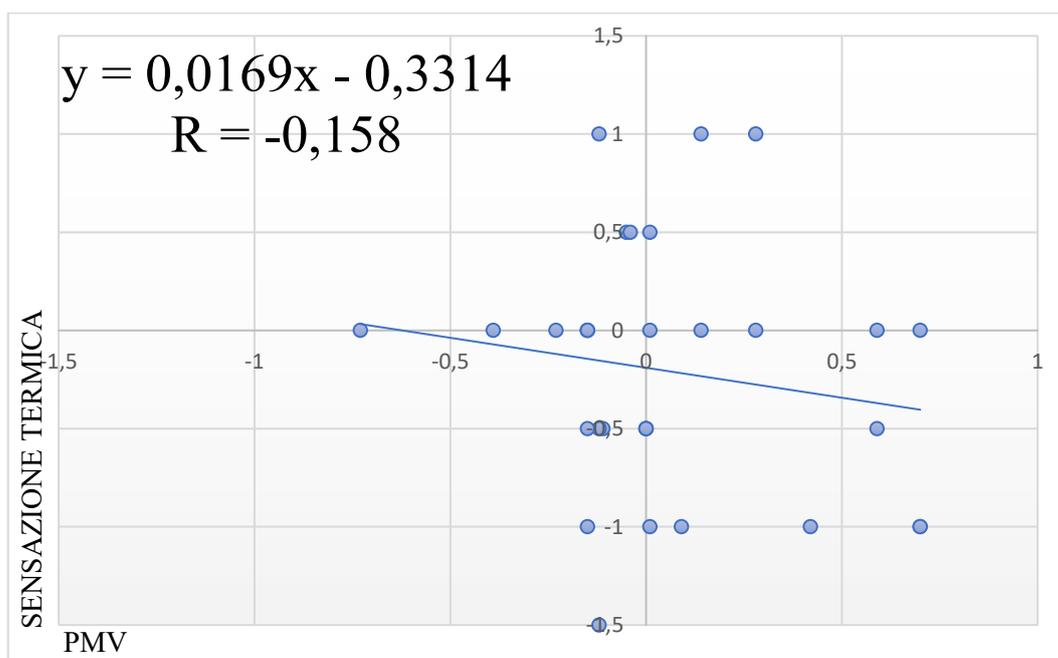


Fig. 91 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.

All'interno del grafico si nota come la maggior parte dei punti si discostano abbastanza dalla linea di tendenza. Sono tratte tre conclusioni differenti per tre tipologie di insieme di punti: quelli che hanno come ordinata 1, hanno una sensazione di calore, mentre quelli che hanno ordinata -1, hanno una sensazione di freddo; gli altri, con ordinata 0, sono invece in una condizione di comfort, anche se il loro valore di PMV si discosta dalla linea di tendenza. Ogni individuo ed ogni rispettiva sensazione sono alterati in modo positivo o negativo dalla tipologia di vestiario indossata. In questo caso, anche se la sensazione provata dall'individuo non risulta essere neutrale ma orientata una sensazione di caldo e di freddo, secondo il PMV la maggior parte degli individui risulta essere in comfort.

Un altro grafico fondamentale che aggrega le varie sensazioni all'interno di ogni zona è il successivo. A differenza del grafico precedente (fig. 92), sulle ordinate si ha il valore della sensazione termica media basata sugli individui di ogni differente zona, mentre sulle ascisse si ha il valore della PMV medio basato sugli individui di ogni differente zona.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

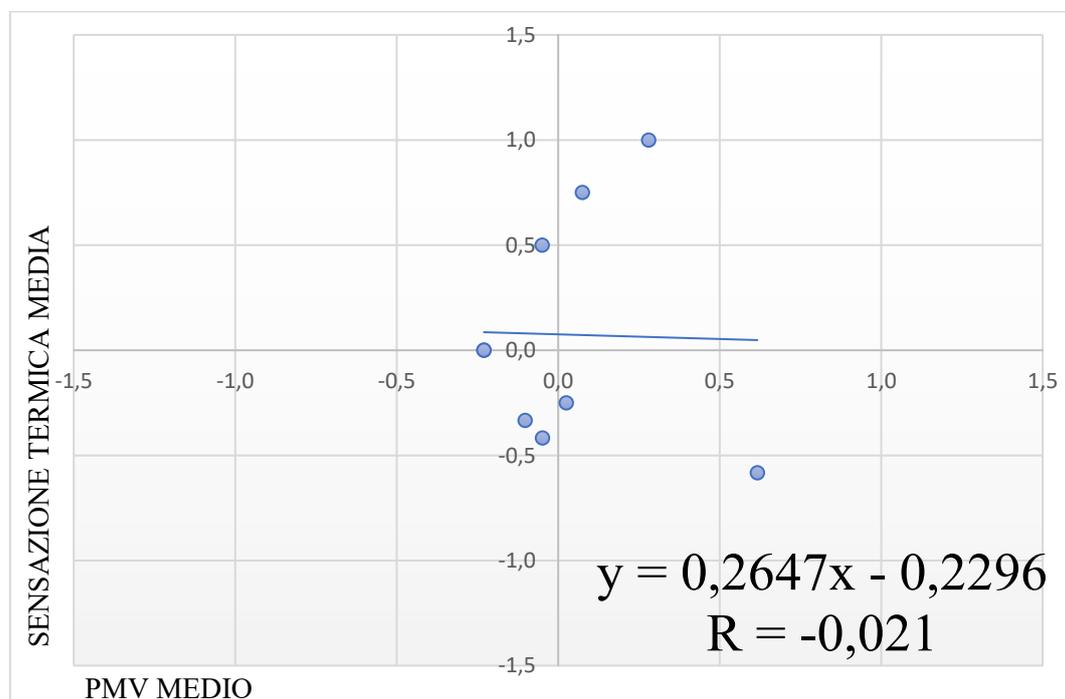


Fig. 92 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.

Anche in questo grafico si nota come i punti sono lontani dalla linea di tendenza, però a differenza del grafico precedente qui i punti sono leggermente più vicini in

quanto è un aggregato di valori e dunque alcuni parametri vanno ad alterarne altri. Ovviamente essendo un insieme di dati basato su delle sensazioni termiche percepite su ogni individuo in maniera differente, ci possono essere dei dati non precisamente definiti che così facendo sono annullati da altri, infatti come si può notare risulta esserci solo una zona in discomfort, ovvero la zona centrale lato destro.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto insoddisfatto: -1	Insoddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	------------------	----------------------

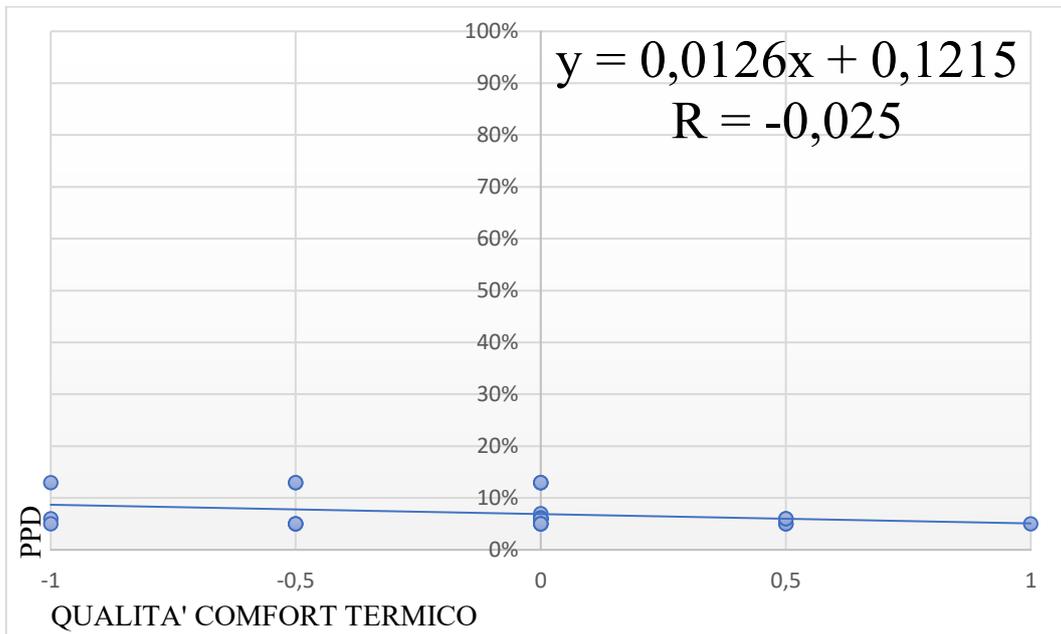


Fig. 93 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.

Un altro indice importante per poter trarre delle conclusioni è il PPD (Percentage of Person Dissatisfied). Questo indice definisce la percentuale di persone insoddisfatte della qualità del comfort termico. Dunque, la correlazione tra il PPD e la qualità del comfort termico percepita dagli individui all'interno dell'aula definisce un grafico, anch'esso con una linea di tendenza che indica i valori di soddisfazione del comfort termico.

Il grafico soprastante (fig. 93) illustra due valori di riferimento: PPD (calcolato tramite l'uso di CBE Thermal Comfort Tool su ogni zona) sulle ordinate e qualità del comfort termico percepita sulle ascisse (convertita secondo una scala di valori con un range da -1 a 1).

La loro correlazione mostra come quasi tutti i punti risultano posti sopra la linea di tendenza: quelli più vicini sono dati in cui il PPD è < 10%, dunque la percentuale

di persone insoddisfatte delle condizioni di comfort termico è bassa ed accettabile; i punti più lontani presentano un PPD > 10%.

Per poter meglio capire il grafico precedente si prende una sola zona tipo in analisi, spiegata nel grafico successivo.

Successivamente, anche in questa si è analizzato il fattore correnti d'aria e Draft risk, correlati entrambi alle correnti d'aria percepite dagli individui nelle singole zone dell'aula.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

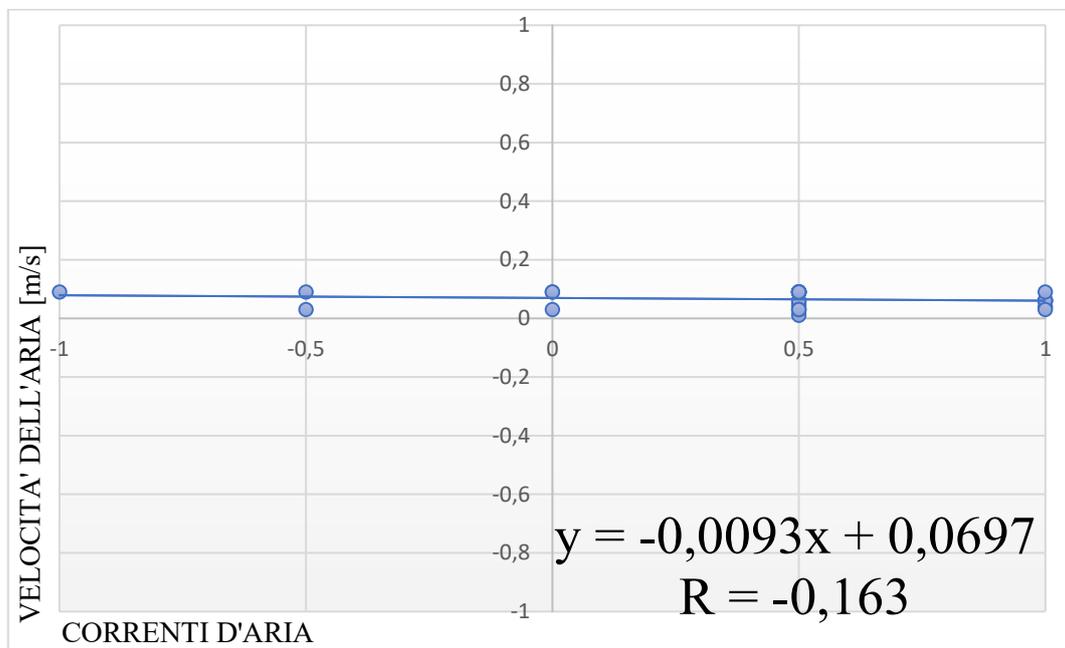


Fig. 94 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.

Attraverso l'utilizzo delle risposte sulle correnti d'aria, e convertendo le sensazioni delle correnti d'aria in una scala numerica di riferimento compresa in un range tra -1 e +1 con intervalli di 0.5, si possono correlare numericamente la percezione dei movimenti d'aria e la velocità dell'aria.

Nel grafico soprastante si avvicinano maggiormente alla linea di tendenza la maggior parte dei punti, in quanto tutte le zone hanno dei flussi d'aria molto deboli. La linea di tendenza ci indica un equilibrio che ci dovrebbe essere all'interno dell'aula, e che nella maggior parte delle zone viene rispettato.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto Forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

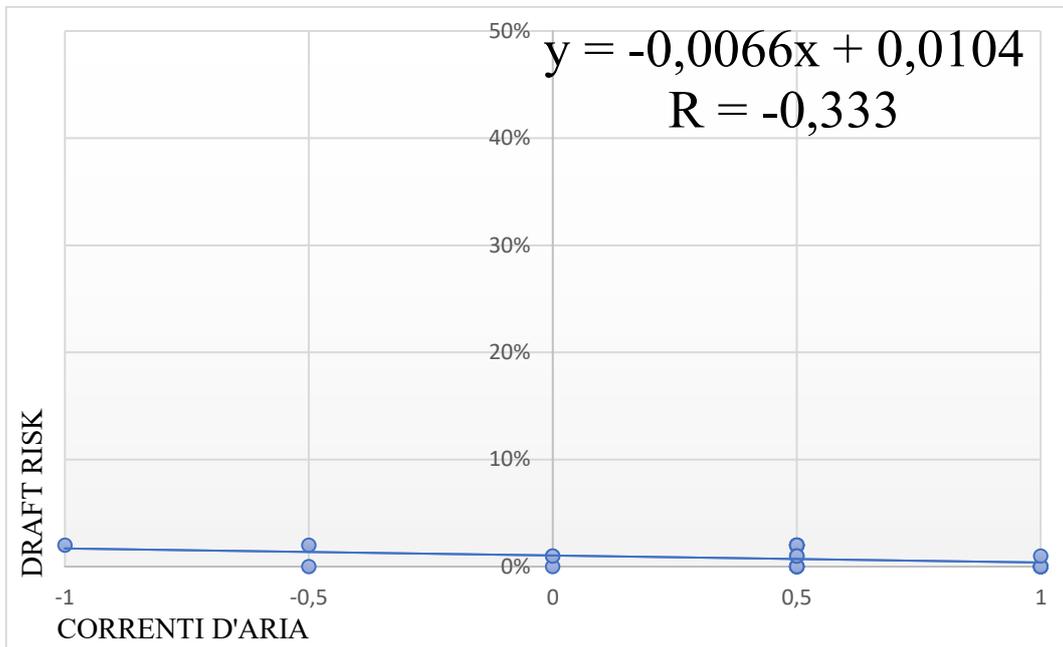


Fig. 95 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.

Procedendo con le analisi dell'aula 4V, si è correlato le correnti d'aria percepite dagli studenti e il draft risk. Il grafico soprastante mostra come anche in questa correlazione la maggior parte dei punti risultano coincidere sulla linea di tendenza, questo indica che all'interno dell'aula, il rischio di correnti d'aria che possono rendere gli individui insoddisfatti è praticamente nullo.

Nel grafico sottostante (fig. 95), all'interno dell'aula la maggior parte degli studenti, quasi l'50% prova una sensazione termica orientata verso il freddo. La causa più probabile, essendo il draft risk praticamente nullo perché la percezione delle correnti d'aria risulta essere debole (fig. 94), risulta dunque essere il vestiario non adatto. Mentre per chi indossa un abbigliamento consono all'ambiente in cui si trova, e alla stagione, risulta essere in una sensazione orientata verso la neutralità.

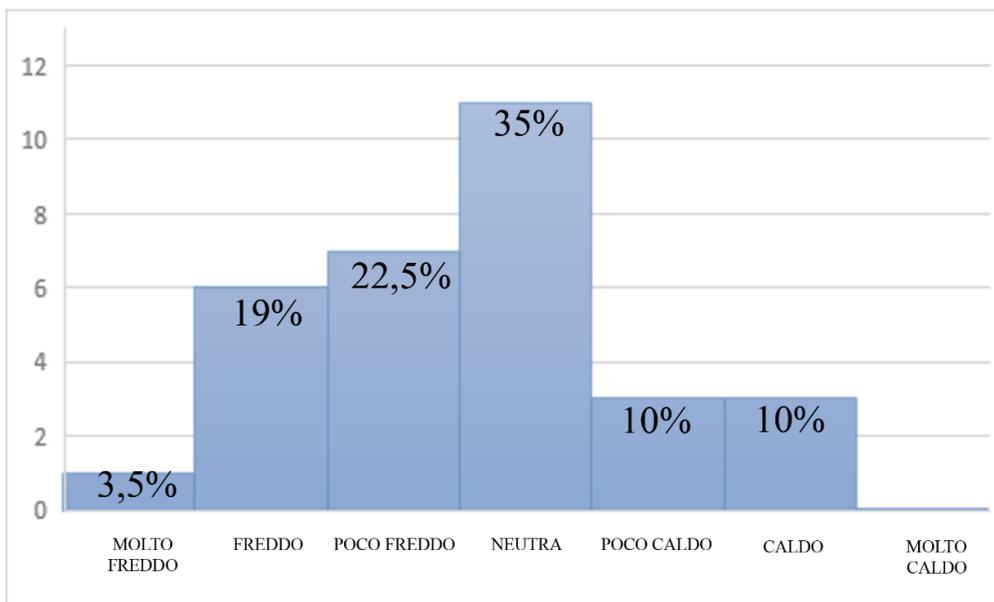


Fig. 96 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.

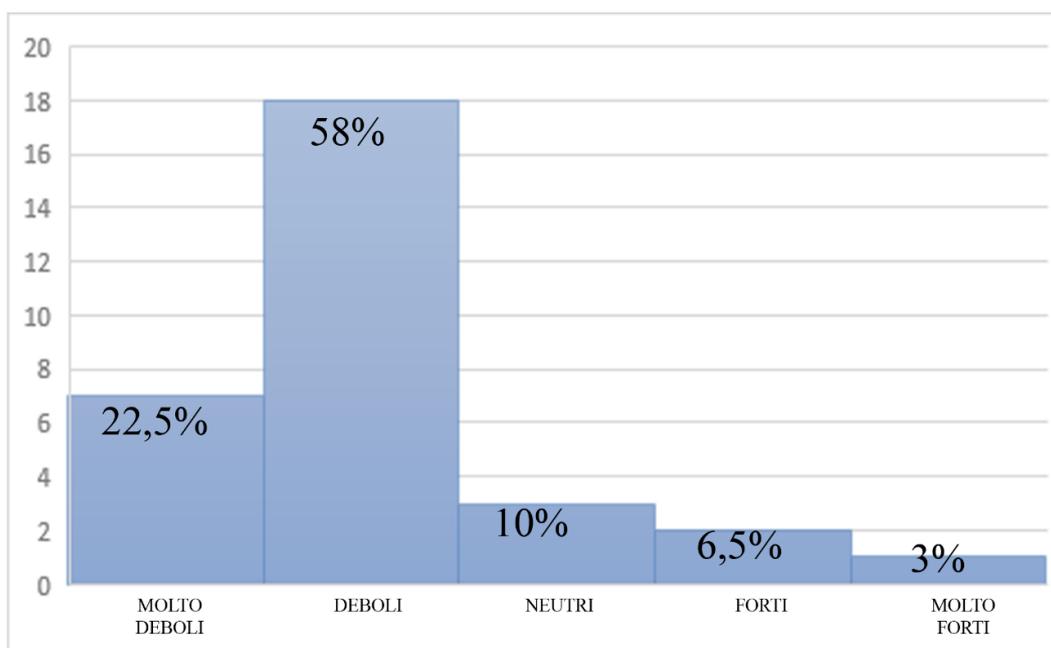


Fig. 97 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.

4.2 Aula 25

L'aula 25, situata nella sede centrale del Politecnico di Torino in corso Duca degli Abruzzi, è stata rilevata il giorno 05/06/2019 alle ore 16 per le analisi estive, mentre il giorno 11/11/2019 alle ore 11:35 per le analisi invernali.

All'interno dell'aula sono stati utilizzati come punti fondamentali i lati dei corridoi, il centro dell'aula e la cattedra (vedi fig. 98). L'area delimitata in verde è l'area di influenza della finestra ed il punto in cui sono state prese le misurazioni per le condizioni esterne.

L'aula è stata rilevata lungo i corridoi in modo tale da poter aver un confronto tra un'area di influenza con presenza di finestre ed un'area di influenza senza finestre ma con la parete opaca.

L'aula, presenta un sistema di radiatori in ghisa per quanto riguarda il riscaldamento posto al di sotto del davanzale delle finestre. Durante il rilievo termoigrometrico estivo l'aula era occupata per circa il 75% da persone che svolgevano un'attività di studio, mentre durante le analisi invernali l'aula era occupata per il 50% da studenti che seguivano lezione.

La misurazione estiva è stata eseguita con una porta aperta e una chiusa e le finestre aperte in una giornata soleggiata. Mentre per quanto riguarda le analisi invernali, all'interno dell'aula le finestre erano chiuse così come una delle tre schermature e le porte invece aperte.

La ventilazione invece non è controllata meccanicamente, e questo comporta l'apertura di porte e/o finestre.

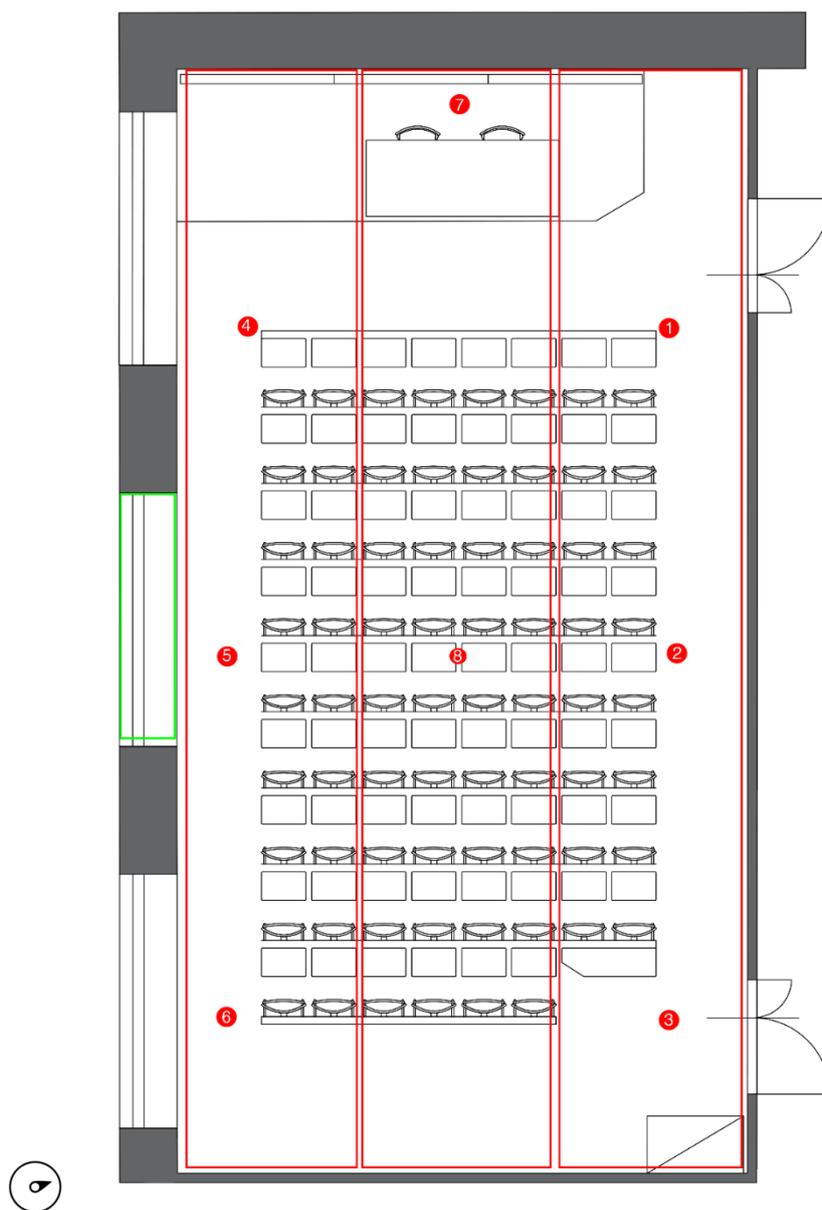


Fig. 98 Pianta aula 25 con in rosso i punti del rilievo termico.

4.2.1 Stagione estiva

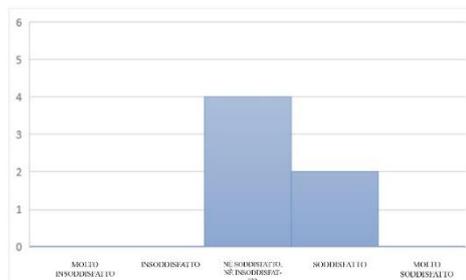
4.2.1.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

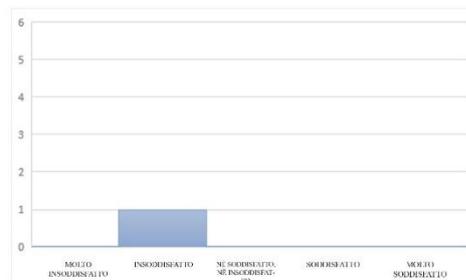
“Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?”

Qualità comfort termico percepita

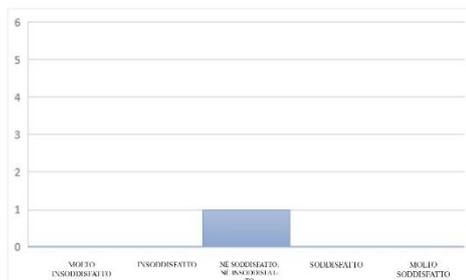
Prima - terza fila lato destro



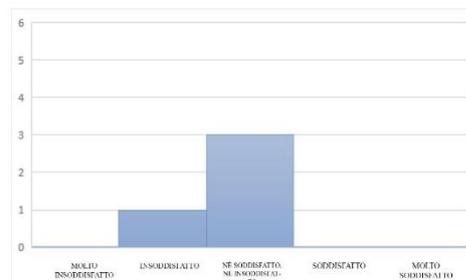
Prima - terza fila centro



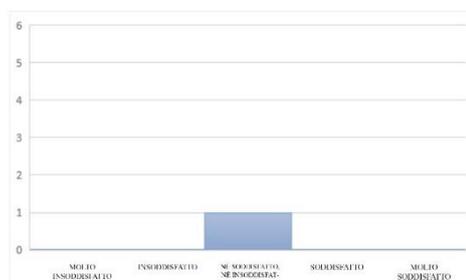
Fila centrale lato destro



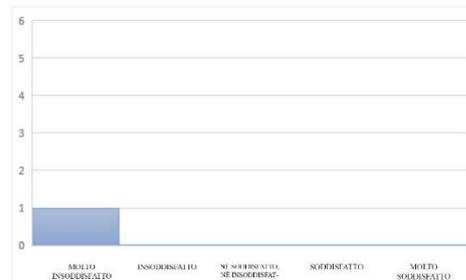
Fila centrale lato sinistro



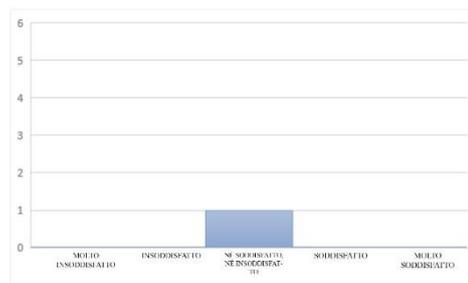
Terzultima - ultima fila lato destro



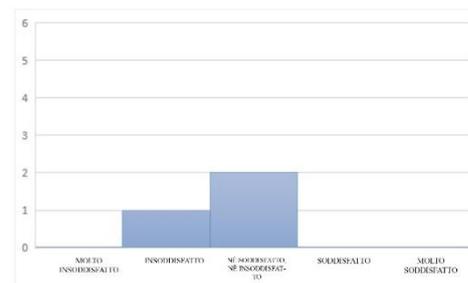
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra

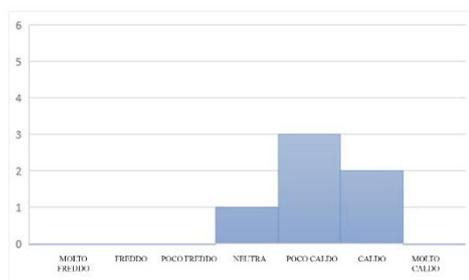


Per quanto riguarda il grado di soddisfazione delle condizioni di comfort termico all'interno dell'aula 25, le risposte degli individui presenti all'interno risultano essere abbastanza uniformi ed orientate sulla neutralità.

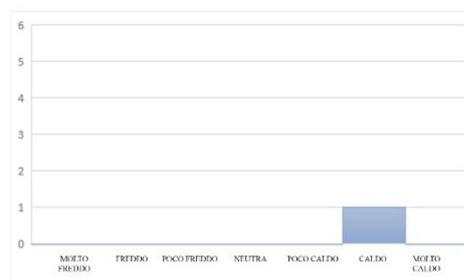
“Qual è la sensazione termica all’interno dell’aula?”

Sensazione termica percepita

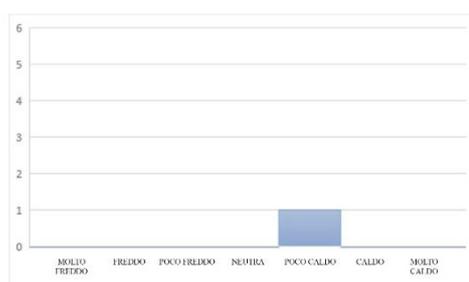
Prima - terza fila lato destro



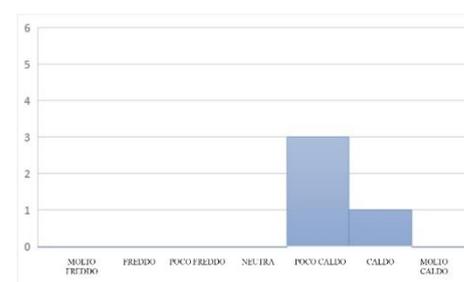
Prima - terza fila centro



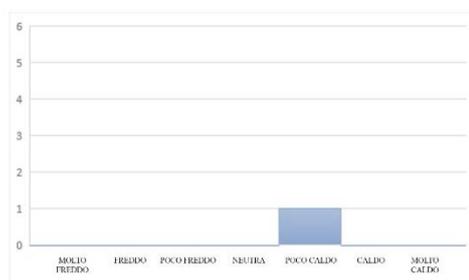
Fila centrale lato destro



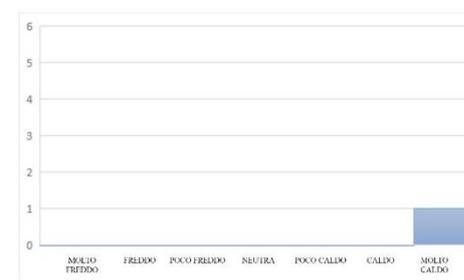
Fila centrale lato sinistro



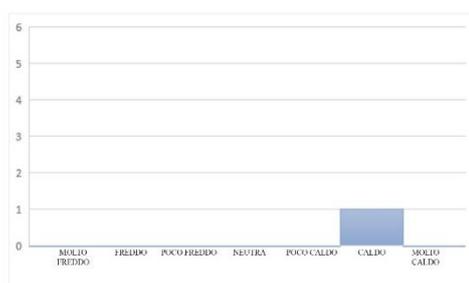
Terzultima - ultima fila lato destro



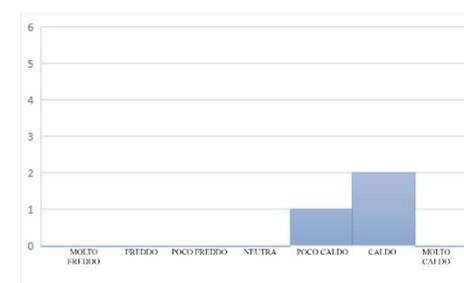
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



La sensazione termica interna all’aula secondo gli individui presenti si orienta verso temperature alte e dunque con una sensazione di calore. Questo dato è dovuto all’assenza di un sistema di raffrescamento e di ventilazione meccanica che causa problemi di aerazione.

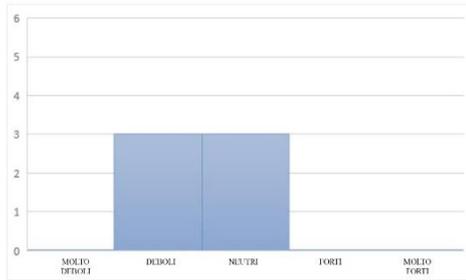
Si può notare nella prima-terza fila lato destro un’abbondanza di risposte orientate verso temperature alte.

Confrontando i dati soggettivi con la tabella (vedi tabella 18) dei dati oggettivi si nota che nel punto 1 corrispondente alla zona presa in considerazione, gli individui hanno un vestiario molto leggero ed inoltre sono presenti correnti d'aria. Ciò vuol dire che gli individui provano sensazioni di calore anche avendo i parametri termici a loro favore.

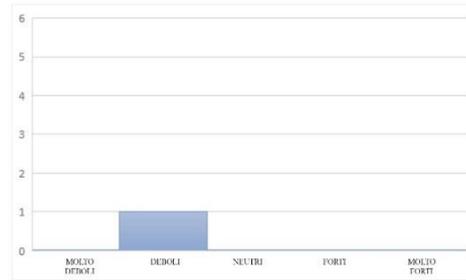
“Come percepisci i movimenti d’aria?”

Flussi d’aria ricavati percepiti

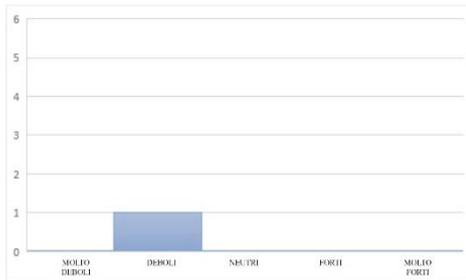
Prima - terza fila lato destro



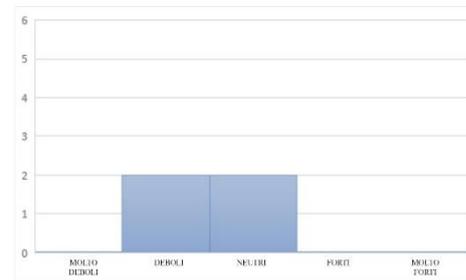
Prima - terza fila centro



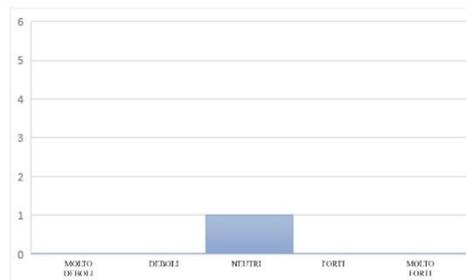
Fila centrale lato destro



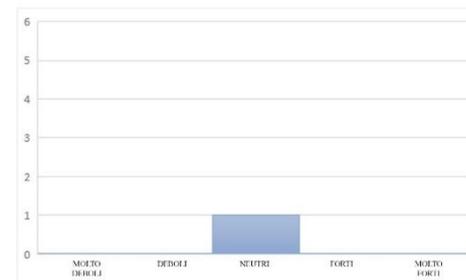
Fila centrale lato sinistro



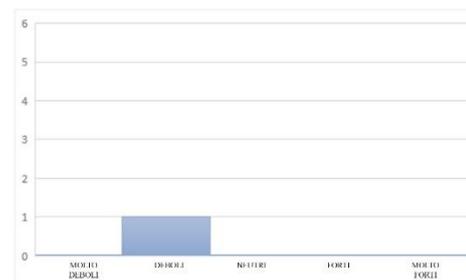
Terzultima - ultima fila lato destro



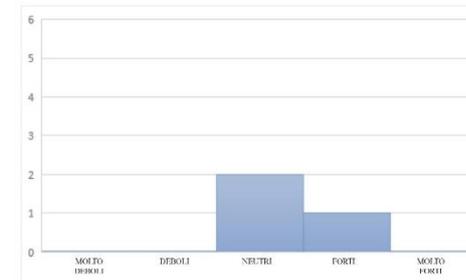
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Tenendo in considerazione i valori dei dati termici rilevati (vedi tabella 18) e le condizioni interne dell’aula (finestre aperte), si spiegano i dati estrapolati dal questionario in questo modo: i grafici inerenti al lato sinistro dell’aula tendono ad avere una maggioranza di risposte “deboli” e “neutri” in quanto vi è la presenza delle finestre aperte che creano correnti d’aria, così come anche per il lato centrale e destro.

La zona dove maggiormente si hanno correnti d'aria forti è la cattedra; infatti, se si paragona il dato rilevato pari a 0.54 m/s con le risposte del questionario, combaciano perfettamente.

4.2.1.2 Analisi oggettive

COMFORT TERMICO	Condizioni esterne	T _a [°C]	V _a [m/s]	V _a [m/s] ingresso fin.	U.R. [%]
	Estate	25.4	1	1.13	54

I dati qui di seguito esposti fanno riferimento al rilievo termico ed illuminotecnico eseguito all'interno dell'aula. Per quanto riguarda la tabella 18, i dati rilevati si fermano al parametro U.R (umidità relativa), mentre i dati CLO, MET, PMV e DRAFT RISK sono stati calcolati secondo le loro rispettive equazioni (vedi capitolo 3).

Tabella 18 Dati termici estivi rilevati in aula 25.

PUNTO DI MISURA	ORARIO	Ta(°C)	POSIZIONE SONDA	Ipr(°C)	Tmr punto (°C)	To(°C)	Va (m/s) 5s	Va(m/s)3m	Dev Va (m/s) 5s	Dev Va (m/s) 3m	U.R. %	CLO	MET	PMV	DRAFT RISK		
1	16:25	27.5	Soffitto (A)	27.7	27.0	27.3	0.22	0.18	0.09	0.12	53	CLO					
			T-Shirt	0.09	1.20	0.12	0.04										
			Parabaciocini	0.06													
			Montasole	0.04													
			Calzoni	0.02													
			Scarpe	0.02													
2	16:34	27.1	Soffitto (A)	27.4	27.2	27.1	0.18	0.19	0.05	0.11	53	CLO					
			T-Shirt	0.09	1.20	0.39	0.04										
			Parabaciocini	0.25													
			Montasole	0.04													
			Calzoni	0.02													
			Scarpe	0.02													
3	16:42	27.3	Soffitto (A)	27.5	27.2	27.3	0.15	0.25	0.11	0.32	50	CLO					
			T-Shirt	0.09	1.20	-0.17	0.12										
			Parabaciocini	0.06													
			Montasole	0.04													
			Calzoni	0.02													
			Scarpe	0.02													
4	16:48	27.3	Soffitto (A)	27.5	27.2	27.2	0.09	0.12	0.04	0.07	49	CLO					
			T-Shirt	0.09	1.20	0.32	0.02										
			Parabaciocini	0.06													
			Montasole	0.04													
			Calzoni	0.02													
			Scarpe	0.02													
5	16:54	26.3	Soffitto (A)	27.0	27.1	26.6	0.33	0.28	0.11	0.18	51	CLO					
			T-Shirt	0.09	1.20	-0.05	0.11										
			Parabaciocini	0.06													
			Montasole	0.04													
			Calzoni	0.02													
			Scarpe	0.02													
6	16:58	26.4	Soffitto (A)	27.3	27.1	26.7	0.17	0.21	0.11	0.11	51	CLO					
			T-Shirt	0.09	1.20	0.17	0.05										
			Parabaciocini	0.25													
			Montasole	0.04													
			Calzoni	0.02													
			Scarpe	0.02													
7	17:10	26.4	Soffitto (A)	26.8	26.8	26.5	0.40	0.54	0.14	0.33	49	CLO					
			T-Shirt	0.25	1.20	-0.15	0.35										
			Parabaciocini	0.25													
			Montasole	0.04													
			Calzoni	0.02													
			Scarpe	0.02													
8	17:16	26.1	Soffitto (A)	26.9	27.0	26.5	0.10	0.18	0.12	0.11	49	CLO					
			T-Shirt	0.09	1.20	0.30	0.05										
			Parabaciocini	0.25													
			Montasole	0.04													
			Calzoni	0.02													
			Scarpe	0.02													
MEDIA		26.8			27.0	26.9	0.21	0.24	0.10	0.17	51			0.10	0.10		

Analizzando i dati termici rilevati nell'aula 25, si nota come determinati parametri abbiano dei valori molto costanti per tutti i punti di rilievo, tranne qualche punto d'eccezione.

Se si prende in considerazione la velocità dell'aria, si osserva che nei punti 3, 5, 7 il valore relativo a questa risulti abbastanza alto rispetto alla media ottenuta e alla normativa vigente che ne considera un massimo di 0,25 m/s per la stagione estiva.

Questo fenomeno è dovuto principalmente alle condizioni interne dell'aula durante il rilievo: tutte e tre le finestre aperte, che dunque creano delle correnti d'aria.

Queste correnti a differenza dell'aula 4V provocano il fenomeno di draft risk: specialmente nel punto 7 dove arriva ad essere pari al 35% di rischio.

Non viene considerato un fenomeno di discomfort in quanto essendo nella stagione estiva ne favorisce l'aerazione naturale.

Un altro parametro da analizzare è il PMV: dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool. Nei punti 2 e 4 il PMV ha dei valori abbastanza distanti dallo 0 (valore neutro).

Nel punto 4 il PMV è 0,32, valore che tende a una sensazione termica più calda. Questo fattore è dovuto alle caratteristiche dell'aula: assenza dell'impianto di raffrescamento.

Nei punti 3, 5 e 7 invece, si nota che con una corrente d'aria rilevata elevata il PMV degli individui tende ad essere negativo, ma non sempre gli stessi provano sensazioni di freddo; infatti, gli individui posti in quelle zone provano sensazioni di poco caldo.

4.2.1.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

L'aula 25 così come l'aula 4V è stata analizzata seguendo il comfort adattativo, in quanto anche in questa aula è assente un impianto di raffrescamento.

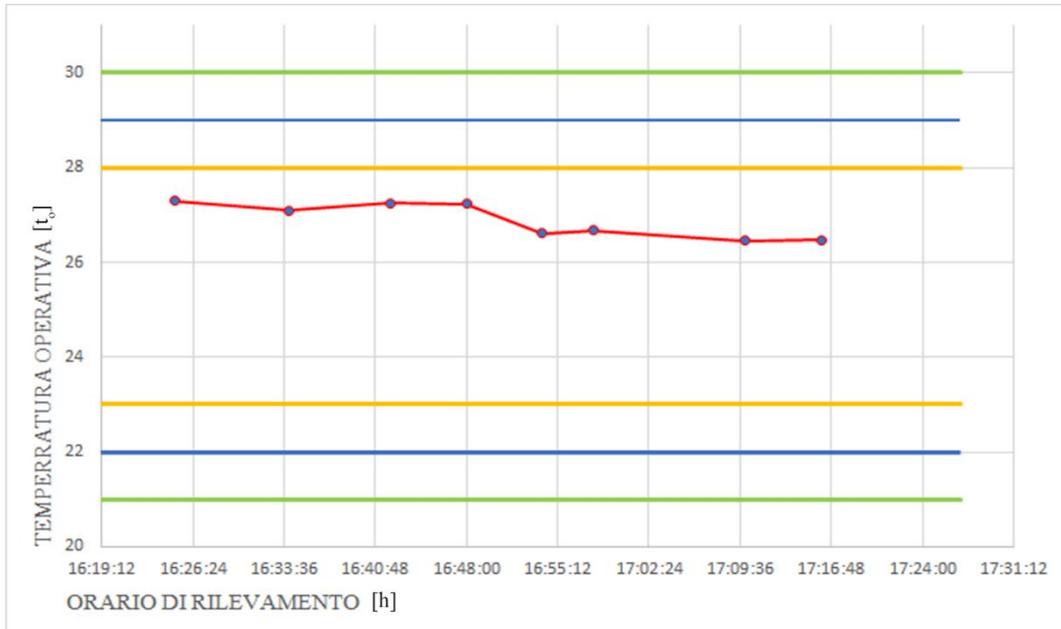


Fig. 99 Comfort adattativo: correlazione tra la temperatura operativa e l'orario di rilievo.

Il grafico soprastante rappresenta la correlazione tra l'orario di rilevamento e le temperature operative rilevate all'interno delle varie zone dell'aula. Sull'asse delle x è posta l'ora del rilievo mentre sull'asse delle y le temperature.

Il grafico sul comfort termico adattativo è simile a quello dell'aula 4V per quanto riguarda i limiti superiori ed inferiori.

I pallini in rosso collegati dalla linea spezzata in rosso rappresentano le temperature operative in determinate ore della giornata.

Questi punti, anche se rilevati all'interno di una fascia orario molto stretta, rientrano tutti all'interno degli intervalli limite.

Attraverso dunque questo grafico, si può notare che l'aula anche se non raffrescata meccanicamente e dunque sottoposta ad aerazione naturale, presenta la maggior parte delle zone in cui sono state rilevate le temperature operative in perfetto comfort.

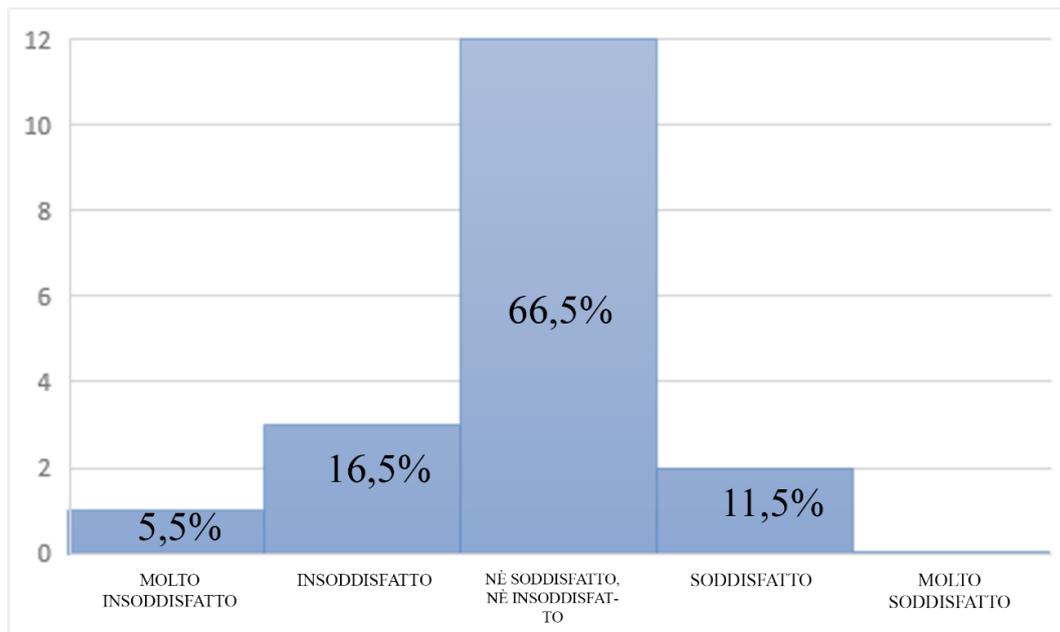


Fig. 100 Grafico istogramma: condizioni complessive della qualità del comfort termico.

Gli studenti, attraverso il questionario, hanno espresso la loro sensazione sulle condizioni di comfort termico. Il grafico soprastante (fig. 100) esprime tutte le risposte degli studenti attraverso una scala di soddisfazione a cinque valori, in cui la risposta neutra: “né soddisfatto, né insoddisfatto” prevale rispetto alle altre, andando a confermare la teoria che l’aula sia termicamente in condizioni di comfort come visto precedentemente dall’analisi oggettiva. Si nota però che alcuni studenti sono in una condizione di discomfort. Questo è causato da un abbigliamento non conforme all’ambiente in cui ci si trova.

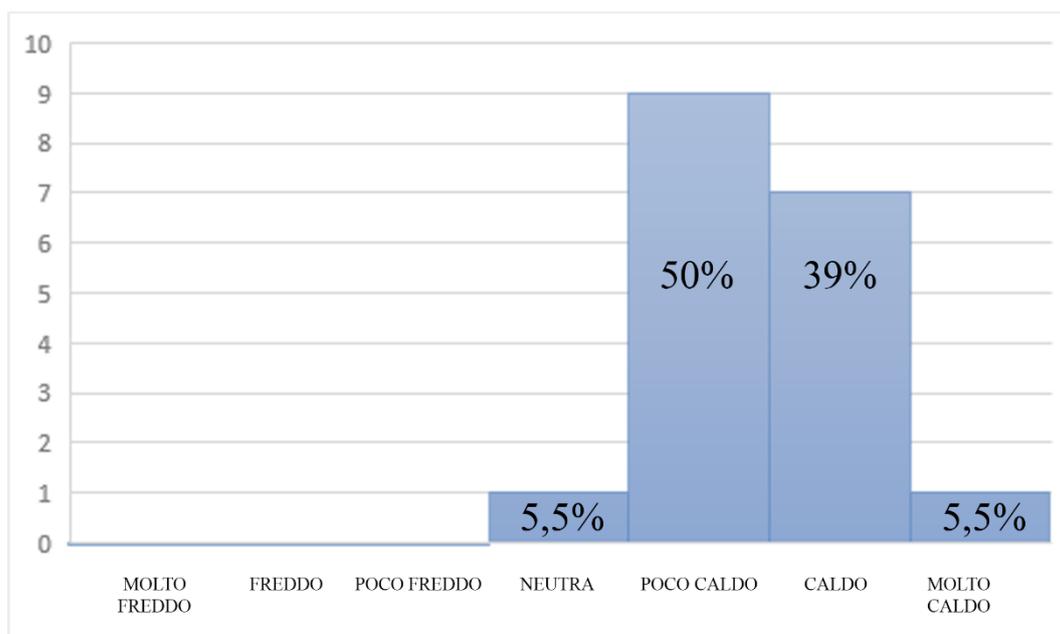


Fig. 101 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.

La sensazione termica è un altro parametro molto importante all'interno dello studio termico di un'aula.

Le risposte estrapolate dal questionario e rappresentate nel grafico soprastante (fig. 101) risultano per lo più essere: "poco caldo" e "caldo". Queste sensazioni sono dovute al comfort termico interno all'aula, che come rappresentato precedentemente si trova in una condizione di comfort termico.

Un fattore molto importante da tenere in considerazione è la velocità dell'aria. Questa a seconda se ci troviamo nella stagione estiva o invernale può portare rispettivamente ad un miglioramento del comfort termico o addirittura aumentarne il discomfort.

Analizzando attentamente tutti i grafici disaggregati per le varie zone, si legge che sia lungo la parete vetrata sia lungo la parete opaca gli studenti percepiscono una sensazione termica rivolta verso temperature alte.

Questo evento è principalmente causato non da una ventilazione naturale non adeguata (in determinati punti si raggiungono velocità dell'aria pari a 0.54 m/s), ma dalle condizioni termiche interne all'aula (vedi allegato B: Tavola comfort termico aula 25 estivo).

I movimenti d'aria anche se in determinati casi risolvono i problemi legati alle condizioni di discomfort, in alcuni casi isolati come questo appena citato, provocano innalzamenti della temperatura interna a causa dei flussi di aria calda.

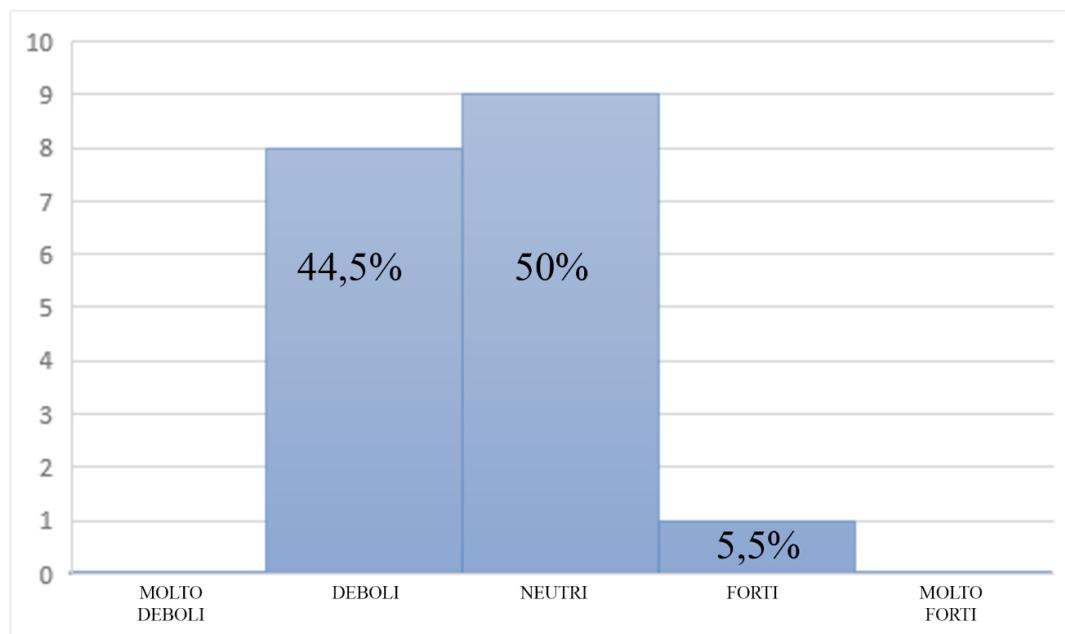


Fig. 102 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.

All'interno dell'aula gli studenti hanno percepito per lo più movimenti d'aria deboli e neutri. Anche se, dai dati rilevati oggettivi, alcuni parametri in determinati punti superano la norma ISO 7730 per i limiti di flussi d'aria interni ad aule scolastiche: il cui limite massimo è di 0.25 m/s.

Non è opportuno affidarsi principalmente ai dati soggettivi degli studenti, in quanto possono esserci delle incongruenze con i dati rilevati come in questo caso studio (vedi allegato B: Tavola comfort termico aula 25 estivo).

Dalla tavola in allegato si notano tre zone dell'aula in cui i dati rilevati sui movimenti d'aria risultano elevati mentre correlando i questionari non si hanno delle comparazioni esatte.

Attraverso l'utilizzo delle risposte sulle correnti d'aria, e convertendo le sensazioni delle correnti d'aria in una scala numerica di riferimento compresa in un range tra -1 e +1 con intervalli di 0.5, si possono correlare numericamente la percezione dei movimenti d'aria e la velocità dell'aria.

Nel grafico sottostante (fig. 103) si avvicinano maggiormente alla linea di tendenza pochi punti, i quali equivalgono alla zona prima-terza fila lato destro. In questa zona la velocità dell'aria è pari a 0.18 m/s ed è correlata alla risposta: debole del questionario. La linea di tendenza ci indica un equilibrio che ci dovrebbe essere all'interno dell'aula ma che in realtà non è rispettato.

Dunque, si deduce che anche se vi è presenza di movimenti d'aria, all'interno dell'aula in determinate zone vi è presenza di discomfort termico a causa dell'elevata temperatura. Inversamente a ciò che invece accade nell'aula 4V.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

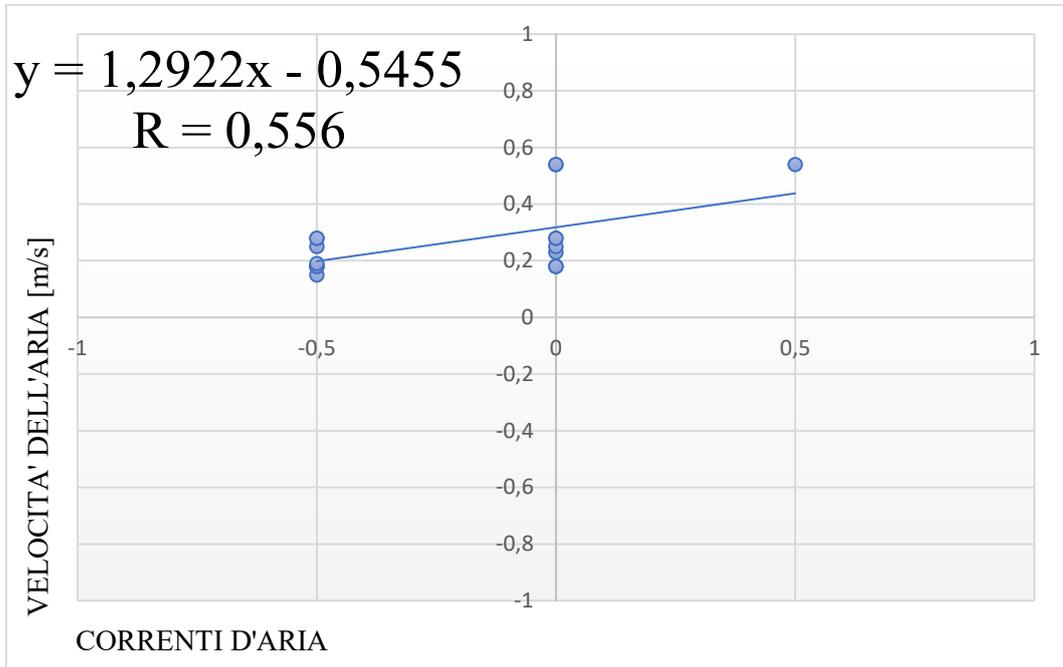


Fig. 103 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.

Al termine dell'analisi dell'aula 25, si è correlato le correnti d'aria percepite dagli studenti e il draft risk. Il grafico sottostante mostra come anche in questa correlazione la maggior parte dei punti è discostata dalla linea di tendenza, questo indica che all'interno dell'aula, in quasi tutte le zone rilevate vi è il rischio di correnti d'aria che possono rendere gli individui insoddisfatti dell'ambiente in cui si trovano.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

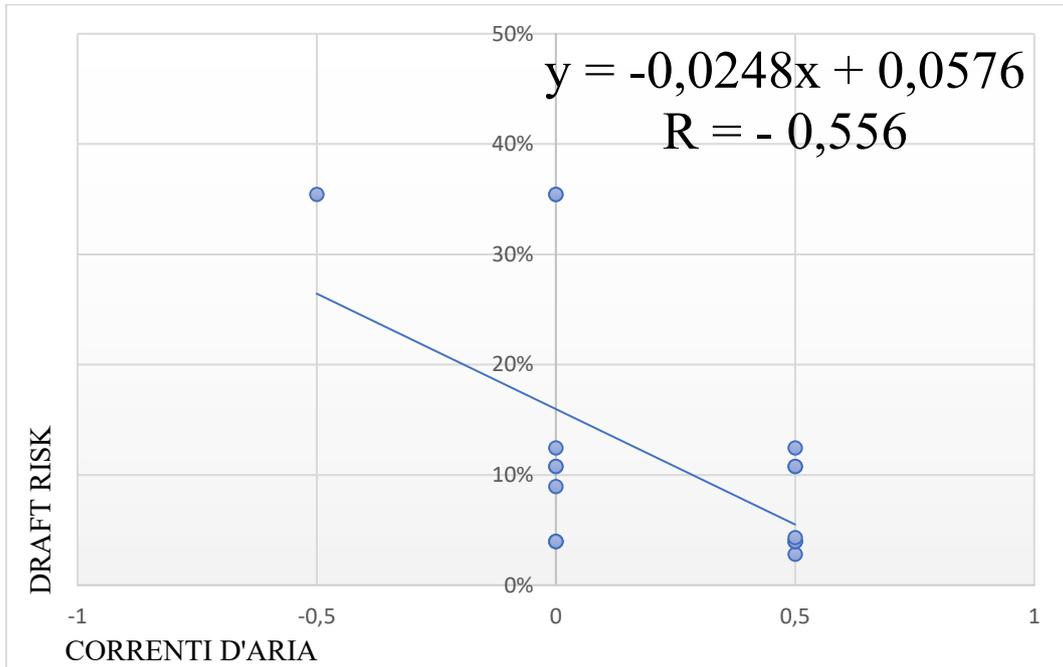


Fig. 104 Correlazione tra le correnti d'aria percepite e il draft risk calcolato.

4.2.2 Stagione invernale

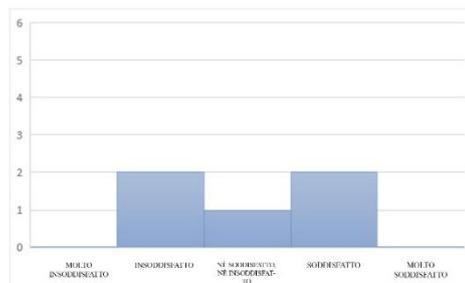
4.2.2.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

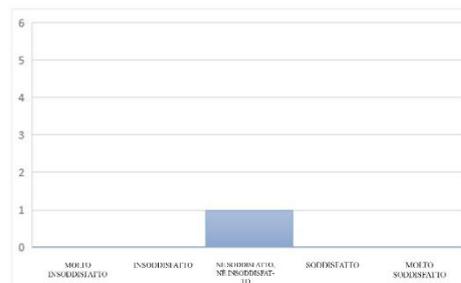
“Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?”

Qualità comfort termico percepita

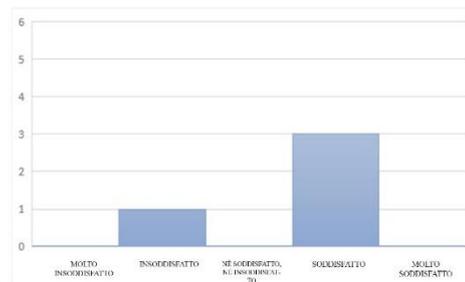
Prima - terza fila lato destro



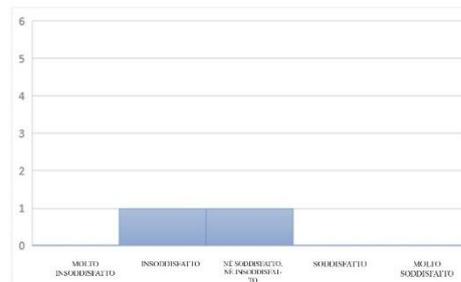
Prima - terza fila centro



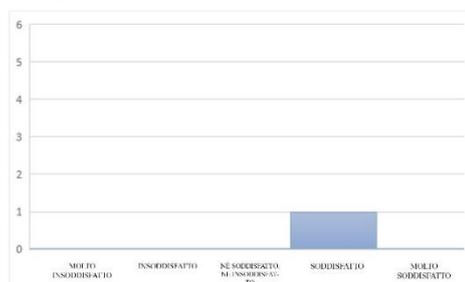
Prima - terza fila lato sinistro



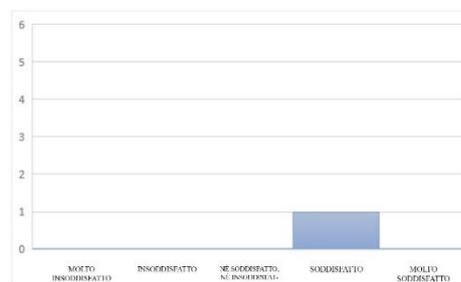
Fila centrale lato destro



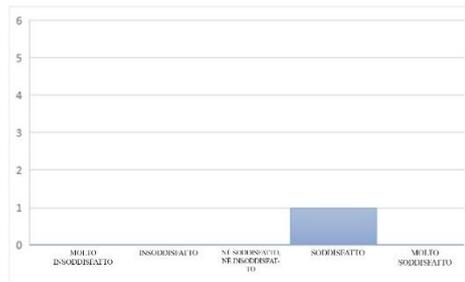
Fila centrale lato sinistro



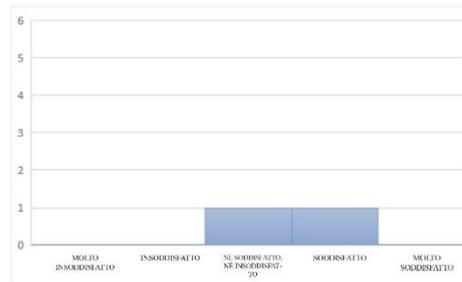
Terzultima - ultima fila lato destro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Come si può notare dai grafici l'aula risulta essere a livello di comfort termico, non considerando le risposte neutre, secondo le percezioni degli individui per metà soddisfacente e per metà insoddisfacente.

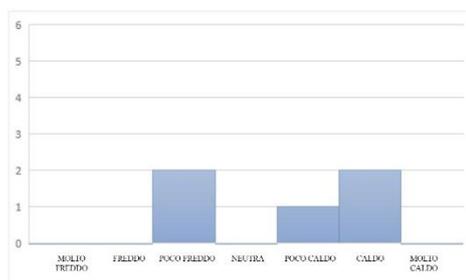
Analizzando però i dati rilevati in tabella 19, tutti gli studenti risultano essere in una condizione di forte discomfort.

Si nota come le persone soddisfatte sono situate nella zona sinistra dell'aula, questo perché sotto le finestre sono posti i radiatori a differenza della zona destra dove invece sono assenti, e di conseguenze le persone risultano insoddisfatte.

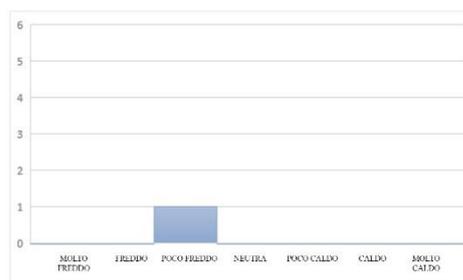
“Qual è la sensazione termica all’interno dell’aula?”

Sensazione termica

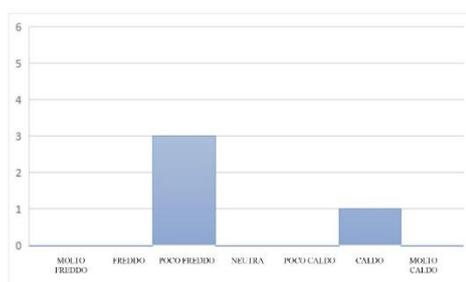
Prima - terza fila lato destro



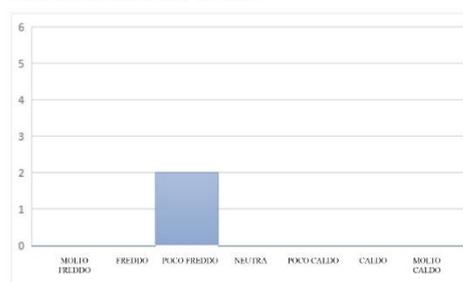
Prima - terza fila centro



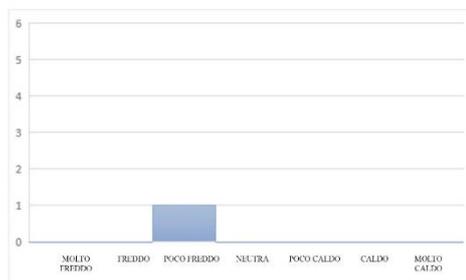
Prima - terza fila lato sinistro



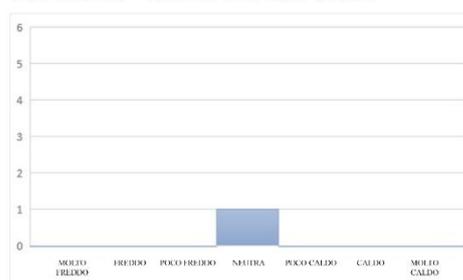
Fila centrale lato destro



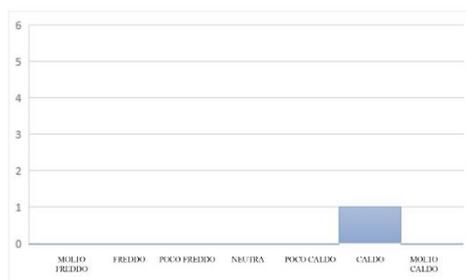
Fila centrale lato sinistro



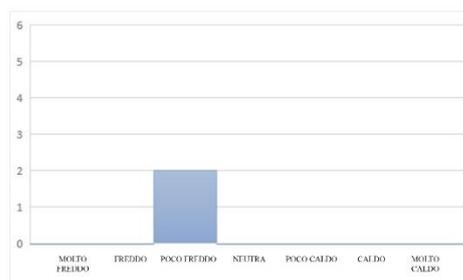
Terzultima - ultima fila lato destro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Analizzando i grafici sovrastanti, si nota come la maggior parte degli individui presenti all’interno dell’aula abbia risposto alla domanda “Qual’è la sensazione termica all’interno dell’aula?” in modo più frequente verso una sensazione di freddo.

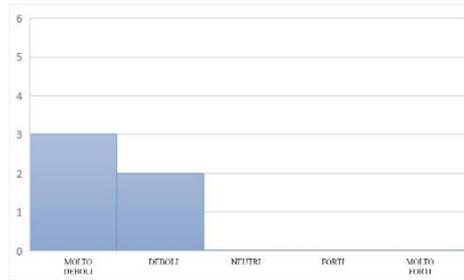
Questo fattore, se si analizzano contemporaneamente i dati soggettivi e quelli oggettivi rilevati (tabella 19), è influenzato molto dal vestiario degli individui. Anche se il vestiario degli studenti risulta essere abbastanza pesante, comporta

comunque una sensazione di freddo. Infatti, analizzando la temperatura dell'aula 25 (21 °C circa) risulta essere inferiore di circa 2 °C rispetto all'aula 4V, ma questo potrebbe non essere causato dal malfunzionamento dell'impianto di riscaldamento ma per lo più dalla mancanza di radiazione diretta proveniente dal sole che aiuta ad aumentare la temperatura interna dell'aula.

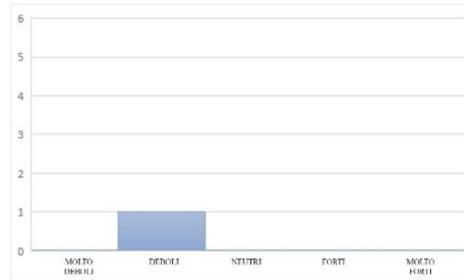
“Come percepisci i movimenti d’aria?”

Flussi d’aria ricavati da questionario

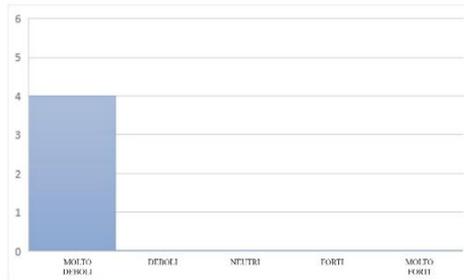
Prima - terza fila lato destro



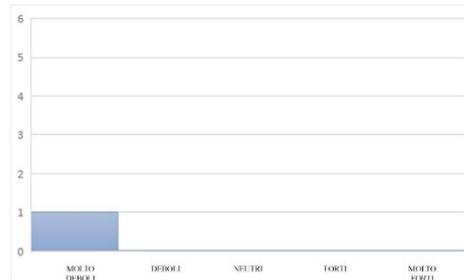
Prima - terza fila centro



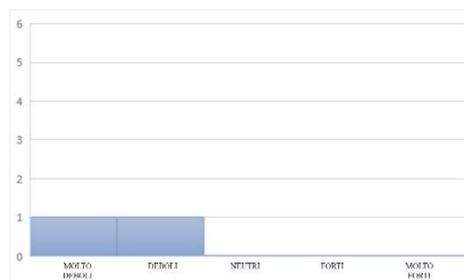
Prima - terza fila lato sinistro



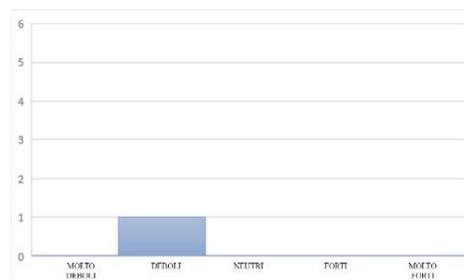
Fila centrale lato sinistro



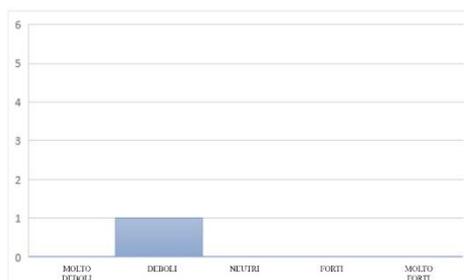
Fila centrale lato destro



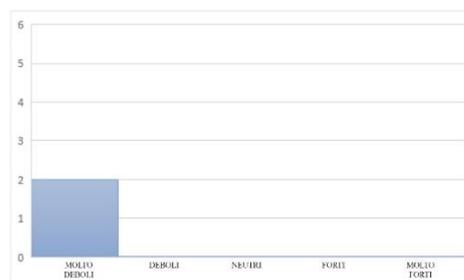
Terzultima - ultima fila lato destro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Tenendo in considerazione i valori dei dati termici rilevati (vedi tabella 19) e le condizioni interne dell’aula si spiegano i dati estrapolati dal questionario in questo modo: i grafici inerenti dell’aula tendono ad avere una maggioranza di risposte “deboli” e “molto deboli” conforme ai dati rilevati.

Questo fattore risulta essere tale in quanto durante la somministrazione del questionario, sia le finestre sia le porte erano chiuse. Dunque, non erano presenti

correnti d'aria che avrebbero potuto creare draft risk all'interno dell'aula, provocando discomfort agli individui.

4.2.2.2 Analisi oggettive

COMFORT TERMICO	Condizioni esterne	T _a [°C]	V _a [m/s]	V _a [m/s] ingresso fin.	U.R. [%]
	Nuvoloso	12	1.3	0	75

I dati qui di seguito esposti fanno riferimento al rilievo termico ed illuminotecnico eseguito all'interno dell'aula. Per quanto riguarda la tabella 19, i dati rilevati si fermano al parametro U.R (umidità relativa), mentre i dati CLO, MET, PMV e DRAFT RISK sono stati calcolati secondo le loro rispettive equazioni (vedi capitolo 3).

Tabella 19 Dati termici invernali rilevati in aula 25.

PUNTO DI MISURA	ORARIO	T _a (°C)	POSIZIONE SONDA	T _{pr} (°C)	T _{nr punto} (°C)	To(°C)	V _a (m/s) 5s	V _a (m/s) 3m	Dev V _a (m/s) 5s	Dev V _a (m/s) 3m	U.R %	CLO	MET	PMV	DRAFT RISK	
1	11:55	21.1	Soffitto (A)	20.5	20.2	20.6	0.01	0.08	0.04	0.16	50	T-Shirt	0.09	1.2	-1.45	0.02
			Pavimento (B)	19.7								Pantalone	0.25			
			Front (A)	19.5								Mitanda	0.04			
			Back (B)	20.9								Calzini	0.02			
			Sinistra (B)	20.5								Scarpe	0.02			
			Destra (A)	19.8												
2	11:43	21.4	Soffitto (A)	20.8	20.6	21.0	0.08	0.11	0.02	0.16	50	Maglione	0.28	1.2	-0.81	0.04
			Pavimento (B)	20.4								Pantalone	0.25			
			Front (A)	20.1								Mitanda	0.04			
			Back (B)	21.1								Calzini	0.02			
			Sinistra (B)	20.7								Scarpe	0.02			
			Destra (A)	20.3												
3	11:50	21.1	Soffitto (A)	20.7	20.4	20.6	0.06	0.02	0.04	0.03	50	T-Shirt	0.09	1.2	-0.67	-0.01
			Pavimento (B)	19.9								Pantalone	0.25			
			Front (A)	20.9								Mitanda	0.04			
			Back (B)	20								Calzini	0.02			
			Sinistra (B)	20.5								Scarpe	0.02			
			Destra (A)	20.3												
4	11:55	20.9	Soffitto (A)	19.9	19.7	20.3	0.03	0.14	0.02	0.31	50	T-Shirt	0.09	1.2	-0.8	0.11
			Pavimento (B)	19.8								Pantalone	0.25			
			Front (A)	18.8								Mitanda	0.04			
			Back (B)	20.4								Calzini	0.02			
			Sinistra (B)	20.2								Scarpe	0.02			
			Destra (A)	19.1												
5	12:01	20.9	Soffitto (A)	21.1	21.9	21.4	0.05	0.06	0.03	0.1	50	T-Shirt	0.09	1.2	-0.51	0.01
			Pavimento (B)	21.7								Pantalone	0.25			
			Front (A)	21.8								Mitanda	0.04			
			Back (B)	20.9								Calzini	0.02			
			Sinistra (B)	20.7								Scarpe	0.02			
			Destra (A)	21.1												
6	12:08	20.7	Soffitto (A)	21	20.1	20.4	0	0.04	0	0.04	50	Maglione	0.28	1.2	-0.98	0.00
			Pavimento (B)	19.6								Pantalone	0.25			
			Front (A)	20.9								Mitanda	0.04			
			Back (B)	19.6								Calzini	0.02			
			Sinistra (B)	19.2								Scarpe	0.02			
			Destra (A)	20.5												
7	12:14	20.9	Soffitto (A)	19.5	19.2	20.0	0.06	0.06	0.03	0.05	50	T-Shirt	0.09	1.2	-1.63	0.00
			Pavimento (B)	18.5								Pantalone	0.25			
			Front (A)	18.4								Mitanda	0.04			
			Back (B)	20.3								Calzini	0.02			
			Sinistra (B)	19.4								Scarpe	0.02			
			Destra (A)	19.1												
8	12:22	21.8	Soffitto (A)	21	20.9	21.2	0.01	0.03	0.04	0.04	50	Maglione	0.28	1.2	-0.71	-0.01
			Pavimento (B)	20.3								Pantalone	0.25			
			Front (A)	20.8								Mitanda	0.04			
			Back (B)	21.4								Calzini	0.02			
			Sinistra (B)	20.8								Scarpe	0.02			
			Destra (A)	20.8												
MEDIA		21.1			20.4	20.7	0.04	0.07	0.03	0.11	50			-0.95	0.02	

Analizzando i dati termici rilevati nell'aula 25V, si nota come determinati parametri abbiano dei valori molto costanti per tutti i punti di rilievo, tranne qualche punto d'eccezione.

Se si prende in considerazione la velocità dell'aria, si osserva che nei punti 2, 4 il valore relativo a questa risulta abbastanza alto rispetto alla media ottenuta.

Un altro parametro da analizzare è il PMV: dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool. In tutti i punti il PMV ha dei valori molto distanti dallo 0 (valore neutro).

In tutte le zone il PMV risulta essere negativo e superiore al range di accettabilità pari a -0,5. All'interno dell'aula come detto in precedenza, metà degli individui risultavano insoddisfatti pur avendo un abbigliamento abbastanza pesante. Mentre l'altra metà che risulta invece soddisfatto indossava in più sul vestiario la giacca pesante.

Se prendiamo come esempio il punto 6 invece il PMV è -0,98. Se l'individuo presente nel punto 6 avesse svolto un'attività diversa da quella sedentaria e quindi con un MET superiore a 1.2(ad esempio professore 1,6 MET), il suo PMV (considerando fissi gli altri parametri) avrebbe avuto un valore pari a -0,16²⁴.

Se invece l'individuo avesse continuato la sua attività ma avesse aggiunto una giacca pesante al suo vestiario, il suo PMV (considerando fissi gli altri parametri) avrebbe avuto un valore pari a -0,14.

²⁴ Dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool.

4.2.2.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Aula in cui è presente solo l'impianto di riscaldamento, mentre assente quello di raffrescamento e ventilazione meccanica. Per poter trarre delle conclusioni sulla parte termica della stagione invernale sono stati utilizzati i parametri calcolati del PMV e del PPD, approfonditi ai rispettivi paragrafi 3.1.8.1 e 3.1.8.2.

L'utilizzo di questo metodo durante la stagione invernale è possibile solo se l'ambiente in cui ci si trova per l'analisi è "moderato", cioè le condizioni ambientali non sono influenzate dalle caratteristiche dell'aula.

Il grafico sottostante rappresenta la correlazione tra la sensazione termica percepita di ogni individuo tratta dalle risposte del questionario e il dato PMV. I dati sono stati correlati sulla base della posizione degli individui in modo tale da avere delle sensazioni precise.

Gli assi di riferimento del grafico sono così suddivisi: sulle ascisse ci sono i dati del PMV, mentre sulle ordinate i valori della sensazione termica percepita, convertita secondo una scala di valori con un range da -1.5 a 1.5 (vedi tabella conversione sottostante).

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

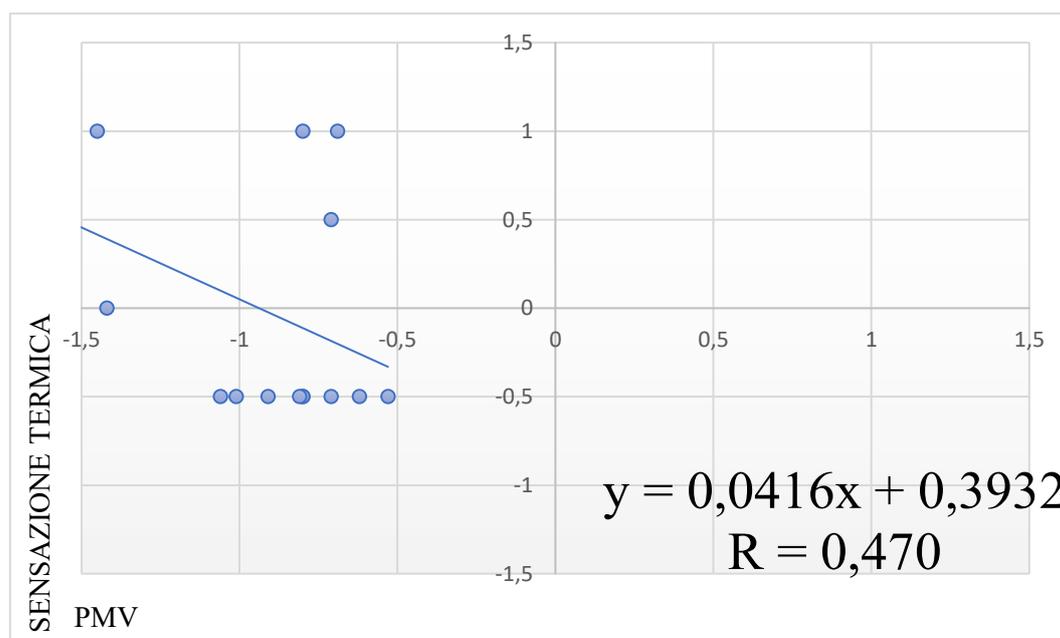


Fig. 105 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.

All'interno del grafico si nota come la maggior parte dei punti si discostano abbastanza dalla linea di tendenza. Ciò che accade all'interno dell'aula 25 è una variazione di sensazione termica dovuta ad una differenza termica interna. Infatti, se si osserva il grafico di correlazione si nota che la maggior parte dei punti sia posta sull'asse verticale in corrispondenza di -0.5 o di +1. Per quanto riguarda i punti sullo -0.5, questi individui provano una sensazione di “poco freddo” in quanto all'interno dell'aula la temperatura è di 21°C circa, e dunque il loro vestiario non è adatto all'ambiente. A differenza di ciò ci sono altri punti in corrispondenza di +1, qui invece, la situazione è ribaltata: vestiario troppo pesante o troppa vicinanza ai radiatori.

Se si osserva l'asse orizzontale del PMV si nota, invece, che il valore oscilla da -1.5 a -0.5, ciò vuol dire che nessuno degli individui sulla base del loro PMV è in comfort termico.

Un altro grafico fondamentale che aggrega le varie sensazioni all'interno di ogni zona è il successivo. A differenza del grafico precedente (fig. 105), sulle ordinate si ha il valore della sensazione termica media basata sugli individui di ogni differente zona.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

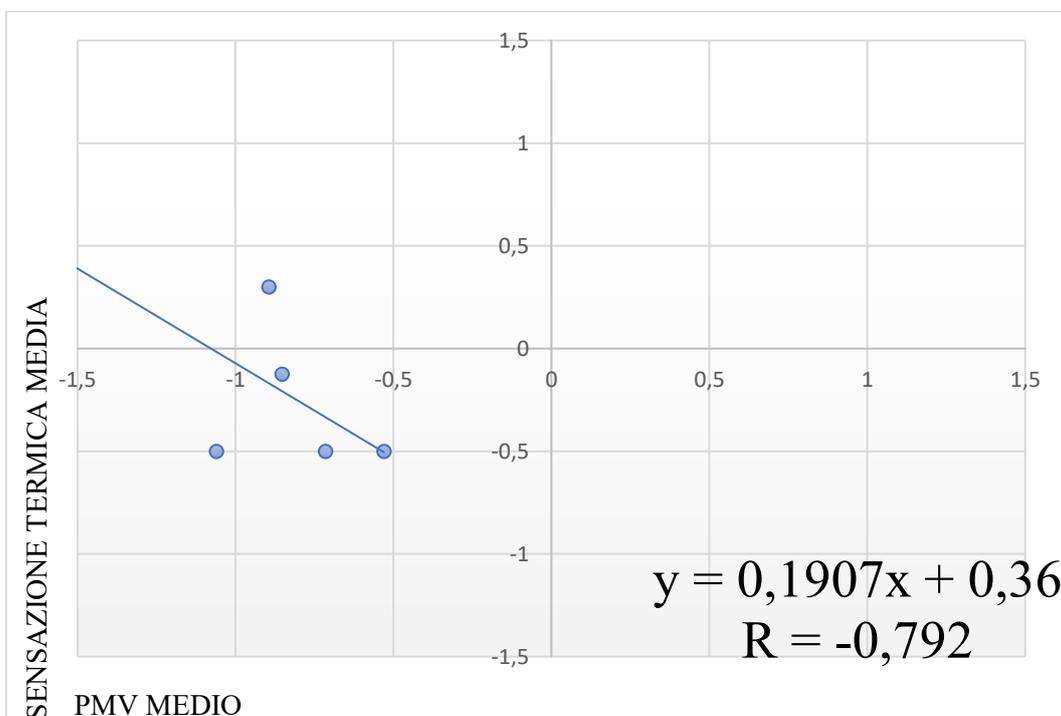


Fig. 106 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.

Anche in questo grafico si nota come alcuni punti sono lontani dalla linea di tendenza, però a differenza del grafico precedente qui i punti sono leggermente più vicini in quanto è un aggregato di valori e dunque alcuni parametri vanno ad alterarne altri. Ovviamente essendo un insieme di dati basato su delle sensazioni termiche percepite su ogni individuo in maniera differente, ci possono essere dei dati non precisamente definiti che così facendo sono annullati da altri (vedi allegato B: Tavola comfort termico aula 25 Invernale).

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto insoddisfatto: -1	Insoddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	------------------	----------------------

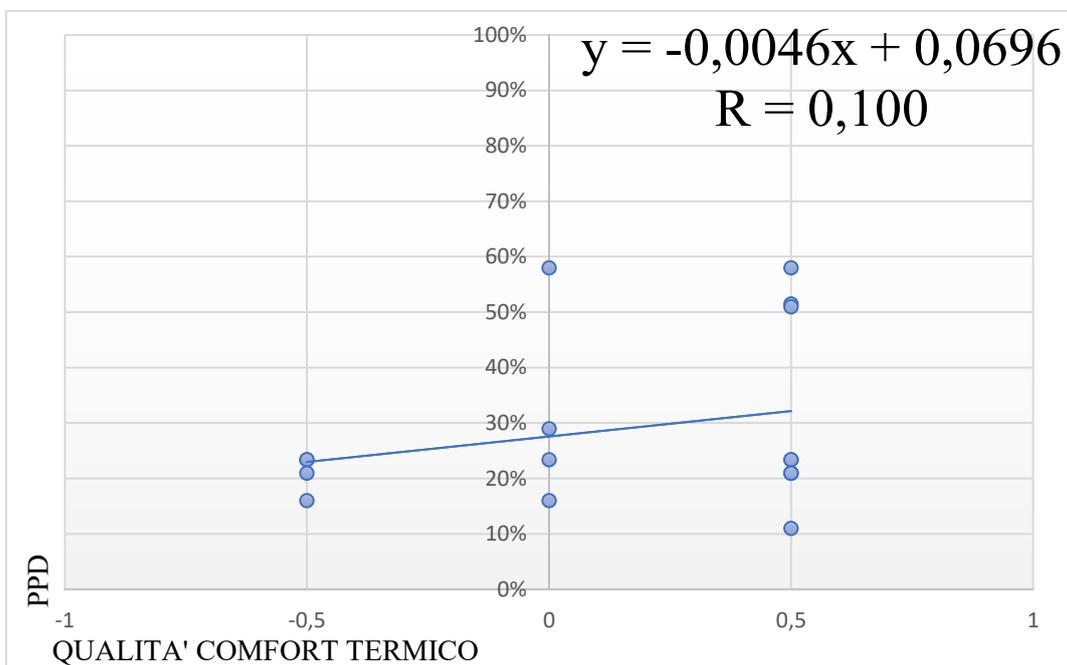


Fig. 107 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.

Un altro indice importante per poter trarre delle conclusioni inerenti alle aule è il PPD (Percentage of Person Dissatisfied). Questo indice definisce la percentuale di persone insoddisfatte della qualità del comfort termico. Dunque, la correlazione tra il PPD e la qualità del comfort termico percepita dagli individui all'interno dell'aula definisce un grafico, anch'esso con una linea di tendenza che indica i valori di soddisfazione del comfort termico.

Il grafico soprastante (fig. 107) illustra due valori di riferimento: PPD (calcolato tramite l'uso di CBE Thermal Comfort Tool su ogni zona) sulle ordinate e qualità del comfort termico percepita sulle ascisse (convertita secondo una scala di valori con un range da -1 a 1).

La loro correlazione mostra come tutti i punti siano distanti dalla linea di tendenza: tutti i punti si trovano in un range che va dal 10% al 60%, dunque tutti gli individui secondo il calcolo del PPD dovrebbero essere insoddisfatti delle condizioni di comfort termico in quanto il PPD deve essere inferiore al 10%.

Altri due parametri analizzati sono la velocità dell'aria e Draft risk, correlati entrambi alle correnti d'aria percepite dagli individui nelle singole zone dell'aula.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

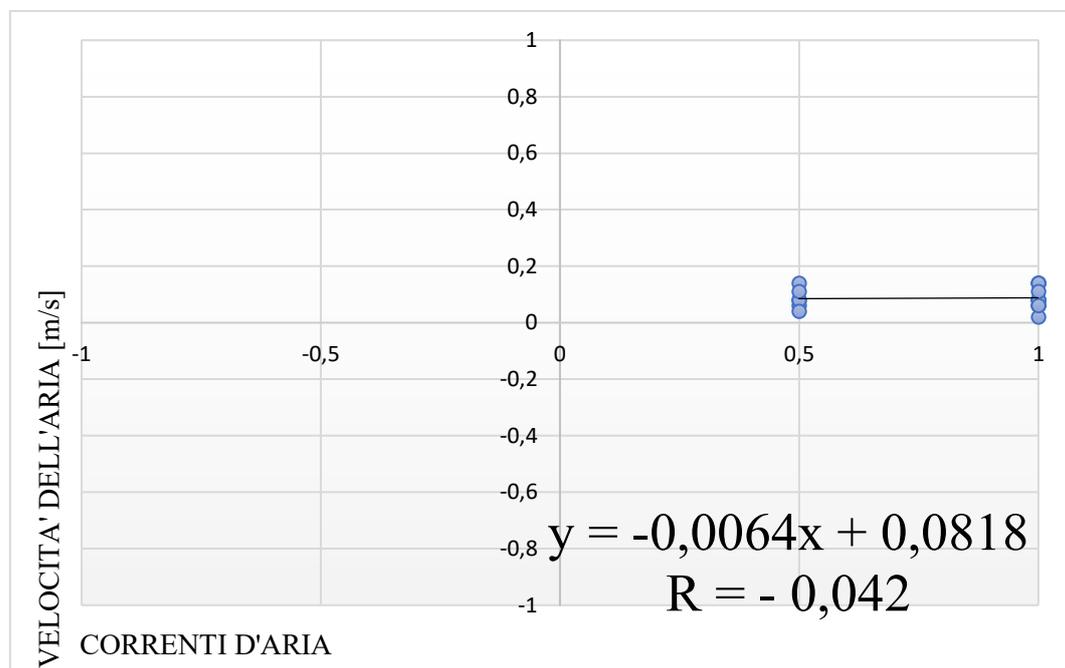


Fig. 108 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.

Attraverso l'utilizzo delle risposte sulle correnti d'aria, e convertendo le sensazioni delle correnti d'aria in una scala numerica di riferimento compresa in un range tra -1 e +1 con intervalli di 0.5, si possono correlare numericamente la percezione dei movimenti d'aria e la velocità dell'aria.

Nel grafico soprastante si avvicinano maggiormente alla linea di tendenza la maggior parte dei punti, in quanto tutte le zone hanno dei flussi d'aria molto deboli. La linea di tendenza ci indica un equilibrio che ci dovrebbe essere all'interno dell'aula, e che nella maggior parte delle zone viene rispettato.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

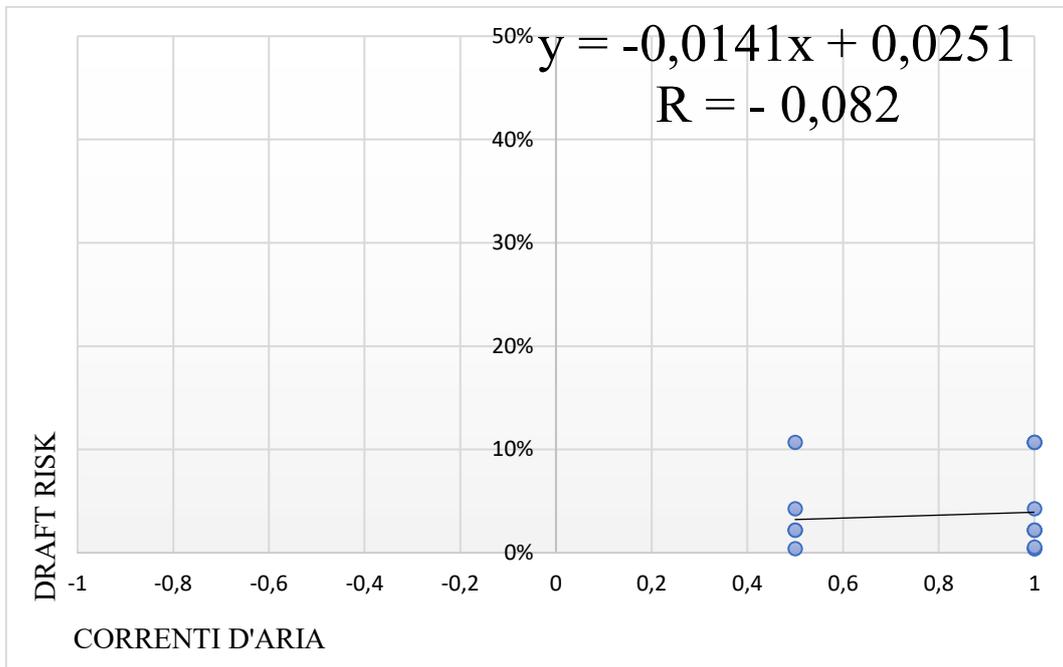


Fig. 109 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.

Procedendo con le analisi dell'aula 25, si è correlato le correnti d'aria percepite dagli studenti e il draft risk. Il grafico soprastante mostra come anche in questa correlazione alcuni punti sono discostati dalla linea di tendenza, questo indica che all'interno dell'aula, in alcune zone rilevate (prima-terza fila lato sinistro) vi è il rischio di correnti d'aria che possono rendere gli individui insoddisfatti dell'ambiente in cui si trovano. Le zone in discomfort a livello di correnti d'aria sono rappresentate nella tabella sottostante.

Tabella 20 Dati draft risk rilevati critici.

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?	CLO	Velocità dell'aria [m/s]	Flussi quest	Flussi quest	Draft risk
Prima-terza fila lato sinistro	5 Maglione - Pantalone / Camicia- pantalone	0,14	Deboli	0,5	0,11
Prima-terza fila lato sinistro	3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito		Molto deboli	1	0,11
Prima-terza fila lato sinistro	3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito		Molto deboli	1	0,11
Prima-terza fila lato sinistro	3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito		Molto deboli	1	0,11

Il grafico istogramma successivo mostra le risposte soggettive degli individui per quanto riguarda la sensazione termica percepita, come già accennato in precedenza con il grafico di correlazione tra PMV e sensazione termica percepita (fig. 105), i presenti all'interno dell'aula provano sensazioni termiche di "poco freddo" e sensazioni orientate verso il caldo, con una percentuale di individui bassa per quanto riguarda la neutralità.

In tutte le zone dell'aula se si analizzano i grafici istogramma disaggregati per zona (vedi paragrafo 4.2.2.1 sulla sensazione termica), si nota come la sensazione di freddo sia molto frequente. Ciò è causato sia dalla temperatura dell'aria interna sia dalla poca radiazione solare incidente all'interno dell'aula che in molti casi ne aumenta la temperatura. Questo fattore però è anche provocato dal vestiario indossato, che non è adeguato per la stagione invernale.

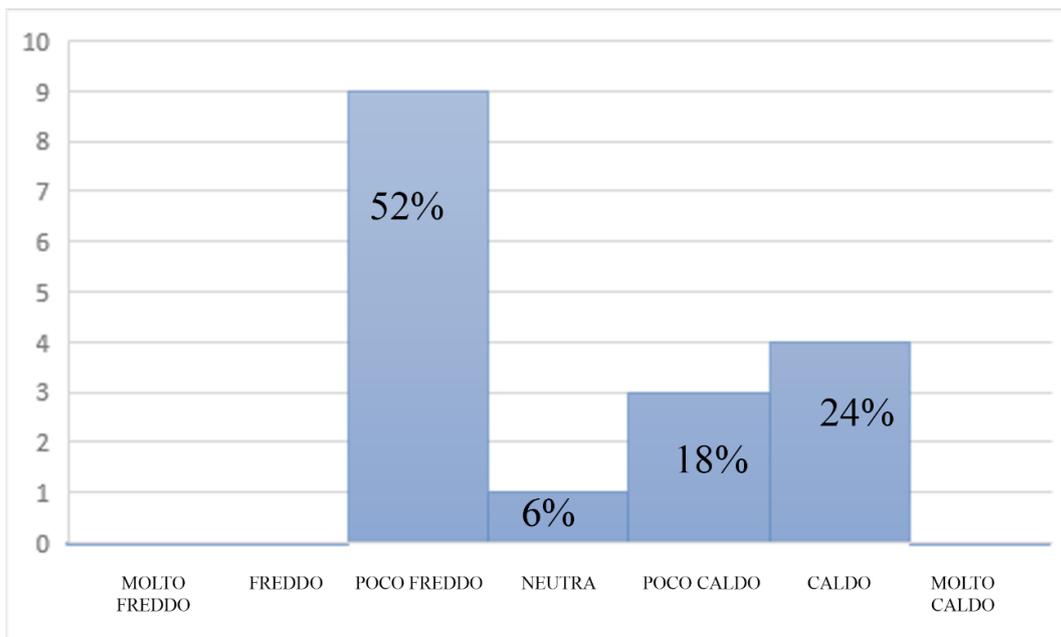


Fig. 110 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.

Il grafico seguente mostra le risposte soggettive complessive sulle correnti d'aria interne all'aula, si può notare subito come tutti gli individui abbiano risposto in modo uniforme. Infatti, le risposte più frequenti sono "molto deboli" e "deboli". Questo è dovuto all'assenza di finestre o porte aperte.

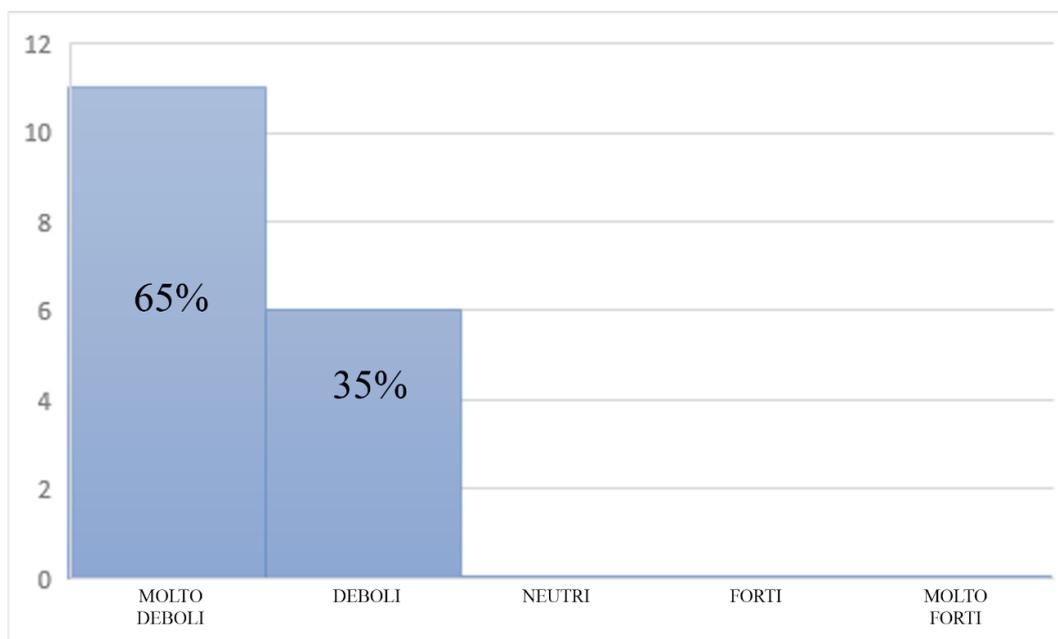


Fig. 111 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.

4.3 Aula 201

L'aula 201, situata nella sede dislocata del Politecnico di Torino presso il Lingotto è stata rilevata: per il periodo estivo il giorno 06/06/2019 alle ore 11:30; per il periodo invernale il giorno 15/11/2019 alle ore 11:40.

All'interno dell'aula si è deciso di utilizzare come punti fondamentali i lati del corridoio, il centro dell'aula e la cattedra (vedi fig. 112). L'area delimitata in verde è l'area di influenza ed il punto in cui sono state prese le misurazioni per le condizioni esterne.

Si è deciso di rilevare l'aula lungo i corridoi e al centro delle postazioni a sedere, perpendicolarmente all'apertura delle porte. L'aula è completamente vetrata, sia sull'affaccio interno che sull'affaccio esterno, è dunque importante selezionare i punti di rilievo in modo tale da poter avere un confronto sia oggettivo sia soggettivo delle persone poste vicino alla parete finestrata e quelle poste nella parte interna.

L'aula come descritta in precedenza per quanto riguarda la parte metrica, durante il rilievo era occupata da persone per circa il 25% per la stagione estiva, mentre circa il 50% durante i rilievi invernali. Presenta un sistema di radiatori in alluminio posti sotto le finestre, tre per ogni parete vetrata verso l'esterno.

La ventilazione è controllata invece meccanicamente.

Durante il rilievo dei dati estivi, l'aula presentava due finestre aperte, le porte chiuse ed i radiatori erano spenti.

Durante invece il rilievo invernale una porta aperta ed una chiusa, i radiatori accesi e le finestre chiuse.

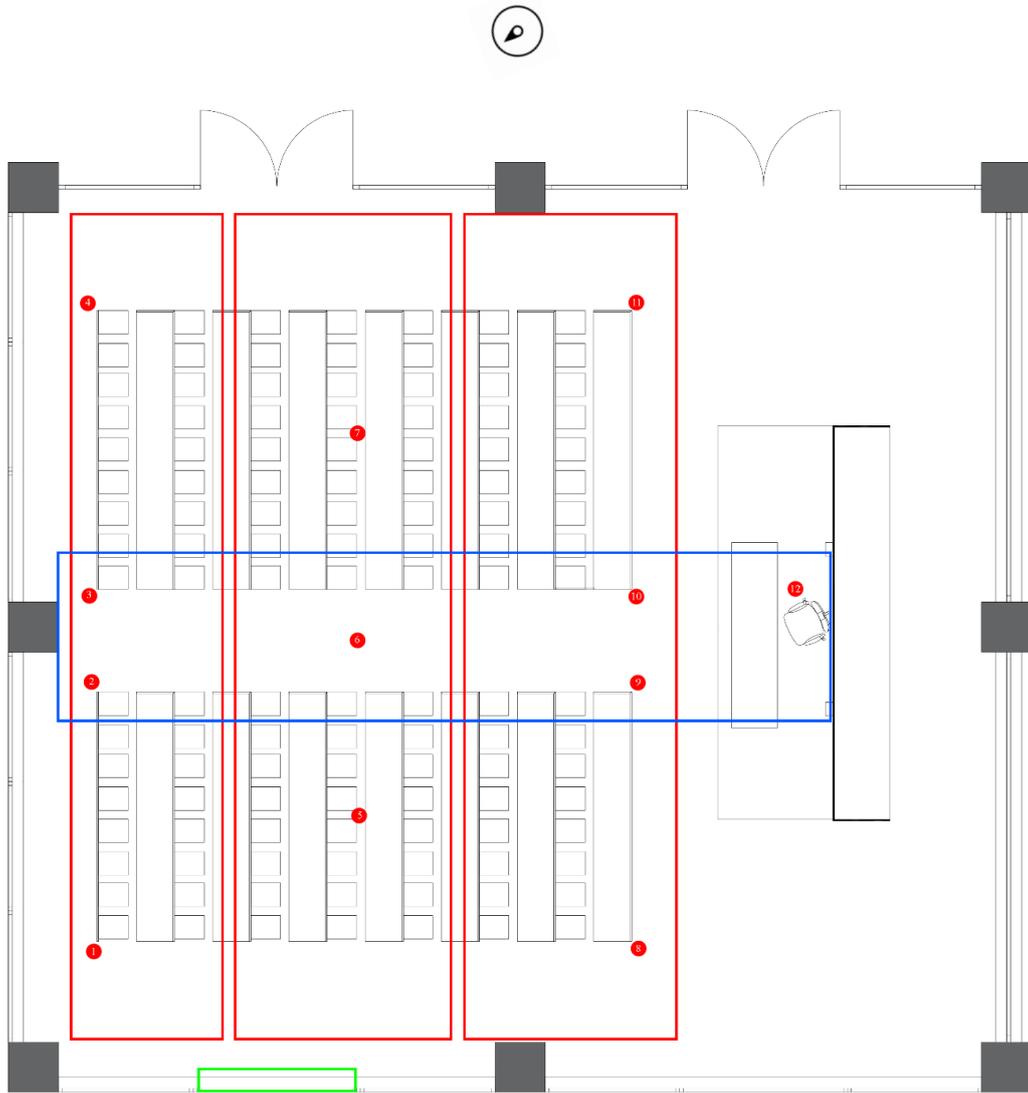


Fig. 112 Pianta aula 201 con in rosso i punti del rilievo termico.

4.3.1 Stagione estiva

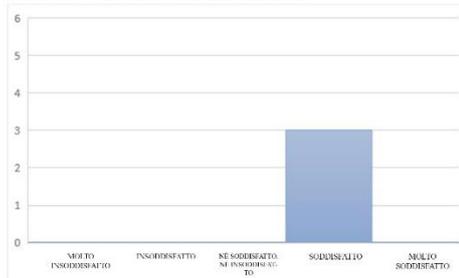
4.3.1.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

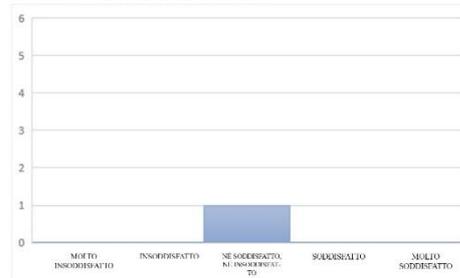
“Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?”

Qualità comfort termico percepita

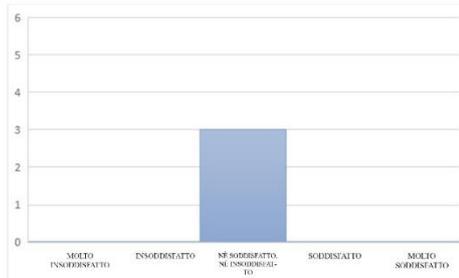
Prima - terza fila lato destro



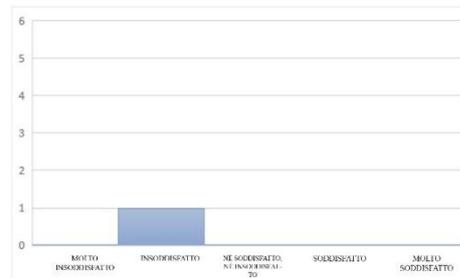
Prima - terza fila centro



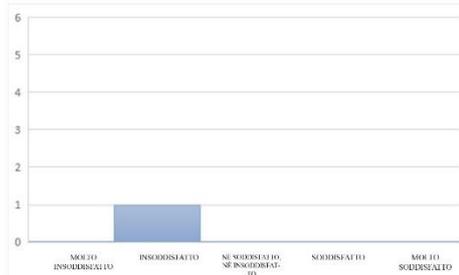
Prima - terza fila lato sinistro



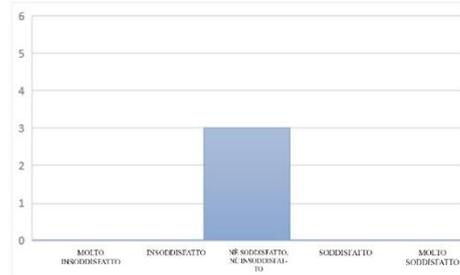
Fila centrale lato destro



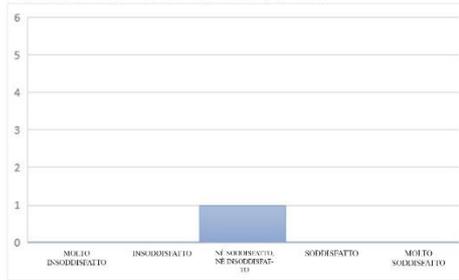
Fila centrale lato sinistro



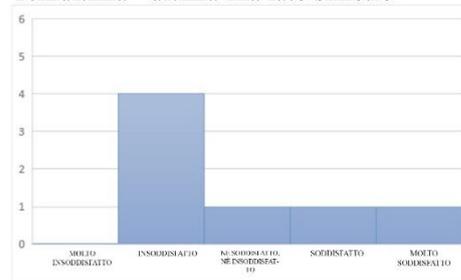
Terzultima - ultima fila lato destro



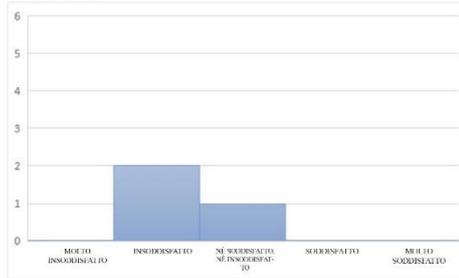
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Per quanto riguarda il grado di soddisfazione delle condizioni di comfort termico all'interno dell'aula 201, le risposte degli individui presenti all'interno risultano essere abbastanza uniformi ed orientate sulla neutralità.

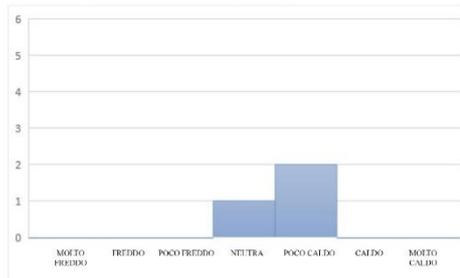
L'unica zona che presenta delle risposte orientate verso l'insoddisfazione è quella centrale, a cui corrispondono i punti oggettivi rilevati 5, 6 e 7.

Infatti, analizzando i dati oggettivi si nota che il PMV degli studenti in quei punti è alto e dunque ci fa capire che provano sensazioni di calore.

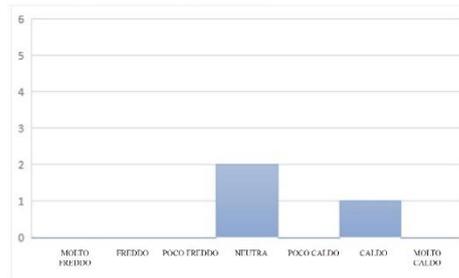
“Qual è la sensazione termica all’interno dell’aula?”

Sensazione termica percepita

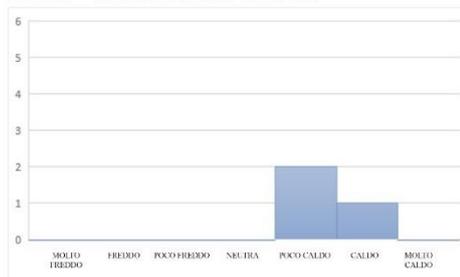
Prima - terza fila lato destro



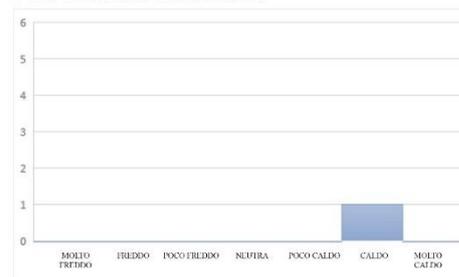
Prima - terza fila centro



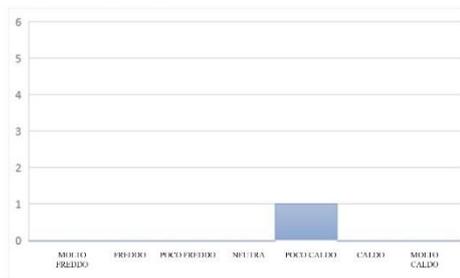
Prima - terza fila lato sinistro



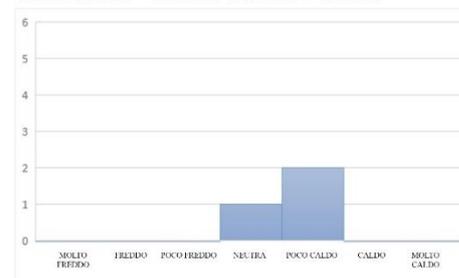
Fila centrale lato destro



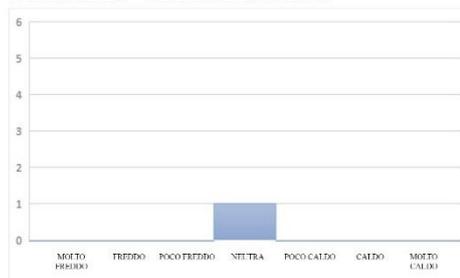
Fila centrale lato sinistro



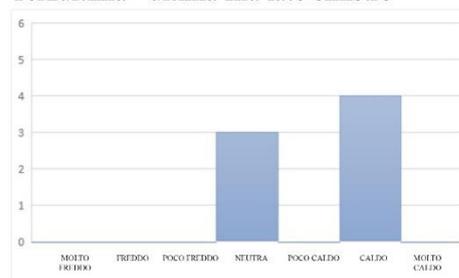
Terzultima - ultima fila lato destro



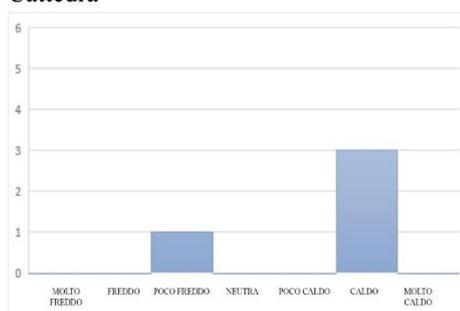
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



La sensazione termica interna all'aula secondo gli individui presenti si orienta verso temperature alte e dunque con una sensazione di calore.

Si può notare nella terzultima-ultima fila lato sinistro un'abbondanza di risposte orientate verso temperature alte.

Confrontando i dati soggettivi con la tabella (vedi tabella 21) dei dati oggettivi si nota che nel punto 4 corrispondente alla zona presa in considerazione, gli individui hanno un vestiario molto pesante ed inoltre non sono presenti correnti d'aria. Ciò vuol dire che gli individui provano sensazioni di calore a causa del loro vestiario, non adeguato alla stagione e all'aula stessa.

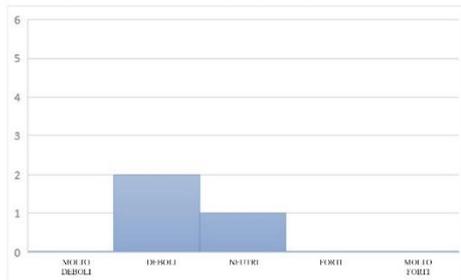
Un'altra zona critica è la cattedra, corrispondente al punto 12. In questa zona le risposte come nell'altra sono orientate verso la sensazione "caldo", questo fenomeno è dovuto anche qui al vestiario degli individui. Inoltre, se si va ad analizzare il PMV degli individui presenti, si nota come questo sia un valore molto alto corrispondente a 1.15.

Dunque, le sensazioni che si provano sono molto spesso causate da un vestiario non adeguato ma anche da alcune condizioni interne dell'aula.

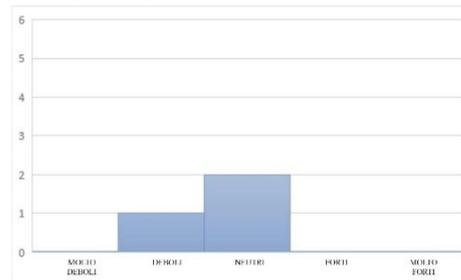
“Come percepisci i movimenti d’aria?”

Flussi d’aria percepiti

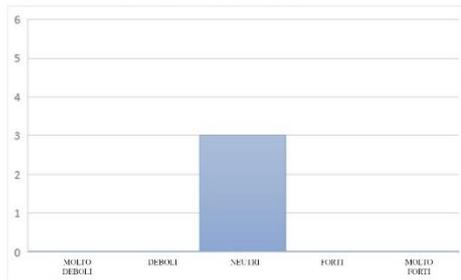
Prima - terza fila lato destro



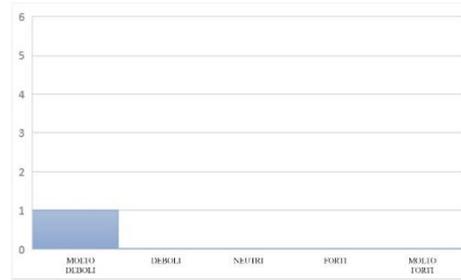
Prima - terza fila centro



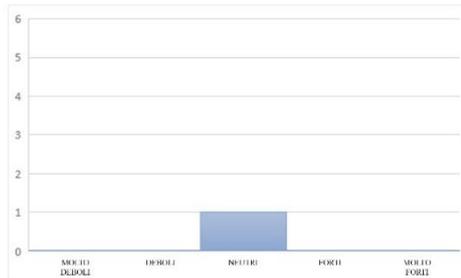
Prima - terza fila lato sinistro



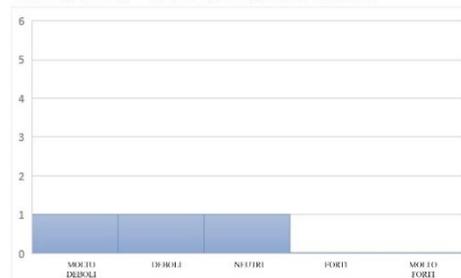
Fila centrale lato destro



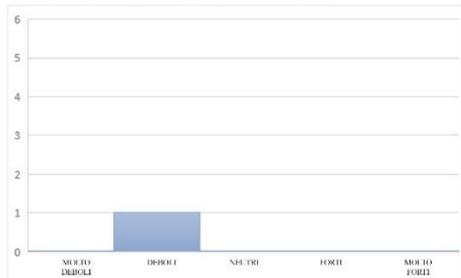
Fila centrale lato sinistro



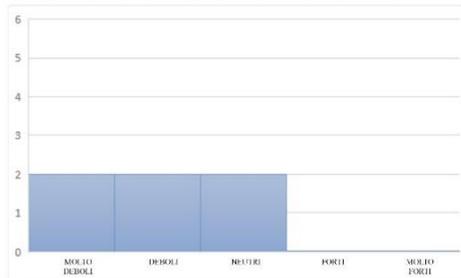
Terzultima - ultima fila lato destro



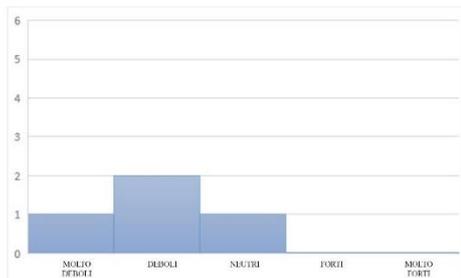
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Tenendo in considerazione i valori dei dati termici rilevati (vedi tabella 21) e le condizioni interne dell'aula (finestre aperte), si spiegano i dati estrapolati dal questionario in questo modo: i grafici inerenti al lato posteriore dell'aula tendono ad avere una maggioranza di risposte “deboli” e “neutri” in quanto vi è la presenza delle finestre aperte che creano correnti d'aria, così come anche per il lato destro.

4.3.1.2 Analisi oggettive

COMFORT TERMICO	Condizioni esterne	T _a [°C]	V _a [m/s]	V _a [m/s] ingresso fin.	U.R. [%]
	Estate	26.5	0.6	1.4	82

I dati qui di seguito esposti fanno riferimento al rilievo termico ed illuminotecnico eseguito all'interno dell'aula. Per quanto riguarda la tabella 21, i dati rilevati si fermano al parametro U.R. (umidità relativa), mentre i dati CLO, MET, PMV e DRAFT RISK sono stati calcolati secondo le loro rispettive equazioni (vedi capitolo 3).

Tabella 21 Dati termici estivi rilevati in aula 201.

PUNTO DI MISURA	ORARIO	Ta(°C)	POSIZIONE SONDA	Tpr (°C)	Tmr punto (°C)	To (°C)	Va (m/s) 5s	Va(m/s)3m	Dev Va (m/s) 5s	Dev Va (m/s) 3m	U.R. %	CLO	MET	PMV	DRAFT RISK		
1	11:33	26.3	Soffitto (A)	14.4	30.6	28.2	0.14	0.16	0.05	0.07	45	Canotta	0.2	1.2	0.96	0.03	
			Pavimento (B)	28.3									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	28.4									Maniada	0.04			
			Back (B)	30.6									Calzini	0.02			
			Suola(A)	28.4									Scarpe	0.02			
2	11:42	25.7	Soffitto (A)	29	28.1	26.7	0.17	0.22	0.06	0.1	41	T-Shirt	0.09	1.2	0.88	0.06	
			Pavimento (B)	28.6									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	27									Maniada	0.04			
			Back (B)	29.2									Calzini	0.02			
			Suola(A)	27.1									Scarpe	0.02			
3	11:48	26.5	Soffitto (A)	29.4	28.8	27.4	0.15	0.22	0.06	0.08	42	T-Shirt	0.09	1.2	0.93	0.05	
			Pavimento (B)	28.8									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	28									Maniada	0.04			
			Back (B)	30									Calzini	0.02			
			Suola(A)	28.2									Scarpe	0.02			
4	11:54	25.9	Soffitto (A)	28.1	27.6	26.8	0.07	0.09	0.08	0.1	47	T-Shirt	0.09	1.2	0.86	0.01	
			Pavimento (B)	28.2									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	28.2									Maniada	0.04			
			Back (B)	29.6									Calzini	0.02			
			Suola(A)	28.2									Scarpe	0.02			
5	12:00	26.6	Soffitto (A)	28.7	29.2	27.7	0.2	0.16	0.06	0.08	43	T-Shirt	0.09	1.2	0.85	0.01	
			Pavimento (B)	28.8									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	29.2									Maniada	0.04			
			Back (B)	30.2									Calzini	0.02			
			Suola(A)	28.5									Scarpe	0.02			
6	12:06	26.2	Soffitto (A)	27.5	27.8	27.0	0.15	0.09	0.04	0.06	62	T-Shirt	0.09	1.2	0.82	0.01	
			Pavimento (B)	28.2									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	27.1									Maniada	0.04			
			Back (B)	28.7									Calzini	0.02			
			Suola(A)	27.3									Scarpe	0.02			
7	12:11	26.2	Soffitto (A)	27.5	27.5	26.9	0.08	0.09	0.03	0.05	48	T-Shirt	0.09	1.2	0.89	0.01	
			Pavimento (B)	28									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	27.3									Maniada	0.04			
			Back (B)	28.5									Calzini	0.02			
			Suola(A)	28.5									Scarpe	0.02			
8	12:17	26.4	Soffitto (A)	31.3	29.5	28.0	0.12	0.1	0.04	0.05	42	T-Shirt	0.09	1.2	0.8	0.01	
			Pavimento (B)	27.7									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	28.4									Maniada	0.04			
			Back (B)	29.5									Calzini	0.02			
			Suola(A)	27.5									Scarpe	0.02			
9	12:25	26.1	Soffitto (A)	27.2	27.3	26.7	0.06	0.08	0.02	0.08	45	T-Shirt	0.09	1.2	0.87	0.01	
			Pavimento (B)	27.8									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	27.1									Maniada	0.04			
			Back (B)	28									Calzini	0.02			
			Suola(A)	26.8									Scarpe	0.02			
10	12:33	25.9	Soffitto (A)	27.5	27.1	26.5	0.11	0.08	0.1	0.07	45	T-Shirt	0.09	1.2	0.83	0.01	
			Pavimento (B)	25.8									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	28.9									Maniada	0.04			
			Back (B)	27.7									Calzini	0.02			
			Suola(A)	28.3									Scarpe	0.02			
11	12:41	25.5	Soffitto (A)	28.3	26.1	25.8	0.07	0.15	0.03	0.1	45	T-Shirt	0.09	1.2	0.89	0.04	
			Pavimento (B)	25.5									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	25.4									Maniada	0.04			
			Back (B)	26.9									Calzini	0.02			
			Suola(A)	25.4									Scarpe	0.02			
12	12:48	25.8	Soffitto (A)	27.5	27.4	26.6	0.07	0.11	0.03	0.05	49	Canotta	0.2	1.6	1.15	0.02	
			Pavimento (B)	28.4									Pantaloni	0.25			
			Front (A)	28.3									Maniada	0.04			
			Back (B)	28.8									Calzini	0.02			
			Suola(A)	28.9									Scarpe	0.02			
MEDIA		26.1	Soffitto (A)	27.5	26.1	27.0	0.11	0.13	0.05	0.07	46.3			1.2	0.84	0.02	
			Pavimento (B)	28.4													
			Front (A)	28.3													
			Back (B)	28.8													
			Suola(A)	28.9													

Analizzando i dati termici rilevati nell'aula 201, si nota come determinati parametri abbiano dei valori molto costanti per tutti i punti di rilievo, tranne qualche punto d'eccezione.

Se si prende in considerazione la velocità dell'aria, si osserva che nei punti 2, 3 e 5 il valore relativo a questa risulta abbastanza alto rispetto alla media ottenuta, ma nessuno di essi supera il valore di normativa pari a 0,25 m/s per la stagione estiva. Dunque, questo fattore può essere considerato un vantaggio per il benessere termico.

Un altro parametro da analizzare è il PMV: dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool. Nei punti 1, 4, 5, 6, 8 e 12 il PMV ha dei valori molto alti e distanti dallo 0 (valore neutro).

Un valore di PMV così elevato non è solo influenzato dal vestiario, anzi in quest'aula pochi valori sono dettati dal CLO, ma principalmente sono influenzati dagli altri parametri interni all'aula. Parametri molto alti di temperatura dell'aria e umidità relativa bassa.

4.3.1.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Aula in cui è presente sia un impianto di riscaldamento sia quello di raffrescamento e ventilazione meccanica. Per poter trarre delle conclusioni sulla parte termica sono stati utilizzati i parametri calcolati del PMV e del PPD, approfonditi ai rispettivi paragrafi 3.1.8.1 e 3.1.8.2.

Il grafico sottostante rappresenta la correlazione estrapolata tra la sensazione termica di ogni individuo tratta dalle risposte del questionario e il dato PMV. I dati sono stati correlati sulla base della posizione degli individui in modo tale da avere delle sensazioni precise.

Gli assi di riferimento del grafico sono così suddivisi: sulle ascisse ci sono i dati del PMV, mentre sulle ordinate i valori della sensazione termica percepita, convertita secondo una scala di valori con un range da -1.5 a 1.5.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

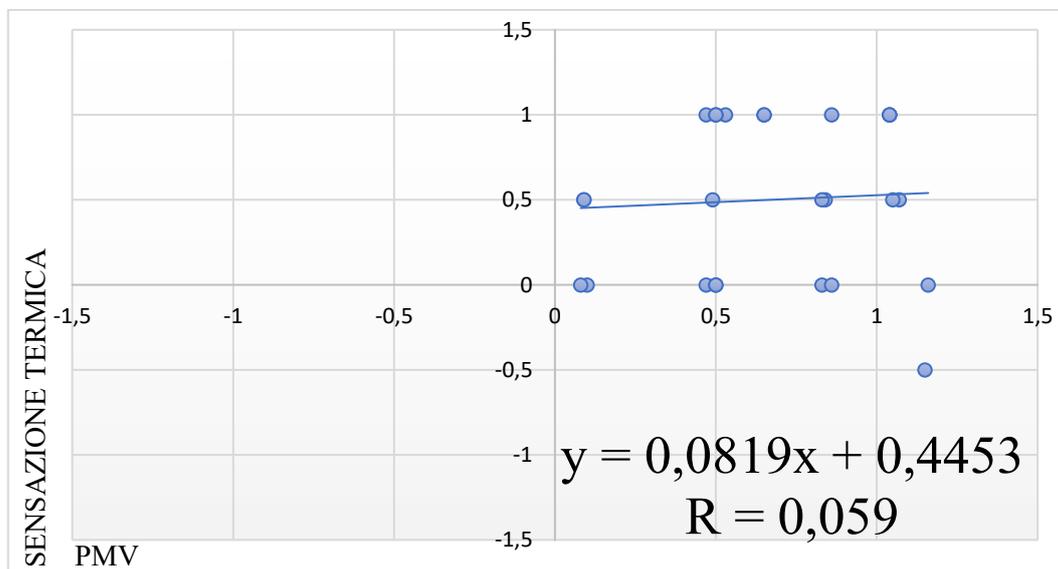


Fig. 113 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.

All'interno del grafico si nota come la maggior parte dei punti si discostano abbastanza dalla linea di tendenza. Sono tratte due conclusioni differenti per due tipologie di insieme di punti: quelli che hanno come ordinata 1, hanno una sensazione di calore; gli altri, con ordinata 0, sono invece in una condizione di comfort, anche se il loro valore di PMV si discosta dalla linea di tendenza. Ogni

individuo ed ogni rispettiva sensazione sono alterati in modo positivo o negativo dalla tipologia di vestiario indossata.

Un altro grafico fondamentale che aggrega le varie sensazioni all'interno di ogni zona è il successivo. A differenza del grafico precedente (fig. 113), sulle ordinate si ha il valore della sensazione termica media basata sugli individui di ogni differente zona.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
-----------------------	------------	----------------------	-----------	--------------------	----------	------------------

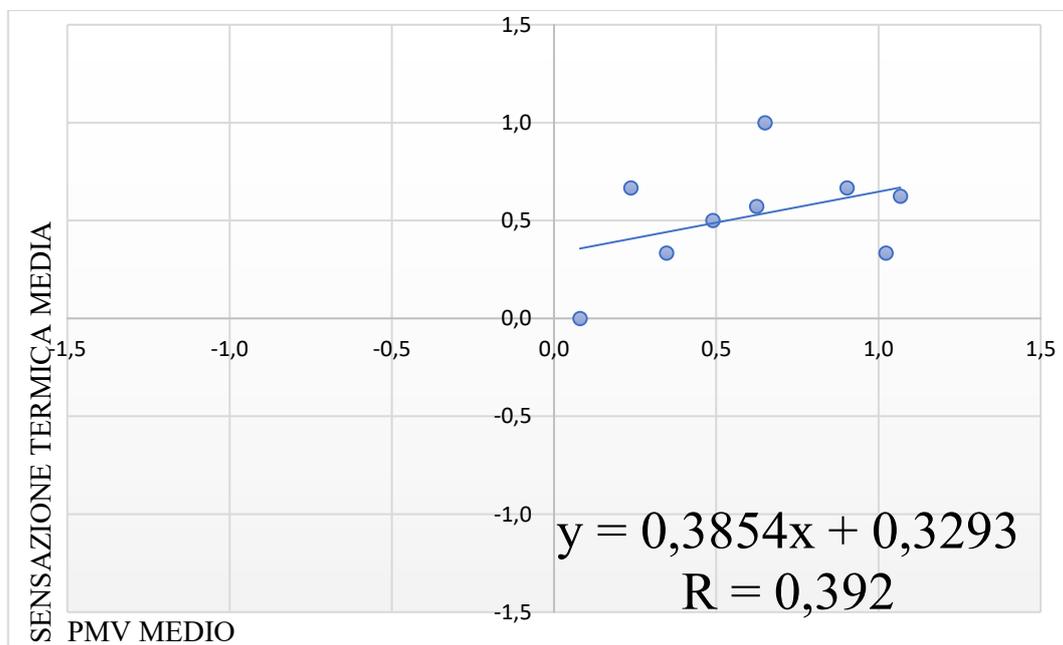


Fig. 114 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.

Anche in questo grafico si nota come alcuni punti sono lontani dalla linea di tendenza, però a differenza del grafico precedente qui i punti sono leggermente più vicini in quanto è un aggregato di valori e dunque alcuni parametri vanno ad alterarne altri. Ovviamente essendo un insieme di dati basato su delle sensazioni termiche percepite su ogni individuo in maniera differente, ci possono essere dei dati non precisamente definiti che così facendo sono annullati da altri (vedi allegato C: Tavola comfort termico aula 201 Estivo).

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto insoddisfatto: -1	Insoddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	------------------	----------------------

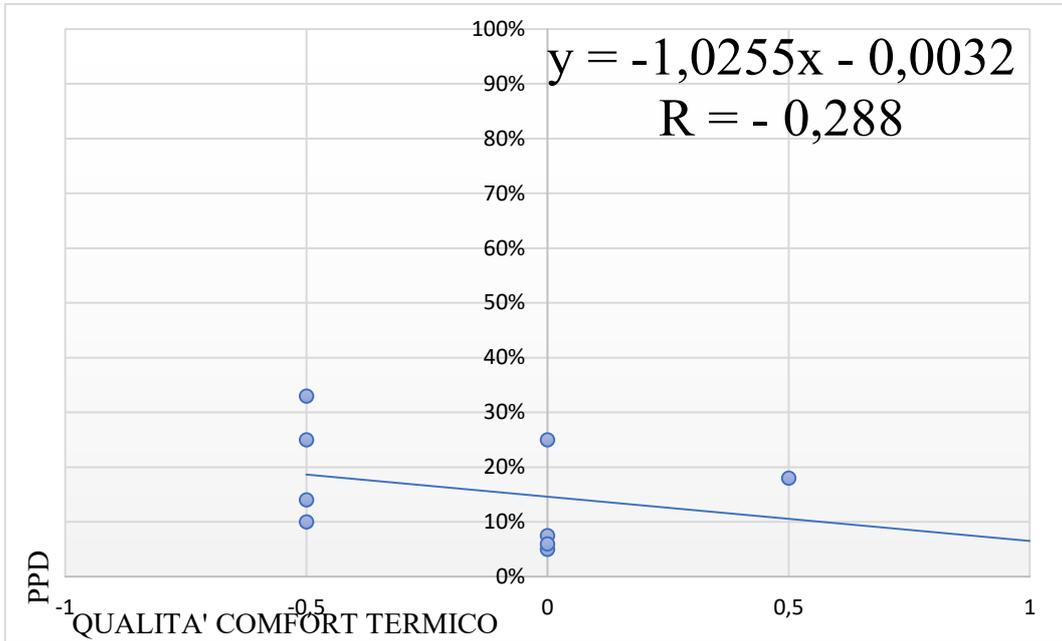


Fig. 115 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.

Un altro indice importante per poter trarre delle conclusioni inerenti alle aule con raffrescamento meccanico è il PPD (Percentage of Person Dissatisfied). Questo indice definisce la percentuale di persone insoddisfatte della qualità del comfort termico. Dunque, la correlazione tra il PPD e la qualità del comfort termico percepita dagli individui all'interno dell'aula definisce un grafico, anch'esso con una linea di tendenza che indica i valori di soddisfazione del comfort termico.

Il grafico soprastante (fig. 115) illustra due valori di riferimento: PPD medio (calcolato tramite l'uso di CBE Thermal Comfort Tool su ogni zona) sulle ordinate e qualità del comfort termico percepita sulle ascisse (convertita secondo una scala di valori con un range da -1 a 1).

La loro correlazione mostra come tutti i punti siano distanti dalla linea di tendenza: quelli più vicini sono dati in cui il PPD è < 10%, dunque la percentuale di persone insoddisfatte delle condizioni di comfort termico è bassa ed accettabile; i punti più lontani presentano un PPD > 10%.

Per poter meglio capire il grafico precedente si prende una sola zona tipo in analisi, spiegata nel grafico successivo.

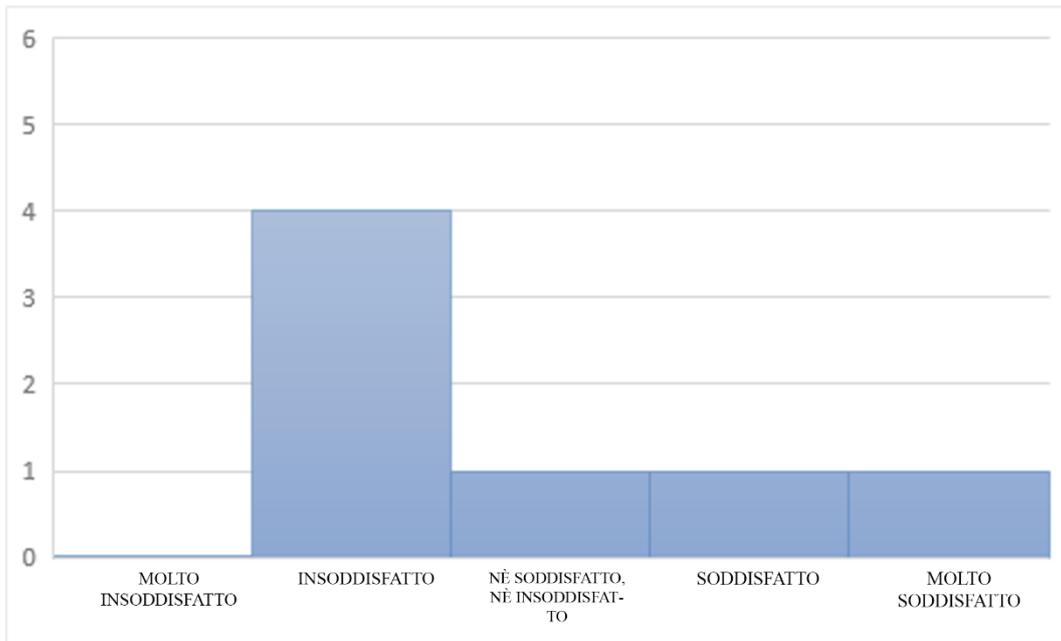


Fig. 116 Grafico istogramma: qualità del comfort termico terzultima-ultima fila lato sinistro.

Tabella 22 Dati PPD, terzultima-ultima fila lato sinistro.

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?	CLO	PPD	Comfort	Scala comfort
Terzultima-ultima fila lato sinistro	4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglione - Pantalone	25%	Insoddisfatto	-0,5
Terzultima-ultima fila lato sinistro	3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito		Neutro	0
Terzultima-ultima fila lato sinistro	3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito		Insoddisfatto	-0,5
Terzultima-ultima fila lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone		Insoddisfatto	-0,5
Terzultima-ultima fila lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone		Molto soddisfatto	1
Terzultima-ultima fila lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone		Insoddisfatto	-0,5
Terzultima-ultima fila lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone		Soddisfatto	0,5
Terzultima-ultima fila lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone			

Analizzando le due figure (fig. 116 e tabella 22) si rileva una correlazione tipo di persone insoddisfatte.

Dal grafico istogramma si nota come la maggior parte delle persone presenti percepisca una qualità del comfort termico insoddisfacente e allo stesso tempo osservando la tabella si evidenzia la stessa percezione avendo un PPD pari al 25%, dato molto elevato rispetto alla Norma UNI EN ISO 7730:2006.

Allo stesso modo delle altre due aule senza raffrescamento meccanico, anche in questa si è analizzato il fattore velocità dell'aria e Draft risk, correlati entrambi alle correnti d'aria percepite dagli individui nelle singole zone dell'aula.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

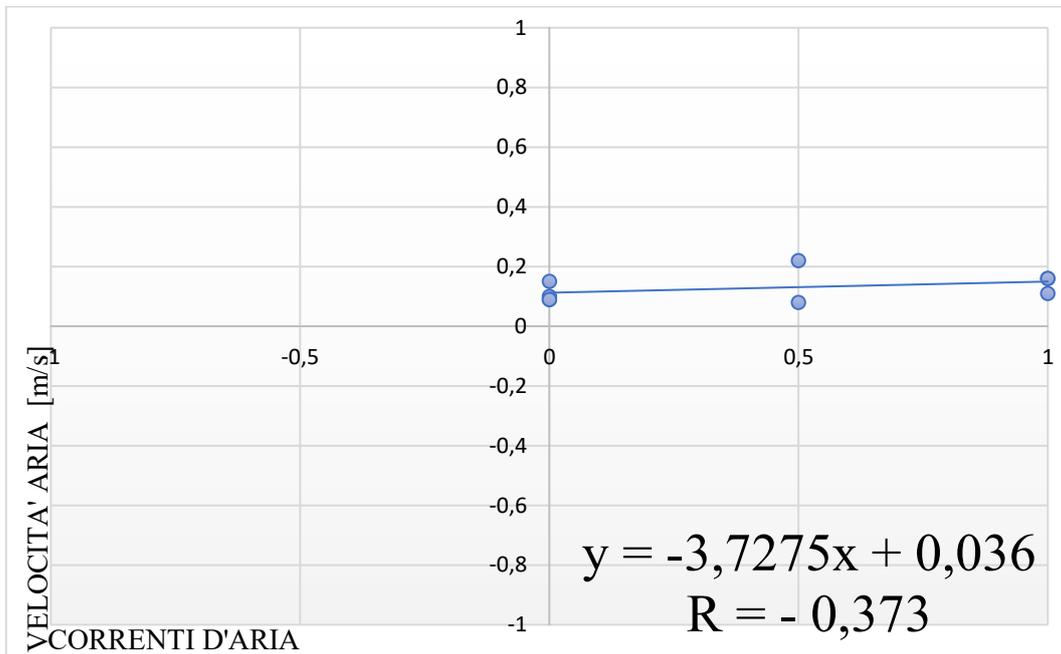


Fig. 117 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.

Attraverso l'utilizzo delle risposte sulle correnti d'aria, e convertendo le sensazioni delle correnti d'aria in una scala numerica di riferimento compresa in un range tra -1 e +1 con intervalli di 0.5, si possono correlare numericamente la percezione dei movimenti d'aria e la velocità dell'aria.

Nel grafico soprastante si avvicinano maggiormente alla linea di tendenza la maggior parte dei punti, in quanto tutte le zone hanno dei flussi d'aria molto deboli. La linea di tendenza ci indica un equilibrio che ci dovrebbe essere all'interno dell'aula, e che nella maggior parte delle zone viene rispettato.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

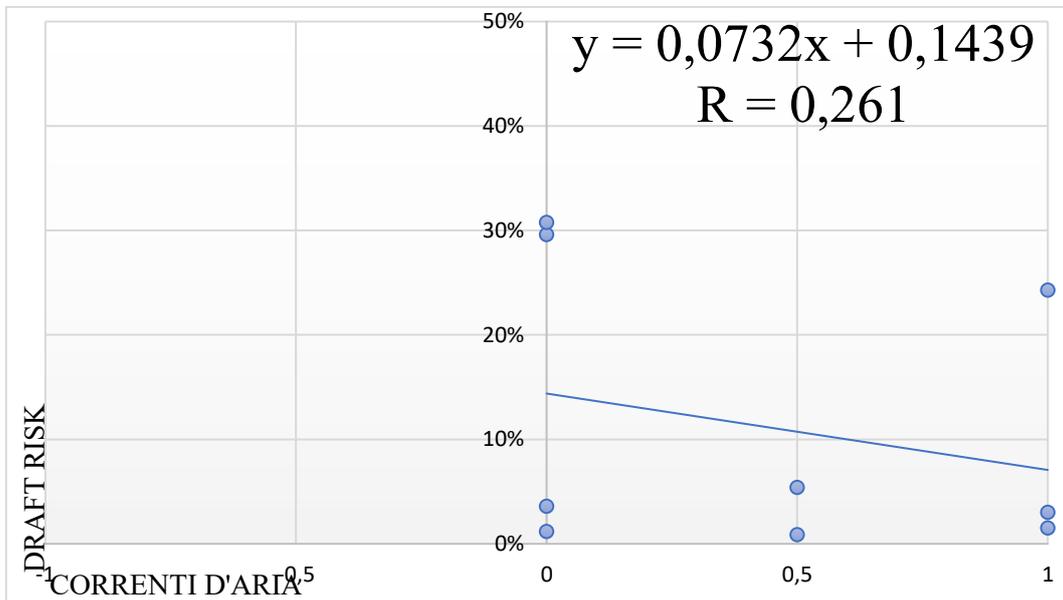


Fig. 118 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.

Procedendo con le analisi dell'aula 201, si è correlato le correnti d'aria percepite dagli studenti e il draft risk. Il grafico soprastante mostra come anche in questa correlazione alcuni punti sono discostati dalla linea di tendenza, questo indica che all'interno dell'aula, in alcune zone rilevate vi è il rischio di correnti d'aria che possono rendere gli individui insoddisfatti dell'ambiente in cui si trovano. Le zone in discomfort a livello di correnti d'aria sono rappresentate nella tabella sottostante.

Tabella 23 Dati draft risk rilevati critici.

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?	CLO	Velocità aria [m/s]	Flussi quest	Flussi quest	Draft risk		
Terzultima-ultima fila lato sinistro	4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglione - Pantalone	0,09	Neutri	0	0,30		
Terzultima-ultima fila lato sinistro	3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito		Neutri	0			
Terzultima-ultima fila lato sinistro	3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito		Molto deboli	-1			
Terzultima-ultima fila lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone		Molto deboli	-1			
Terzultima-ultima fila lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone		Neutri	0			
Terzultima-ultima fila lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone		Deboli	-0,5			
Terzultima-ultima fila lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone		Deboli	-0,5			
Zona centrale lato destro	2 T-shirt - Pantalone		0,16	Molto deboli		-1	0,24
Zona centrale lato sinistro	2 T-shirt - Pantalone		0,09	Neutri		0	0,31

Al termine delle varie correlazioni tra i dati soggettivi ed oggettivi, si traggono conclusioni interessanti a livello di sensazione termica e correnti d'aria. Infatti, analizzando i grafici sottostanti (fig. 119 e fig. 120), si nota un'inversa proporzionalità tra i dati soggettivi sulla sensazione termica, orientati verso temperature calde e i dati sulle correnti d'aria che mostrano deboli flussi.

Questa proporzionalità risulta essere inversa in quanto al diminuire della velocità delle correnti d'aria si ha un'innalzamento della sensazione termica.

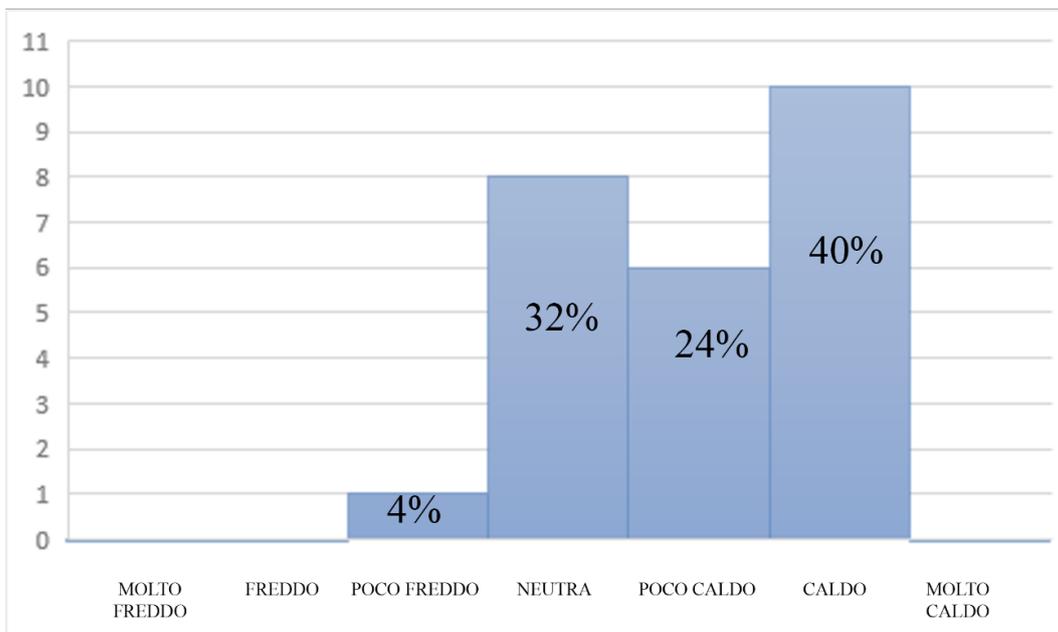


Fig. 119 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.

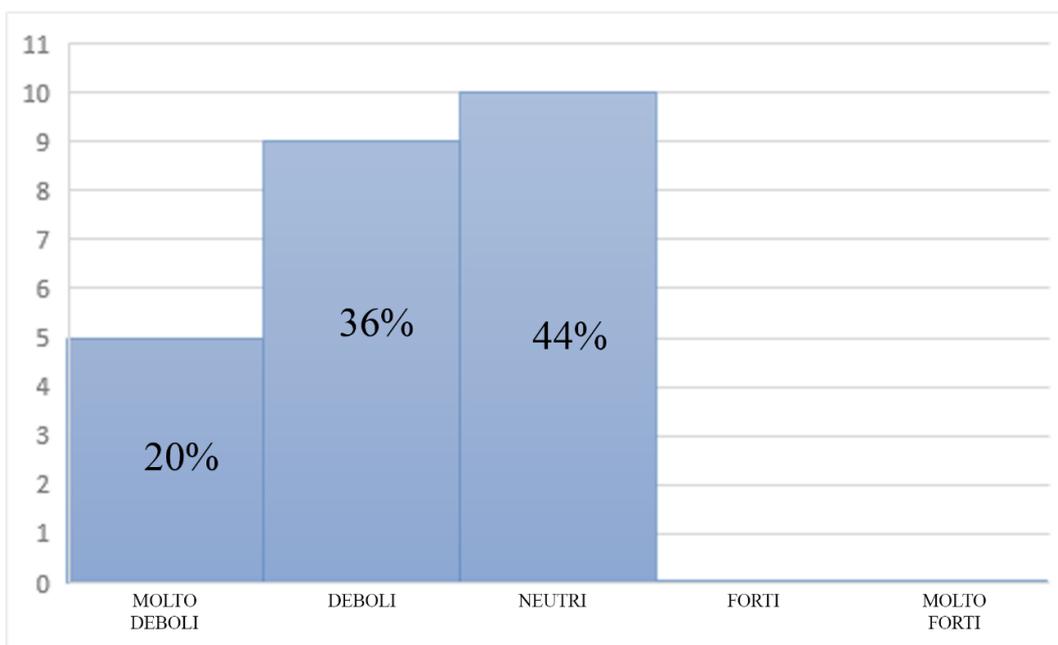


Fig. 120 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.

4.3.2 Stagione invernale

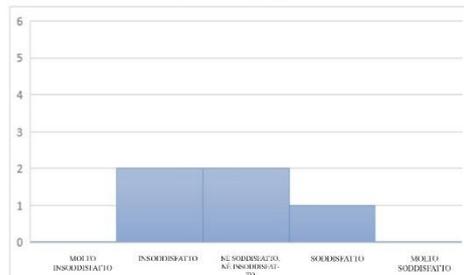
4.3.2.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

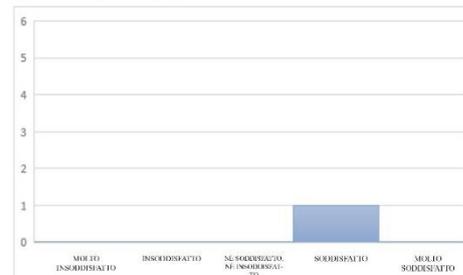
“Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?”

Qualità comfort termico percepita

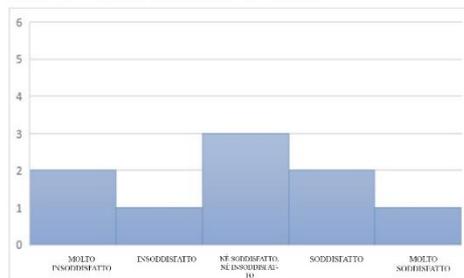
Prima - terza fila lato destro



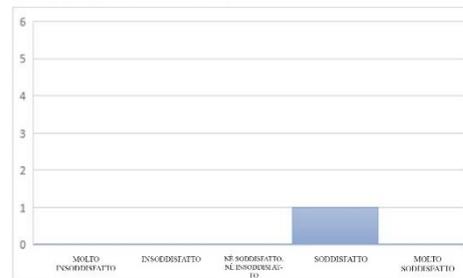
Prima - terza fila centro



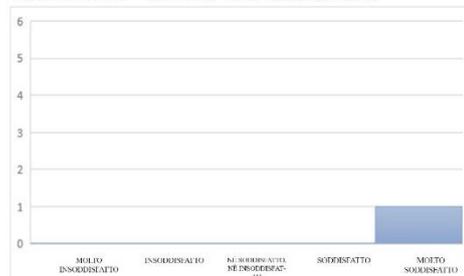
Prima - terza fila lato sinistro



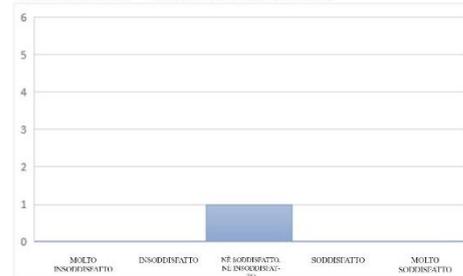
Fila centrale - centro



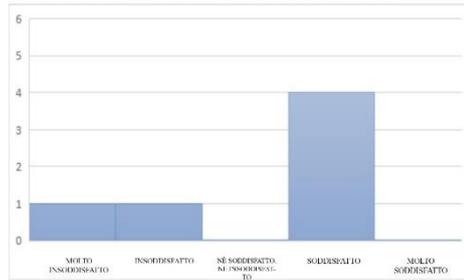
Terzultima - ultima fila lato destro



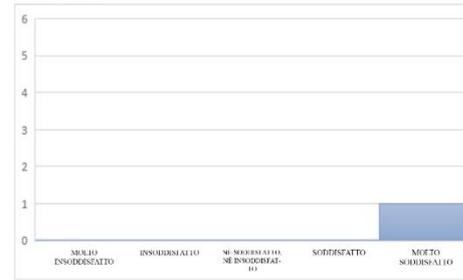
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Come si può notare dai grafici, le zone con più variazione di risposte, e dunque maggiormente analizzabili sono la prima-terza fila lato sinistro, prima terza fila lato destro e terzultima-ultima fila lato sinistro.

Le persone sedute nella prima-terza fila lato destro e sinistro, e terzultima-ultima fila lato sinistro all'interno dell'aula valutano la qualità dell'ambiente sia in modo soddisfacente che insoddisfacente, questo perché la parete posta a nord-ovest e nord-est è quasi completamente vetrata.

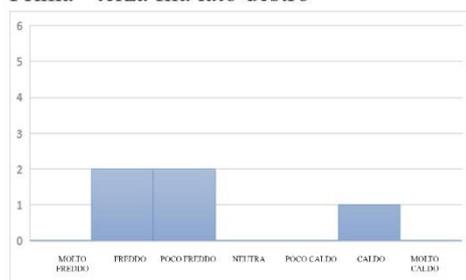
Le persone soddisfatte risultano essere quelle con a fianco/alle spalle il radiatore perché quest'ultimo crea una barriera tra l'individuo e la parete, mentre quelle insoddisfatte risultano essere quelle prive di radiatore nelle vicinanze.

Nella prima-terza fila lato destro e sinistro abbiamo una divergenza di risposte, dovuta presumibilmente ad una differenza di abbigliamento che ne modifica il grado di soddisfazione dell'ambiente.

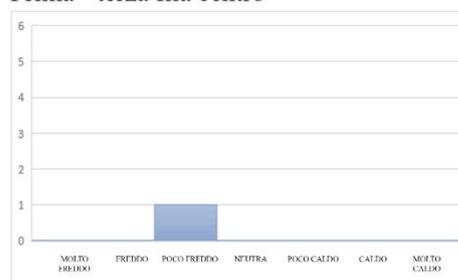
“Qual è la sensazione termica all’interno dell’aula?”

Sensazione termica percepita

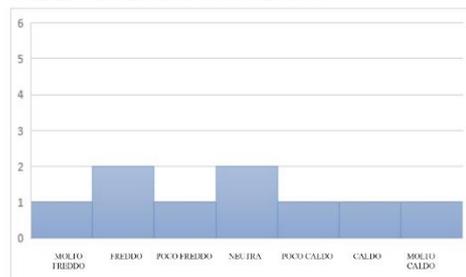
Prima - terza fila lato destro



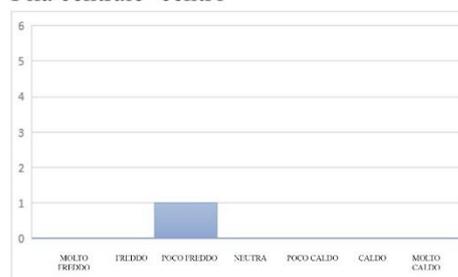
Prima - terza fila centro



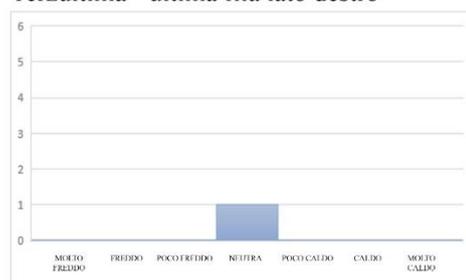
Prima - terza fila lato sinistro



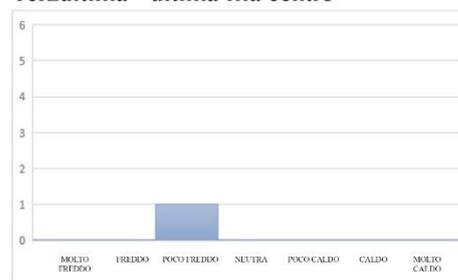
Fila centrale- centro



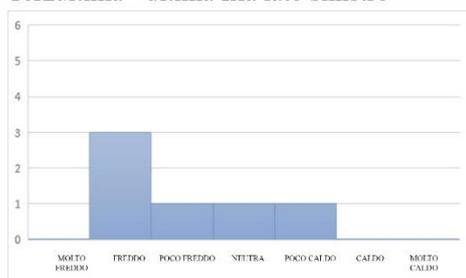
Terzultima - ultima fila lato destro



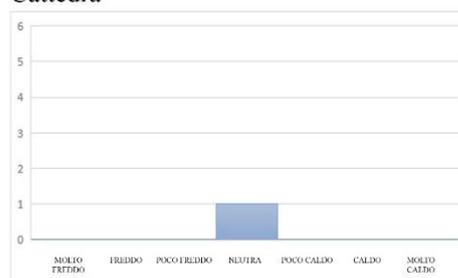
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Analizzando i grafici sovrastanti, si nota come la maggior parte degli individui presenti all’interno dell’aula abbia risposto alla domanda “Qual’è la sensazione termica all’interno dell’aula?” con una risposta orientata verso una sensazione di freddo.

Questo fattore, se si analizzano contemporaneamente i dati soggettivi e quelli oggettivi rilevati (tabella 24), è influenzato molto dal vestiario degli individui.

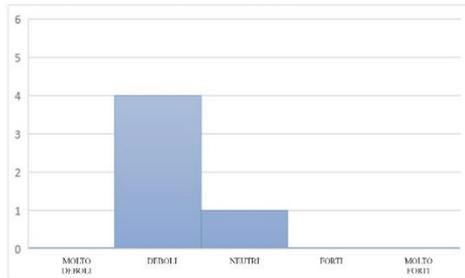
Nella prima-terza fila lato destro gli studenti, che non sono affiancati dal radiatore, provano una sensazione di freddo anche con un vestiario pesante, tant'è che alcuni risultano indossare in aggiunta una giacca.

Nella prima-terza fila lato sinistro abbiamo una differenza nella risposta sulla sensazione termica (come già ben nota nel grafico sulla qualità del comfort termico), che essendo soggettiva può variare molto. Ciò implica che due studenti, a parità di vestiario (stesso CLO), risultano provare sensazioni termiche opposte.

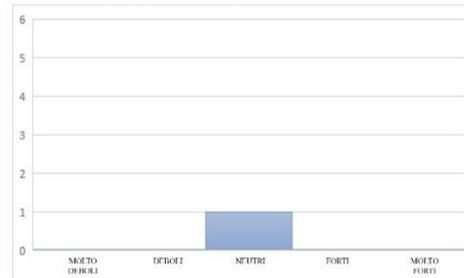
“Come percepisci i movimenti d’aria?”

Flussi d’aria percepiti

Prima - terza fila lato destro



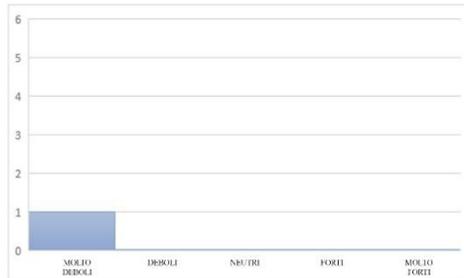
Prima - terza fila centro



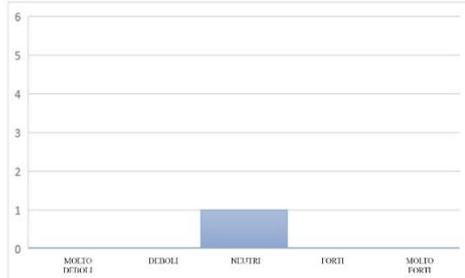
Prima - terza fila lato sinistro



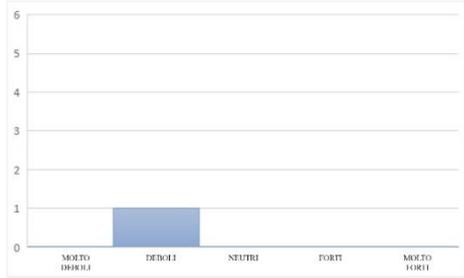
Fila centrale - centro



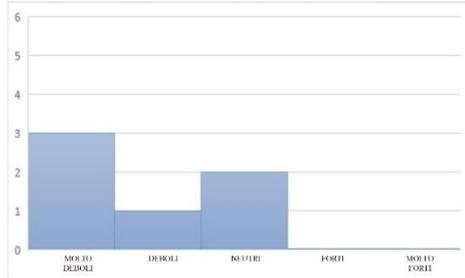
Terzultima - ultima fila lato destro



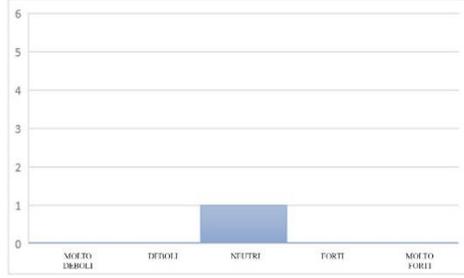
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Tenendo in considerazione i valori dei dati termici rilevati (vedi tabella 24) e le condizioni interne dell’aula si spiegano i dati percepiti: i grafici inerenti a tutta l’aula tendono ad avere una risposta orientata verso condizioni “deboli” e “molto deboli” per quanto riguarda le correnti d’aria.

Il draft risk, ovvero la probabilità che le persone siano in discomfort a causa delle correnti d’aria, all’interno dell’aula è nulla.

4.3.2.2 Analisi oggettive

COMFORT TERMICO	Condizioni esterne	T _a [°C]	V _a [m/s]	V _a [m/s] ingresso fin.	U.R. [%]
		Nuvoloso	10	0.4	0.7

I dati qui di seguito esposti fanno riferimento al rilievo termico ed illuminotecnico eseguito all'interno dell'aula. Per quanto riguarda la tabella 24, i dati rilevati si fermano al parametro U.R (umidità relativa), mentre i dati CLO, MET, PMV e DRAFT RISK sono stati calcolati secondo le loro rispettive equazioni (vedi capitolo 3).

Tabella 24 Dati termici invernali rilevati in aula 201.

PUNTO DI MISURA	ORARIO	T _a (°C)	POSIZIONE SONDA	T _{pr} (°C)	T _{sur punto} (°C)	To(°C)	V _a (m/s) S _s	V _a (m/s)3m	Dev V _a (m/s) S _s	Dev V _a (m/s) 3m	U.R. %	CLO	MET	PMV	DRAFT RISK		
1	10:40	23.5	Front (A)	24.2	23.4	23.5	0.2	0.23	0.07	0.1	37	Maglione	0.28	1.2	-0.52	0.08	
			Back (B)	22.7								37	Pantalone	0.25			
			Soffitto (A)	20.8									37	Maniaco	0.04		
			Pavimento (B)	25.7									37	Calzini	0.02		
			Destra (A)	24.3									37	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	22.4									37	Scarpe	0.02		
2	10:40	22.9	Front (A)	21.1	21.6	22.3	0.08	0.15	0.06	0.06	37	T-Shirt	0.09	1.2	-0.42	0.04	
			Back (B)	21.8								37	Pantalone	0.25			
			Soffitto (A)	21.2									37	Maniaco	0.04		
			Pavimento (B)	20.7									37	Calzini	0.02		
			Destra (A)	21.2									37	Scarpe	0.02		
			Sinistra (B)	22.4									37	Felpa	0.28		
3	10:50	22.6	Front (A)	21.6	21.5	22.0	0.16	0.11	0.04	0.07	36	CLO	0.35	1.2	-0.48	0.02	
			Back (B)	21.7								36	Pantalone	0.25			
			Soffitto (A)	21									36	Maniaco	0.04		
			Pavimento (B)	20.9									36	Calzini	0.02		
			Destra (A)	21.8									36	Scarpe	0.02		
			Sinistra (B)	21.4									36	Felpa	0.28		
4	10:55	22.6	Front (A)	21.4	20.6	21.6	0.05	0.11	0.04	0.07	36	CLO	0.28	1.2	-0.73	0.02	
			Back (B)	19.6								36	Maglione	0.28			
			Soffitto (A)	21									36	Pantalone	0.25		
			Pavimento (B)	19.9									36	Maniaco	0.04		
			Destra (A)	21.6									36	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	20.3									36	Scarpe	0.02		
5	11:01	23.1	Front (A)	22.2	22.1	22.6	0.1	0.1	0.02	0.04	35	CLO	0.35	1.2	-0.18	0.02	
			Back (B)	21.7								35	T-Shirt	0.09			
			Soffitto (A)	22.7									35	Pantalone	0.25		
			Pavimento (B)	20.8									35	Maniaco	0.04		
			Destra (A)	23.1									35	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	21.9									35	Scarpe	0.02		
6	11:07	22.9	Front (A)	21.8	21.7	22.3	0.13	0.1	0.03	0.06	35	CLO	0.35	1.2	-0.55	0.02	
			Back (B)	21.5								35	T-Shirt	0.09			
			Soffitto (A)	21.9									35	Pantalone	0.25		
			Pavimento (B)	20.4									35	Maniaco	0.04		
			Destra (A)	22.1									35	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	22.4									35	Scarpe	0.02		
7	11:13	22.8	Front (A)	22.9	22.6	22.7	0.08	0.05	0.02	0.04	34	CLO	0.35	1.2	-0.43	0.00	
			Back (B)	21.2								34	T-Shirt	0.09			
			Soffitto (A)	22.7									34	Pantalone	0.25		
			Pavimento (B)	20.8									34	Maniaco	0.04		
			Destra (A)	22.9									34	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	22.6									34	Scarpe	0.02		
8	11:20	23.4	Front (A)	21.4	22.2	22.9	0.19	0.2	0.07	0.1	38	CLO	0.42	1.2	-0.59	0.07	
			Back (B)	21.2								38	Maglione	0.28			
			Soffitto (A)	20.9									38	Pantalone	0.25		
			Pavimento (B)	22.7									38	Maniaco	0.04		
			Destra (A)	22.9									38	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	21.8									38	Scarpe	0.02		
9	11:25	22.6	Front (A)	21.5	22.3	22.5	0.17	0.15	0.05	0.07	36	CLO	0.28	1.2	-0.59	0.04	
			Back (B)	20.6								36	Maglione	0.28			
			Soffitto (A)	22.5									36	Pantalone	0.25		
			Pavimento (B)	20.2									36	Maniaco	0.04		
			Destra (A)	22.9									36	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	23									36	Scarpe	0.02		
10	11:32	22.4	Front (A)	21	21.8	22.1	0.12	0.1	0.04	0.07	39	CLO	0.28	1.2	-0.58	0.02	
			Back (B)	23								39	Maglione	0.28			
			Soffitto (A)	22.1									39	Pantalone	0.25		
			Pavimento (B)	19.5									39	Maniaco	0.04		
			Destra (A)	23									39	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	21.4									39	Scarpe	0.02		
11	11:38	22.2	Front (A)	21	20.8	21.5	0.09	0.1	0.02	0.11	44.4	CLO	0.44	1.2	-0.71	0.03	
			Back (B)	20.8								44.4	Maglione	0.28			
			Soffitto (A)	21.4									44.4	Pantalone	0.25		
			Pavimento (B)	19.3									44.4	Maniaco	0.04		
			Destra (A)	21.3									44.4	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	20.6									44.4	Scarpe	0.02		
12	11:45	22.8	Front (A)	21.3	21.4	22.1	0.12	0.08	0.04	0.09	37	CLO	0.28	1.8	0.17	0.01	
			Back (B)	21.8								37	Maglione	0.28			
			Soffitto (A)	21.8									37	Pantalone	0.25		
			Pavimento (B)	20.2									37	Maniaco	0.04		
			Destra (A)	21.4									37	Calzini	0.02		
			Sinistra (B)	21.6									37	Scarpe	0.02		
MEDIA		22.8		21.8	21.8	22.3	0.13	0.12	0.04	0.07	39		1.2		0.03		

Analizzando i dati termici rilevati nell'aula 201, si nota come determinati parametri abbiano dei valori molto costanti: temperatura dell'aria e velocità dell'aria per tutti i punti di rilievo, tranne per qualche punto d'eccezione.

Se si prende in considerazione la velocità dell'aria, si osserva che in tutti i punti il valore relativo a questa risulta uniforme alla media ottenuta.

Un altro parametro da analizzare è il PMV: dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool. In tutti i punti di rilievo ha dei valori abbastanza distanti dallo 0 (valore neutro).

Il punto 12 (cattedra) è l'unico punto in cui il PMV risulta essere positivo: pari 0,17, cioè orientato verso una sensazione di caldo. Questo fenomeno è dovuto a una diversa attività svolta dagli individui. Mentre per tutti gli altri punti il PMV risulta essere negativo, al di sotto della soglia di comfort.

4.3.2.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Aula in cui è presente sia un impianto di riscaldamento sia quello di raffrescamento e ventilazione meccanica. Per poter trarre delle conclusioni sulla parte termica sono stati utilizzati i parametri calcolati del PMV e del PPD, approfonditi ai rispettivi paragrafi 3.1.8.1 e 3.1.8.2.

Il grafico sottostante rappresenta la correlazione tra la sensazione termica di ogni individuo tratta dalle risposte del questionario e il dato PMV. I dati sono stati correlati sulla base della posizione degli individui in modo tale da avere delle sensazioni precise.

Gli assi di riferimento del grafico sono così suddivisi: sulle ascisse ci sono i dati del PMV, mentre sulle ordinate i valori della sensazione termica percepita, convertita secondo una scala di valori con un range da -1.5 a 1.5.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

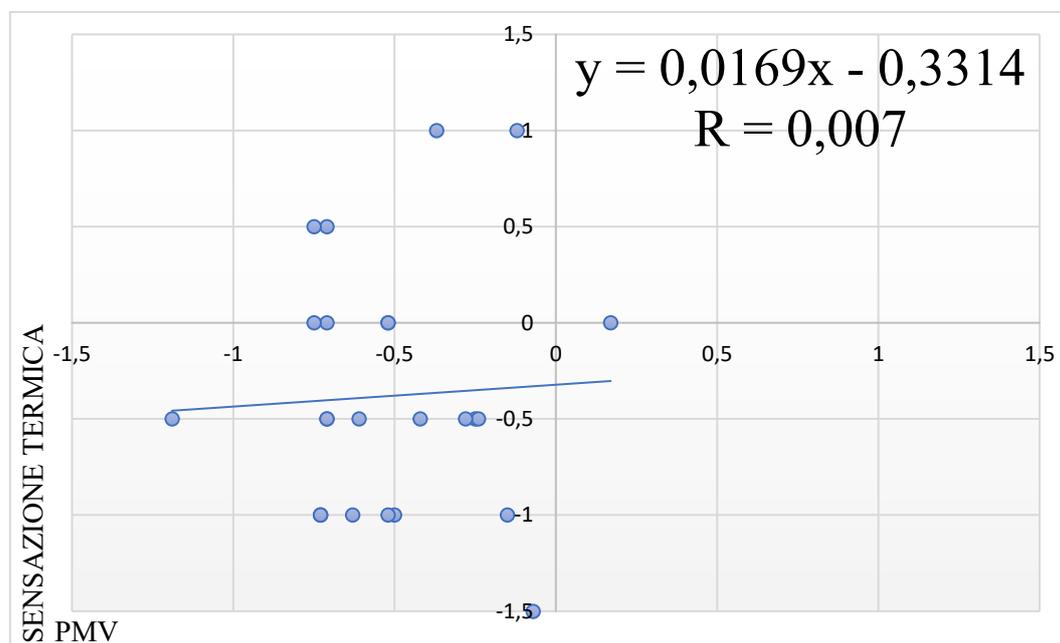


Fig. 121 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.

All'interno del grafico (fig. 121) si nota come la maggior parte dei punti si discostano abbastanza dalla linea di tendenza.

Se si guarda l'asse delle ascisse, si nota subito che la maggior parte dei valori del PMV sono compresi in un range che varia da -1.5 a -0.5, ciò vuol dire che gli individui rappresentanti quei punti si trovano in una condizione di discomfort, provocata in quest'aula secondo le risposte soggettive da sensazioni percepite di freddo o di caldo a seconda della posizione in cui erano situati.

Ciò che influenza maggiormente questo parametro è il vestiario: inadeguato alla stagione e all'aula stessa.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

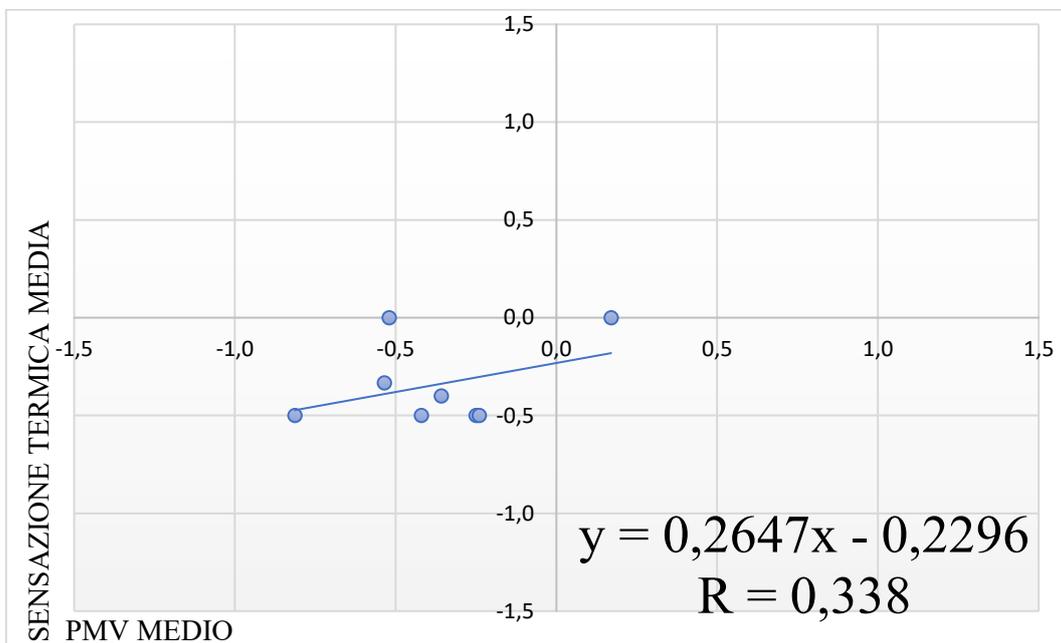


Fig. 122 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.

Anche in questo grafico si nota come alcuni punti sono lontani dalla linea di tendenza, però a differenza del grafico precedente qui i punti sono leggermente più vicini in quanto è un aggregato di valori e dunque alcuni parametri vanno ad alterarne altri. Ovviamente essendo un insieme di dati basato su delle sensazioni termiche percepite su ogni individuo in maniera differente, ci possono essere dei dati non precisamente definiti che così facendo sono annullati da altri (vedi allegato C: Tavola comfort termico aula 201 Invernale).

Con questo grafico si va a confermare che gli individui all'interno dell'aula con un PMV medio per zona compreso tra -0.5 e 0 provano sensazioni di freddo.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto insoddisfatto: -1	Insoddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	------------------	----------------------

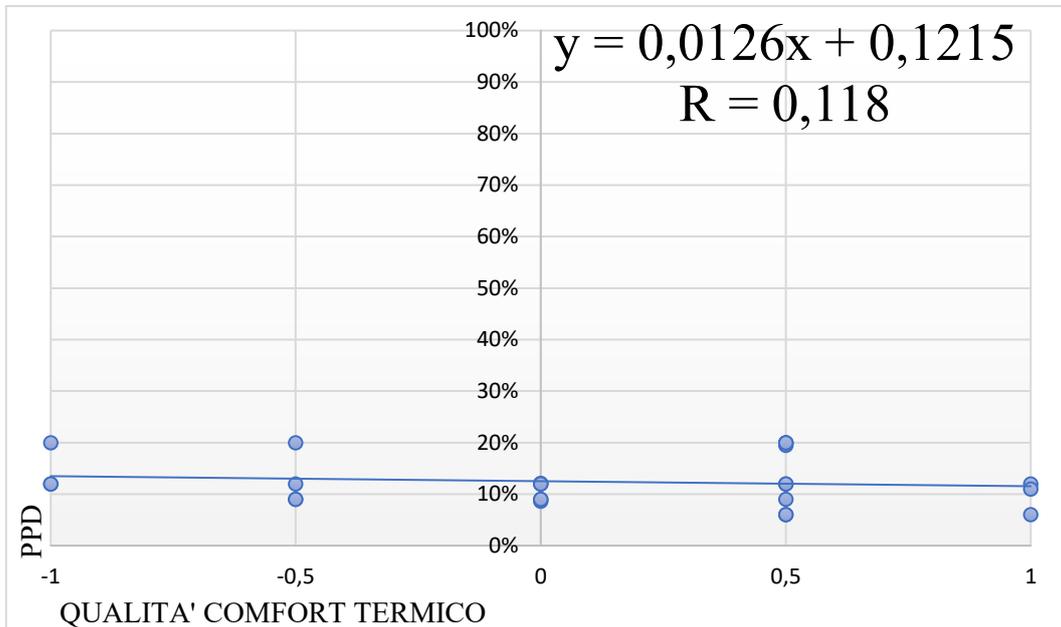


Fig. 123 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.

Un altro indice importante per poter trarre delle conclusioni inerenti alle aule con raffrescamento meccanico è il PPD (Percentage of Person Dissatisfied). Questo indice definisce la percentuale di persone insoddisfatte della qualità del comfort termico. Dunque, la correlazione tra il PPD e la qualità del comfort termico percepita dagli individui all'interno dell'aula definisce un grafico, anch'esso con una linea di tendenza che indica i valori di soddisfazione del comfort termico.

Il grafico soprastante (fig. 123) illustra due valori di riferimento: PPD medio (calcolato tramite l'uso di CBE Thermal Comfort Tool su ogni zona) sulle ordinate e la qualità del comfort termico percepita sulle ascisse (convertita secondo una scala di valori con un range da -1 a 1).

Solo i punti con un valore di PPD inferiore al 10% mostrano una percentuale di persone soddisfatte dal comfort, i restanti non sono soddisfatti. La maggior parte dei punti si discosta poco dalla linea di tendenza anche se in realtà non vi è correlazione in quanto la R è quasi pari a 0. Questa correlazione non è rilevata in quanto le risposte soggettive non combaciano con i dati del PPD calcolati. Questa incoerenza è data principalmente dal vestiario non adatto alla stagione invernale, troppo pesante in certe zone e troppo leggero in altre.

Analizzando la “prima-terza fila lato sinistro” (fig. 124) dal punto di vista soggettivo, si nota che avendo una grande quantità di persone concentrate in quella zona, le risposte sono molto differenti. La condizione di comfort o discomfort percepita è data appunto da una concentrazione troppo alta di persone che dunque crea una zona ambientale in discomfort.

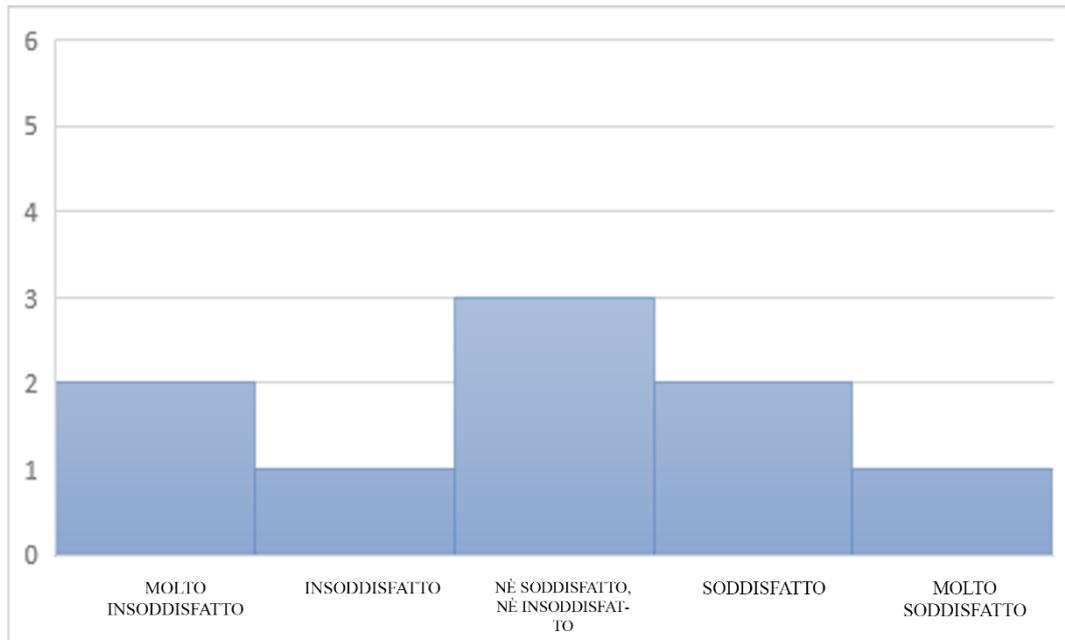


Fig. 124 Grafico istogramma: qualità del comfort termico prima-terza fila lato sinistro.

Allo stesso modo delle altre due aule senza raffrescamento meccanico, anche in questa si è analizzato il fattore velocità dell’aria e Draft risk, correlati entrambi alle correnti d’aria percepite dagli individui nelle singole zone dell’aula.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

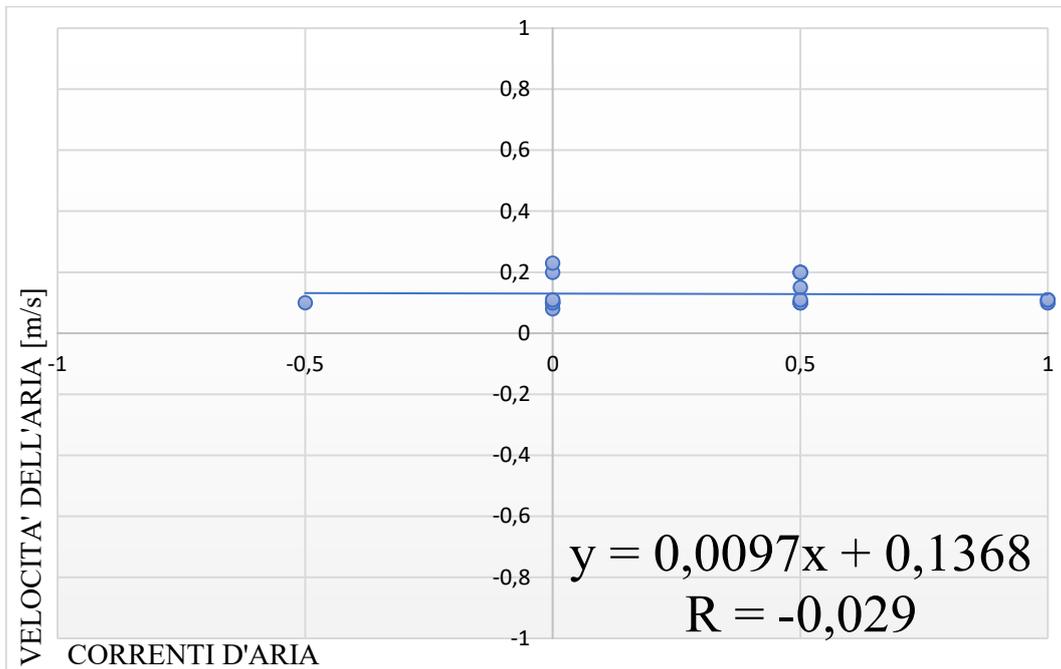


Fig. 125 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.

Attraverso l'utilizzo delle risposte sulle correnti d'aria (fig. 125), e convertendo le sensazioni delle correnti d'aria in una scala numerica di riferimento compresa in un range tra -1 e +1 con intervalli di 0.5, si possono correlare numericamente la percezione dei movimenti d'aria e la velocità dell'aria.

Nel grafico soprastante si nota che la R è negativa quasi 0, dunque non vi è una correlazione tra i dati. Però se si analizzano i punti, quasi tutti rispecchiano il valore numerico rilevato della velocità dell'aria, valore molto basso e dunque tendente alla risposta "deboli" e "neutri".

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

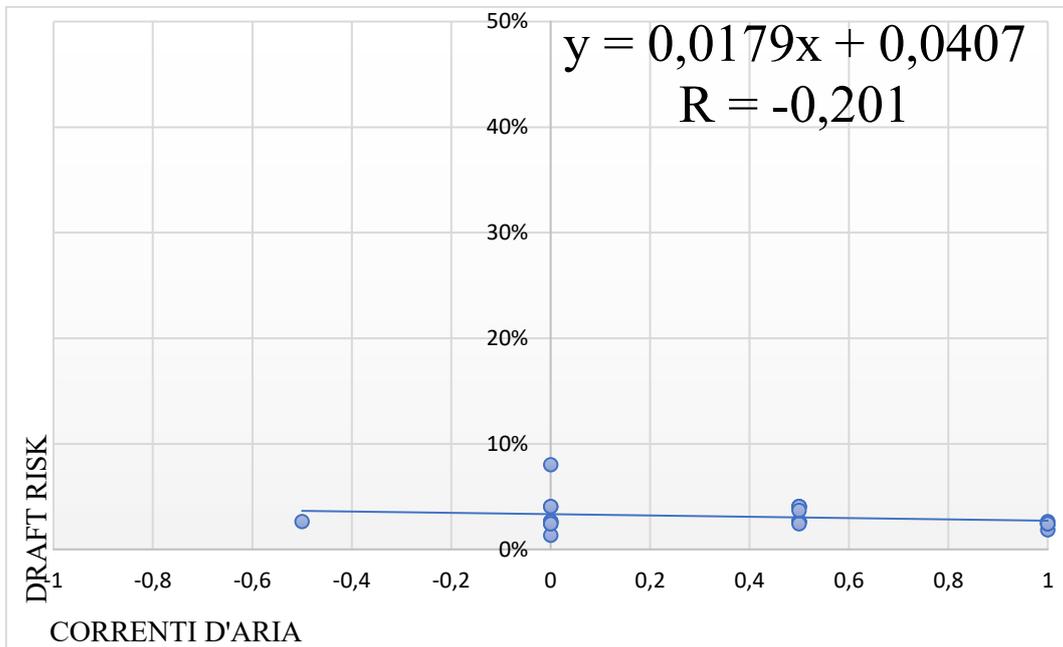


Fig. 126 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.

Procedendo con le analisi dell'aula 201, si è correlato le correnti d'aria percepite dagli studenti e il draft risk. Il grafico soprastante mostra che all'interno dell'aula il rischio di correnti d'aria è quasi nullo. Infatti, quasi tutti i dati sono al di sotto del 5% di draft risk. Questo fenomeno è dovuto alla presenza delle finestre e delle porte chiuse e all'utilizzo della ventilazione meccanica in modo soddisfacente.

I grafici seguenti mostrano le condizioni complessive soggettive delle risposte degli studenti all'interno dell'aula.

Il primo grafico (fig. 127) rappresenta la qualità del comfort termico percepita: molti degli individui sono soddisfatti di queste condizioni, vi è comunque una bassa percentuale di insoddisfazione come già accennato in precedenza.

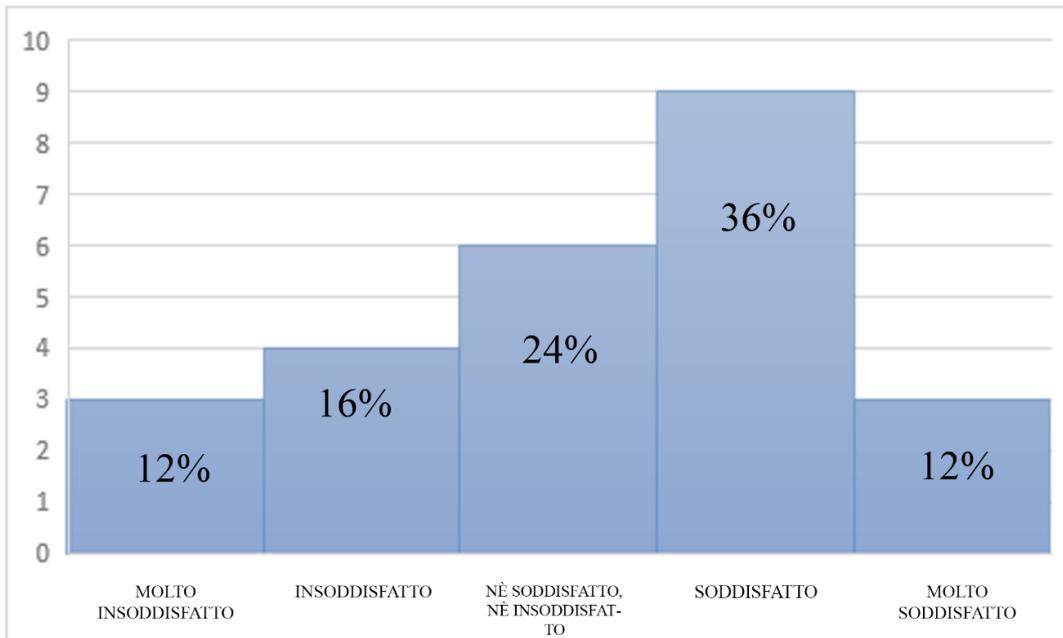


Fig. 127 Grafico istogramma, condizioni complessive della qualità del comfort termico percepita.

Il successivo (fig. 128) mostra, invece, la sensazione termica percepita. Anche in questo così come già accennato in precedenza con i grafici di correlazione tra PMV e sensazione termica, molte risposte sono orientate verso una sensazione di freddo. Sensazione dovuto pertanto alla posizione in cui ci si trova.

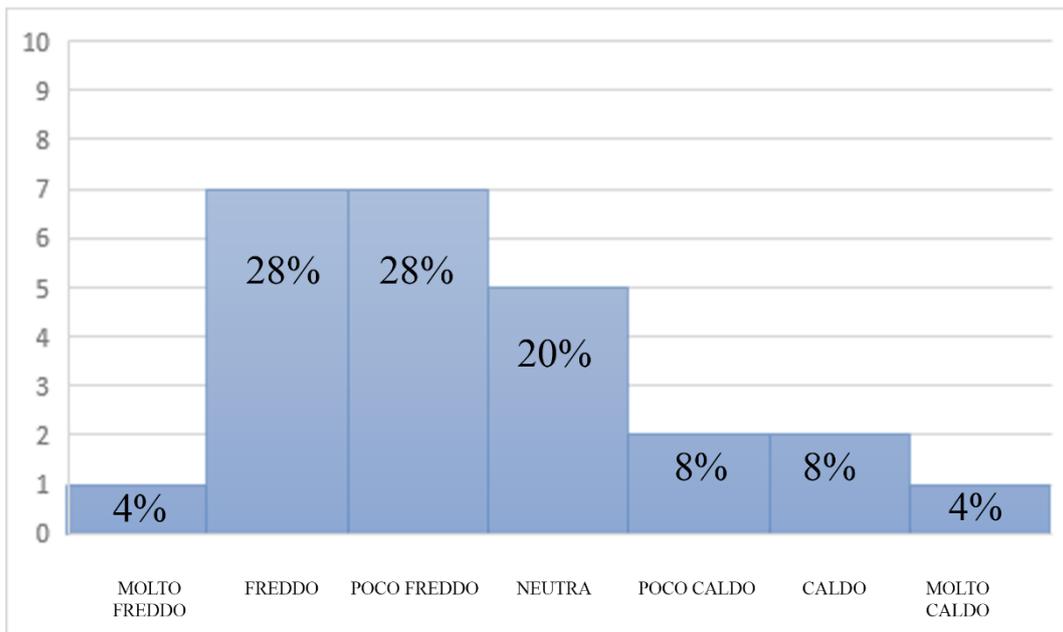


Fig. 128 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.

Se si analizza la “terzultima-ultima fila lato sinistro” (fig. 129) si nota che questa sia la zona più fredda per gli studenti. Fattore determinato sia dalla presenza di un’intera parete vetrata alle spalle verso l’esterno sia dal vestiario non adeguato degli studenti (vedi tabella 25).

Osservando la tabella appena citata, emerge che il PMV degli individui nella zona presa in esame è molto negativo e dunque si ha una condizione di discomfort ed una sensazione di freddo.

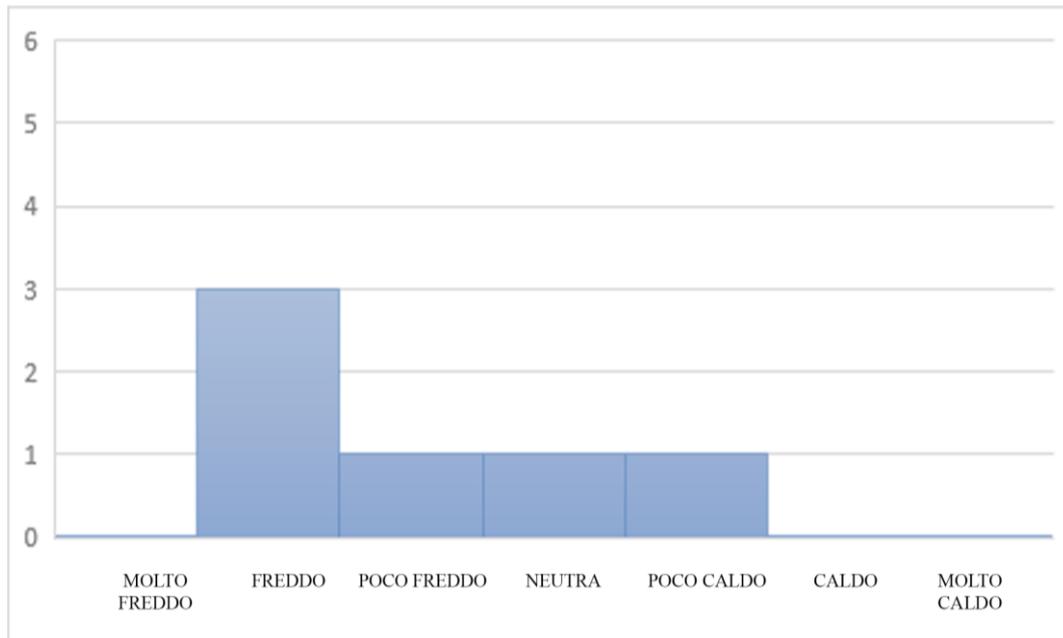


Fig. 129 Grafico istogramma: sensazione termica percepita terzultima-ultima fila lato sinistro.

Tabella 25 Valori CLO e PMV terzultima-ultima fila lato sinistro.

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?	Qual' è la sensazione termica all'interno dell'aula?	CLO	Valore CLO	MET	PMV
Terzultima-ultima fila lato sinistro	Poco freddo	T-shirt - Pantaloni	0,4	1,2	-1,19
Terzultima-ultima fila lato sinistro	Freddo	Maglione - Pantaloni / Camicia - pantaloni	0,6	1,2	-0,73
Terzultima-ultima fila lato sinistro	Neutra	t-shirt - Giacca - Pantalone / T-shirt - pantaloni	0,6	1,2	-0,75
Terzultima-ultima fila lato sinistro	Poco caldo	t-shirt - Giacca - Pantalone / T-shirt - pantaloni	0,6	1,2	-0,75
Terzultima-ultima fila lato sinistro	Freddo	Maglioncino - Pantalone / Camicia- pantalone	0,6	1,2	-0,73
Terzultima-ultima fila lato sinistro	Freddo	Maglioncino - Pantalone / Camicia- pantalone	0,6	1,2	-0,73

L’ultimo grafico (fig. 130) riguardante le condizioni complessive mostra i flussi d’aria generali percepiti dagli individui. Anche in questo coerentemente con i grafici di correlazione precedenti, si nota che la maggior parte degli studenti percepisce correnti d’aria “neutre” indirizzate verso la risposta “molto deboli”.

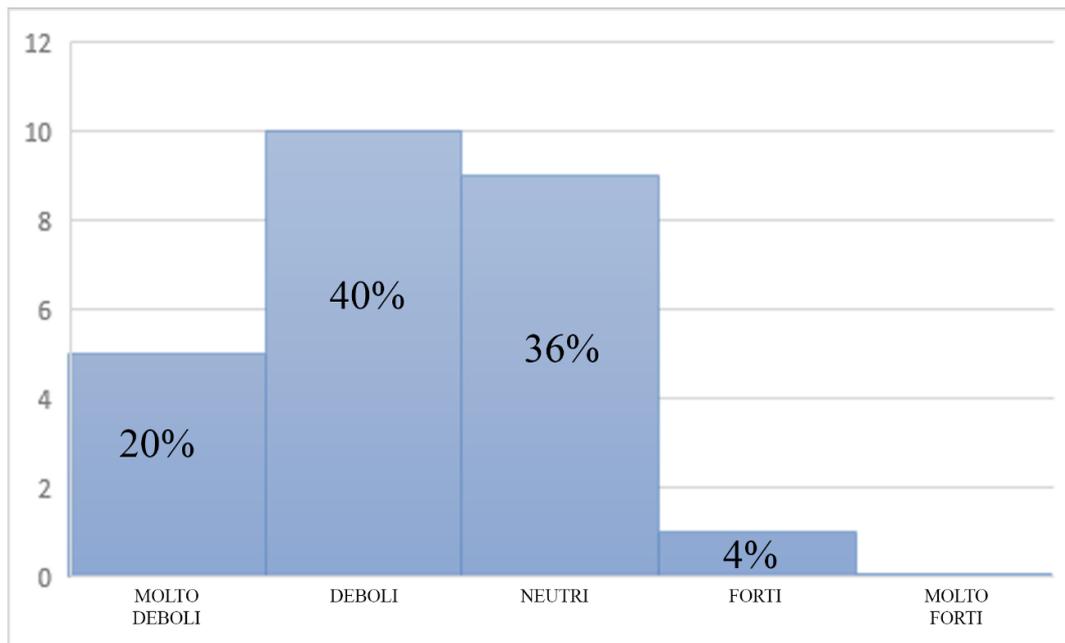


Fig. 130 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.

4.4 Aula 7I

L'aula 7I, situata nella sede centrale del Politecnico di Torino in via Boggio è stata rilevata il giorno 11/06/2019 alle ore 11:45 per le analisi estive, mentre per le analisi invernali è stata rilevata il giorno 11/11/2019 alle ore 16:00.

In questa aula i punti scelti per il rilievo sono stati scelti tenendo conto della parete vetrata in modo tale da poter avere un confronto con i dati rilevati verso la parete interna non vetrata.

Inoltre, simil modo agli altri casi si è scelto di rilevare la zona dei corridoi e della cattedra. In questo caso però le condizioni esterne sono state prese direttamente adiacenti all'apertura della porta che si affaccia sulla corte interna indicata dalla fascia in verde.

L'aula 7I durante il rilievo sia estivo sia invernale era occupata per circa il 50% da studenti che seguivano lezione. Inoltre, è dotata sia per il riscaldamento sia per la ventilazione di un impianto meccanico.

Durante il rilievo estivo le due porte poste lungo il corridoio e quella verso il cortile esterno erano aperte. Invece, durante il rilievo invernale le due porte sul corridoio erano aperte mentre era chiusa quella con affaccio sul cortile.

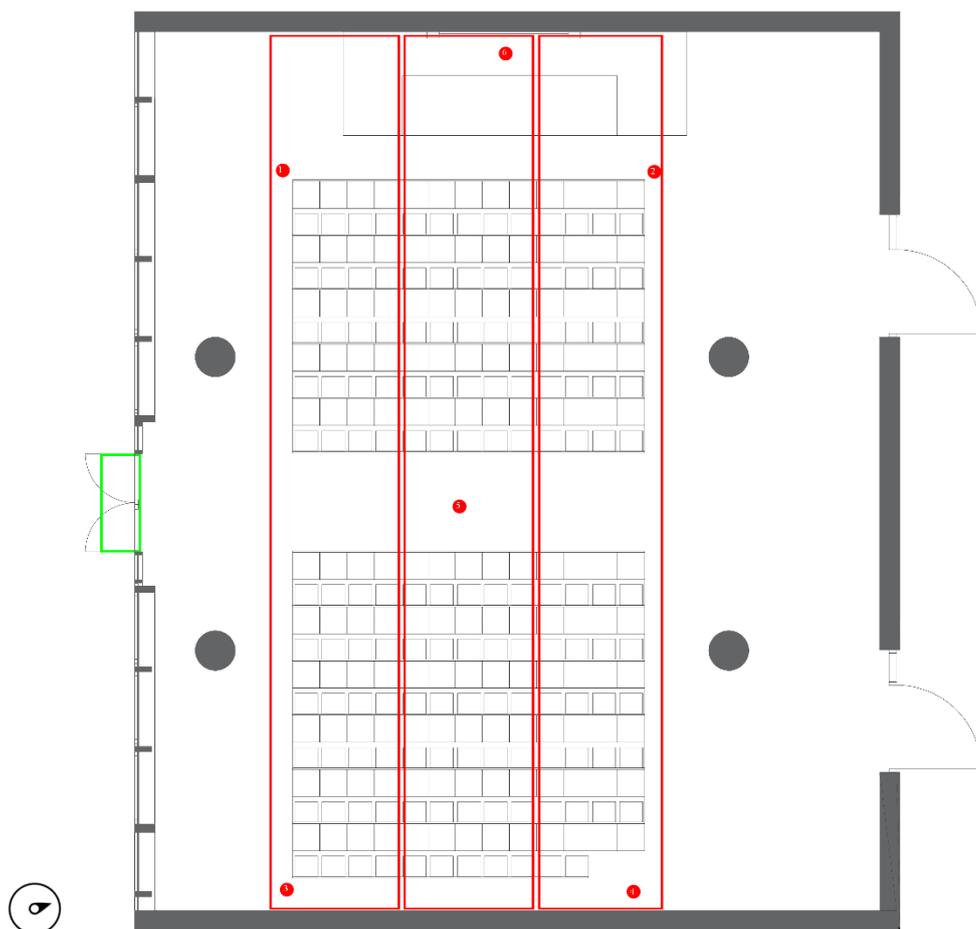


Fig. 131 Pianta aula 71 con in rosso i punti del rilievo termico.

4.4.1 Stagione estiva

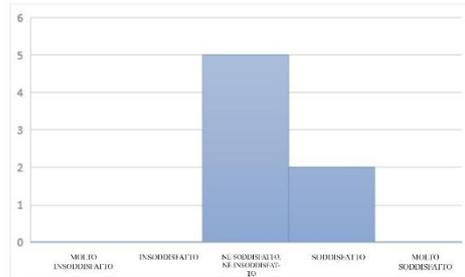
4.4.1.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

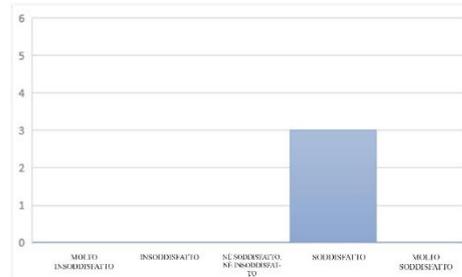
“Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?”

Qualità comfort termico percepita

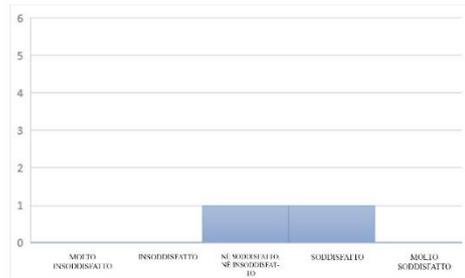
Prima - terza fila lato destro



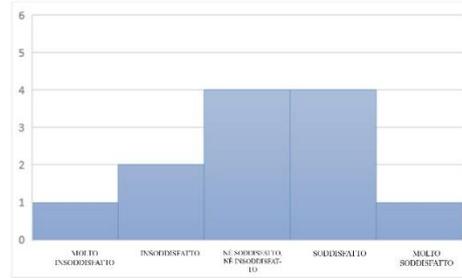
Prima - terza fila centro



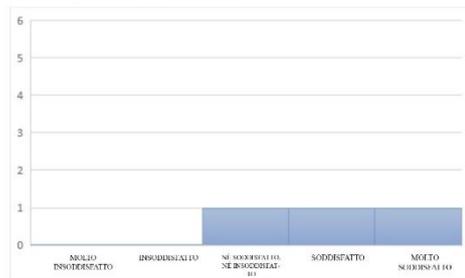
Prima - terza fila lato sinistro



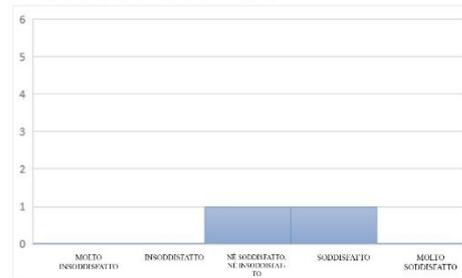
Fila centrale lato destro



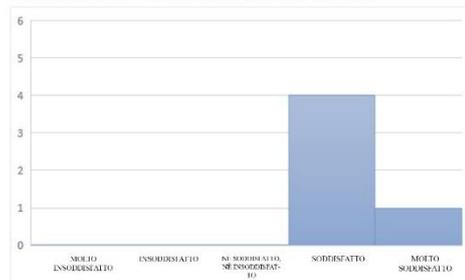
Fila centrale - centro



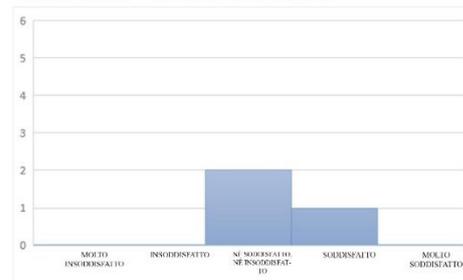
Fila centrale lato sinistro



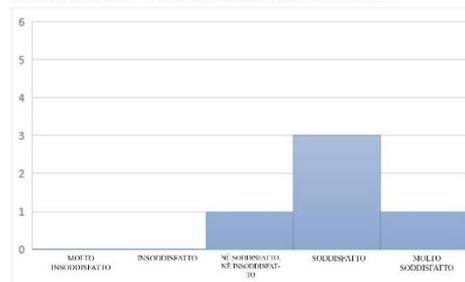
Terzultima - ultima fila lato destro



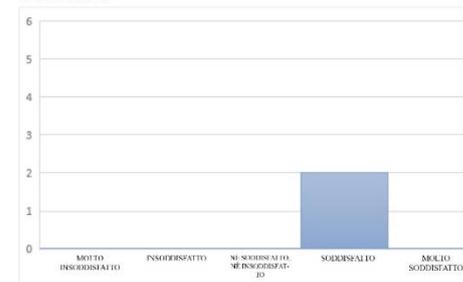
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Per quanto riguarda il grado di soddisfazione delle condizioni di comfort termico all'interno dell'aula 7I, le risposte degli individui presenti risultano essere abbastanza uniformi ed orientate verso il grado di soddisfazione.

L'unica zona che presenta delle risposte non uniformi è la fila centrale lato destro, in cui si può notare varietà maggiore di risposte. Questa differenza è principalmente dovuta alle condizioni termiche interne in quella zona, in quanto è un'ambiente raffrescato meccanicamente.

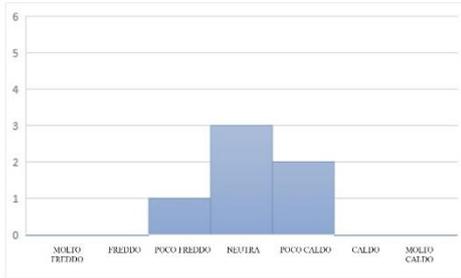
Questa caratteristica tecnica dell'aula però in alcuni casi, come in questo appena visto può generare delle zone di discomfort in quanto i convettori di aria fredda sono posti sul soffitto lungo la parete vetrata, dunque creano uno squilibrio di condizioni di comfort termico interno.

La zona presa in esame è l'unica in cui si verifica questo fenomeno. Altri fattori che possano aver influenzato gli individui nel rispondere a questa domanda sono i parametri ambientali: velocità dell'aria che ha un valore basso rispetto alla media dell'aula e l'umidità relativa abbastanza uniforme in tutto l'ambiente.

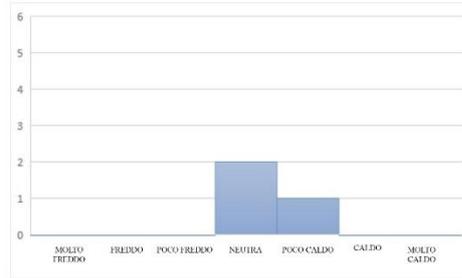
“Qual è la sensazione termica all’interno dell’aula?”

Sensazione termica percepita

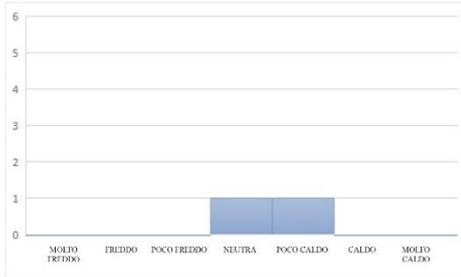
Prima - terza fila lato destro



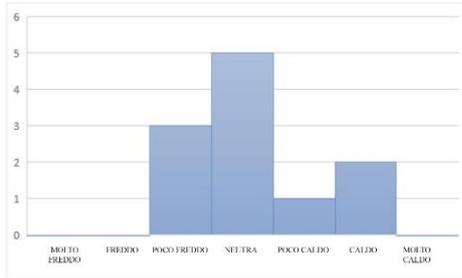
Prima - terza fila centro



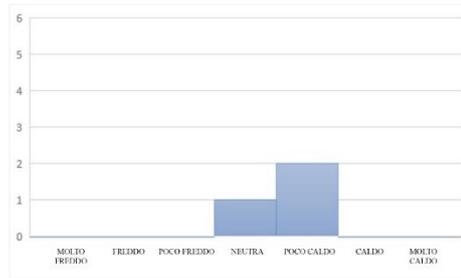
Prima - terza fila lato sinistro



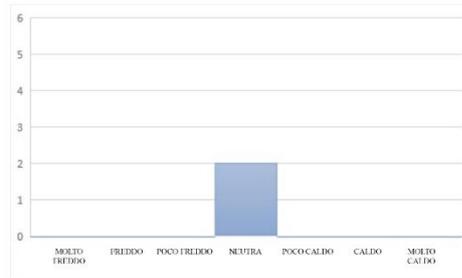
Fila centrale lato destro



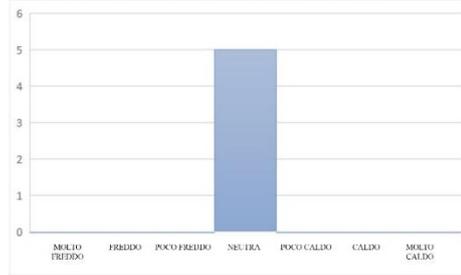
Fila centrale - centro



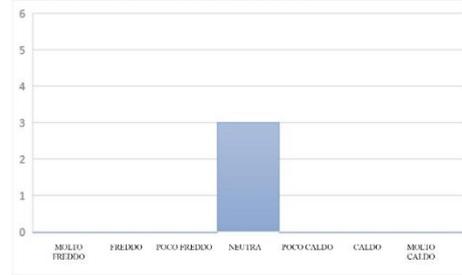
Fila centrale lato sinistro



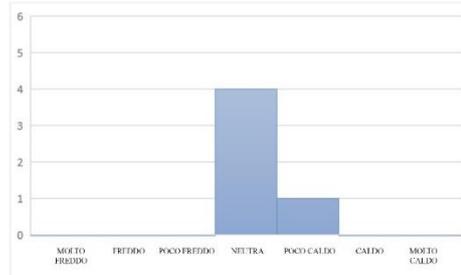
Terzultima - ultima fila lato destro



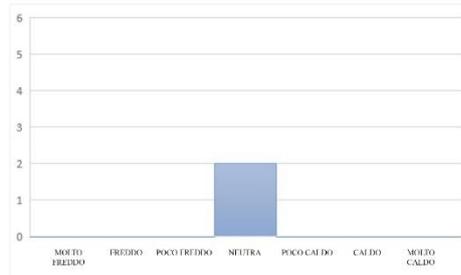
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



La sensazione termica interna all'aula secondo gli individui presenti si orienta verso una risposta neutrale.

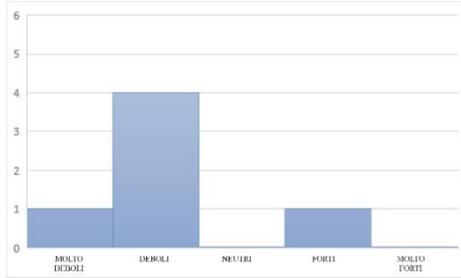
Infatti, in nessuna zona si hanno delle risposte che si discostano dalla media dell'aula. Questa caratteristica è legata soprattutto all'utilizzo del raffrescamento e della ventilazione meccanica che dovrebbero garantire una sensazione termica costante in tutta l'aula.

Così come per il comfort termico, anche per la sensazione termica l'unica zona maggiormente influenzata è la fila centrale lato destro. Questa sensazione potrebbe rivelarsi alterata a causa della maggiore presenza di persone in quella zona. Ciò causa una sensazione termica più orientata verso il caldo, provocata dal calore corporeo trasmesso all'ambiente circostante.

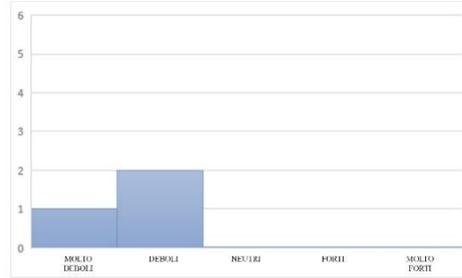
“Come percepisci i movimenti d’aria?”

Flussi d’aria ricavati percepiti

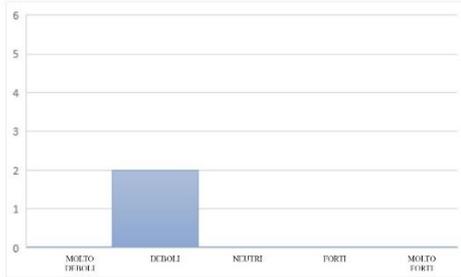
Prima - terza fila lato destro



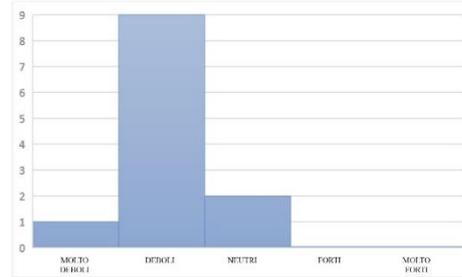
Prima - terza fila centro



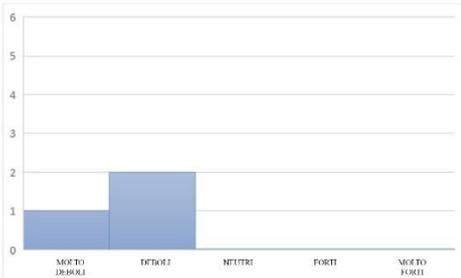
Prima - terza fila lato sinistro



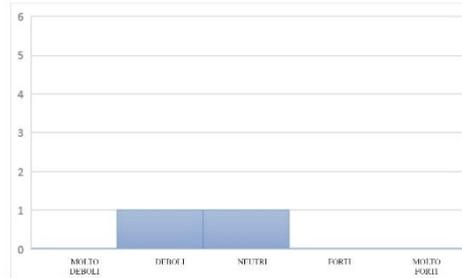
Fila centrale lato destro



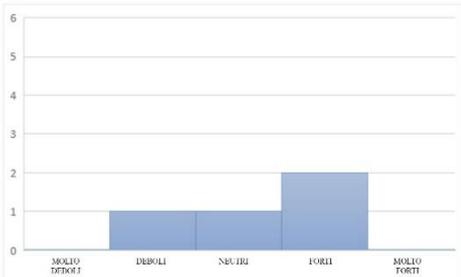
Fila centrale - centro



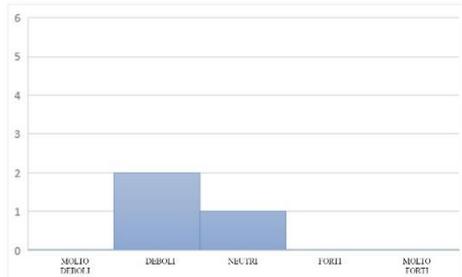
Fila centrale lato sinistro



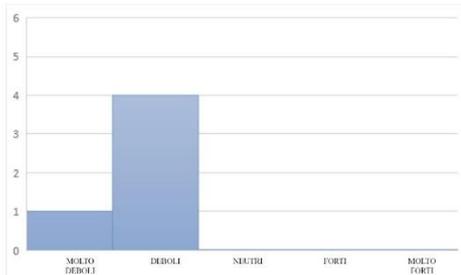
Terzultima - ultima fila lato destro



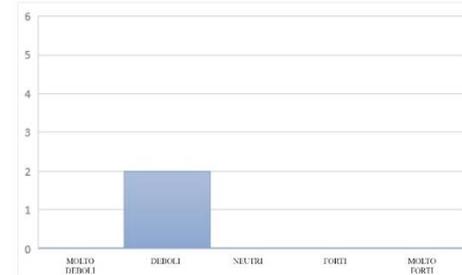
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Tenendo in considerazione i valori dei dati termici rilevati (vedi tabella 26) e le condizioni interne dell'aula (porte aperte), si possono leggere i dati relativi alla domanda sui flussi d'aria del questionario. Considerando le tre porte aperte, si creano correnti d'aria lungo il lato posteriore e quello anteriore dell'aula, prendendo come zona la prima-terza fila lato destro e la terzultima-ultima fila lato destro.

I due grafici che corrispondono a queste due zone, presentano risposte "forti", andando così a confermare i dati sulle correnti d'aria rilevati.

4.4.1.2 Analisi oggettive

COMFORT TERMICO	Condizioni esterne	T _a [°C]	V _a [m/s]	V _a [m/s] ingresso fin.	U.R. [%]
		Estate	23.2	0.33	0.53

I dati qui di seguito esposti fanno riferimento al rilievo termico ed illuminotecnico eseguito all'interno dell'aula. Per quanto riguarda la tabella 26, i dati rilevati si fermano al parametro U.R (umidità relativa), mentre i dati CLO, MET, PMV e DRAFT RISK sono stati calcolati secondo le loro rispettive equazioni (vedi capitolo 3).

Tabella 26 Dati termici estivi rilevati in aula 7I.

PUNTO DI MISURA	ORARIO	T _a (°C)	POSIZIONE SONDA	T _{sp} (°C)	T _{sp} punto (°C)	T _o (°C)	V _a (m/s) S ₁	V _a (m/s) S ₂	Dev V _a (m/s) S ₁	Dev V _a (m/s) S ₂	U.R. %	CLO	MET	PMV	DRAFT RISK			
1	11:50	24.5	Suldata (A)	25.6	24.4	24.4	0.06	0.14	0.05	0.13	67	T-Shirt	0.28	1.20	0.00	0.04		
			Destra (B)	24.1									Pantalone	0.25				
			Back(A)	25.3										Metodo	0.04			
			Front (B)	23.8										Calzini	0.02			
			Pavimento (A)	23.6										Scarpe	0.02			
			Soffitto (B)	25.9														
2	11:55	24.8	Suldata (A)	27.0	25.6	25.1	0.10	0.23	0.18	0.24	48	T-Shirt	0.09	1.20	-0.38	0.13		
			Destra (B)	25.1										Pantalone	0.25			
			Back(A)	25.3											Metodo	0.04		
			Front (B)	25.5											Calzini	0.02		
			Pavimento (A)	24.9											Scarpe	0.02		
			Soffitto (B)	26.0														
3	12:02	24.5	Suldata (A)	24.4	23.8	24.1	0.13	0.12	0.11	0.16	55	T-Shirt	0.09	1.20	-0.20	0.05		
			Destra (B)	23.3										Pantalone	0.25			
			Back(A)	23.3											Metodo	0.04		
			Front (B)	24.2											Calzini	0.02		
			Pavimento (A)	23.0											Scarpe	0.02		
			Soffitto (B)	24.3														
4	12:10	24.5	Suldata (A)	24.5	24.1	24.4	0.19	0.23	0.17	0.23	58	T-Shirt	0.09	1.20	0.01	0.12		
			Destra (B)	24.5											Pantalone	0.25		
			Back(A)	24.2											Metodo	0.04		
			Front (B)	24.2											Calzini	0.02		
			Pavimento (A)	23.5											Scarpe	0.02		
			Soffitto (B)	24.4														
5	12:17	24.7	Suldata (A)	25.9	24.8	24.8	0.12	0.11	0.11	0.15	52	T-Shirt	0.09	1.20	-0.15	0.03		
			Destra (B)	24.7											Pantalone	0.25		
			Back(A)	25.9											Metodo	0.04		
			Front (B)	25.0											Calzini	0.02		
			Pavimento (A)	23.4											Scarpe	0.02		
			Soffitto (B)	25.4														
6	12:25	24.7	Suldata (A)	24.4	24.8	24.7	0.09	0.11	0.16	0.18	50	Camicia	0.20	1.60	0.64	0.03		
			Destra (B)	24.3											Pantalone	0.25		
			Back(A)	25.0											Metodo	0.04		
			Front (B)	25.0											Calzini	0.02		
			Pavimento (A)	23.2											Scarpe	0.02		
			Soffitto (B)	25.1														
MEDIA		24.6			24.6	24.6	0.13	0.16	0.13	0.18	52				0.01	0.07		

Analizzando i dati termici rilevati nell'aula 7I, si nota come determinati parametri abbiano dei valori molto costanti per tutti i punti di rilievo, tranne qualche punto d'eccezione.

Se si prende in considerazione la velocità dell'aria, si osserva che nei punti 2 e 4 il valore relativo a questa risulta abbastanza alto rispetto alla media ottenuta, ma nessuno di essi supera il valore di normativa pari a 0,25 m/s per la stagione estiva. Dunque, questo fattore può essere considerato un vantaggio per il benessere termico. Ciò come spiegato in precedenza nelle analisi soggettive, è provocato dall'apertura di tutte le porte dell'aula che dunque, ne provocano delle correnti d'aria. In aggiunta a ciò, si genera una minima percentuale di draft risk che però non va ad alterare le condizioni di comfort in quanto sempre relativi alla stagione estiva.

Un altro parametro da analizzare è il PMV: dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool. Nei punti 2, 3 e 6 il PMV ha dei valori distanti dallo 0 (valore neutro). Valore negativo nei primi due punti, positivo per l'ultimo punto.

Un valore di PMV distante dallo 0 non è solo influenzato dal vestiario ma anche dalle condizioni termiche interne, però in questo caso il vestiario è un fattore che influisce maggiormente. Infatti, se si guarda il punto 4, si nota che gli individui sono in comfort perfetto, però il loro vestiario ha un valore molto alto rispetto alla media dell'aula (felpa in aggiunta rispetto agli altri).

4.4.1.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Aula in cui è presente sia un impianto di riscaldamento sia quello di raffrescamento e ventilazione meccanica. Per poter trarre delle conclusioni sulla parte termica sono stati utilizzati i parametri calcolati del PMV e del PPD, approfonditi ai rispettivi paragrafi 3.1.8.1 e 3.1.8.2. Il grafico sottostante rappresenta la correlazione estrapolata tra la sensazione termica di ogni individuo tratta dalle risposte del questionario e il dato PMV calcolato dagli indumenti indossati da ogni individuo. I dati sono stati correlati sulla base della posizione degli individui in modo tale da avere delle sensazioni precise.

Gli assi di riferimento del grafico sono così suddivisi: sulle ascisse ci sono i dati del PMV, mentre sulle ordinate i valori della sensazione termica percepita, convertita secondo una scala di valori con un range da -1.5 a 1.5.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

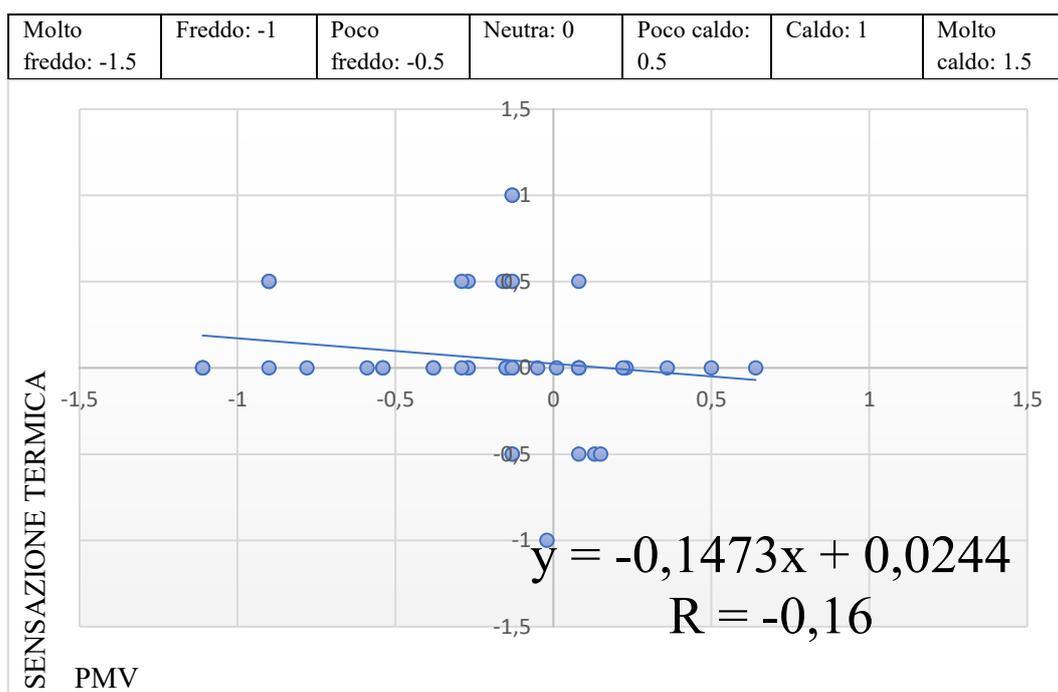


Fig. 132 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.

All'interno del grafico si nota come la maggior parte dei punti sono vicini alla linea di tendenza. Ciò significa che all'interno dell'aula quasi tutti gli individui percepiscono una sensazione termica adeguata al PMV calcolato su ognuno di essi. I punti che invece si discostano maggiormente sono dei casi isolati che percepiscono sensazioni differenti. Qui di seguito sono illustrati alcuni punti critici (vedi allegato D: Tavola comfort termico aula 7I estivo per i grafici di tutte le zone).

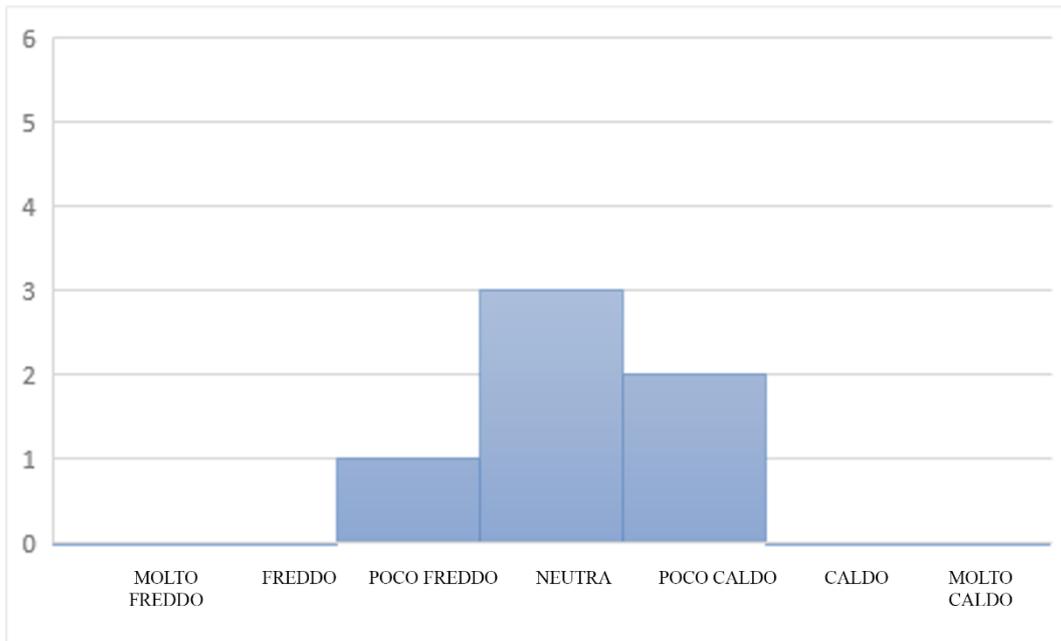


Fig. 133 Prima-terza fila lato destro: sensazione termica percepita.

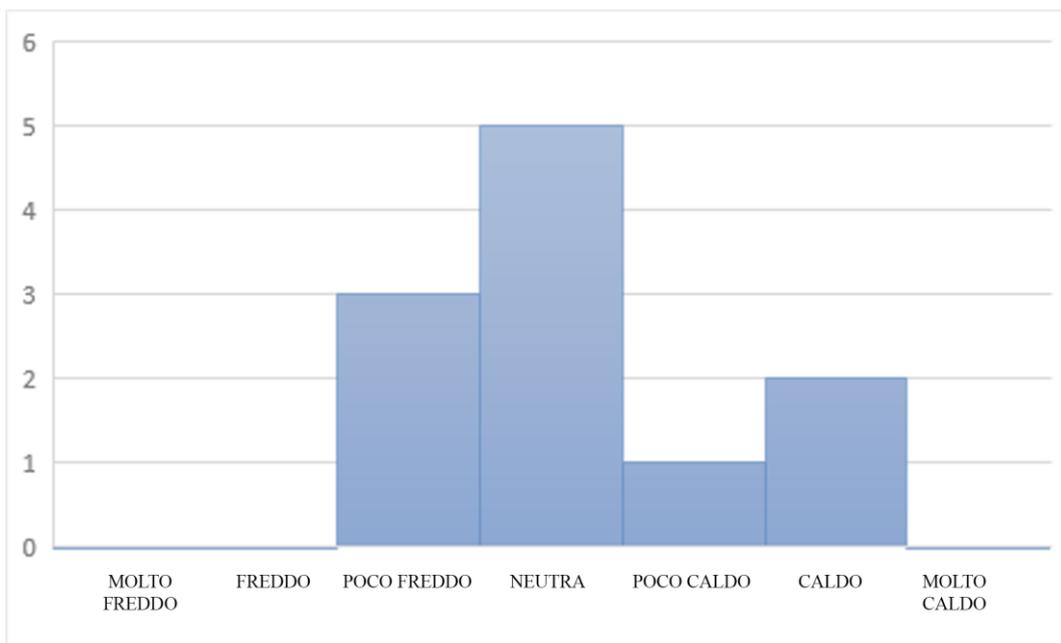


Fig. 134 Zona centrale lato destro: sensazione termica percepita.

Nei due grafici soprastanti (fig. 133 e fig. 134) si rilevano dei dati isolati rispetto a tutti gli altri. Questi dati sono gli stessi punti che nel grafico di correlazione tra sensazione termica percepita e PMV calcolato sono isolati rispetto alla linea di tendenza.

Questo avviene poiché nella zona in cui gli individui erano presenti, la sensazione termica percepita risulta difforme. Ciò è dovuto principalmente dal vestiario di ogni

persona e anche dalla stessa sensazione termica soggettiva. Per questo motivo i punti correlati con il PMV della zona in questione risultano lontani dalla linea di tendenza.

Un altro grafico fondamentale che aggrega le varie sensazioni all'interno di ogni zona è il successivo. A differenza del grafico precedente (fig. 132), sulle ordinate si ha il valore della sensazione termica media basata sugli individui di ogni differente zona e sulle ascisse si ha il PMV medio degli individui presenti nella medesima zona.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

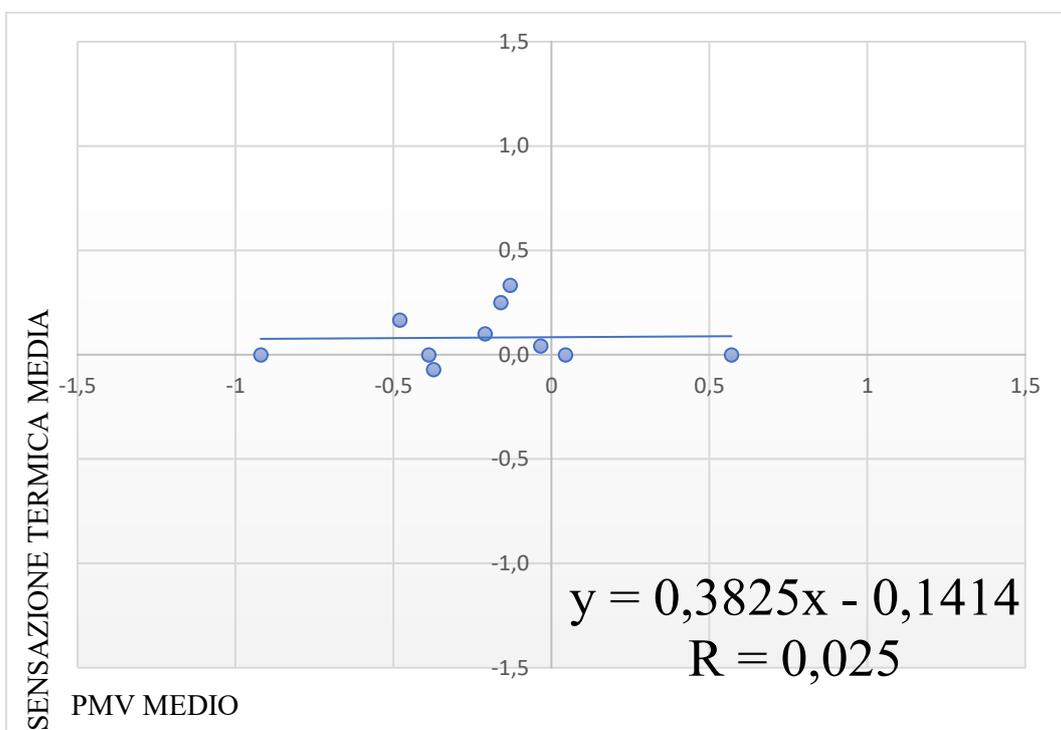


Fig. 135 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.

Aggregando i risultati per ogni zona presa in analisi si nota maggiormente come la gran parte dei punti siano vicini alla linea di tendenza, e dunque la maggior parte degli individui si trova in una condizione di comfort adeguata.

Un altro indice importante per poter trarre delle conclusioni inerenti alle aule con raffrescamento meccanico è il PPD (Percentage of Person Dissatisfied). Questo indice definisce la percentuale di persone insoddisfatte della qualità del comfort termico. Dunque, la correlazione tra il PPD e la qualità del comfort termico

percepita dagli individui all'interno dell'aula definisce un grafico, anch'esso con una linea di tendenza che indica i valori di soddisfazione del comfort termico.

Il grafico sottostante (fig. 136) illustra due valori di riferimento: PPD medio (calcolato tramite l'uso di CBE Thermal Comfort Tool su ogni zona) sulle ascisse e qualità del comfort termico percepita sulle ordinate (convertita secondo una scala di valori con un range da -1.5 a 1.5).

La loro correlazione mostra come tutti i punti siano vicini alla linea di tendenza e dunque sintetizzano al meglio la situazione sul comfort termico interno in relazione con l'indice PPD medio degli individui situati nelle varie zone dell'aula.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto insoddisfatto: -1	Insoddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	------------------	----------------------

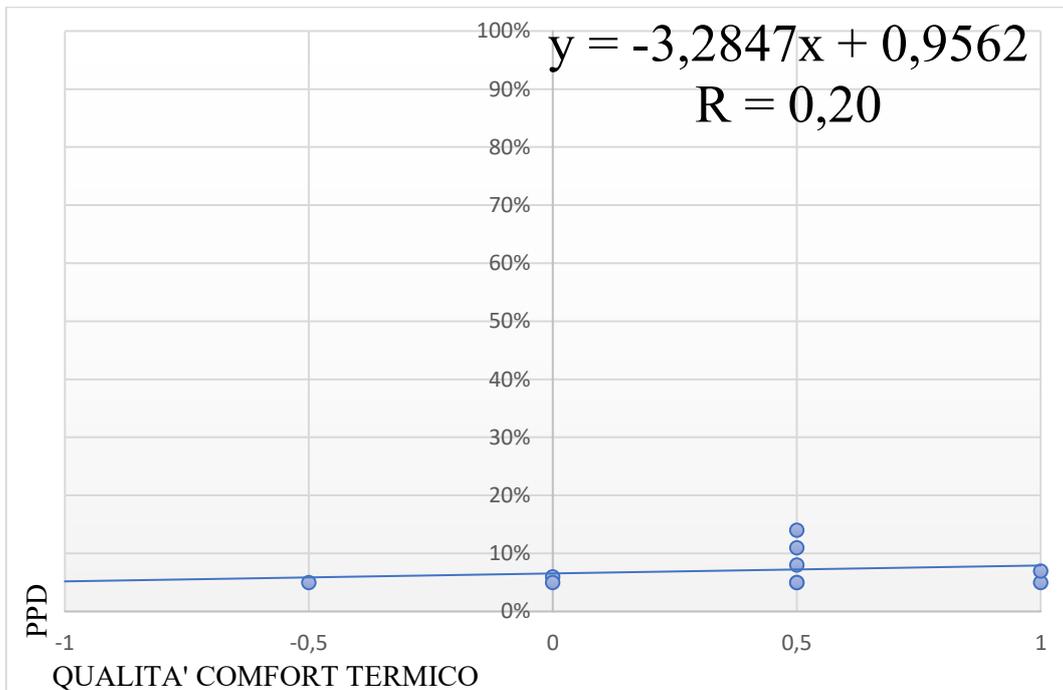


Fig. 136 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.

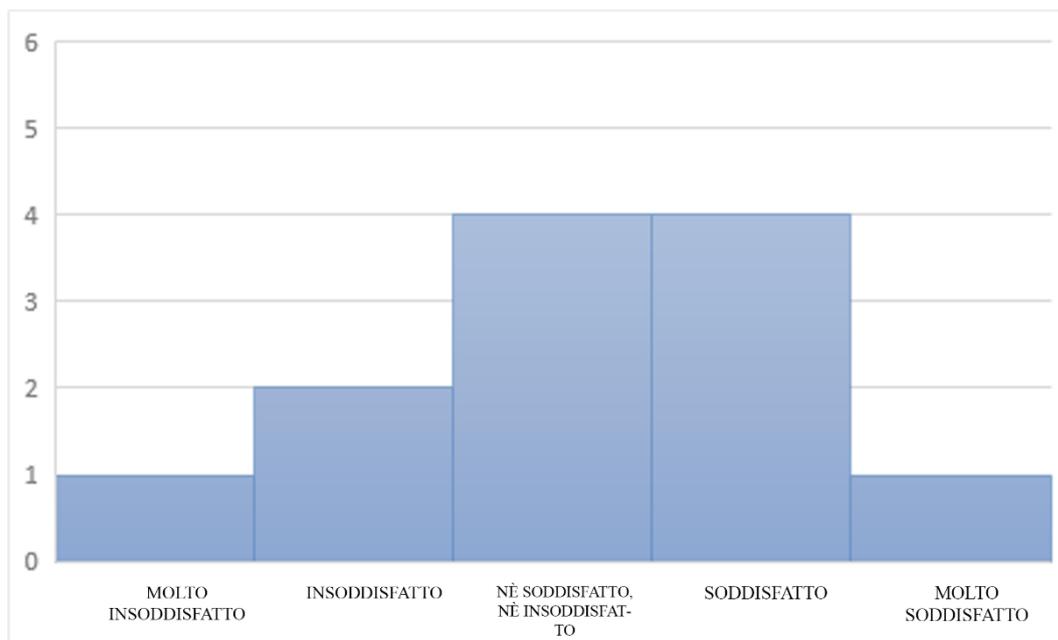


Fig. 137 Grafico istogramma: qualità del comfort termico zona centrale lato destro.

Tabella 27 Dati rilevati PMV e PPD zona centrale lato destro.

posizione	CLO	PMV	PPD
Zona centrale lato destro	2 T-shirt - Pantalone	-0,13	0,05
Zona centrale lato destro	2 T-shirt - Pantalone	-0,13	
Zona centrale lato destro	1 T-shirt - Pantaloncino / T-shirt - Gonna o Pantaloncino	-0,59	
Zona centrale lato destro	4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglionicino - Pantalone	0,08	
Zona centrale lato destro	2 T-shirt - Pantalone	-0,13	
Zona centrale lato destro	4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglionicino - Pantalone	0,08	
Zona centrale lato destro	3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito	0,36	
Zona centrale lato destro	5 Maglionicino - Pantalone / Camicia- pantalone	0,08	
Zona centrale lato destro	Felpa e pantaloncino	0,15	
Zona centrale lato destro	2 T-shirt - Pantalone	-0,13	
Zona centrale lato destro	2 T-shirt - Pantalone	-0,13	
Zona centrale lato destro	4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglionicino - Pantalone	0,08	

Confrontando i dati della qualità del comfort termico percepita dagli studenti (fig. 137) di una delle zone più critiche dell'aula con i dati oggettivi rilevati (tabella 27), si nota che: anche se vi siano delle risposte legate a valori di insoddisfazione, i valori del PPD rientrano perfettamente all'interno del range limite relativo alla normativa.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

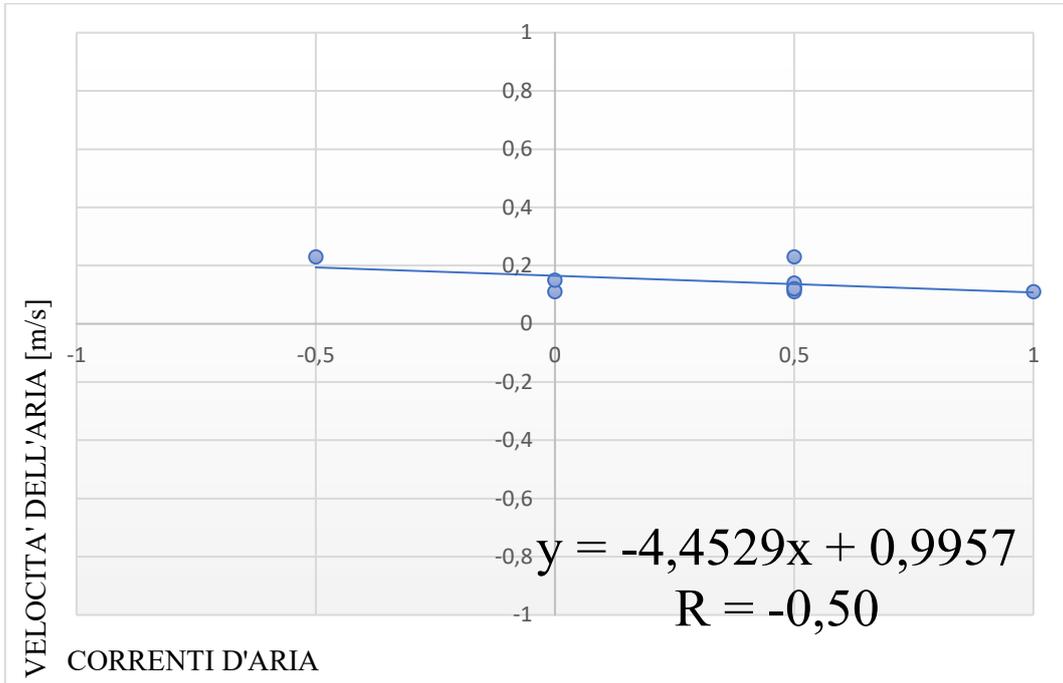


Fig. 138 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

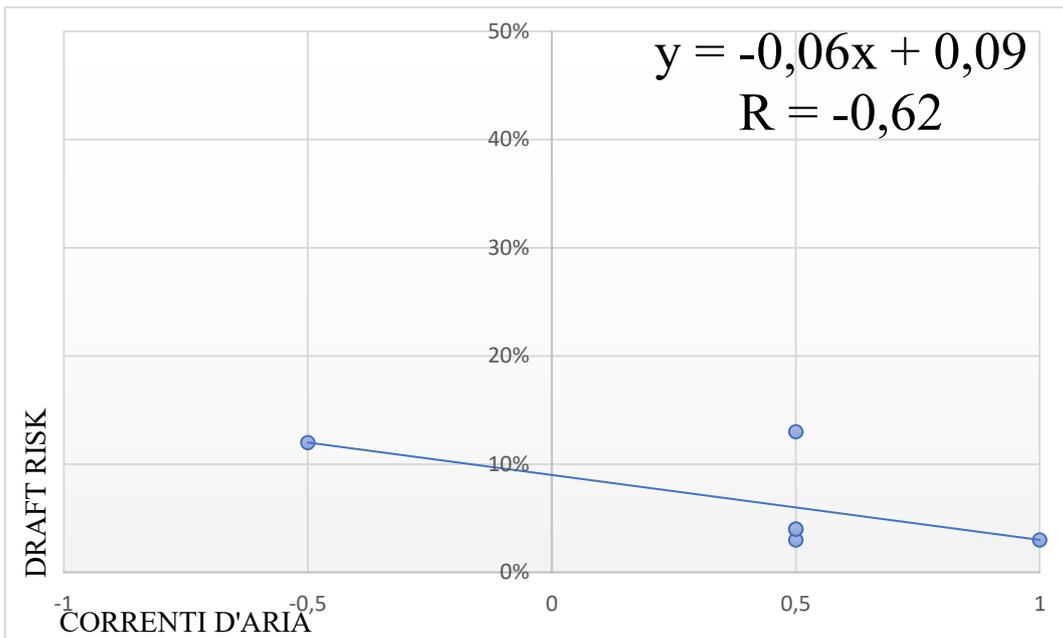


Fig. 139 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.

Procedendo con le analisi dell'aula 7I, si è correlato le correnti d'aria percepite dagli studenti e il draft risk. Il grafico soprastante mostra come anche in questa correlazione quasi tutti i punti sono vicini alla linea di tendenza.

L'unico punto che si discosta appartiene alla zona prima-terza fila lato destro in cui si potrebbe avere un draft risk maggiore in quanto posizione situata tra la porta e la finestra, quindi zona maggiormente colpita da correnti d'aria.

Concludendo le analisi per l'aula 7I, i grafici sottostanti rappresentano rispettivamente le condizioni complessive della qualità del comfort termico, della sensazione termica e dei flussi d'aria.

Si può notare come in tutti e tre i grafici vi è una maggioranza netta per quanto riguarda le risposte soggettive orientate verso delle condizioni di comfort adeguate all'aula in cui ci si trova.

Uno dei grafici da analizzare più nel dettaglio è quello sui flussi d'aria, in cui compaiono risposte di tutti i tipi ma con una netta prevalenza di flussi d'aria deboli. Le altre risposte possono essere collegate alle differenti zone dell'aula in cui erano presenti delle correnti d'aria causate dall'apertura sia delle porte sul cortile sia delle porte sul corridoio.

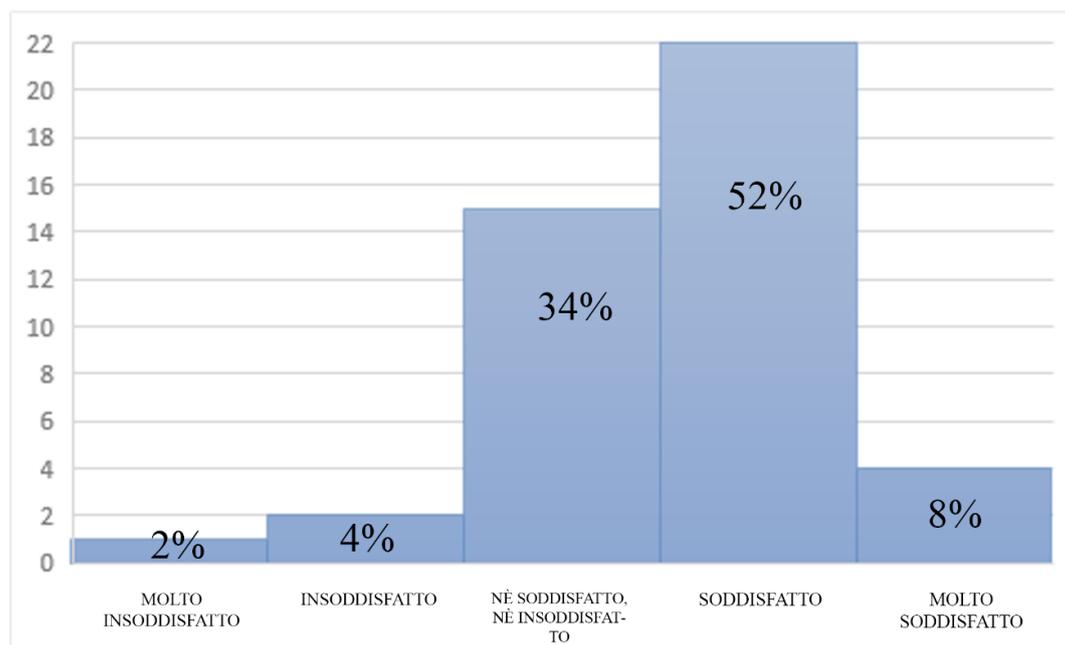


Fig. 140 Grafico istogramma, condizioni complessive della qualità del comfort termico.

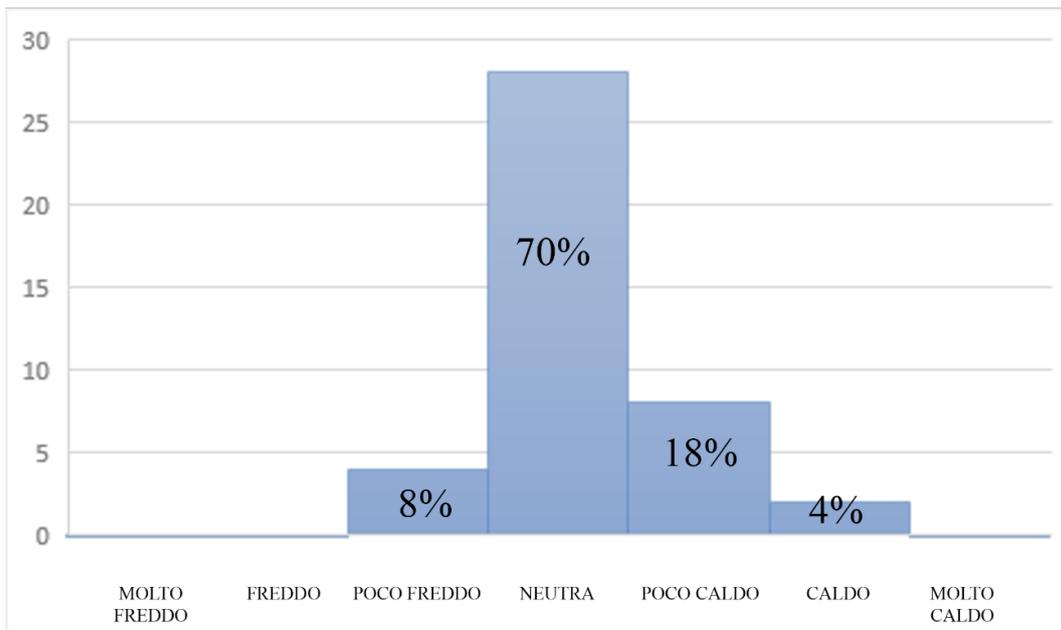


Fig. 141 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.

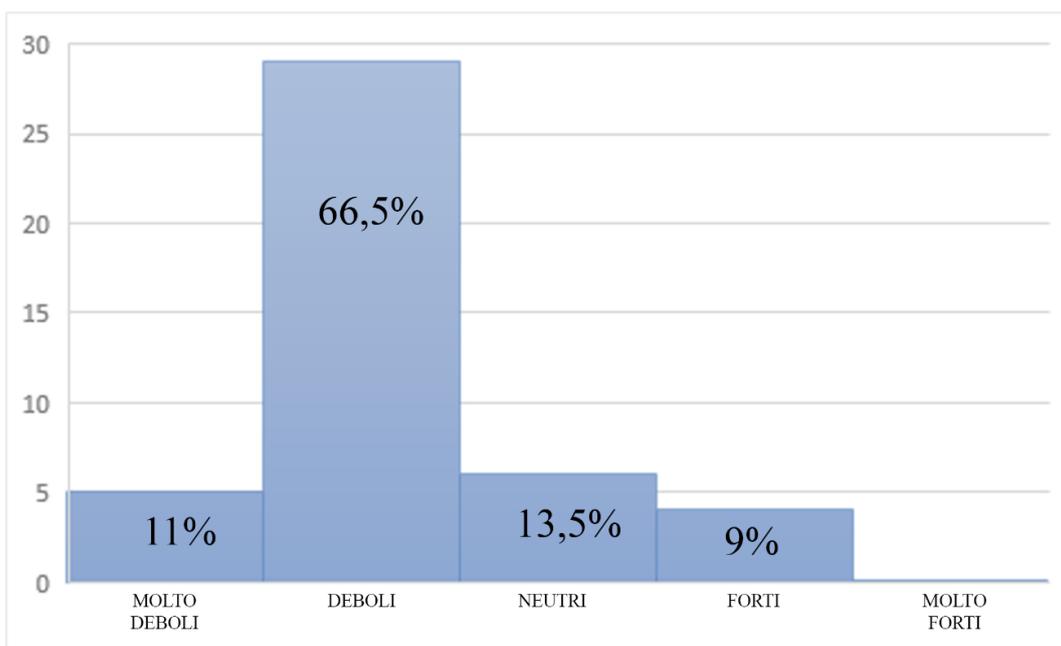


Fig. 142 Grafico istogramma, condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.

4.4.2 Stagione invernale

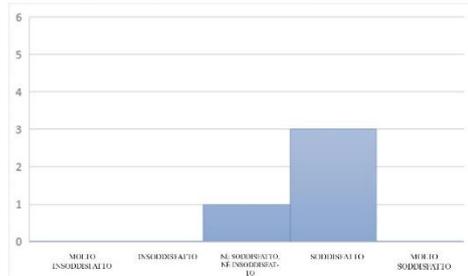
4.4.2.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

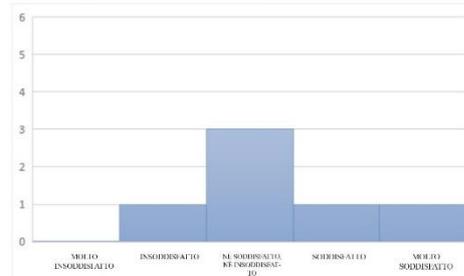
“Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?”

Qualità comfort termico percepita

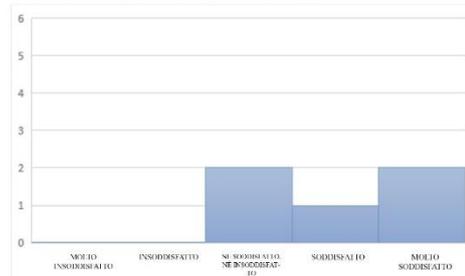
Prima - terza fila lato destro



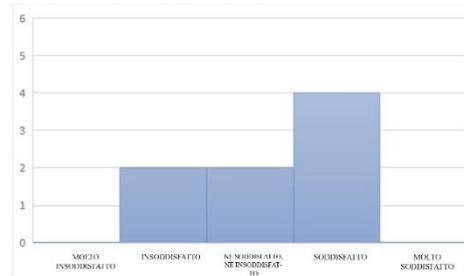
Prima - terza fila centro



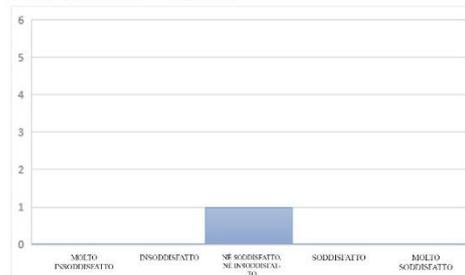
Prima - terza fila lato sinistro



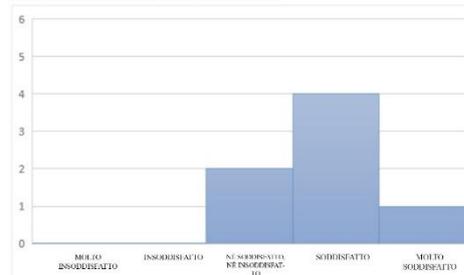
Fila centrale lato destro



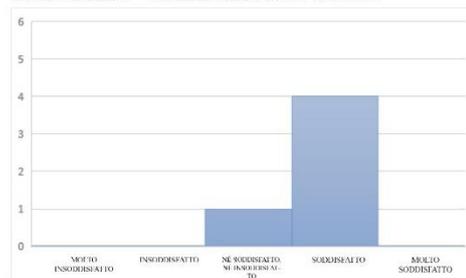
Fila centrale - centro



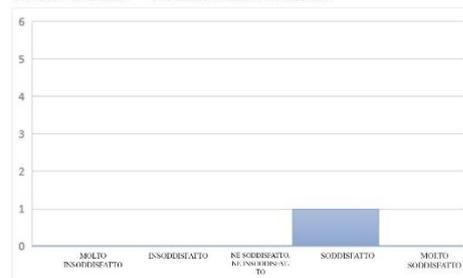
Fila centrale lato sinistro



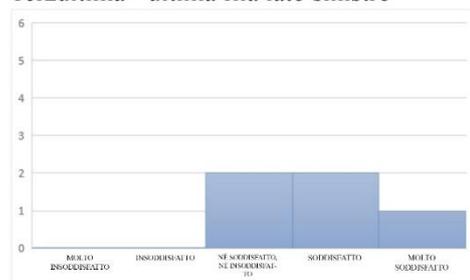
Terzultima - ultima fila lato destro



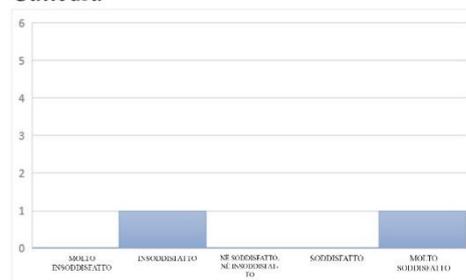
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



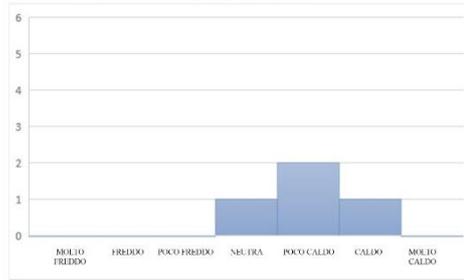
Come si può notare dai grafici, tutte le zone dell'aula tendono ad avere una risposta tendente ad un grado di soddisfazione.

Quello che si può notare in modo più rilevante sono i grafici della zona sinistra dell'aula, dove si ha una parete completamente vetrata. In questa zona nessuno risulta essere insoddisfatto come invece accade nell'aula 201. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che la distanza tra parete e banchi è relativamente ampia (circa 2m), quasi il doppio rispetto all'aula 201 della sede del Lingotto.

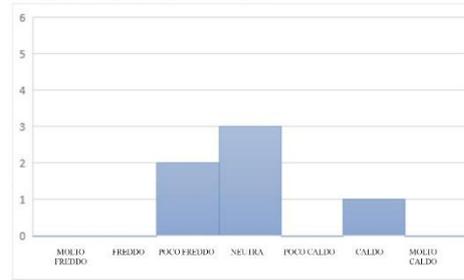
“Qual è la sensazione termica all’interno dell’aula?”

Sensazione termica percepita

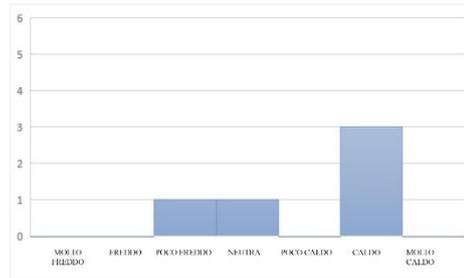
Prima - terza fila lato destro



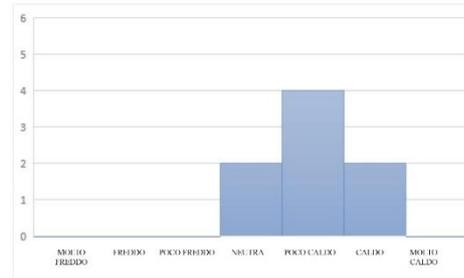
Prima - terza fila centro



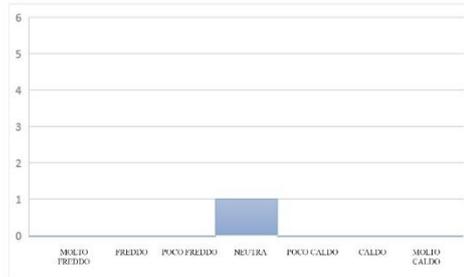
Prima - terza fila lato sinistro



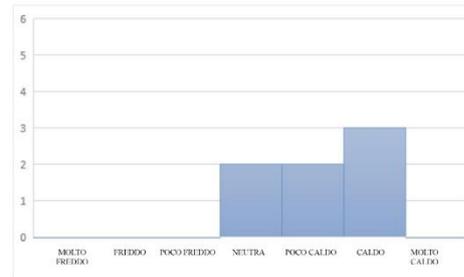
Fila centrale lato destro



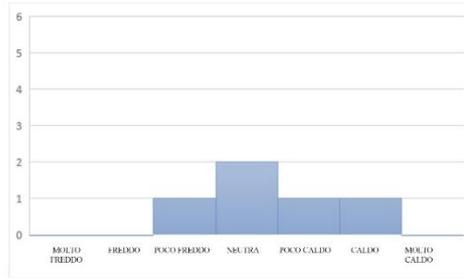
Fila centrale - centro



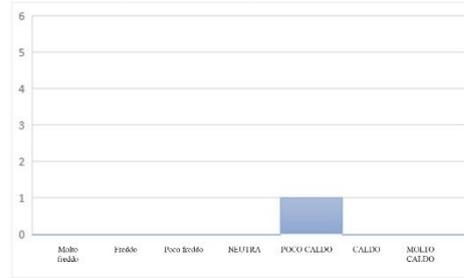
Fila centrale lato sinistro



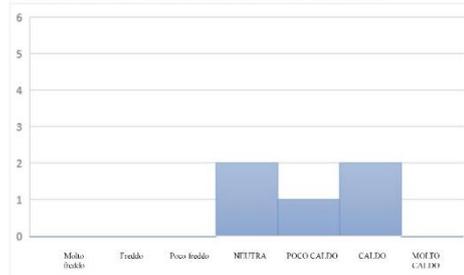
Terzultima - ultima fila lato destro



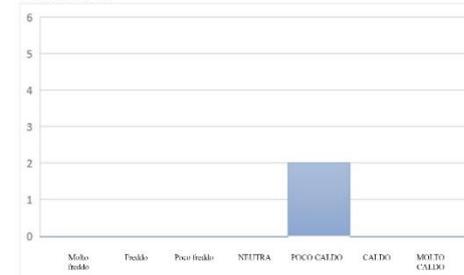
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



All'interno dell'aula 7I, la risposta inerente alla sensazione termica percepita dagli studenti risulta essere orientata verso una sensazione di "poco caldo", anche se gli studenti hanno un vestiario molto leggero.

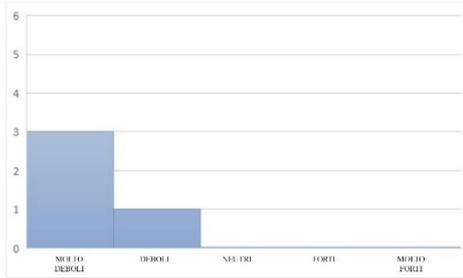
Come detto in precedenza per l'aula 201 per quanto riguarda le pareti vetrate, in questo caso non risulta essere un problema, poiché le temperature sono addirittura superiori di circa 1°C.

Notiamo come nella zona destra dell'aula la sensazione risulta essere calda, questo perché tutta la zona affaccia su una parete opaca, che a sua volta è rivolta verso il corridoio interno anch'esso riscaldato e senza aperture verticali.

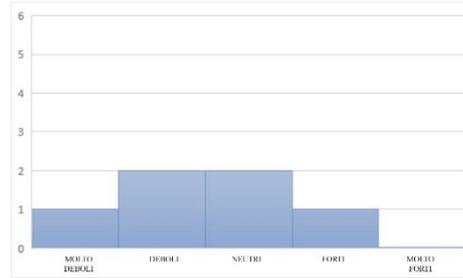
“Come percepisci i movimenti d’aria?”

Flussi d’aria ricavati da questionario

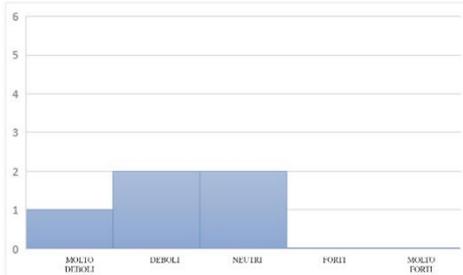
Prima - terza fila lato destro



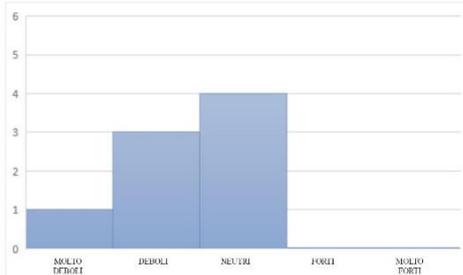
Prima - terza fila centro



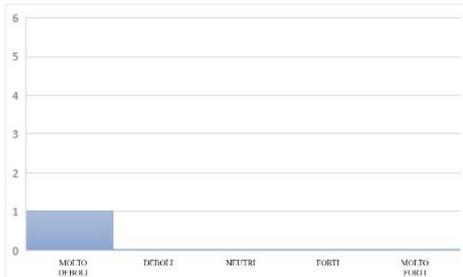
Prima - terza fila lato sinistro



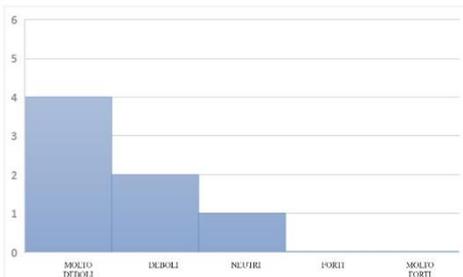
Fila centrale lato destro



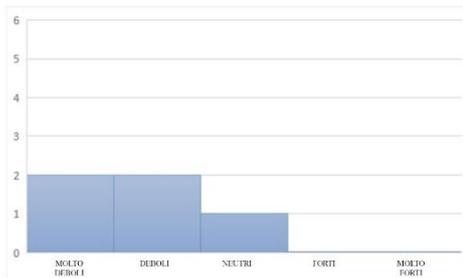
Fila centrale - centro



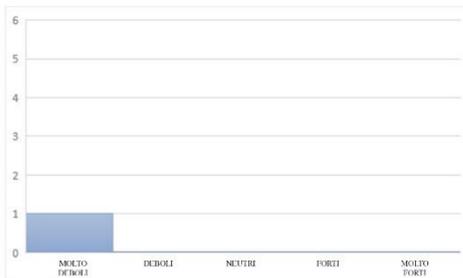
Fila centrale lato sinistro



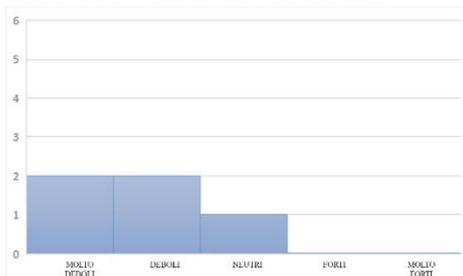
Terzultima - ultima fila lato destro



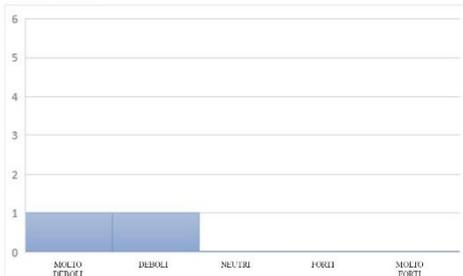
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Tenendo in considerazione i valori dei dati termici rilevati (vedi tabella 28) e le condizioni interne dell'aula si spiegano i dati estrapolati dal questionario in questo modo: i grafici inerenti dell'aula tendono ad avere una maggioranza di risposte “deboli” e “molto deboli” conforme ai dati rilevati.

Questo fattore risulta essere tale in quanto durante la somministrazione del questionario, sia le finestre sia le porte erano chiuse. Dunque, non erano presenti correnti d'aria che avrebbero potuto creare draft risk all'interno dell'aula, provocando discomfort agli individui.

4.4.2.2 Analisi oggettive

COMFORT TERMICO	Condizioni esterne	T _a [°C]	V _a [m/s]	V _a [m/s] ingresso fin.	U.R. [%]
		Nuvoloso	10	1.1	0

I dati qui di seguito esposti fanno riferimento al rilievo termico ed illuminotecnico eseguito all'interno dell'aula. Per quanto riguarda la tabella 28, i dati rilevati si fermano al parametro U.R. (umidità relativa), mentre i dati CLO, MET, PMV e DRAFT RISK sono stati calcolati secondo le loro rispettive equazioni (vedi capitolo 3).

Tabella 28 Dati termici invernali rilevati in aula 7I.

PUNTO DI MISURA	ORARIO	Ta(°C)	POSIZIONE SONDA	Tpe (°C)	Tmr punto (°C)	To (°C)	Va (m/s) 5s	Va(m/s)3m	Dev Va (m/s) 5s	Dev Va (m/s) 3m	U.R. %	CLO	MET	PMV	DRAFT RISK	
1	16:50	23,4	Sinistra(A)	21,8	23,5	23,4	0,04	0,07	0,04	0,06	50	Felpa	0,28	1,2	0,09	0,01
			Destra (B)	24,5								Pantalone	0,25			
			Back (A)	23,1								Mantello	0,04			
			Front (B)	24,4								Calza	0,02			
			Pavimento (A)	22,4								Scarpe	0,02			
			Soffitto (B)	24,3									0,01			
2	16:58	24,5	Sinistra(A)	24,4	24,1	24,3	0,06	0,1	0,04	0,1	50	CLO				
			Destra (B)	23,9								T-Shirt	0,09	1,2	-0,38	0,02
			Back (A)	24								Pantalone	0,25			
			Front (B)	24,3								Mantello	0,04			
			Pavimento (A)	23,2								Calza	0,02			
			Soffitto (B)	24,6								Scarpe	0,02			
3	16:14	24,9	Sinistra(A)	22,8	23,5	24,1	0,06	0,07	0,05	0,05	50	CLO				
			Destra (B)	24,3								T-Shirt	0,09	1,2	-0,29	0,01
			Back (A)	23,2								Pantalone	0,25			
			Front (B)	23,8								Mantello	0,04			
			Pavimento (A)	22,6								Calza	0,02			
			Soffitto (B)	24,3								Scarpe	0,02			
4	16:21	24,5	Sinistra(A)	24,2	23,8	24,1	0,06	0,09	0,03	0,06	50	CLO				
			Destra (B)	24,2								T-Shirt	0,09	1,2	0,01	0,01
			Back (A)	23,3								Pantalone	0,25			
			Front (B)	24								Mantello	0,04			
			Pavimento (A)	22,9								Calza	0,02			
			Soffitto (B)	24,3								Scarpe	0,02			
5	16:29	24,8	Sinistra(A)	24,9	25,5	25,1	0,07	0,08	0,03	0,04	50	CLO				
			Destra (B)	26								T-Shirt	0,09	1,2	-0,13	0,01
			Back (A)	25								Pantalone	0,25			
			Front (B)	26,7								Mantello	0,04			
			Pavimento (A)	23,7								Calza	0,02			
			Soffitto (B)	25,9								Scarpe	0,02			
6	16:35	23,8	Sinistra(A)	23,6	24,0	23,9	0,08	0,06	0,05	0,04	50	CLO				
			Destra (B)	24,1								Pantalone	0,25			
			Back (A)	24,4								Mantello	0,04			
			Front (B)	23,7								Calza	0,02			
			Pavimento (A)	23,1								Scarpe	0,02			
			Soffitto (B)	25									0,01			
MEDIA		24,3			24,0	24,2	0,06	0,08	0,04	0,06	50					

Analizzando i dati termici rilevati nell'aula 7I, si nota come determinati parametri abbiano dei valori molto costanti per tutti i punti di rilievo, tranne qualche punto d'eccezione.

Se si prende in considerazione la velocità dell'aria, si osserva che in tutti i punti il valore relativo a questa risulti molto basso e omogeneo rispetto alla media ottenuta, ma nessuno di essi supera il valore di normativa pari a 0,16 m/s per la stagione invernale. Dunque, questo fattore può essere considerato un vantaggio per il benessere termico invernale.

Un altro parametro da analizzare è il PMV: dato calcolato tramite il software CBE Thermal Comfort Tool. Nei punti 2, 3, 5 e 6 il PMV ha dei valori distanti dallo 0 (valore neutro). Abbiamo un valore negativo anche se gli studenti provano una

sensazione di caldo generale in tutta l'aula. Mentre per i restanti punti 1 e 4, il PMV risulta essere positivo e quindi conforme a ciò che gli studenti provano.

Un valore di PMV distante dallo 0 non è solo influenzato dal vestiario ma anche dalle condizioni termiche interne, che in questo caso sono fattori che influiscono maggiormente.

4.4.2.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Aula in cui è presente sia un impianto di riscaldamento sia quello di raffrescamento e ventilazione meccanica. Per poter trarre delle conclusioni sulla parte termica sono stati utilizzati i parametri calcolati del PMV e del PPD, approfonditi ai rispettivi paragrafi 3.1.8.1 e 3.1.8.2.

Il grafico sottostante rappresenta la correlazione tra la sensazione termica di ogni individuo tratta dalle risposte del questionario e il dato PMV. I dati sono stati correlati sulla base della posizione degli individui in modo tale da avere delle sensazioni precise.

Gli assi di riferimento del grafico sono così suddivisi: sulle ascisse ci sono i dati del PMV, mentre sulle ordinate i valori della sensazione termica percepita, convertita secondo una scala di valori con un range da -1.5 a 1.5.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

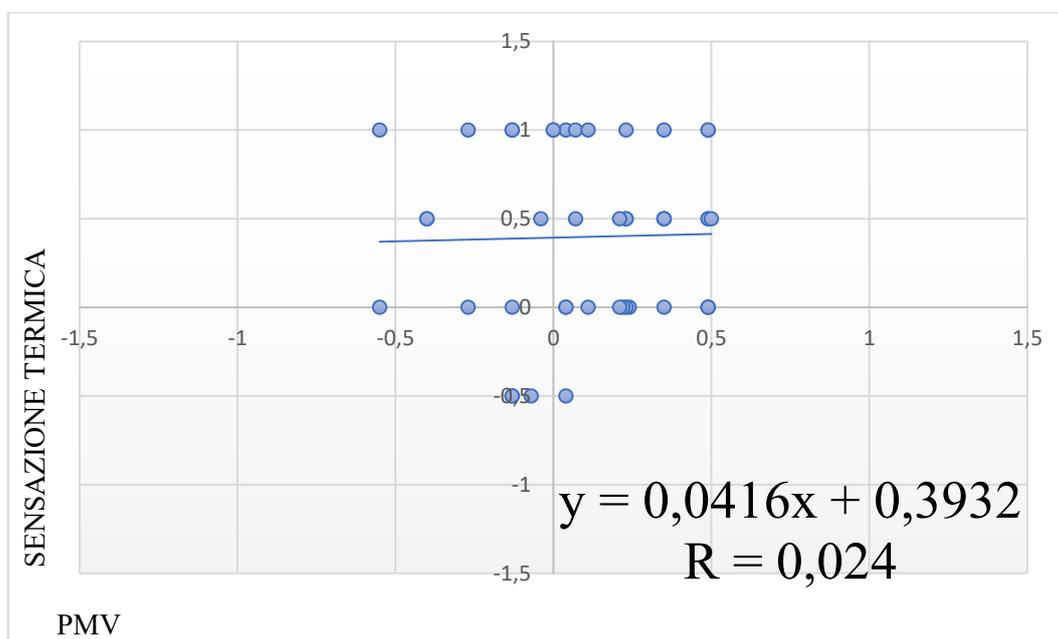


Fig. 143 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.

All'interno del grafico (fig. 143) si nota come la maggior parte dei punti si discostano abbastanza dalla linea di tendenza.

Se si guarda l'asse delle ascisse, si nota subito che la maggior parte dei valori del PMV sono compresi in un range che varia da -0.5 a +0.5, ciò vuol dire che gli

individui rappresentanti quei punti si trovano in una condizione di comfort, anche se facendo riferimento alle sensazioni termiche percepite gli individui provano una leggera sensazione di caldo, dovuta molto probabilmente al tipo di vestiario indossato.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto freddo: -1.5	Freddo: -1	Poco freddo: -0.5	Neutra: 0	Poco caldo: 0.5	Caldo: 1	Molto caldo: 1.5
--------------------	------------	-------------------	-----------	-----------------	----------	------------------

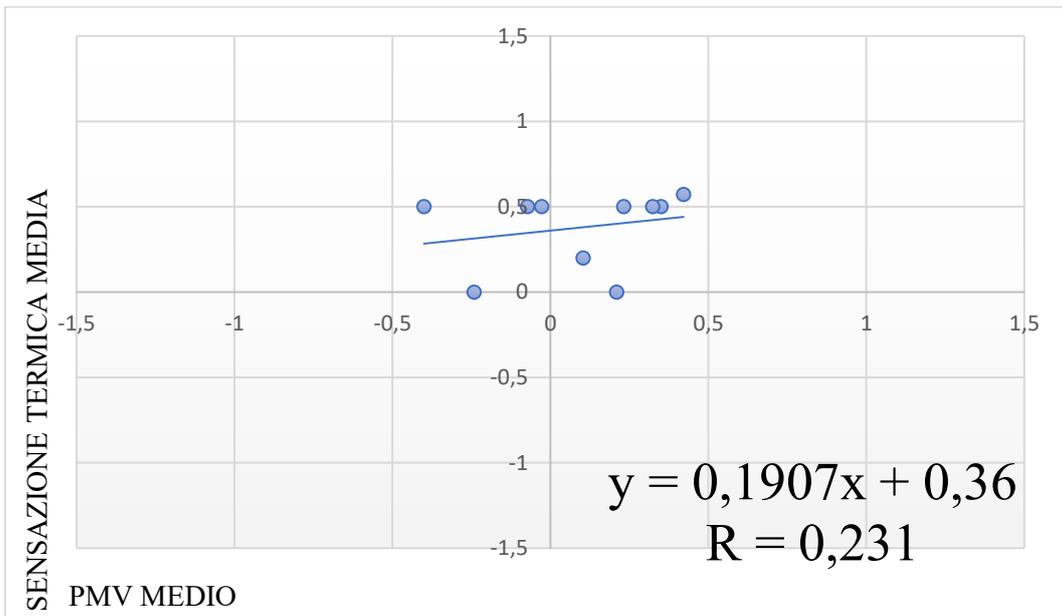


Fig. 144 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.

Anche in questo grafico si nota come alcuni punti sono lontani dalla linea di tendenza, però a differenza del grafico precedente qui i punti sono leggermente più vicini in quanto è un aggregato di valori e dunque alcuni parametri vanno ad alterarne altri. Ovviamente essendo un insieme di dati basato su delle sensazioni termiche percepite su ogni individuo in maniera differente, ci possono essere dei dati non precisamente definiti che così facendo sono annullati da altri (vedi allegato D: Tavola comfort termico aula 7I Invernale).

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto insoddisfatto: -1	Insoddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
-------------------------	---------------------	-------------------------------------	------------------	----------------------

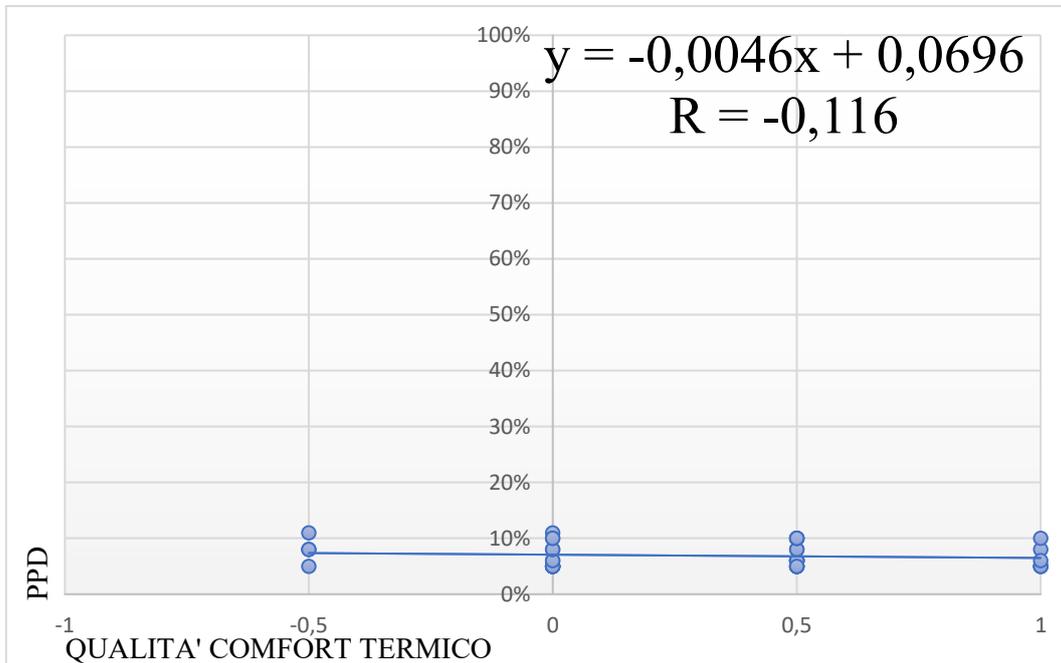


Fig. 145 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.

Un altro indice importante per poter trarre delle conclusioni inerenti alle aule con raffrescamento meccanico è il PPD (Percentage of Person Dissatisfied). Questo indice definisce la percentuale di persone insoddisfatte della qualità del comfort termico. Dunque, la correlazione tra il PPD e la qualità del comfort termico percepita dagli individui all'interno dell'aula definisce un grafico, anch'esso con una linea di tendenza che indica i valori di soddisfazione del comfort termico.

Il grafico soprastante (fig. 145) illustra due valori di riferimento: PPD medio (calcolato tramite l'uso di CBE Thermal Comfort Tool su ogni zona) sulle ordinate e la qualità del comfort termico percepita sulle ascisse (convertita secondo una scala di valori con un range da -1 a 1).

Tutti i punti presi in esame hanno un valore di PPD inferiore al 10% e mostrano una percentuale di persone soddisfatte dal comfort. La maggior parte dei punti si discosta poco dalla linea di tendenza anche se in realtà non vi è correlazione in quanto la R è quasi pari a 0. Questa correlazione non è rilevata in quanto le risposte soggettive non combaciano con i dati del PPD calcolati. Questa incoerenza è data principalmente dal vestiario non adatto alla stagione invernale, troppo pesante in certe zone e troppo leggero in altre.

Analizzando la "fila centrale lato destro" (fig. 124) dal punto di vista soggettivo, si nota che avendo una grande quantità di persone concentrate in quella zona, le

risposte sono molto differenti. La condizione di comfort o discomfort percepita è data appunto da una concentrazione troppo alta di persone che dunque crea una zona ambientale in discomfort, ma anche dovuta al fatto che i sistemi di riscaldamento o raffrescamento sono posti sul lato sinistro dell'aula.

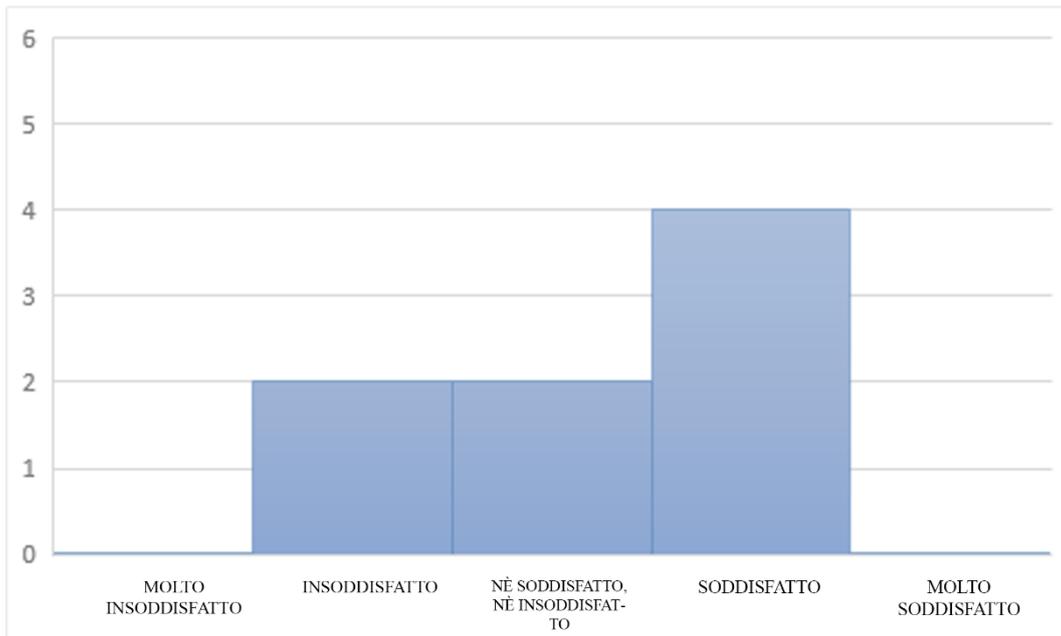


Fig. 146 Grafico istogramma: qualità del comfort termico fila centrale lato destro.

Allo stesso modo delle altre due aule senza raffrescamento meccanico, anche in questa si è analizzato il fattore velocità dell'aria e Draft risk, correlati entrambi alle correnti d'aria percepite dagli individui nelle singole zone dell'aula.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

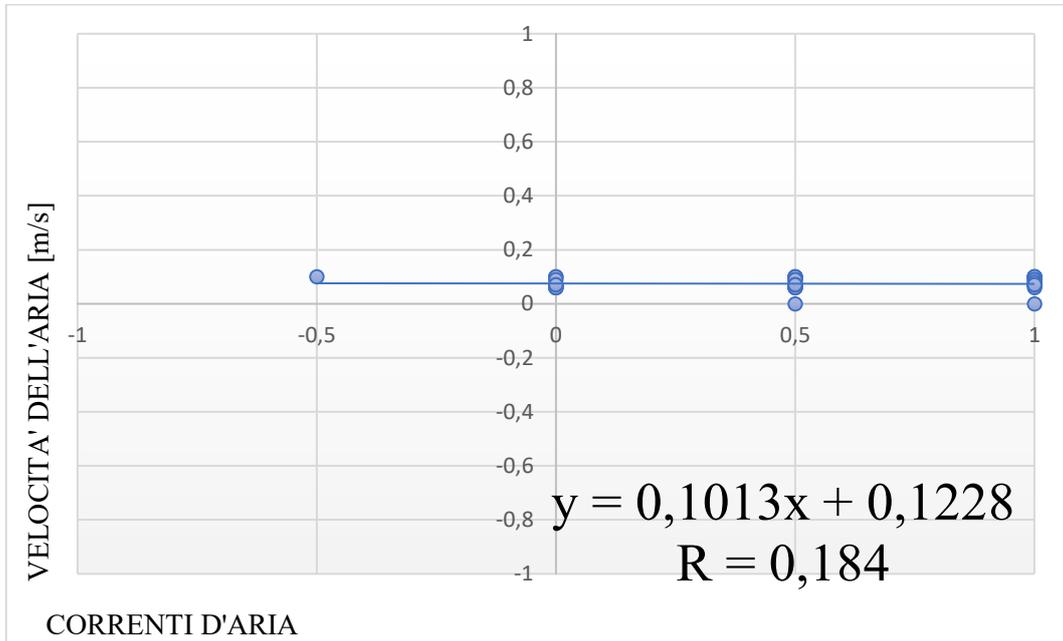


Fig. 147 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.

Attraverso l'utilizzo delle risposte sulle correnti d'aria (fig. 147), e convertendo le sensazioni delle correnti d'aria in una scala numerica di riferimento compresa in un range tra -1 e +1 con intervalli di 0.5, si possono correlare numericamente la percezione dei movimenti d'aria e la velocità dell'aria.

Nel grafico soprastante si nota che la R è positiva quasi 0, dunque non vi è una correlazione tra i dati. Però se si analizzano i punti, quasi tutti rispecchiano il valore numerico rilevato della velocità dell'aria, valore molto basso e dunque tendente alla risposta “deboli” e “molto deboli”.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto forti: -1	Forti: -0.5	Neutri: 0	Deboli: 0.5	Molto deboli: 1
-----------------	-------------	-----------	-------------	-----------------

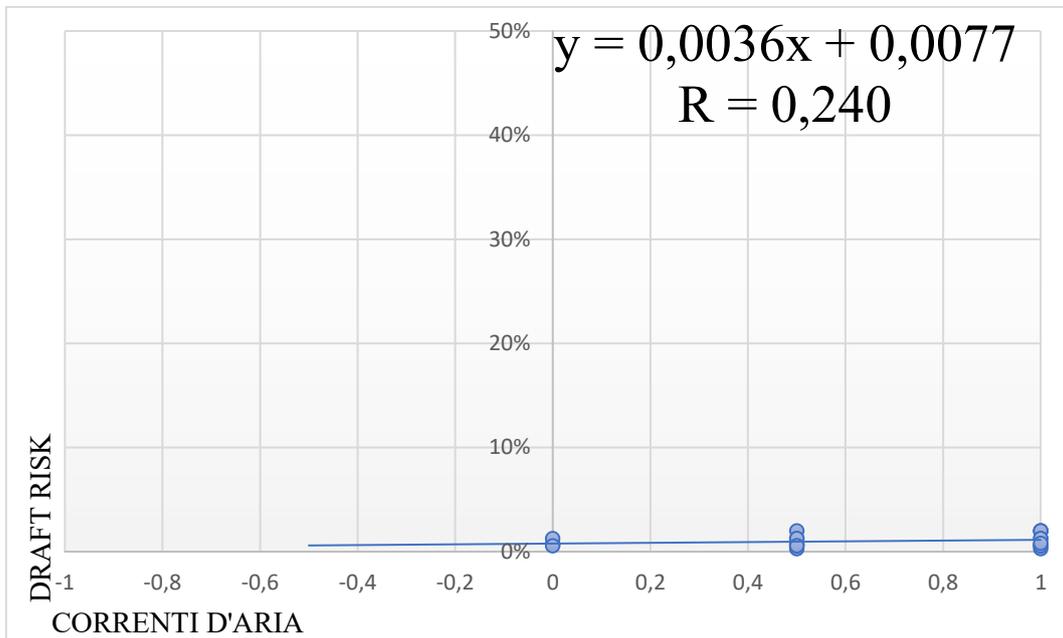


Fig. 148 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.

Procedendo con le analisi dell'aula 7I, si è correlato le correnti d'aria percepite dagli studenti e il draft risk. Il grafico soprastante mostra che all'interno dell'aula il rischio di correnti d'aria è quasi nullo. Infatti, quasi tutti i dati sono al di sotto del 3% di draft risk. Questo fenomeno è dovuto alla presenza delle finestre e delle porte chiuse e all'utilizzo della ventilazione meccanica in modo soddisfacente.

I grafici seguenti mostrano le condizioni complessive soggettive delle risposte degli studenti all'interno dell'aula.

Il primo grafico (fig. 149) rappresenta la qualità del comfort termico percepita: molti degli individui sono soddisfatti di queste condizioni, vi è comunque una bassa percentuale di insoddisfazione (9%) come già accennato in precedenza.

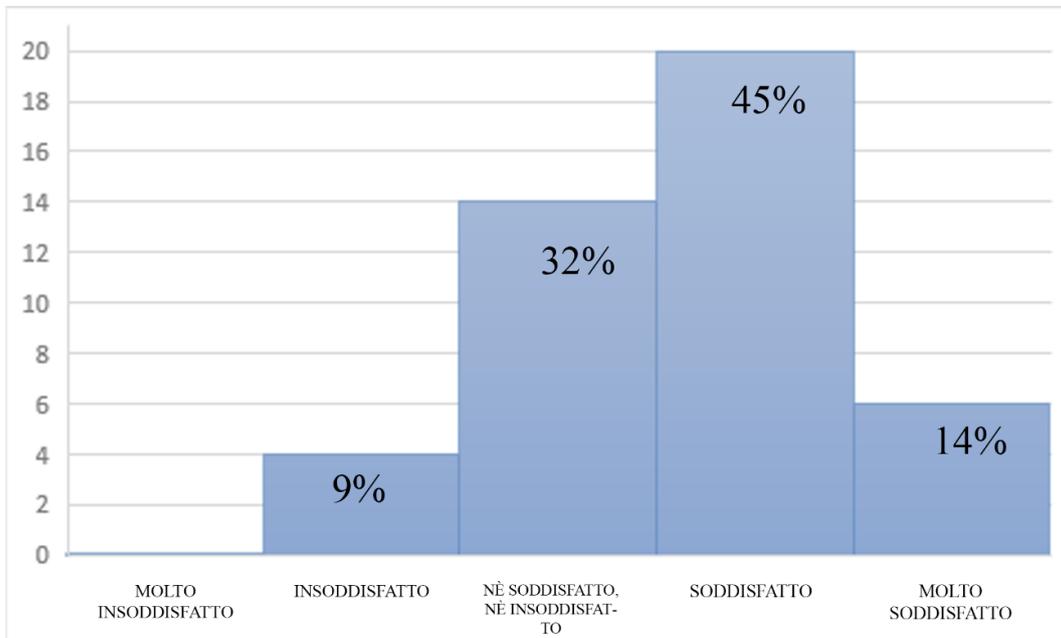


Fig. 149 Grafico istogramma, condizioni complessive della qualità del comfort termico percepita.

Il successivo (fig. 150) mostra, invece, la sensazione termica percepita. Anche in questo così come già accennato in precedenza con i grafici di correlazione tra PMV e sensazione termica, molte risposte sono orientate verso una sensazione di caldo.

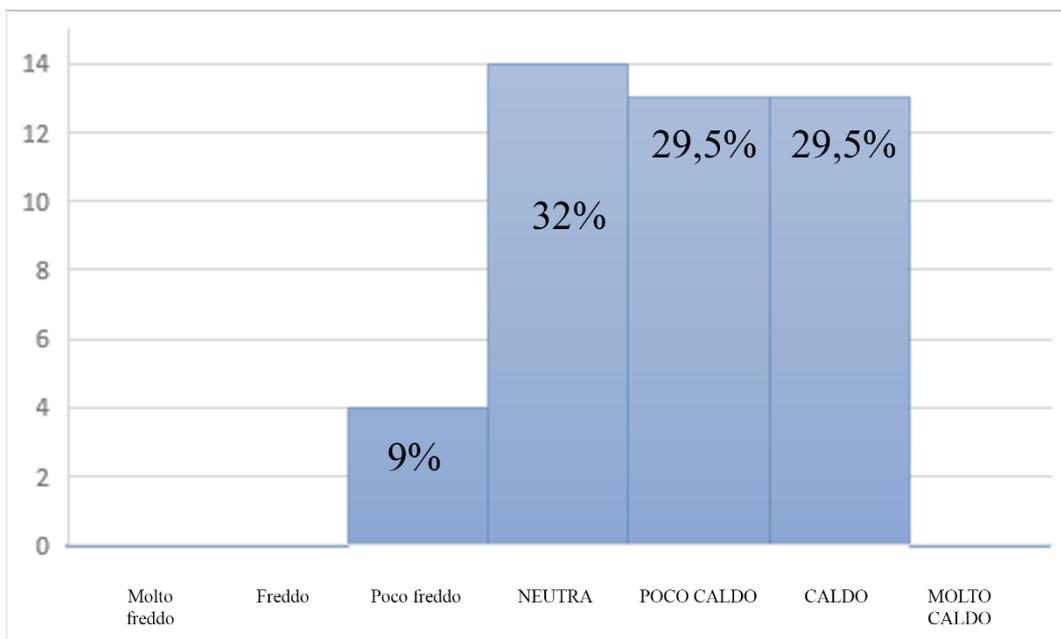


Fig. 150 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.

L'ultimo grafico (fig. 151) riguardante le condizioni complessive mostra i flussi d'aria generali percepiti dagli individui. Anche in questo coerentemente con i

grafici di correlazione precedenti, si nota che la maggior parte degli studenti percepisce correnti d'aria "neutre" indirizzate con una percentuale maggiore verso la risposta "molto deboli".

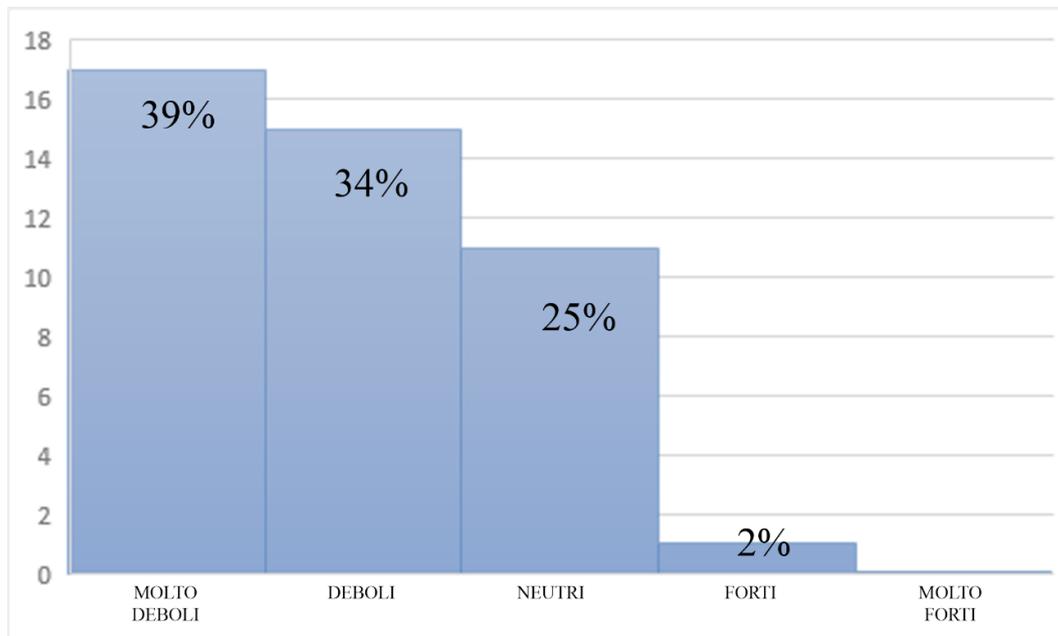


Fig. 151 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.

Comfort visivo

Le conclusioni tratte per il comfort visivo mettono in relazione i dati soggettivi percepiti dagli individui tramite il questionario e i dati oggettivi rilevati in aula.

I confronti trattati fanno riferimento a dati ritenuti significativi dove era possibile effettuare una correlazione tra analisi soggettiva ed oggettiva. Una di queste è la correlazione tra la temperatura di colore media rilevata all'interno delle zone delle aule e il colore della luce percepito dagli studenti. Questa correlazione è stata possibile andando a trasformare i valori delle sensazioni percepite secondo una scala di conversione con un range da -1.5 a +1.5, dove il massimo valore negativo corrisponde alla risposta sulla temperatura della luce "molto calda", mentre il massimo valore positivo corrisponde alla risposta "molto fredda".

Un'altra correlazione è quella tra la sensazione luminosa percepita e i dati sull'illuminamento medio rilevato all'interno dell'aula. Anche in questo caso i valori percepiti sulla sensazione luminosa sono stati convertiti secondo una scala con range da -1.5 a +1.5: massimo valore negativo corrispondente alla risposta "molto spiacevole" e massimo valore positivo corrispondente alla risposta "molto piacevole".

Andando ad approfondire maggiormente i dati sull'illuminamento, si è potuto correlare i dati riguardanti i piani di lavoro (lavagna, banchi, schermo di proiezione) con il grado di soddisfazione di ogni individuo per ogni rispettivo piano. Il grado di soddisfazione dell'illuminamento sui piani percepito è stato trasformato secondo una scala di valori con un range da -1 a +1: il massimo valore negativo corrisponde alla risposta da questionario "molto insoddisfatto", mentre il massimo valore positivo corrisponde alla risposta "molto soddisfatto".

Inoltre, in aggiunta alle varie correlazioni sopra elencate vengono riportati i grafici istogramma sulle varie percezioni degli studenti presenti nelle varie aule. Ogni grafico fa riferimento ad una zona dell'aula ben precisa, queste sono divise in tre fasce: prima-terza fila, fila centrale e terzultima-ultima fila. Le zone si leggono guardando sempre la cattedra, in quanto ogni fascia è suddivisa a sua volta in lato destro, sinistro e centrale. Questa scelta è stata dettata dal fatto di essersi immedesimati nello studente che effettua il questionario, che sicuramente dalla sua postazione, non darà le spalle alla cattedra.

4.5 Aula 4V

L'impianto di illuminazione artificiale dell'aula è composto da 21 corpi illuminanti, divisi a loro volta da 4 tubi fluorescenti. La struttura dell'aula presenta 12 aperture,

di cui 6 verso Nord e 6 verso Sud. Tutte le aperture dispongono di schermature interne (tende) che possono essere aperte o chiuse all'occorrenza.

Per quanto riguarda la parte di rilievo dei dati illuminotecnici, durante il rilievo estivo le tende interne erano aperte e l'illuminazione artificiale era accesa, mentre il cielo era nuvoloso (con leggere precipitazioni nella parte finale del rilievo).

Per la stagione invernale, la situazione è differente a livello di condizioni meteorologiche in quanto era soleggiato. Le tende erano aperte e l'illuminazione artificiale era accesa.

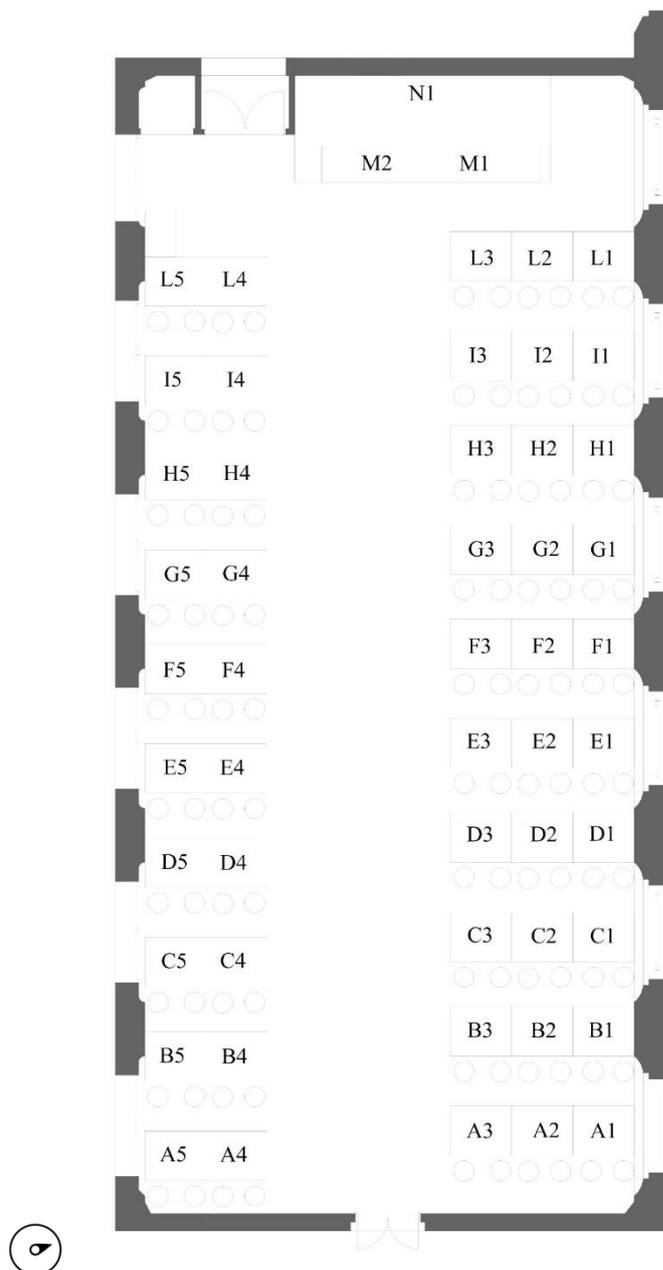


Fig. 152 Pianta aula 4V con punti di rilievo illuminotecnico.

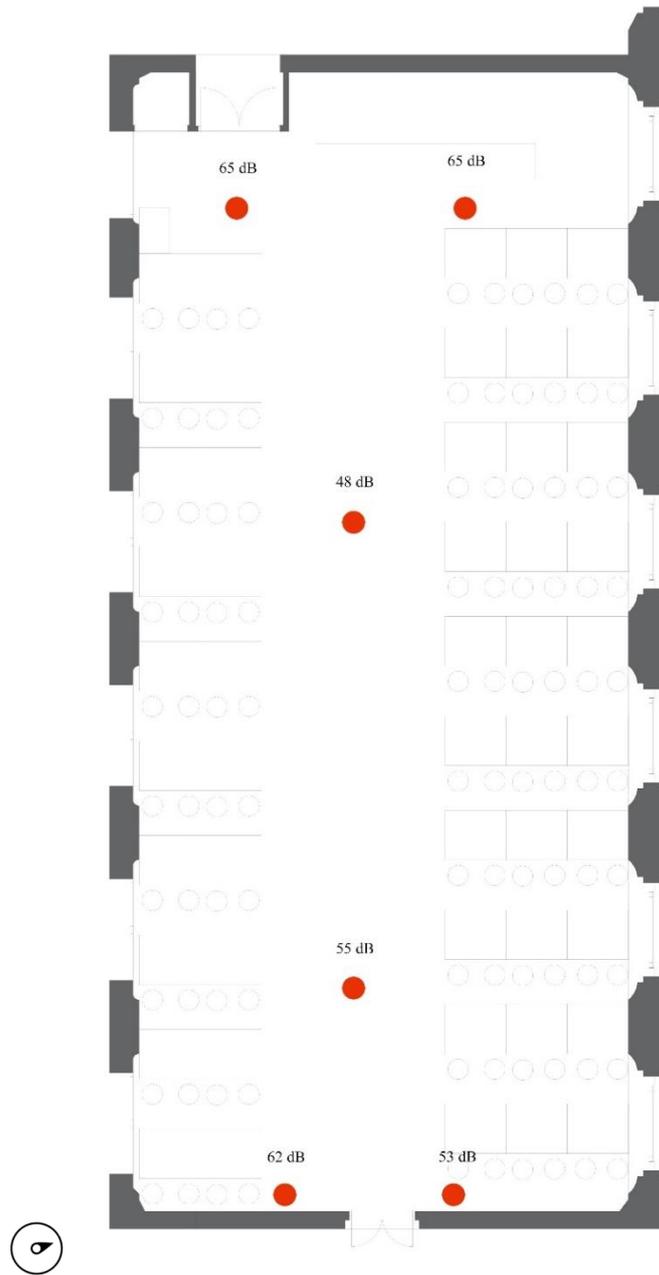


Fig. 153 Pianta aula 4V con punti di rilievo acustico.

4.5.1 Stagione estiva

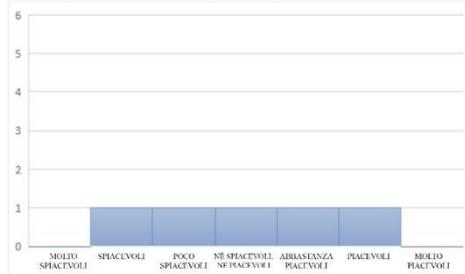
4.5.1.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

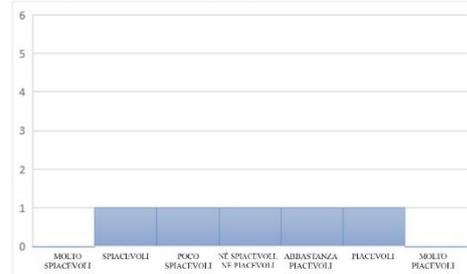
“Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?”

Qualità illuminazione naturale percepita

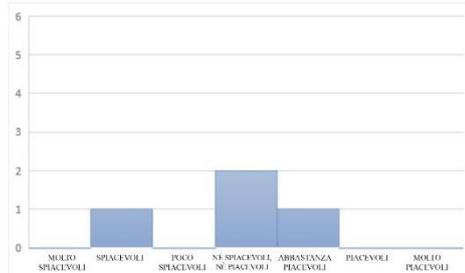
Prima - terza fila lato destro



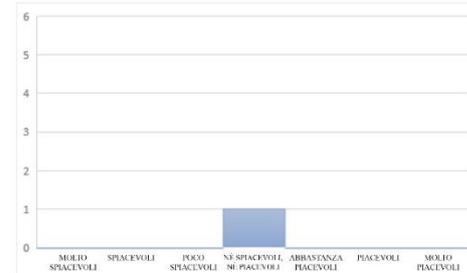
Prima - terza fila lato sinistro



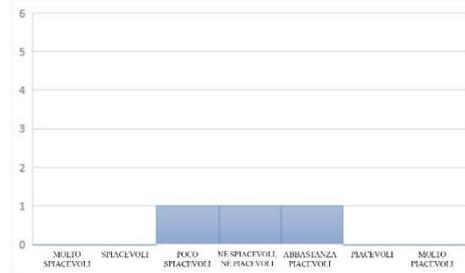
Fila centrale lato destro



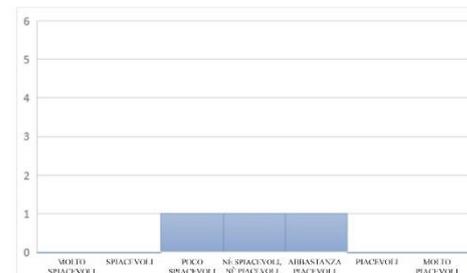
Fila centrale - centro



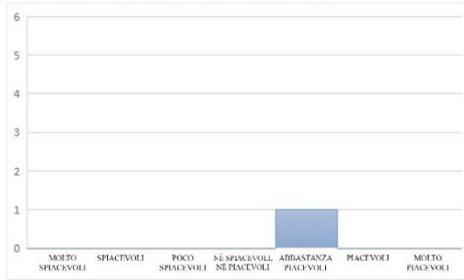
Fila centrale lato sinistro



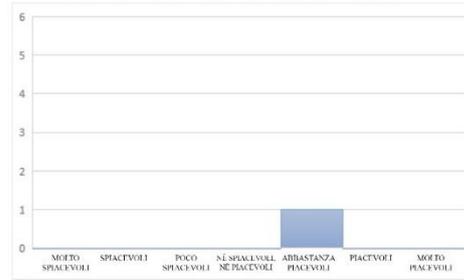
Terzultima - ultima fila lato destro



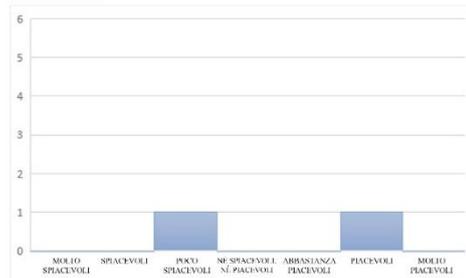
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



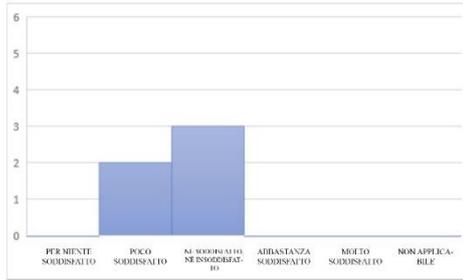
I dati più significativi inerenti alla domanda sulla qualità dell'illuminazione naturale sono abbastanza uniformi, tranne in due zone dell'aula: prima-terza fila lato destro e prima-terza fila lato sinistro.

In queste due zone le risposte non sono uniformi in quanto si distinguono in base alla posizione dell'individuo all'interno della zona stessa. Se ci si trova verso la zona centrale la qualità dell'illuminazione naturale è inferiore e dunque le risposte saranno di insoddisfazione, mentre se ci si trova verso le aperture il grado di soddisfazione è maggiore.

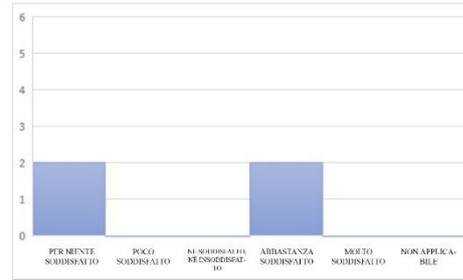
“Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione del piano lavagna?”

Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna

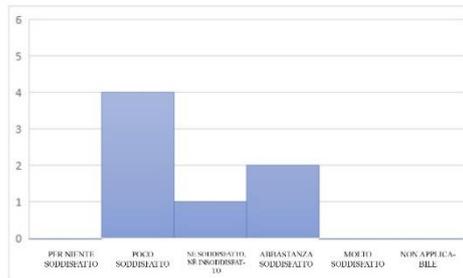
Prima - terza fila lato destro



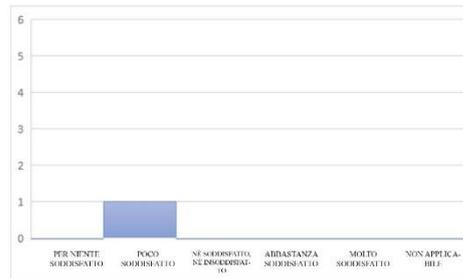
Prima - terza fila lato sinistro



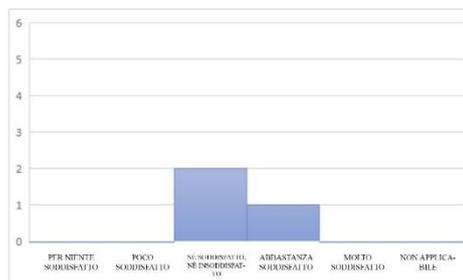
Fila centrale lato destro



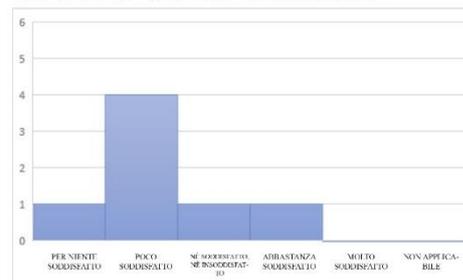
Fila centrale - centro



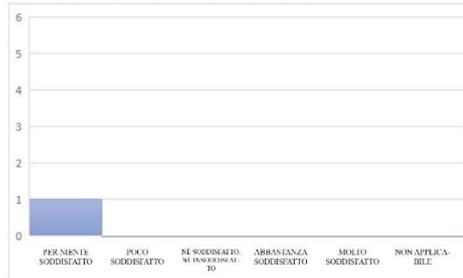
Fila centrale lato sinistro



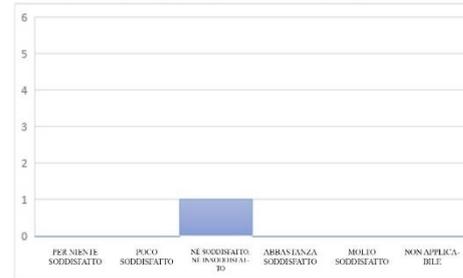
Terzultima - ultima fila lato destro



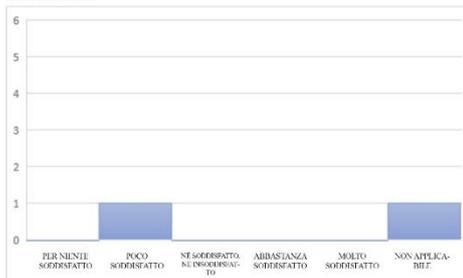
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



La risposta più frequente alla domanda sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna è “poco soddisfatto”. Questa risposta è dovuta principalmente alle condizioni metereologiche esterne in quanto il cielo era coperto, dunque la quantità di luce naturale era inferiore rispetto ad altri giorni in cui le condizioni erano soleggiate (vedere conclusioni e confronto tra la stagione estiva e quella invernale).

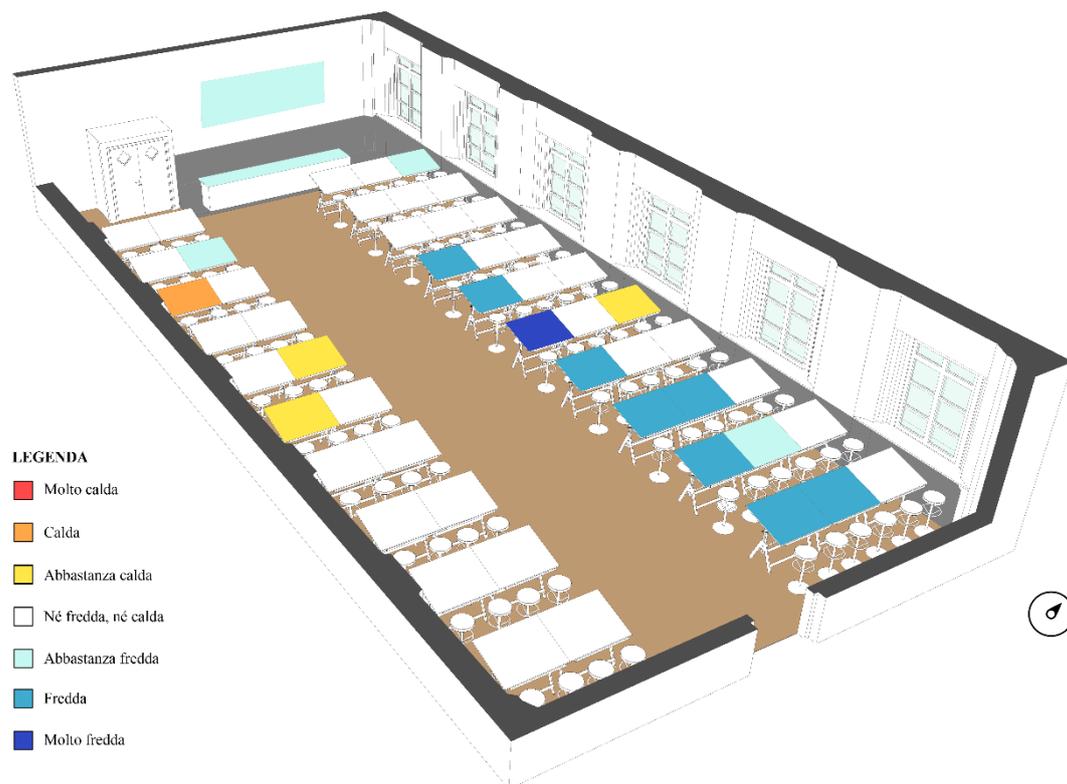


Fig. 154 Temperatura di colore correlata percepita.

4.5.1.2 Analisi oggettive

COMFORT VISIVO	Condizioni globali	Condizioni metereologiche	Ostruzioni esterne	Schermature interne	Illuminazione artificiale
	Estate	Nuvoloso	Si	Tende aperte	Accesa

Tabella 29 Dati illuminotecnici estivi rilevati in aula 4V.

PUNTI	ILLUMINAMENTO [lx]	TEMPERATURA DI COLORE [K]	CONDIZIONI METEO
A1	519	5833	NUVOLOSO
A3	297	5648	/
A4	152	5375	/
A5	188	5497	/
B1	610	5871	/
B3	286	5642	/
B4	188	5445	/
B5	172	5518	/
C1	1365	6056	/
C3	327	5618	/
C4	146	5443	/
C5	127	5446	/
D1	785	5990	/
D3	314	5609	/
D4	138	5493	/
D5	130	5532	/
E1	1132	6069	/
E3	312	5542	/
E4	108	5462	/
E5	116	5489	/
F1	613	5943	/
F3	382	5630	/
F4	118	5535	/
F5	79	5378	/
G1	1117	5904	/
G3	429	5612	/
G4	111	5551	/
G5	103	5523	/
H1	952	5892	/
H3	419	5578	/
H4	103	5641	/
H5	81	5521	/
I1	1489	5816	/
I3	461	5632	/
I4	82	5705	/
I5	83	5733	/
L1	984	5992	/
L3	529	5676	/
L4	380	5444	/
L5	282	5406	/
N1	52	5076	PIOGGIA
M1	42	5684	/
M2	41	5758	/
MEDIA	380	5633	

Per quanto riguarda i dati illuminotecnici rilevati si nota all'interno della tabella sovrastante che ci sono dei dati di illuminamento sui piani orizzontali di lavoro molto bassi in corrispondenza delle file 4 e 5 (lato verso Sud, ma interno dell'aula) e dei dati elevati in corrispondenza delle file 1 in linea con le finestre. I dati delle file 4 e 5 sono bassi in quanto si trovano in una zona dell'aula (lato Sud) dove le aperture sono poste ad un'altezza tale (2,5 m da terra) da consentire la percezione della radiazione diffusa ma non quella diretta. Mentre nel lato opposto avviene il contrario in quanto le aperture sono poste ad 1,2 m da terra.

I punti N1, M1 e M2 hanno anch'essi dei valori molto bassi di illuminamento in quanto i dati sono stati rilevati durante condizioni di pioggia e cielo molto coperto ed inoltre sono presenti ostruzioni interne.

Per il rilievo acustico, osservando la figura 153, i dati rilevati all'interno dell'aula risultano essere circa uniformi, con qualche variazione dovuto ad una maggiore o minore affluenza di individui presenti nella zona dove si è effettuato il rilievo. Considerando che i dati sono stati rilevati mentre gli studenti dialogavano, il rumore di fondo proveniente dall'esterno incide in minima parte.



Fig. 155 Qualità illuminazione naturale rilevata.

4.5.1.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Proseguendo con l'analisi dei grafici del comfort visivo e soffermandosi su quelli della qualità dell'illuminazione naturale percepita (fig. 156 e fig. 157) all'interno dell'aula dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 4V allegato A Estivo), si nota come nei primi due grafici istogramma: prima-terza fila lato destro e prima-terza fila lato sinistro le risposte sono molto variabili.

Questa variazione di risposte, se si osserva l'assonometria sulla quantità di illuminazione naturale rilevata (vedi fig. 155) è dovuta alla posizione degli studenti; infatti, nella prima fila lato sinistro l'illuminazione è maggiore rispetto alla seconda e alla terza fila dello stesso lato. La stessa cosa avviene per il lato destro, ove anche qui in base alla posizione nelle tre file varia la quantità di luce rilevata.

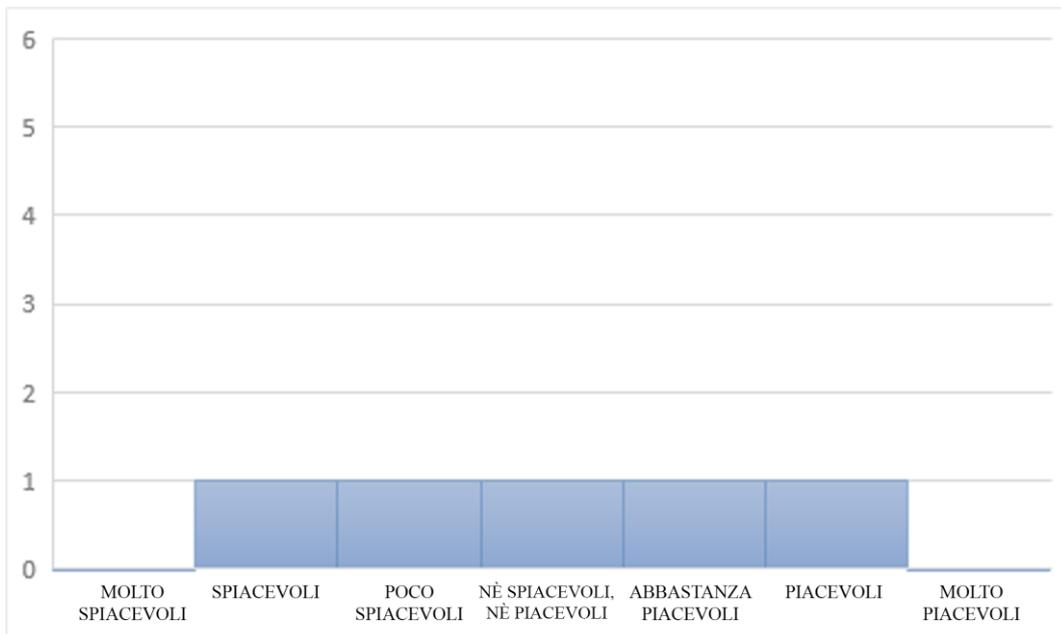


Fig. 156 Qualità illuminazione naturale percepita aula 4V, prima - terza fila lato destro.

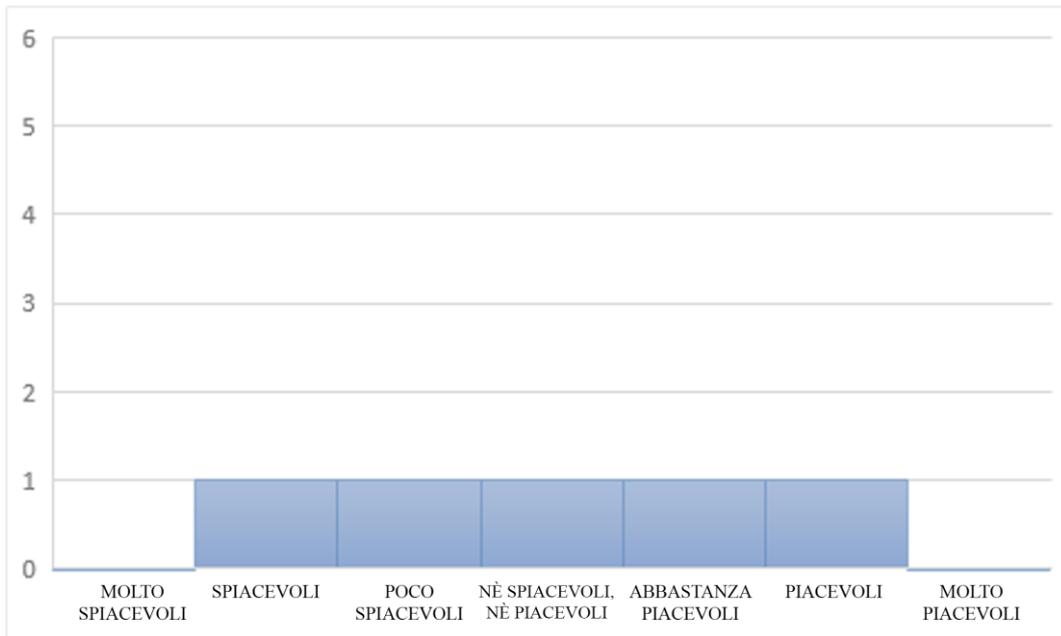


Fig. 157 Qualità illuminazione naturale percepita, prima - terza fila lato sinistro.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto calda: -1.5	Calda: -1	Abbastanza calda: -0.5	Né fredda, né calda: 0	Abbastanza fredda: 0.5	Fredda: 1	Molto fredda: 1.5
-------------------	-----------	------------------------	------------------------	------------------------	-----------	-------------------

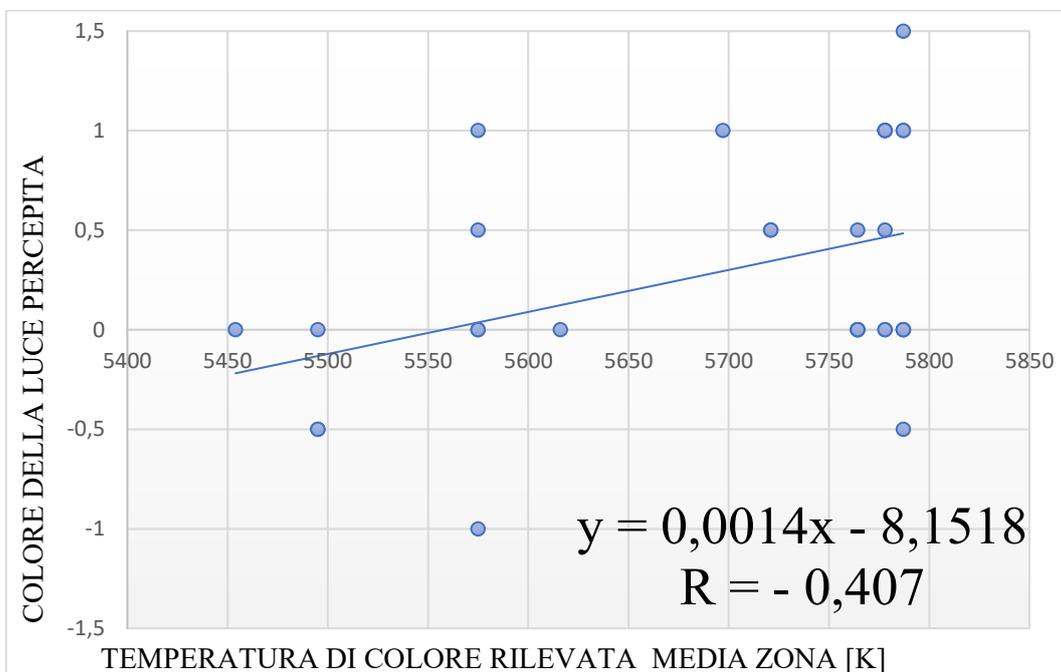


Fig. 158 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.

Nel grafico soprastante (fig. 158) si è correlata la temperatura di colore media rilevata nell'aula con il colore della luce percepito dagli studenti. Si nota subito

come i punti situati sul grafico siano in parte molto vicini alla linea di tendenza ed in parte lontani.

L'analisi oggettiva dell'ambiente ha evidenziato che la temperatura di colore media misurata è di 5663 [K] che corrisponde ad una percezione di "Bianco caldo", questo dato è abbastanza condiviso dai campioni analizzati nell'aula, le opzioni più votate sono "Né calda, né fredda" e "Abbastanza calda".

Il fatto che ci siano pareri che si distaccano dalla media è dovuto al fatto che per uno studente può non essere facile dare una valutazione al colore della luce, e soprattutto, è una percezione molto soggettiva di conseguenza è difficile una perfetta correlazione con l'analisi oggettiva.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto spiacevoli: -1.5	Spiacevoli: -1	Poco piacevoli: -0.5	Né spiacevoli, né piacevoli: 0	Abbastanza piacevoli: 0.5	Piacevoli: 1	Molto piacevoli: 1.5
------------------------	----------------	----------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------	----------------------

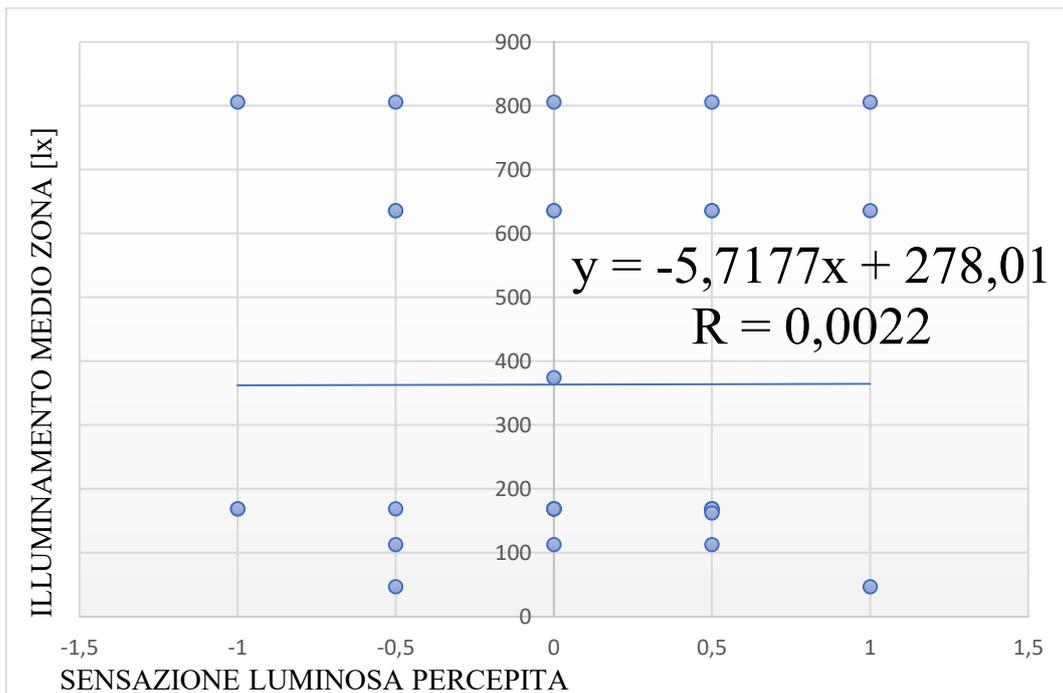


Fig. 159 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.

Facendo sempre riferimento all'aula 4V, un'altra correlazione molto significativa è quella espressa nel grafico soprastante in cui si è correlata la sensazione luminosa percepita dagli studenti con l'illuminamento medio rilevato per zona.

In questo grafico si nota come molti punti siano completamente lontani dalla linea di tendenza estrapolata, ciò è molto simile al grafico precedente (fig. 159) in quanto

anche per l'illuminamento è difficile dare una risposta corretta essendo una sensazione percepita da ogni singolo individuo differentemente in base alle proprie esigenze visive. Infatti, se si analizza nel dettaglio il grafico, molti valori alti di illuminamento sono correlati con sensazioni luminose scarse.

Proseguendo con l'analisi dei grafici istogramma, si nota come all'interno della Tavola comfort visivo aula 4V allegato A Estivo siano presenti grafici basati sul grado di soddisfazione dei piani lavoro.

Analizzando i dati complessivi si nota subito come nel grafico sul grado di soddisfazione generale della quantità di luce sulla lavagna gli individui abbiano risposto in maniera non soddisfacente secondo le loro esigenze.

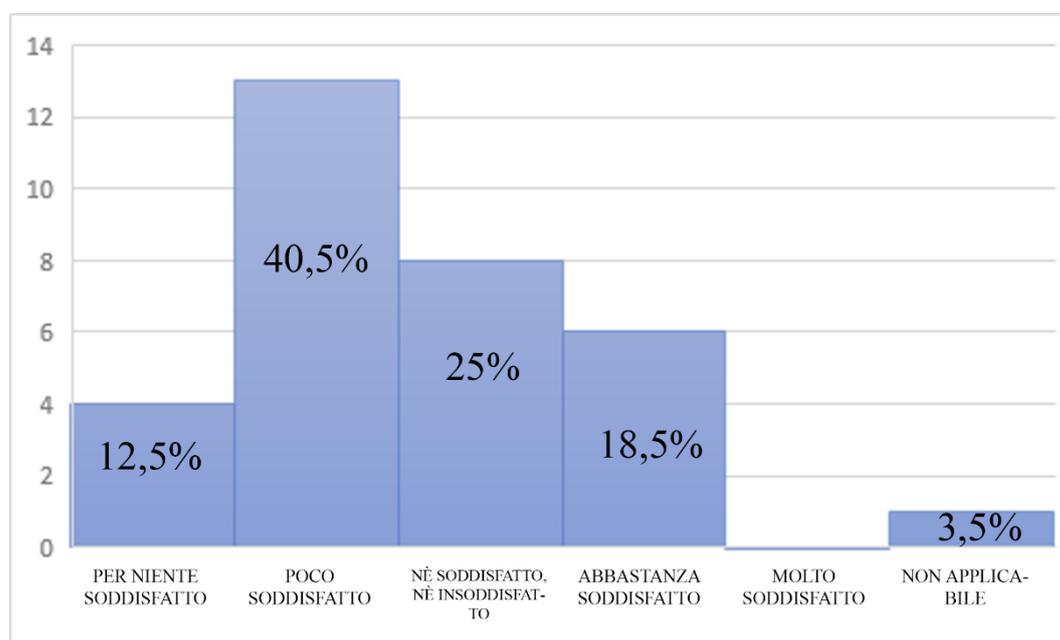


Fig. 160 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.

La maggior parte delle risposte si concentra verso un grado di insoddisfazione non solo per quanto riguarda lavagna ma anche per altri piani come i banchi e lo schermo di proiezione (vedi Tavola comfort visivo aula 4V allegato A Estivo).

Questo livello di insoddisfatti è dovuto principalmente alla posizione degli individui (vedi fig. 161 e fig. 162) e ad altri fattori come le schermature interne e la quantità di luce incidente sui piani stessi.

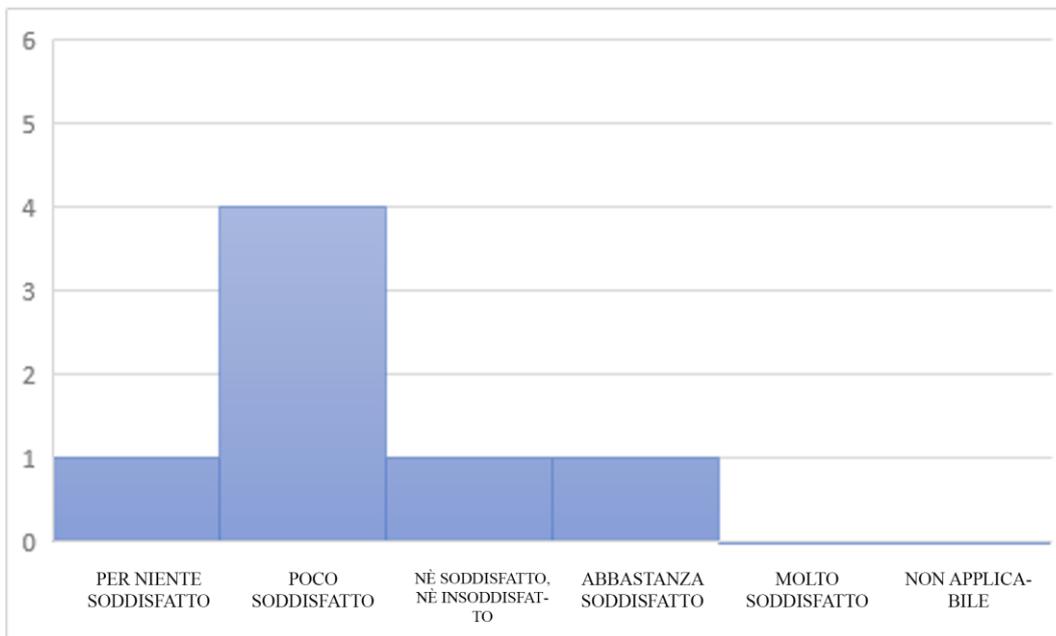


Fig. 161 Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna, terzultima - ultima fila lato destro.

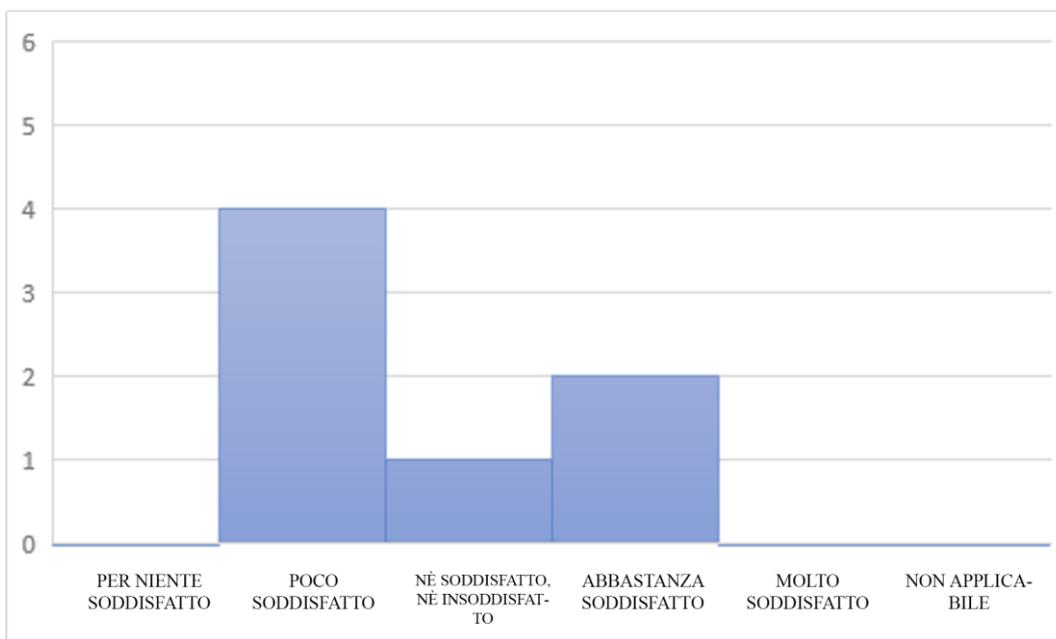


Fig. 162 Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna, zona centrale lato destro.

Sempre per quanto riguarda il piano lavagna, si è correlato il grado di soddisfazione degli studenti sulla quantità di luce incidente sulla lavagna con la rispettiva distanza degli studenti dalla lavagna stessa.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Per niente soddisfatto: -1	Poco soddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Abbastanza soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
----------------------------	------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	----------------------

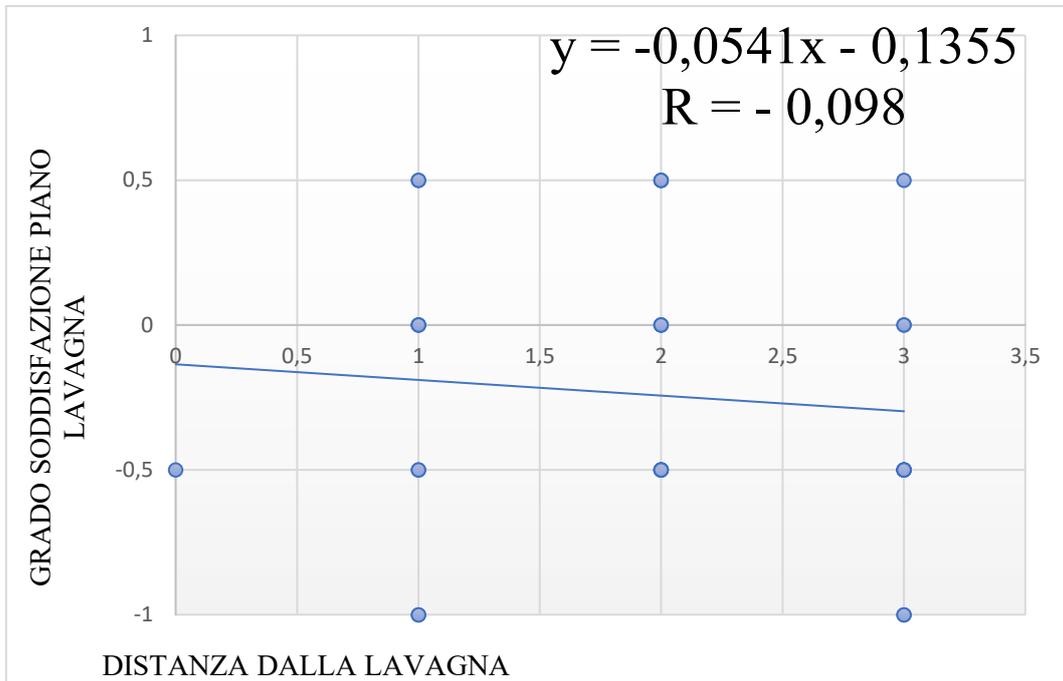


Fig. 163 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce sulla lavagna e la distanza di ogni individuo dalla lavagna stessa.

Anche in questo caso, la correlazione è molto soggettiva in quanto se la distanza è un valore fisso convertito secondo una scala con un range di valori da 0 a +3 in base alla posizione, il grado di soddisfazione è sempre un valore molto personale. Valore dipendente non solo dall'effettiva quantità di luce incidente sul piano ma anche dipendente dalla percezione visiva di ogni singolo individuo. Quindi se in alcuni casi all'aumentare della distanza diminuisce il grado di soddisfazione, in altri casi non avviene in seguito a questi fattori.

Un'altra correlazione simile è rappresentata nel grafico successivo (fig. 164) in cui sono stati paragonati il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sul piano di lavoro (banchi) e l'illuminamento medio rilevato per zona sui banchi stessi.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Per niente soddisfatto: -1	Poco soddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Abbastanza soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
----------------------------	------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	----------------------

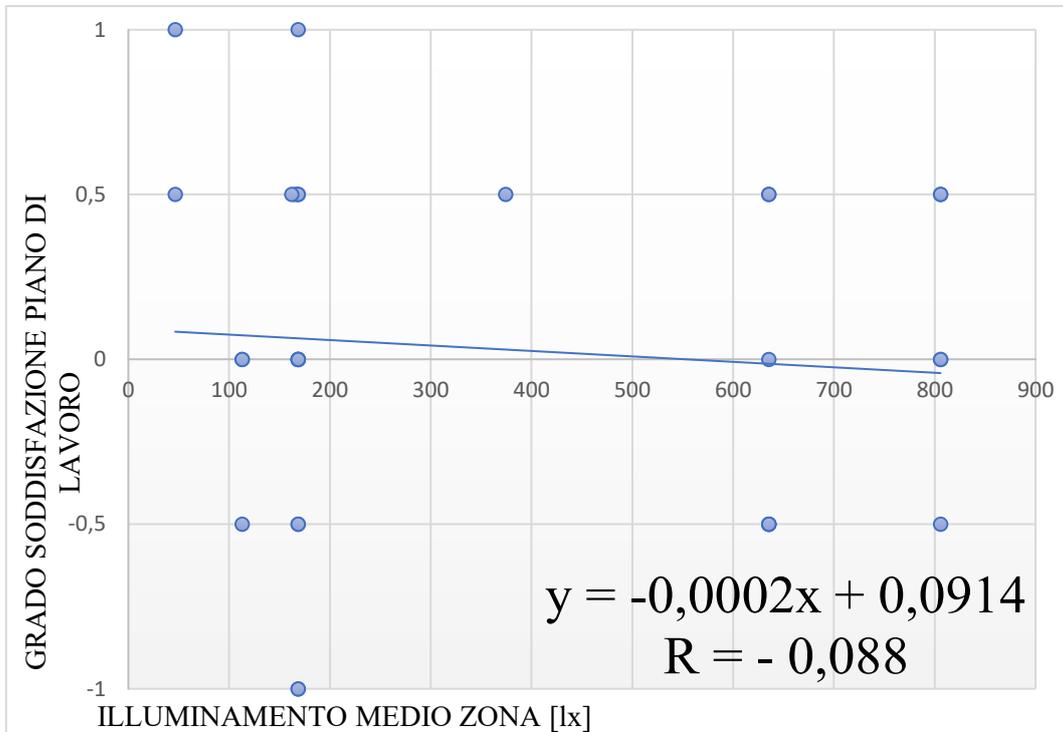


Fig. 164 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.

In questo ultimo grafico si nota subito come la maggior parte dei punti siano distanti dalla linea di tendenza. Ciò potrebbe essere ritenuto un ottimo risultato per quanto riguarda i valori positivi sul grado di soddisfazione, in quanto il grafico ci fa capire che anche se le condizioni di illuminamento non siano molto ottimali (zona in alto a sinistra del grafico), gli studenti rilevano un grado di soddisfazione abbastanza elevato.

Ovviamente, ci sono valori distanti anche negativi in quanto alcuni studenti, invece, con dei valori di illuminamento bassi ritengono insufficiente la quantità di luce incidente sui banchi.

Nella parte bassa destra del grafico si notano due punti distanti dalla linea di tendenza con un grado di soddisfazione basso correlati con un valore di illuminamento alto. Questo fenomeno potrebbe essere dovuto a fattori di disturbo visivo o di abbagliamento.

4.5.2 Stagione invernale

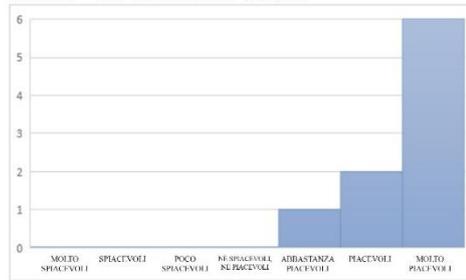
4.5.2.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

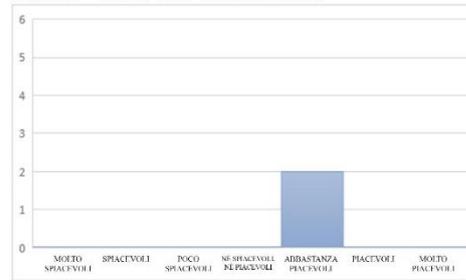
“Come ritieni la qualità dell’illuminazione naturale all’interno dell’aula?”

Qualità illuminazione naturale percepita

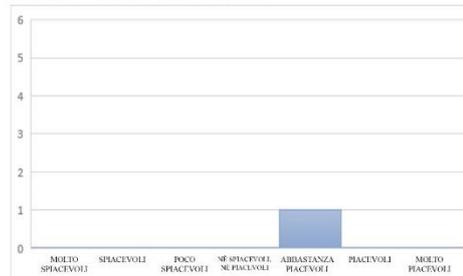
Prima - terza fila lato destro



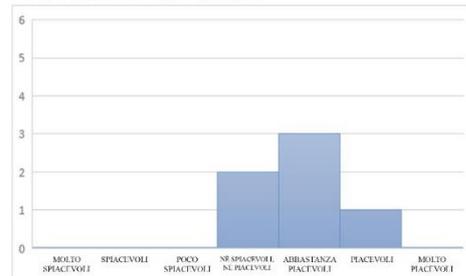
Prima - terza fila lato sinistro



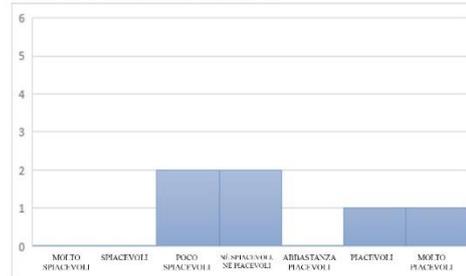
Prima - terza fila centro



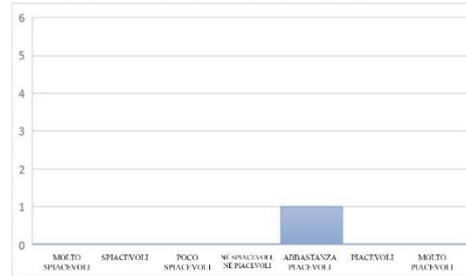
Fila centrale lato destro



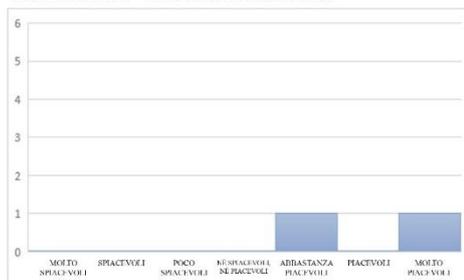
Fila centrale lato sinistro



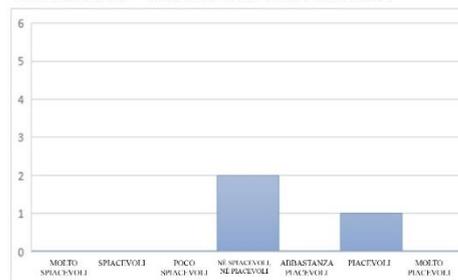
Terzultima - ultima fila lato destro



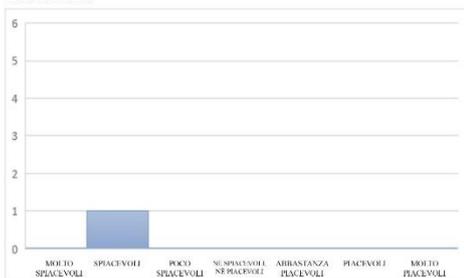
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Analizzando i grafici emergono alcune considerazioni che verranno descritte di seguito.

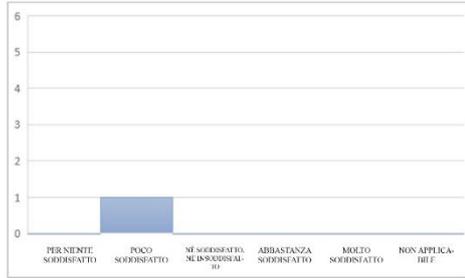
Nel caso di quest'aula, la 4V, si può subito notare come la disposizione dei campioni sia sbilanciata verso il lato destro dell'ambiente, questo può significare che l'individuo nel momento in cui debba scegliere la propria postazione, prediliga il lato destro perché più luminoso.

Nelle prime file e nelle zone centrali, sul lato destro prevale un tasso di soddisfazione, mentre sul lato sinistro prevale la risposta corrispondente alla neutralità o in alcuni casi poco sbilanciata verso la spiacevolezza delle condizioni di illuminazione naturale. Nel grafico "Prima - terza fila lato destro" si può notare come ci sia il 100% di soddisfazione dei campioni con un picco sulla risposta "Molto piacevoli", presumibilmente perché gli individui si trovano in corrispondenza delle aperture e di superfici riflettenti di colore chiaro. La divergenza di risposta nei due lati dell'aula è dovuta alla scarsa illuminazione naturale presente nei banchi adiacenti la parete sud (sul lato sinistro dell'aula guardando verso la cattedra), che si trovano in corrispondenza di lucernari posti, anche se inevitabilmente per scelte progettuali obbligate, ad un'altezza troppo elevata.

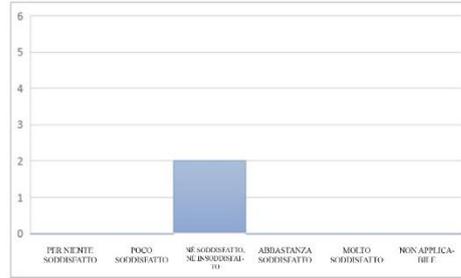
“Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione del piano lavagna?”

Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna

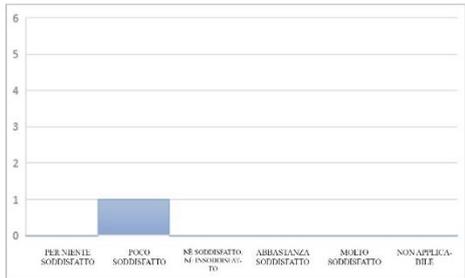
Prima - terza fila lato destro



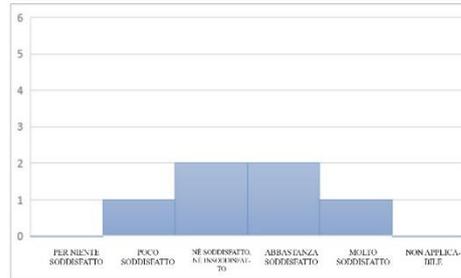
Prima - terza fila lato sinistro



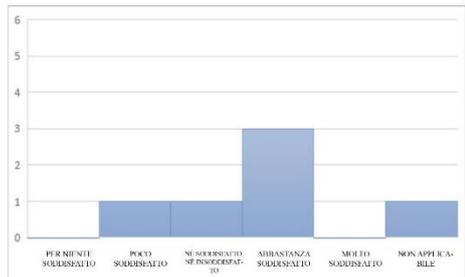
Prima - terza fila centro



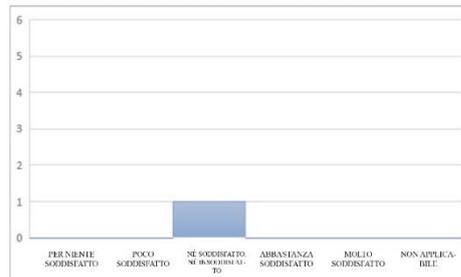
Fila centrale lato destro



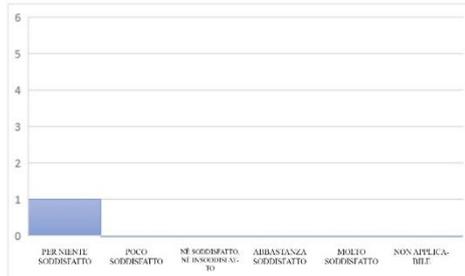
Fila centrale lato sinistro



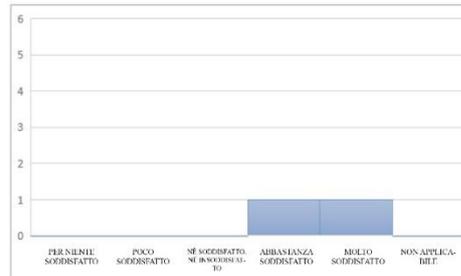
Terzultima - ultima fila lato destro



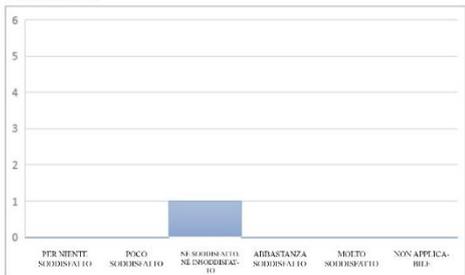
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Analizzando i grafici si può notare come il parere dei campioni sia abbastanza sbilanciato sull'insoddisfazione dell'illuminazione sul piano lavagna, nei grafici relativi alle file centrali si verificano pareri contrastanti: la distanza dalla lavagna è ottimale per una corretta visione, tuttavia spostandosi lateralmente verso le pareti si verifica un tasso di gradimento del piano lavagna scadente causato dalle riflessioni su tale piano, decisamente meno percepibili in posizione centrale. Di conseguenza gli individui disposti più centralmente sono decisamente più soddisfatti di quelli disposti lateralmente. Aumentando la distanza del campione dal piano lavagna si verifica un grado di soddisfazione minore sul lato destro, considerando l'elevata profondità dell'ambiente, è interessante il dato relativo al grafico "Terzultima-ultima fila lato sinistro" dove gli individui si ritengono soddisfatti, probabilmente perché percepiscono luminanze basse dalla parte sinistra e la zona della lavagna da quella posizione pare di conseguenza più illuminata.

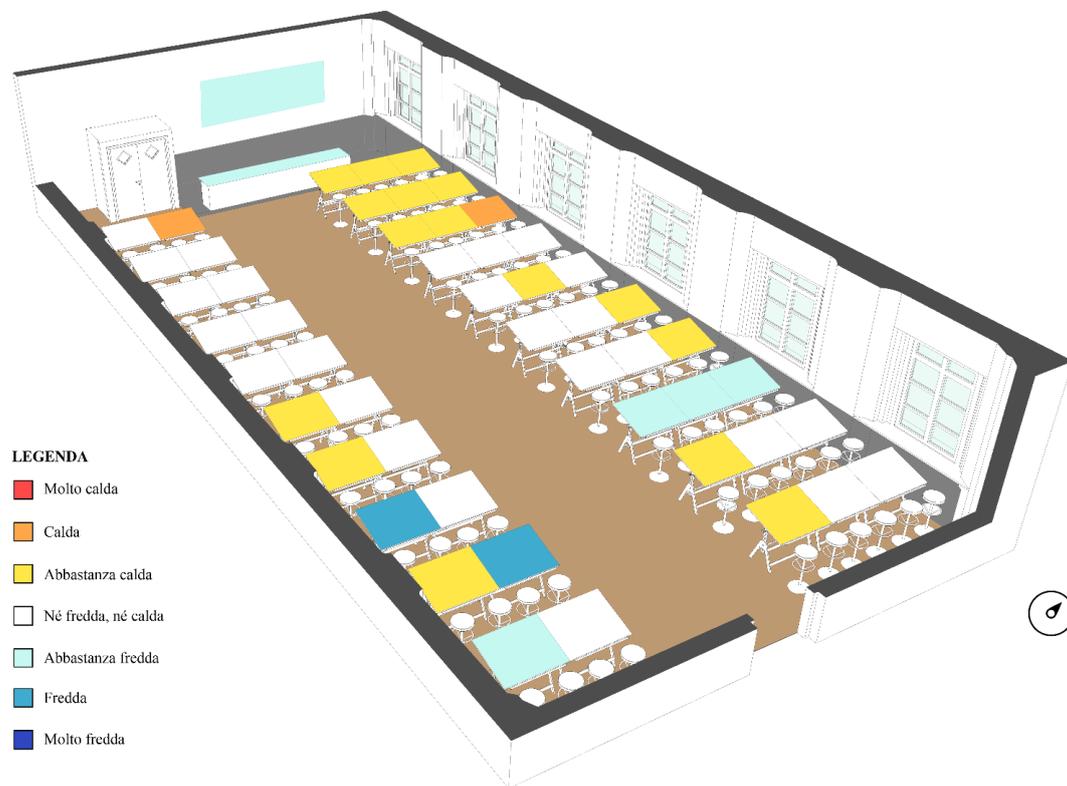


Fig. 165 Temperatura di colore correlata percepita.

4.5.2.2 Analisi oggettive

COMFORT VISIVO	Condizioni globali	Condizioni metereologiche	Ostruzioni esterne	Schermature interne	Illuminazione artificiale
		Inverno	Soleggiato	Si	Tende aperte

Tabella 30 Dati illuminotecnici invernali rilevati in aula 4V.

PUNTI	ILLUMINAMENTO [lx]	TEMPERATURA DI COLORE [K]	CONDIZIONI METEO
A1	985	5388	SOLEGGIATO
A3	971	4372	/
B1	1229	4399	/
B3	1272	4644	/
C1	996	5415	/
C3	1035	4400	/
A4	1042	4863	/
A5	699	4178	/
B4	1111	4746	/
B5	752	4231	/
C4	1098	4802	/
C5	794	4389	/
D1	948	4654	/
D3	1464	4612	/
E1	879	5121	/
E3	1199	4658	/
F1	891	4608	/
F3	1457	4615	/
G1	900	5130	/
G3	1146	4808	/
D4	1036	4751	/
D5	887	4392	/
E4	1047	4716	/
E5	804	4237	/
F4	1094	4823	/
F5	786	4231	/
G4	1098	4898	/
G5	808	4389	/
H1	820	4888	/
H3	1250	4841	/
I1	865	5860	/
I3	1008	5097	/
L1	1269	5058	/
L3	822	5038	/
H4	895	4775	/
H5	730	4504	/
I4	783	5118	/
I5	599	4716	/
L4	762	5392	/
L5	551	4609	/
M1	1055	5103	/
M2	1033	5255	/
MEDIA	973	4779	

Dall'analisi oggettiva si possono trarre le considerazioni descritte in seguito. La combinazione delle condizioni meteo (soleggiato) e illuminazione artificiale (accesa) presenti nel momento del rilievo hanno mostrato condizioni favorevoli per il comfort visivo.

Nella quasi totalità dei punti analizzati dell'ambiente si è rilevato su illuminamento maggiore di 1000 [lx], si è verificato che le posizioni più illuminate sono le postazioni D3 e F3 in quanto ricevono simultaneamente luce naturale diretta da nord e sud oltre che trovarsi in prossimità di apparecchi luminosi. I punti rilevati in prossimità delle pareti mostrano sempre valori di illuminamento maggiori di 500 [lx] ma risultano meno illuminati di altri a causa della distanza dagli apparecchi luminosi.

La temperatura di colore correlata media misurata nella quasi totalità dell'aula presenta un valore compreso tra i 3300 [K] e 5300[K] quindi è paragonabile ad un "Bianco neutro".

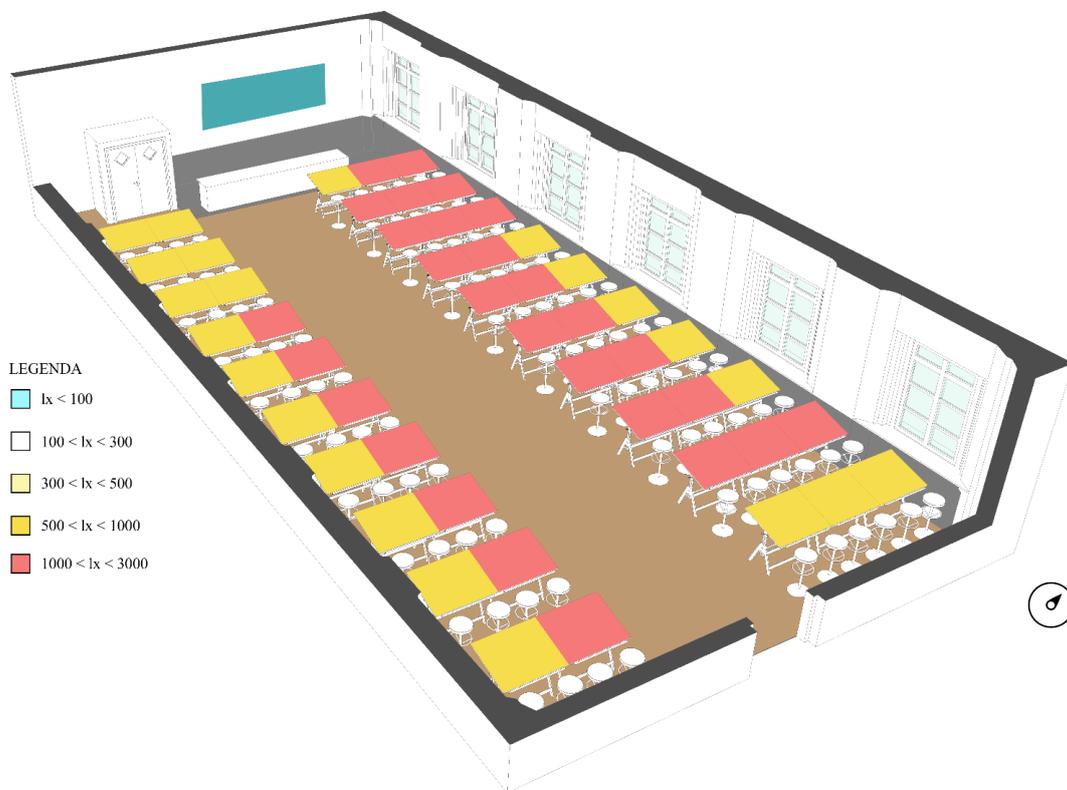


Fig. 166 Qualità illuminazione naturale rilevata.

4.5.2.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Proseguendo con l'analisi dei grafici del comfort visivo e soffermandosi su quelli della qualità dell'illuminazione naturale percepita (fig. 167 e fig. 168) all'interno dell'aula dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 4V allegato A Invernale), si nota come i grafici istogramma, "Fila centrale lato destro" e "Fila centrale lato sinistro" presentino risposte molto variabili.

Questa variazione di risposte, se si osserva l'assonometria sulla quantità di illuminazione naturale rilevata (vedi fig. 166) si comprende come questa sia dovuta alla posizione degli studenti; sul lato sinistro l'illuminamento medio è più basso, questo perché il lato destro riceve più illuminazione naturale (considerando uniforme l'illuminazione artificiale) e la vicinanza alle aperture aumenta il grado di apprezzamento degli studenti. La zona centrale del lato sinistro comprende dei banchi adiacenti al corridoio e ed altri adiacenti la parete, questo fattore si ripercuote sul grado di apprezzamento degli studenti di questa zona che apprezzano condizioni di illuminazione naturale tanto più si trovino vicini al lato destro.

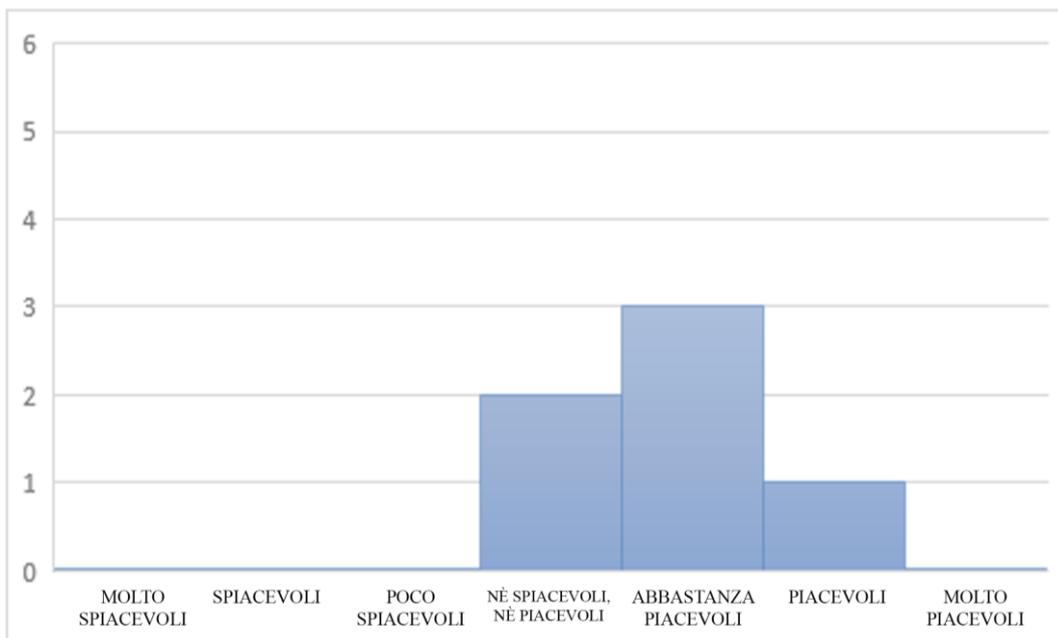


Fig. 167 Qualità illuminazione naturale percepita aula 4V, fila centrale lato destro.

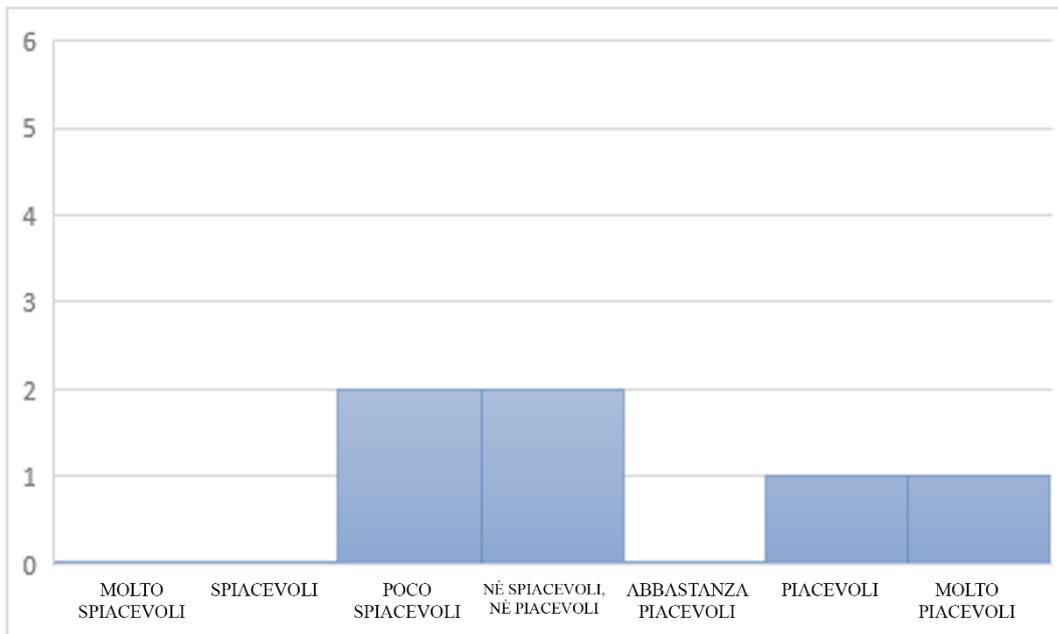


Fig. 168 Qualità illuminazione naturale percepita, fila centrale lato sinistro.

Un altro dato interessante è quello relativo al grafico “Prima - terza fila lato destro”, in molti grafici non c’è proporzionalità tra il risultato dell’analisi soggettiva e i dati oggettivi rilevati, ma in questo caso si verificano i valori più alti di soddisfazione delle condizioni di illuminazione in uno dei punti dell’aula con miglior illuminamento, il fatto che questa postazione sia molto apprezzata è dovuto ai coefficiente di riflessioni delle finiture presenti in quella zona (vicino alla cattedra, con parete bianca dietro) che la fanno percepire come più luminosa, nonostante l’illuminamento in quella zona non sia nettamente superiore ad altri zone dell’aula.

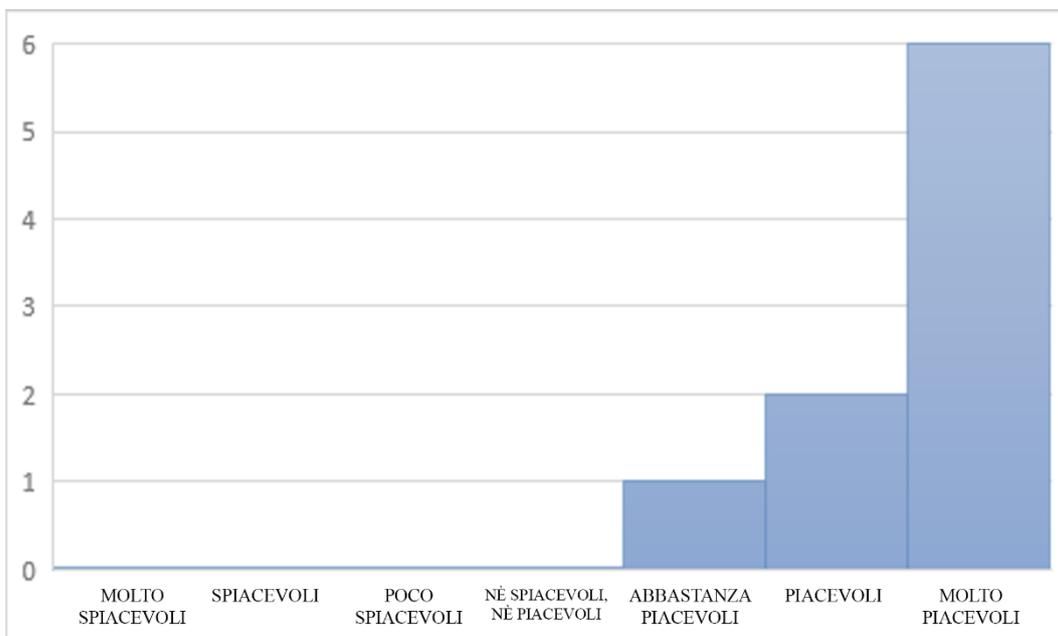


Fig. 169 Qualità illuminazione naturale percepita, prima-terza fila lato destro.

L'analisi oggettiva dell'ambiente ha evidenziato che la temperatura di colore media misurata è di 4779 [K] che corrisponde ad una percezione di "Bianco neutro", questo dato è abbastanza condiviso dai campioni analizzati nell'aula, le opzioni più votate sono "Né calda, né fredda" e "Abbastanza calda", entrambe le opzioni possono ritenersi adeguate considerando che vien la percezione del "Bianco neutro" viene classificata dai 3300 ai 5300 [K].

Il fatto che ci siano pareri che si distaccano dalla media è dovuto al fatto che per uno studente può non essere facile dare una valutazione al colore della luce, e soprattutto, è una percezione molto soggettiva di conseguenza è difficile una perfetta correlazione con l'analisi oggettiva.

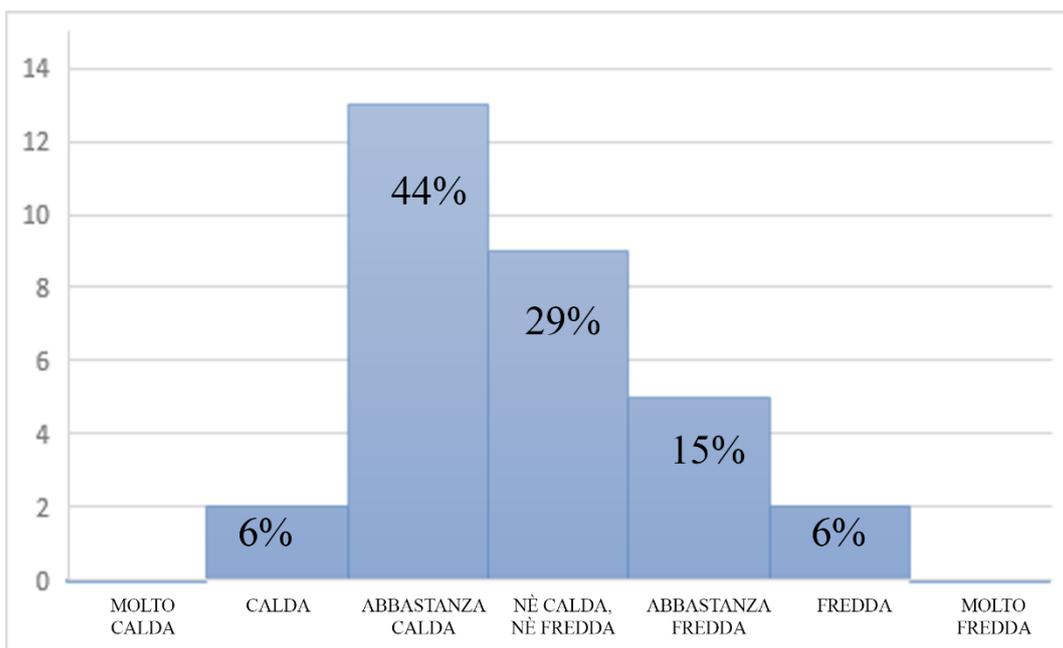


Fig. 170 Grafico istogramma complessivo sulla temperatura di colore correlata percepita.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto calda: -1.5	Calda: -1	Abbastanza calda: -0.5	Né fredda, né calda: 0	Abbastanza fredda: 0.5	Fredda: 1	Molto fredda: 1.5
-------------------	-----------	------------------------	------------------------	------------------------	-----------	-------------------

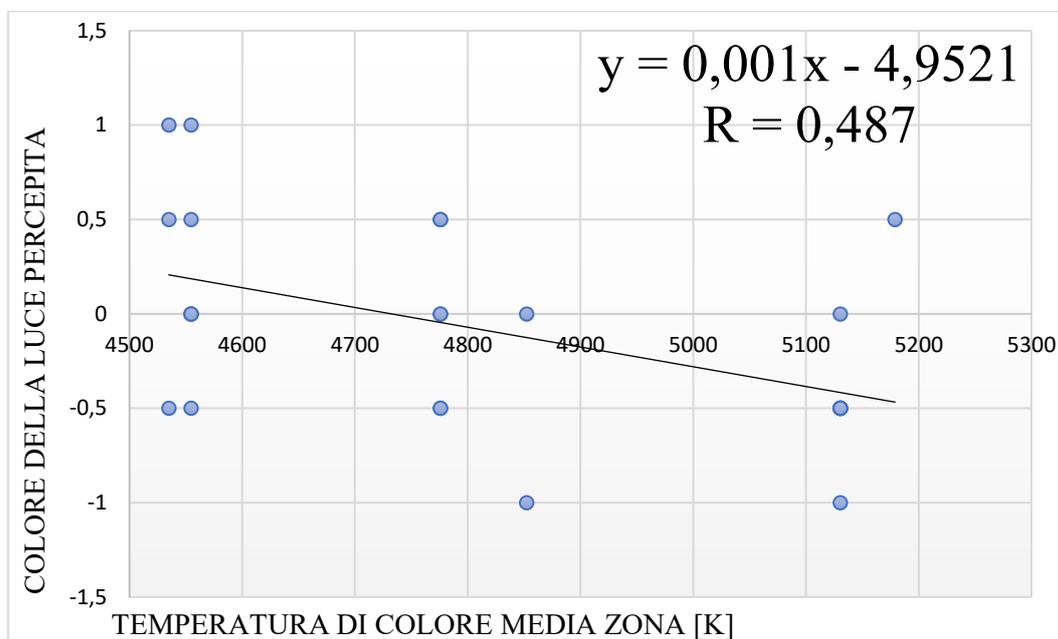


Fig. 171 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.

Nel grafico soprastante (fig. 171) si è correlata la temperatura di colore correlata media rilevata delle diverse zone dell'ambiente con la percezione di essa da parte degli studenti. All'aumentare della temperatura di colore, oggettivamente, corrisponde una percezione della luce sempre più "Fredda". Tuttavia, dal grafico emerge una correlazione che non rispecchia questa teoria: gli studenti, forse per casualità, tendono a percepire la luce come calda nei luoghi in cui lo è meno. È importante però sottolineare che la temperatura di colore correlata è una grandezza che difficilmente varia in modo significativo all'interno di uno stesso ambiente, di conseguenza è difficile che le piccole variazioni delle varie zone si ripercuotano nel giudizio dei campioni.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto spiacevoli: -1.5	Spiacevoli: -1	Poco piacevoli: -0.5	Né spiacevoli, né piacevoli: 0	Abbastanza piacevoli: 0.5	Piacevoli: 1	Molto piacevoli: 1.5
------------------------	----------------	----------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------	----------------------

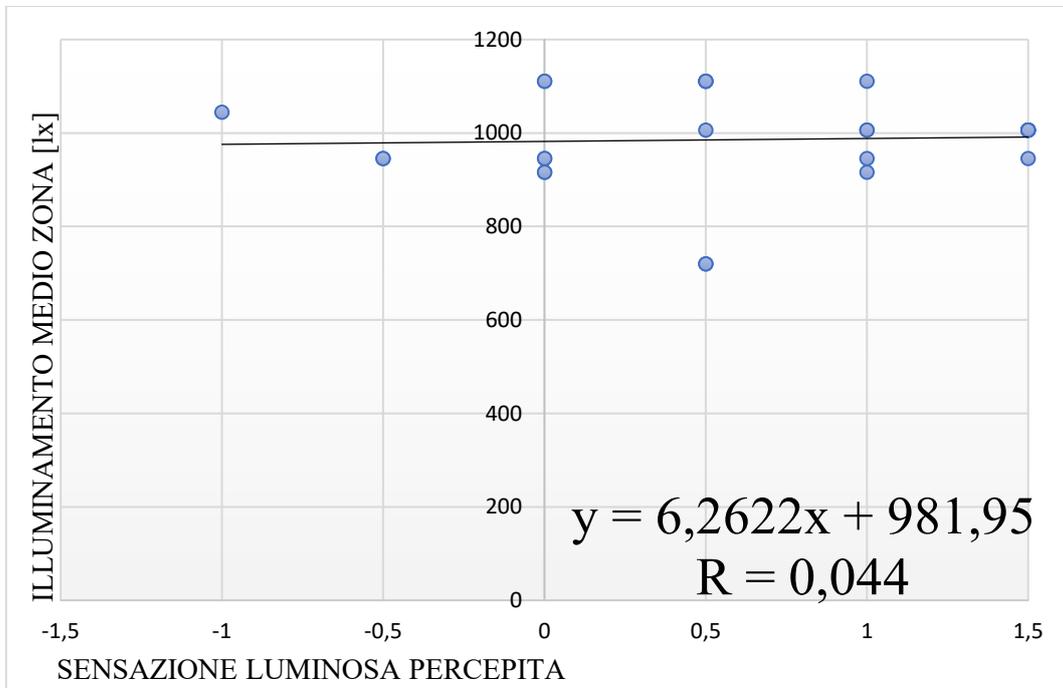


Fig. 172 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.

Analizzando il grafico raffigurante la Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato si può notare come non vi sia alcun tipo di correlazione. La domanda a cui gli studenti hanno dovuto attribuire una risposta è: “Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?”, è evidente che lo studente dia un parere soggettivo e non per forza correlato all'illuminamento medio presente nella zona in cui è posizionato, ma è anche vero che lo studente possa dare un giudizio condizionato dalla situazione locale che lo circonda nelle immediate vicinanze.

Proseguendo con l'analisi dei grafici istogramma, si nota come all'interno della Tavola comfort visivo aula 4V allegato A Estivo siano presenti grafici basati sul grado di soddisfazione dei piani lavoro.

Analizzando i dati complessivi si nota subito come nel grafico sul grado di soddisfazione generale della quantità di luce sulla lavagna gli individui abbiano risposto in maniera neutrale secondo le loro esigenze.

Il 45% dei campioni ritiene ha preferito non sbilanciarsi, il 39% ha invece optato per un giudizio tendente alla soddisfazione, solamente il 13 % degli studenti ha ritenuto poco soddisfacenti le condizioni di illuminazione del piano lavagna.

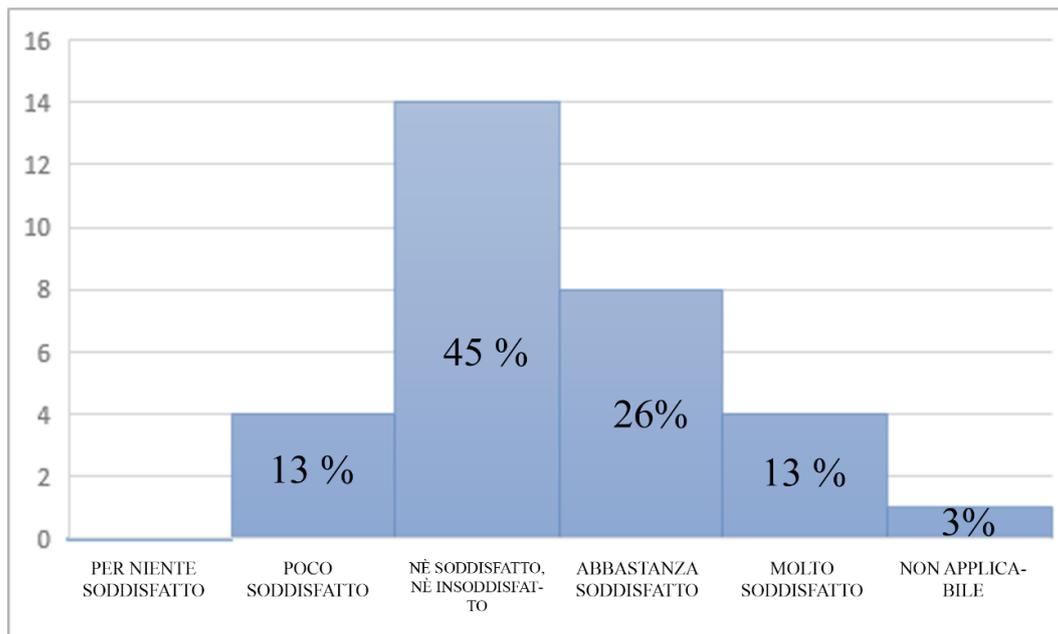


Fig. 173 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.

La maggior parte delle risposte si concentra verso un grado di soddisfazione generale non solo per quanto riguarda lavagna ma anche per altri piani come i banchi e lo schermo di proiezione (vedi Tavola comfort visivo aula 4V allegato A invernale).

Analizzando il grafico “zona centrale lato destro” (fig. 174) si possono notare pareri contrastanti. In condizioni di sola luce artificiale la percezione della quantità di luce sul piano lavagna è spesso omogenea per tutti gli studenti. In condizioni di luce naturale invece il parere diventa molto più soggettivo, ed essendo una luce direzionale non zenitale viene percepita anche diversamente in base alla posizione. Rientrando l’aula in entrambe le situazioni, c’è la possibilità che il risultato dell’analisi soggettiva sia influenzato da questi fattori.

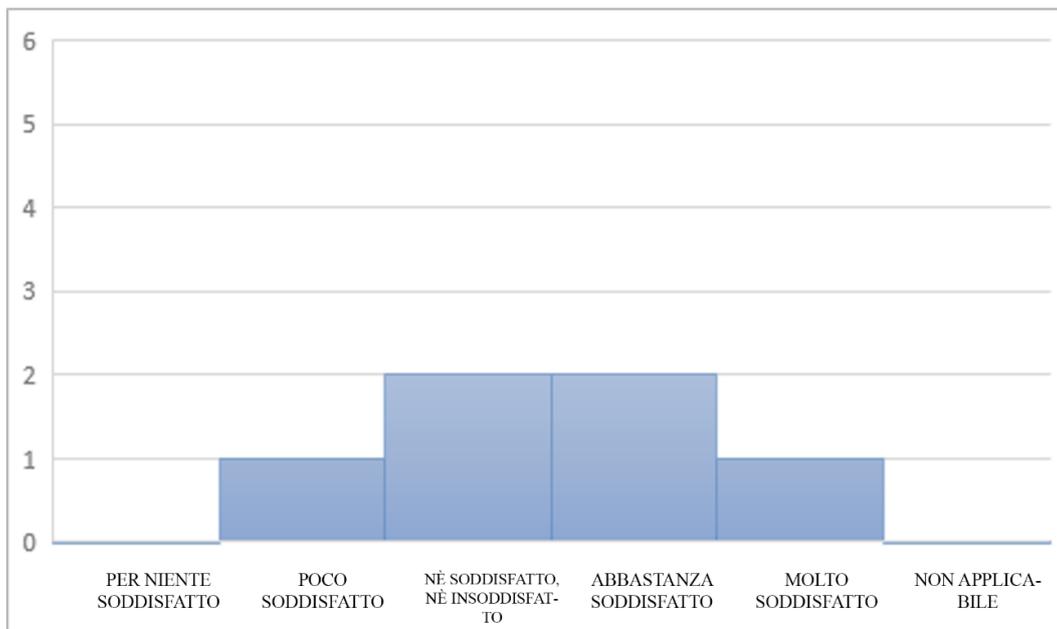


Fig. 174 Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna, zona centrale lato destro.

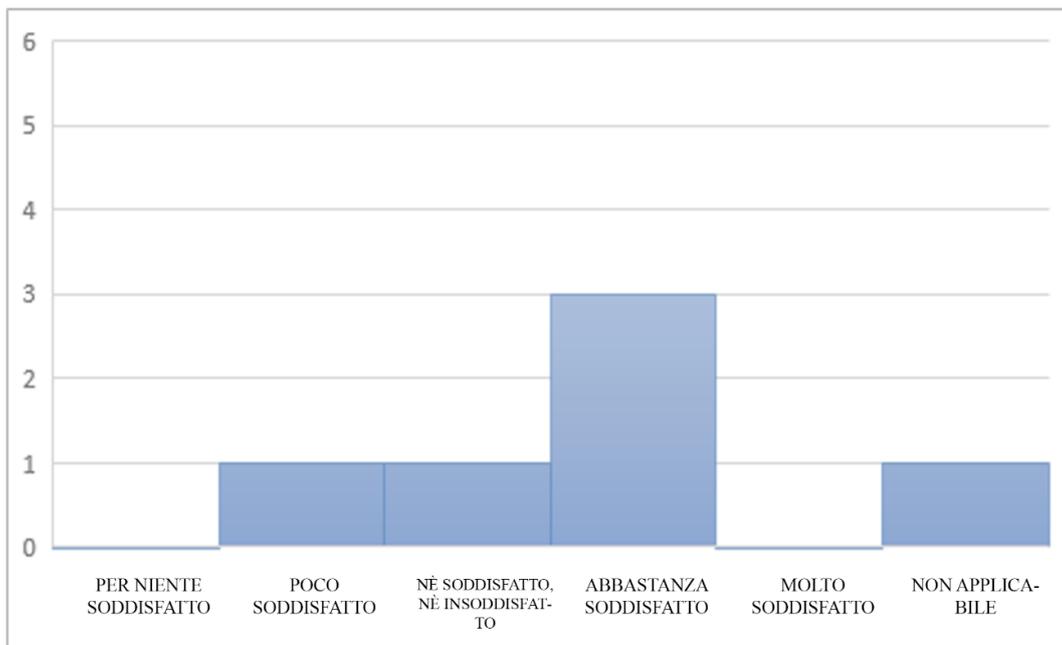


Fig. 175 Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna, zona centrale lato sinistro.

Sempre per quanto riguarda il piano lavagna, si è correlato il grado di soddisfazione degli studenti sulla quantità di luce incidente sulla lavagna con la rispettiva distanza degli studenti dalla lavagna stessa.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Per niente soddisfatto: -1	Poco soddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Abbastanza soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
----------------------------	------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	----------------------

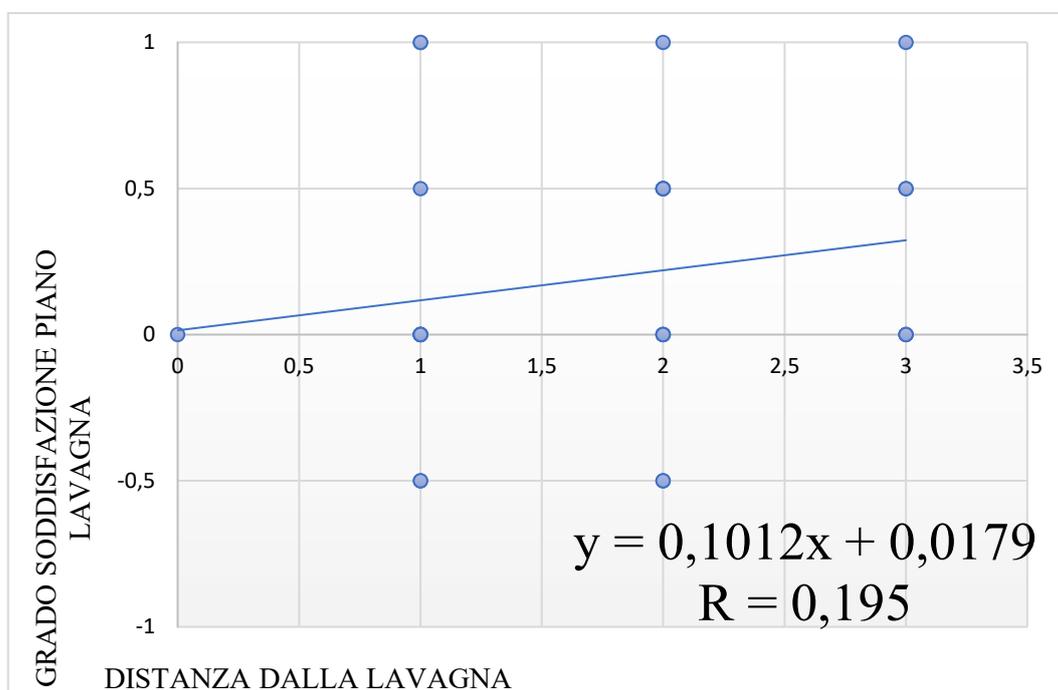


Fig. 176 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce sulla lavagna e la distanza di ogni individuo dalla lavagna stessa.

Anche in questo caso, la correlazione è molto soggettiva in quanto se la distanza è un valore fisso convertito secondo una scala con un range di valori da 0 a +3 in base alla posizione, il grado di soddisfazione è sempre un valore molto personale. Valore dipendente non solo dall'effettiva quantità di luce incidente sul piano ma anche dipendente dalla percezione visiva di ogni singolo individuo. Quindi se in alcuni casi all'aumentare della distanza diminuisce il grado di soddisfazione, in altri casi non avviene in seguito a questi fattori. Il piano lavagna dell'aula 4V è di discrete dimensioni e visibile da quasi ogni punto dell'ambiente, il fattore che potrebbe aver condizionato la risposta degli studenti è l'angolo con l'asse della lavagna. Le file di banchi poste più lontano dal piano lavagna consentono di avere un punto di vista più diretto nonostante la prestazione visiva richieda uno sforzo maggiore, questo fattore potrebbe avere condizionato la risposta di alcuni studenti.

Un'altra correlazione simile è rappresentata nel grafico successivo (fig. 177) in cui sono stati paragonati il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sul piano di lavoro (banchi) e l'illuminamento medio rilevato per zona sui banchi stessi.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Per niente soddisfatto: -1	Poco soddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Abbastanza soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
----------------------------	------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	----------------------

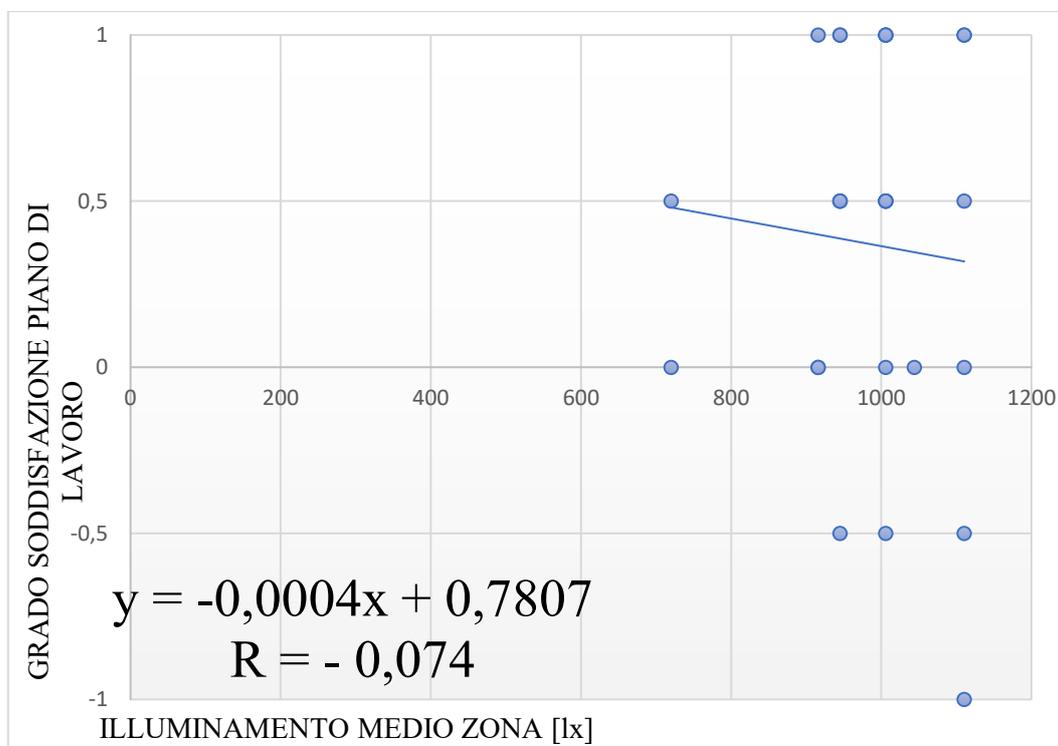


Fig. 177 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.

In questo ultimo grafico si nota subito come la maggior parte dei punti siano distanti dalla linea di tendenza. Considerando i valori di illuminamento elevati, si trova una varietà considerevole di risposte diverse, questo perché il parere è molto soggettivo.

4.6 Aula 25

Il rilievo illuminotecnico estivo è stato eseguito con le porte chiuse e le schermature esterne aperte in una giornata soleggiata. Mentre per quanto riguarda le analisi invernali, all'interno dell'aula le finestre erano chiuse così come una delle tre schermature essendo rotta.

In entrambi i rilievi l'illuminazione artificiale era accesa.

L'aula presenta un impianto di illuminazione artificiale composto da 8 corpi illuminanti a doppio neon. Le finestre sono 3 poste verso Sud e ognuna di esse dispone di una schermatura metallica a listelli.

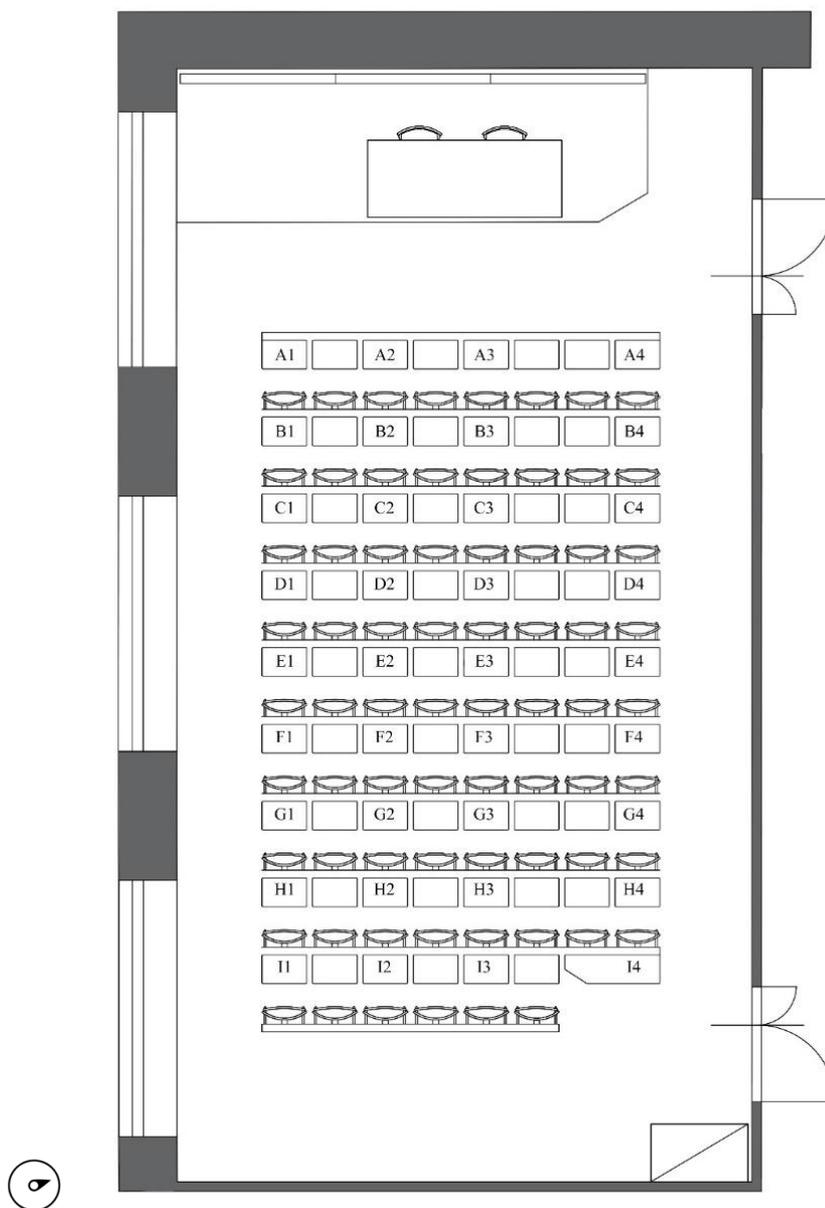


Fig. 178 Pianta aula 25 con punti di rilievo illuminotecnico.

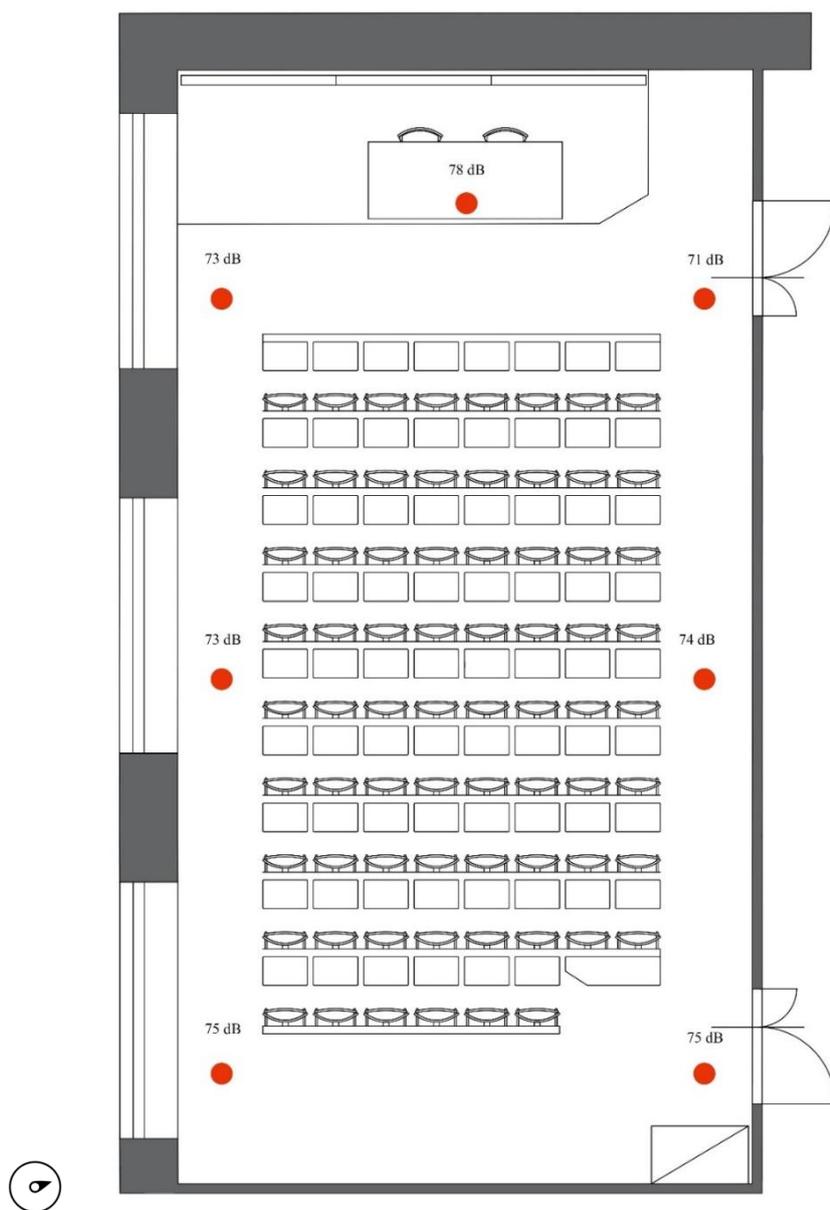


Fig. 179 Pianta aula 25 con punti di rilievo acustico.

4.6.1 Stagione estiva

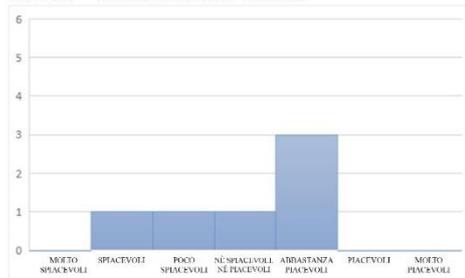
4.6.1.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

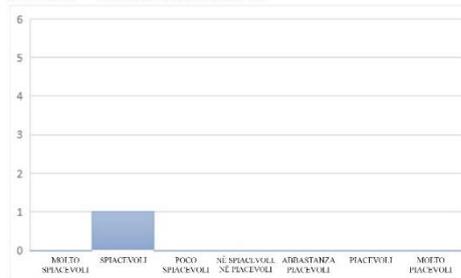
“Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?”

Qualità illuminazione naturale percepita

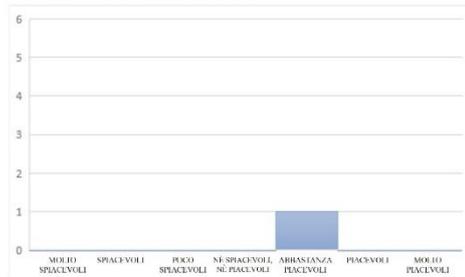
Prima - terza fila lato destro



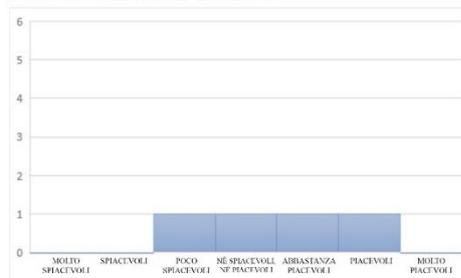
Prima - terza fila centro



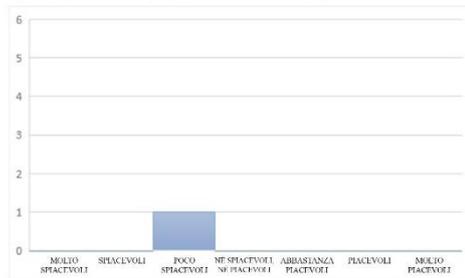
Fila centrale lato destro



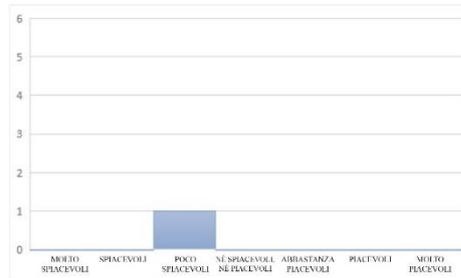
Fila centrale lato sinistro



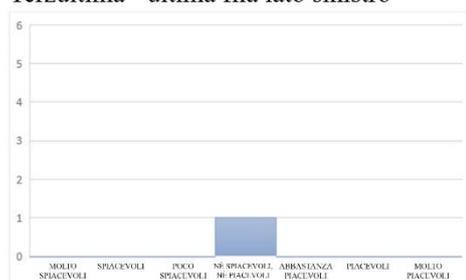
Terzultima - ultima fila lato destro



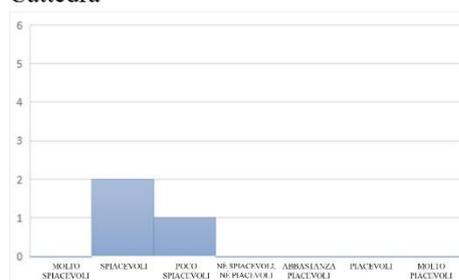
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



I dati più significativi inerenti alla domanda sulla qualità dell'illuminazione naturale sono abbastanza adeguati rispetto alla posizione degli individui, tranne in due zone dell'aula: prima-terza fila lato destro e prima-terza fila lato sinistro.

In queste due zone le risposte non sono uniformi in quanto si distinguono in base alla posizione dell'individuo all'interno della zona stessa. Se ci si trova verso la zona centrale la qualità dell'illuminazione naturale è inferiore e dunque le risposte saranno di insoddisfazione, mentre se ci si trova verso le aperture il grado di soddisfazione è maggiore.

Per quanto riguarda la cattedra, è una zona critica in quanto proprio in corrispondenza di quella zona si ha la schermatura della finestra fuori uso, dunque per questo motivo l'illuminazione naturale risulta non adatta (vedi foto seguente).

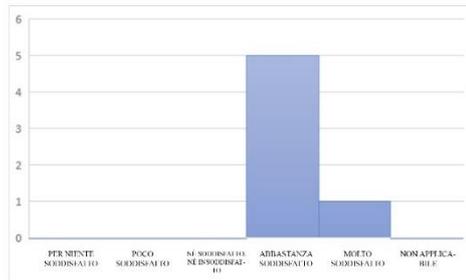


Fig. 180 Foto dettaglio finestra (con schermatura rotta), aula 25.

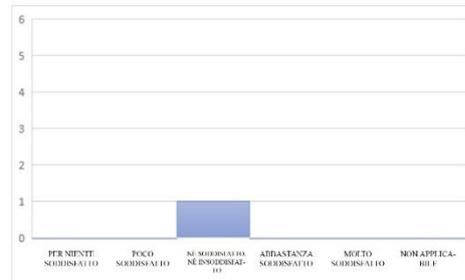
“Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione del piano lavagna?”

Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna

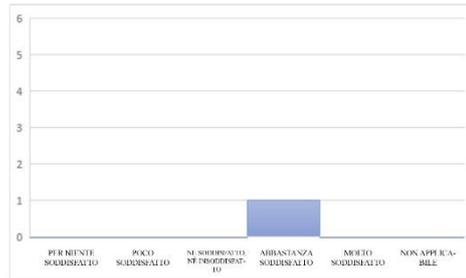
Prima - terza fila lato destro



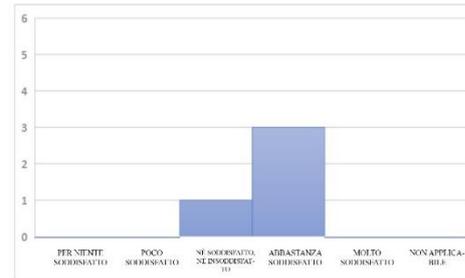
Prima - terza fila centro



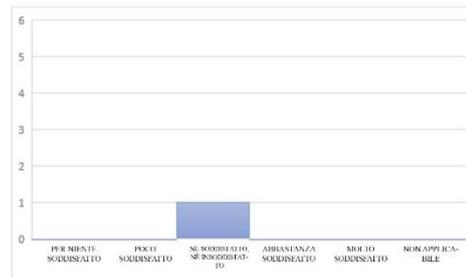
Fila centrale lato destro



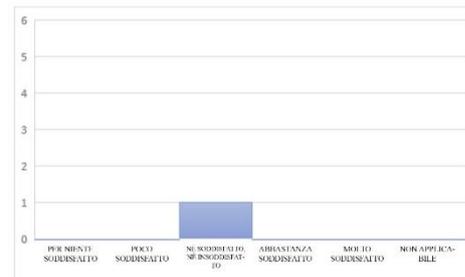
Fila centrale lato sinistro



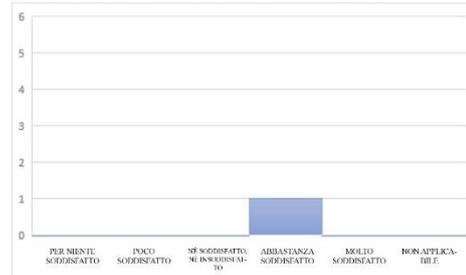
Terzultima - ultima fila lato destro



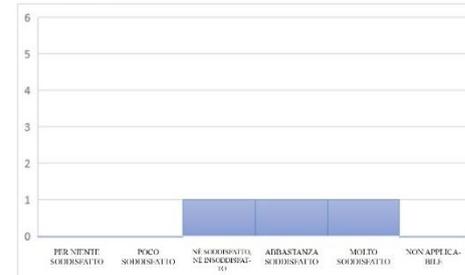
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Analizzando le risposte inerenti al grado di soddisfazione della quantità di illuminazione sul piano lavagna si nota come in quasi tutte le zone dell’aula si percepisce un’illuminazione incidente sulla lavagna abbastanza adeguata. Ovviamente, ci sono zone in cui la percezione è alterata a causa sia delle condizioni meteorologiche esterne sia a causa di abbagliamenti.

- LEGENDA**
- Molto calda
 - Calda
 - Abbastanza calda
 - Né fredda, né calda
 - Abbastanza fredda
 - Fredda
 - Molto fredda

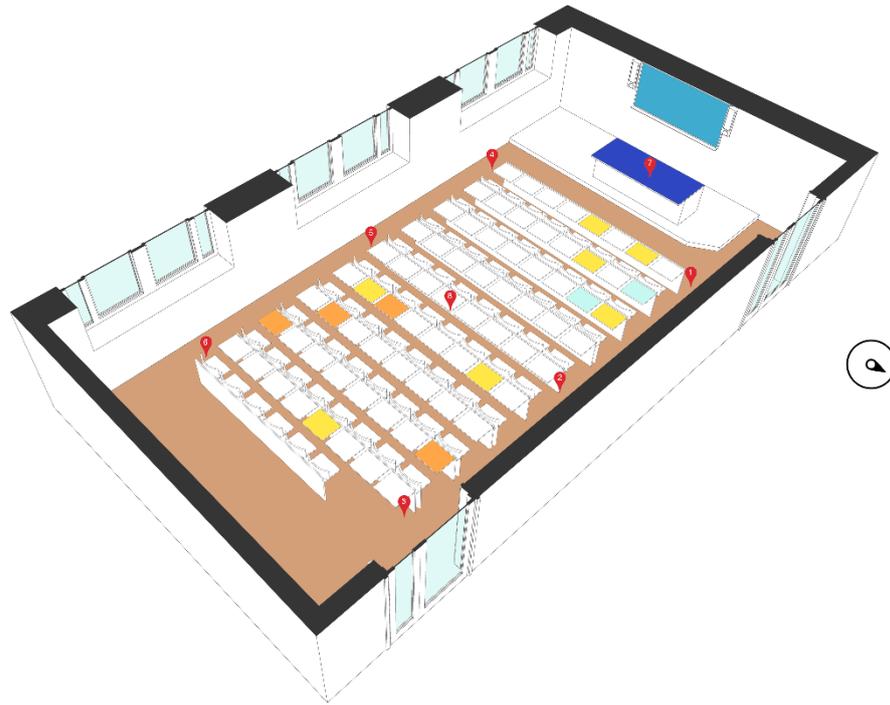


Fig. 181 Temperatura di colore correlata percepita.

4.6.1.2 Analisi oggettive

COMFORT VISIVO	Condizioni globali	Condizioni metereologiche	Ostruzioni esterne	Schermature interne	Illuminazione artificiale
	Estate	Soleggiato	Si	Tende aperte	Accesa

Tabella 31 Dati illuminotecnici estivi rilevati in aula 25.

PUNTI	ILLUMINAMENTO [lx]	TEMPERATURA DI COLORE [K]	CONDIZIONI METEO
A1	254	3754	SOLEGGIATO
A2	258	3650	/
A3	252	3645	/
A4	254	3601	/
B1	220	3701	/
B2	250	3656	/
B3	262	3635	/
B4	277	3613	/
C1	190	3748	/
C2	273	3618	/
C3	246	3481	/
C4	283	3513	/
D1	201	3627	/
D3	280	3632	/
D4	286	3620	/
E1	185	3947	/
E3	252	3651	/
E4	282	3641	/
F1	177	3842	/
F2	192	3748	/
F3	206	3538	/
F4	248	3648	/
G1	157	3852	/
G2	208	3771	/
G3	228	3703	/
G4	248	3677	/
H1	161	4013	/
H2	137	3824	/
H3	191	3780	/
H4	226	3715	/
I1	229	4353	/
I2	184	3949	/
I3	191	3780	/
I4	203	3804	/
N1	52	5076	/
M1	42	5684	/
M2	41	5758	/
MEDIA	212	3872	

I livelli di illuminamento misurati nell'aula 25 possono considerarsi uniformi, tutti compresi tra i 100 e i 300 [lx]. I punti della fila 4 (A4, B4, C4, ecc...) mostrano valori più alti della media, spesso vicino a 300 [lx], in quanto posti in corrispondenza di un apparecchio luminoso.

I punti della fila 1 invece, risultano più vicini ai 100 [lx] presumibilmente perché le ostruzioni limitano l'ingresso di luce naturale in ambiente.

La temperatura di colore correlata media misurata è di 3872 [K] e risulta abbastanza uniforme in tutto l'ambiente, viene quindi percepita come "Bianco neutro" tendente però al "Bianco caldo".

Nei punti N1, M1 e M2 (punti della lavagna) si hanno dei valori di illuminamento molto bassi che ne provocano un grado di soddisfazione sulla quantità di luce sul piano lavagna scarso.

Per quanto riguarda il rilievo acustico, i dati rilevati sono molti alti rispetto alla media delle altre aule. Questo fenomeno è dovuto non solo al rumore interno all'aula ma anche al rumore di fondo proveniente da corso Luigi Einaudi.

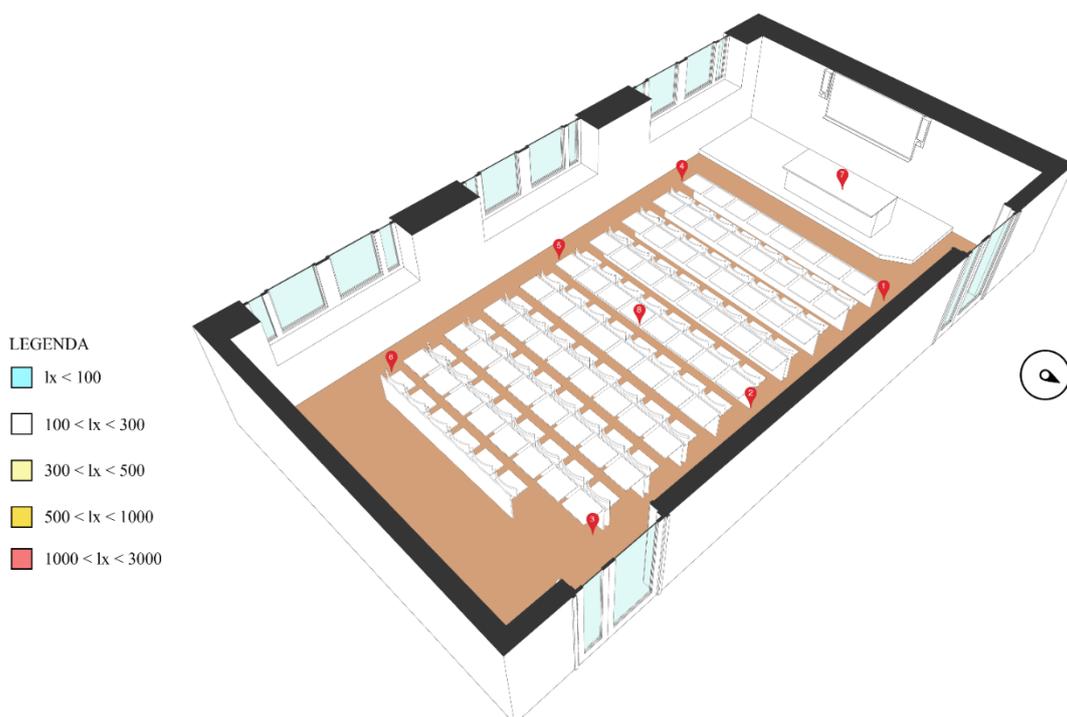


Fig. 182 Qualità illuminazione naturale rilevata.

4.6.1.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Proseguendo con l'analisi dei grafici del comfort visivo e soffermandosi su quelli della qualità dell'illuminazione naturale percepita (fig. 183) all'interno dell'aula dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 25 allegato B Estivo), si nota come nel primo grafico istogramma "prima-terza fila lato destro" le risposte siano molto variabili.

Questa variazione di risposte, se si osserva l'assonometria sulla quantità di illuminazione naturale rilevata è dovuta alla posizione degli studenti; infatti, nella prima fila lato destro l'illuminazione è abbastanza bassa, così come quasi in tutta l'aula. Questo fenomeno è dovuto alla posizione degli studenti, ovvero se più o meno in prossimità della parete finestrata. I posti più lontani dalle finestre si sono rivelati meno sfavorevoli in quanto l'illuminazione proveniente dalle finestre nella maggior parte dei casi non arriva fino alla parete verso Nord.

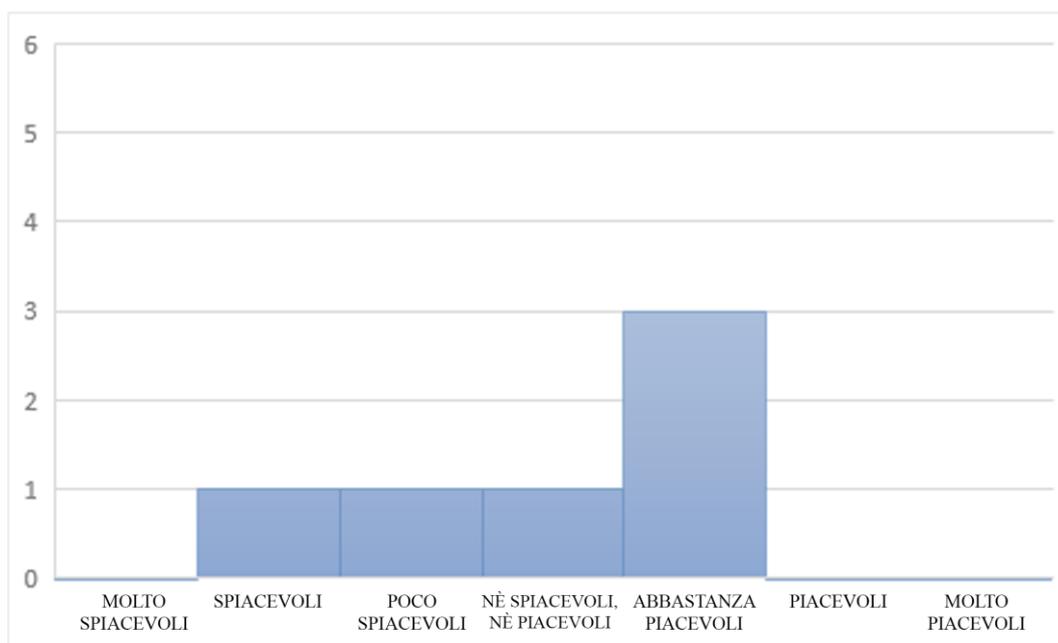


Fig. 183 Qualità illuminazione naturale percepita aula 25, prima - terza fila lato destro.

Una delle prime correlazioni eseguite riguarda la temperatura di colore. Analizzando l'assonometria sulla temperatura di colore percepita dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 25 allegato B estivo), si nota subito che le risposte più frequenti sono solo due: colore neutro e colore abbastanza caldo della luce.

La temperatura di colore correlata rilevata appare uniforme in tutto l'ambiente, dunque il grafico di correlazione che ne consegue riunisce quasi tutti i punti in un'unica zona del grafico (fig. 184).

La temperatura di colore correlata media misurata è di 3872 [K], questo valore è coerente con l'opinione generale data dagli studenti che percepiscono principalmente la luce da "Calda" a "Né fredda, né calda". All'aumentare della temperatura di colore rilevata, quindi spostandosi verso una tonalità più fredda, si è notato che per gli studenti non viene percepita come tale. Questo perché i valori rilevati sono costanti e sempre paragonabili ad un "Bianco neutro" in quanto compresi nel range equivalente da 3300 a 5300 [K], ecco spiegato perché viene difficile che si verifichi una qualunque correlazione.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto calda: -1.5	Calda: -1	Abbastanza calda: -0.5	Né fredda, né calda: 0	Abbastanza fredda: 0.5	Fredda: 1	Molto fredda: 1.5
-------------------	-----------	------------------------	------------------------	------------------------	-----------	-------------------

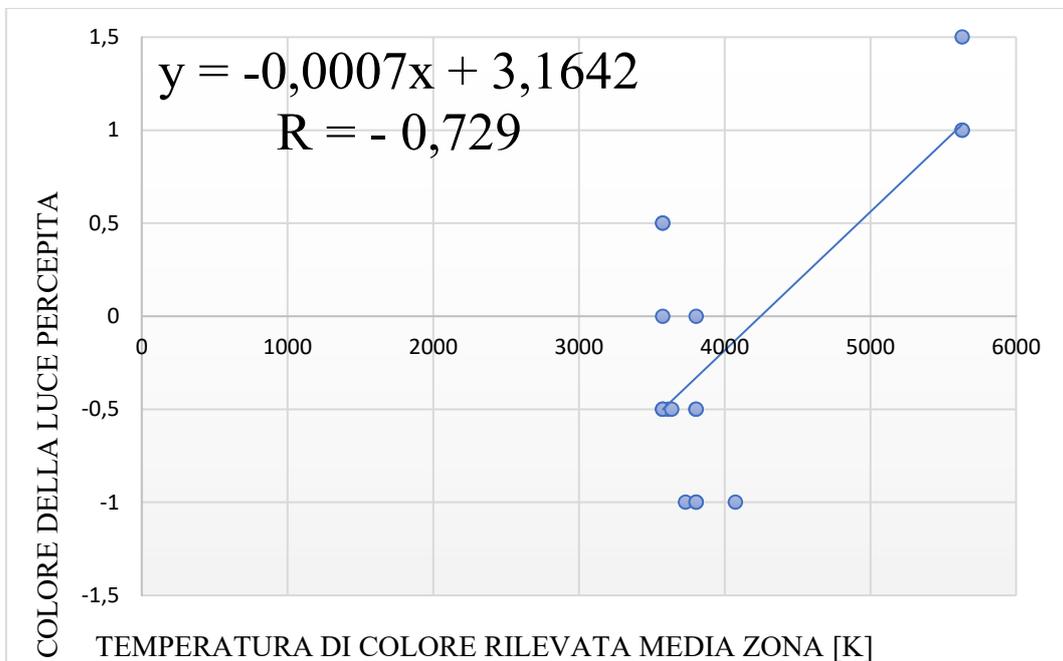


Fig. 184 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto spiacevoli: -1.5	Spiacevoli: -1	Poco piacevoli: -0.5	Né spiacevoli, né piacevoli: 0	Abbastanza piacevoli: 0.5	Piacevoli: 1	Molto piacevoli: 1.5
------------------------	----------------	----------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------	----------------------

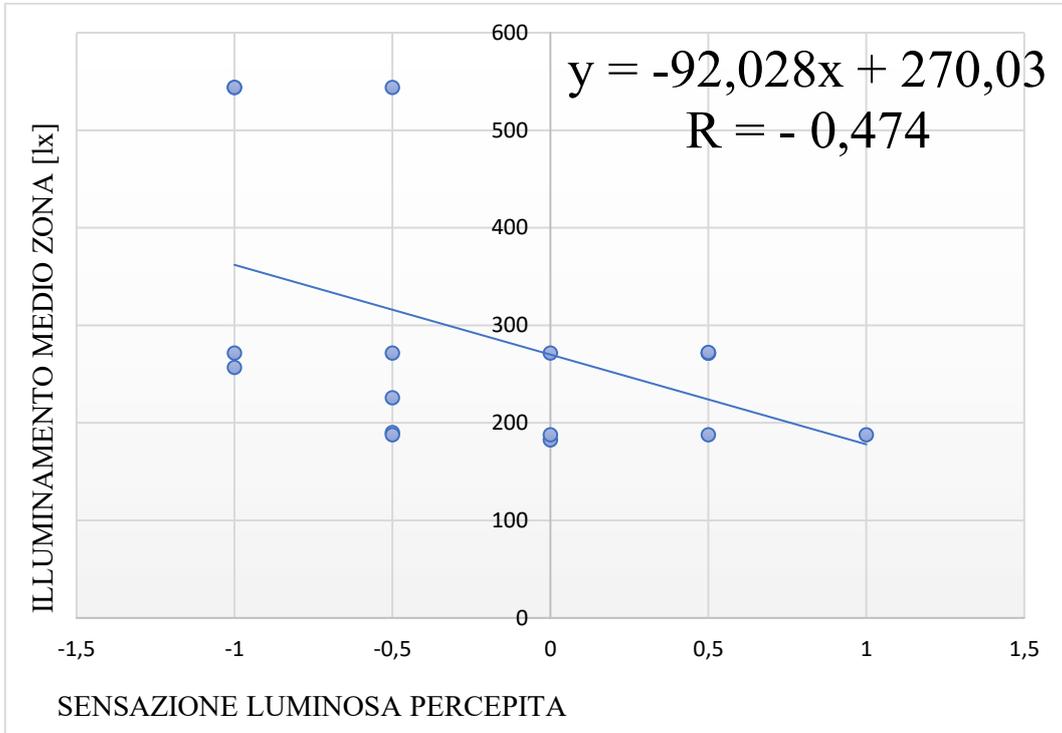


Fig. 185 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.

Il grafico soprastante (fig. 185) rivela invece la correlazione tra la sensazione luminosa percepita dagli studenti nell'aula e l'illuminamento medio rilevato aggregato per zone. Si nota subito come i punti siano distribuiti su tutto il grafico in posizioni opposte tra loro. Ciò non vuol dire che si tratti di un'analisi sbagliata, ma può voler significare che avendo un illuminamento uniforme in quasi tutta l'aula, gli studenti interpretano le loro sensazioni diversamente a causa della loro posizione. Guardando l'assonometria sulla qualità del comfort visivo (vedi Tavola comfort visivo aula 25 allegato B Estivo) si nota come alcuni banchi abbiano un illuminamento maggiore rispetto ad altri. Questo è dovuto ad illuminazione naturale diretta, ad elementi di riflessione e ad elementi schermanti, ma soprattutto è dovuto all'illuminazione artificiale presente nell'aula ed in molti casi non uniformemente distribuita a causa di malfunzionamenti dei corpi illuminanti.

I grafici seguenti riassumono i dati complessivi sul grado di soddisfazione del piano lavagna, banchi, schermo di proiezione e dell'aula in generale.

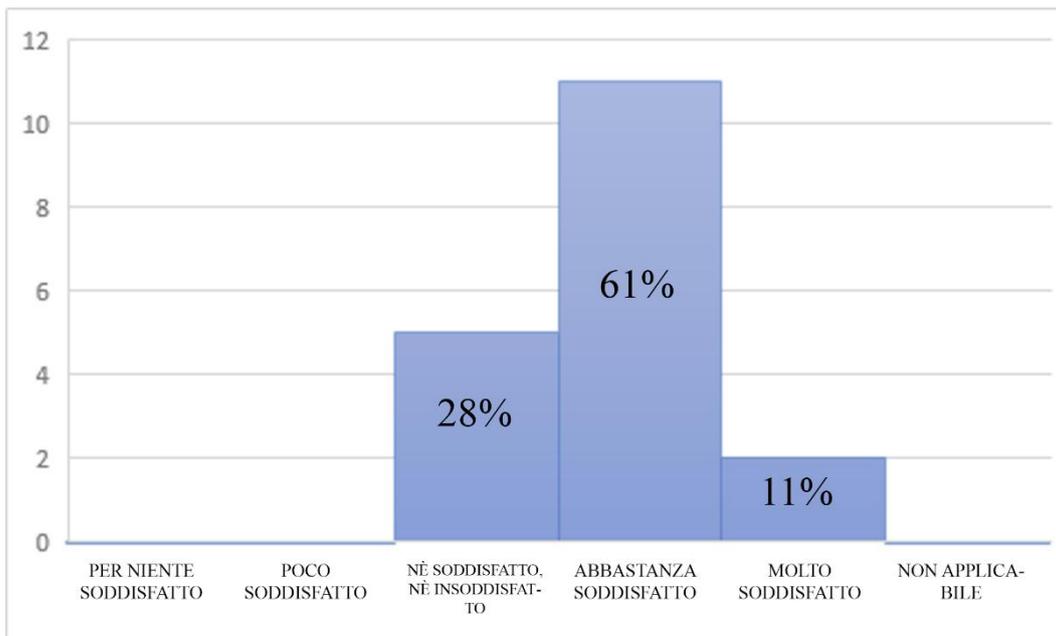


Fig. 186 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.

Il grafico precedente mostra come all'interno dell'aula la maggior parte degli studenti risulti soddisfatta riguardo la quantità di luce incidente sul piano lavagna. Tale condizione è dovuta maggiormente alla struttura dell'aula stessa in quanto essendo molto piccola favorisce una concentrazione ed una soddisfazione visiva maggiore rispetto ad altre aule, anche se i dati rilevati mostrano un illuminamento medio abbastanza basso (vedi Tavola comfort visivo aula 25 allegato B Estivo). Analizzando il grafico successivo (fig. 187) riguardante lo schermo di proiezione si verifica una situazione simile.

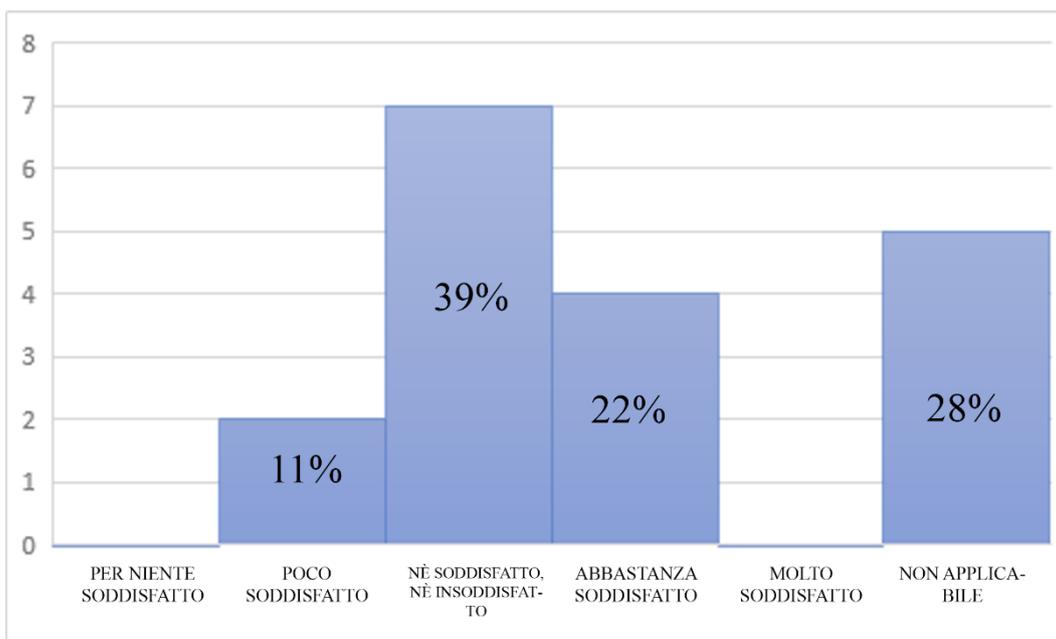


Fig. 187 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.

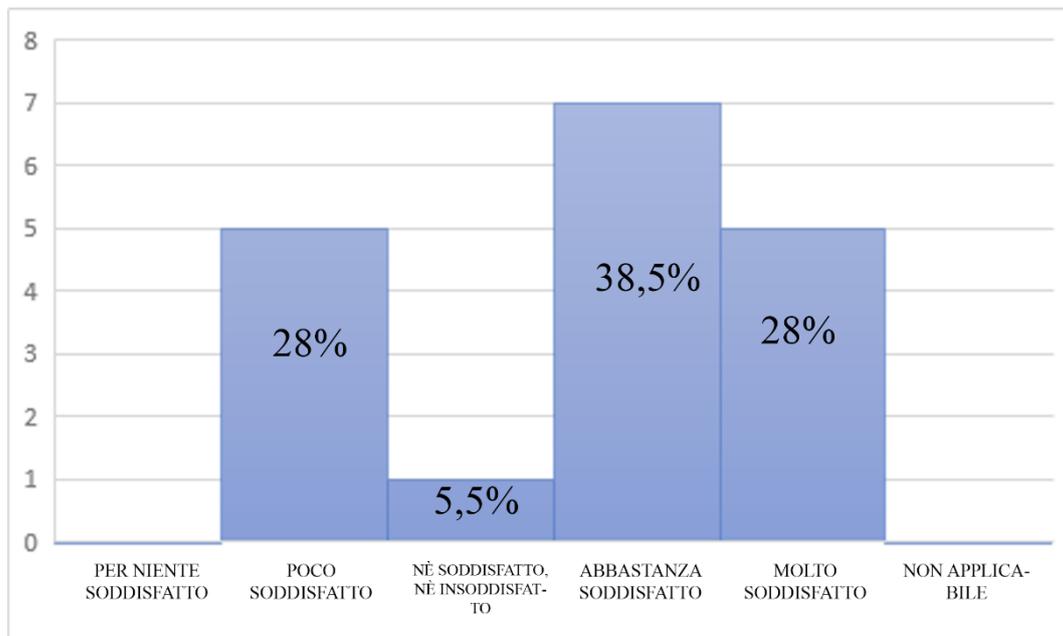


Fig. 188 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro (banco).

Per quanto riguarda invece il grafico precedente (fig. 188) sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano di lavoro, si può confermare in parte la correlazione precedente dove alcune postazioni risultano in condizioni di discomfort, mentre la maggior parte è soddisfatta delle condizioni illuminotecniche.

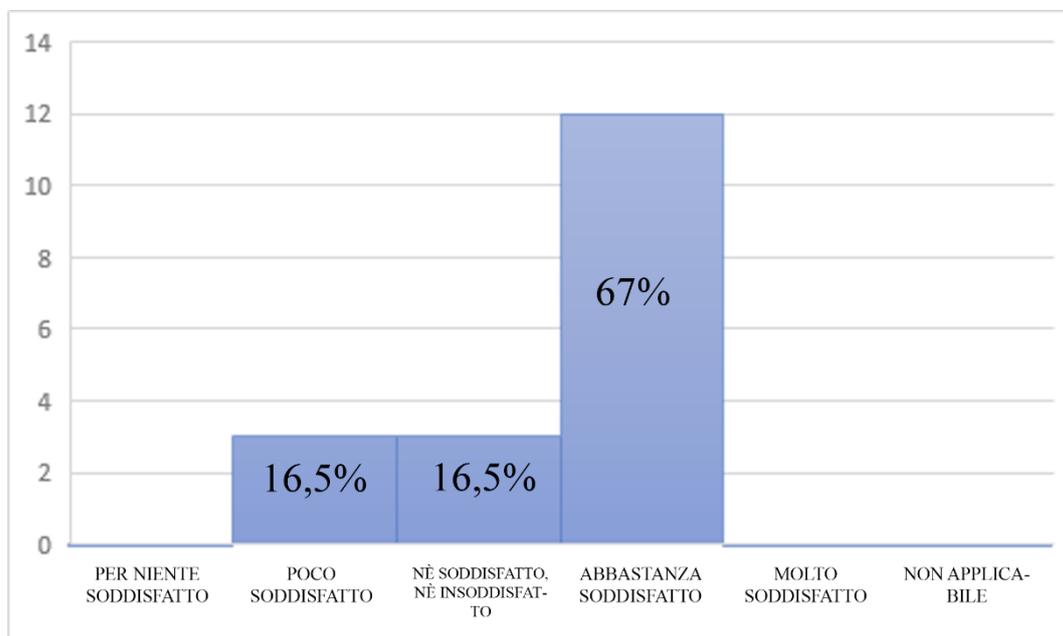


Fig. 189 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce all'interno dell'aula.

Il grafico sulle condizioni complessive di soddisfazione della quantità di luce entrante nell'aula mostra come quasi tutti gli individui siano abbastanza soddisfatti di tali condizioni. Come già accennato in precedenza, ciò è dovuto alla struttura dell'aula e all'adeguata quantità di illuminazione artificiale presente.

4.6.2 Stagione invernale

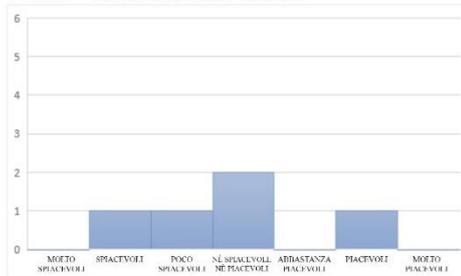
4.6.2.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

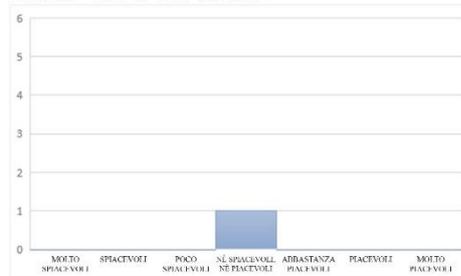
“Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?”

Qualità illuminazione naturale percepita

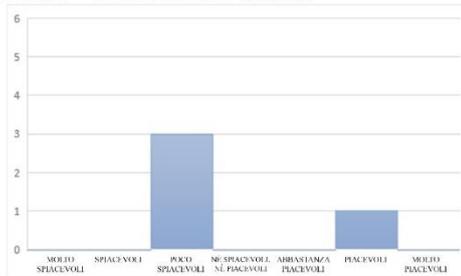
Prima - terza fila lato destro



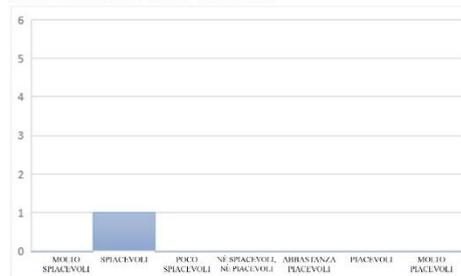
Prima - terza fila centro



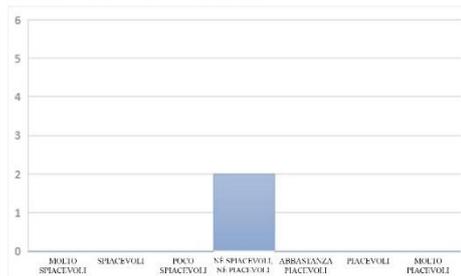
Prima - terza fila lato sinistro



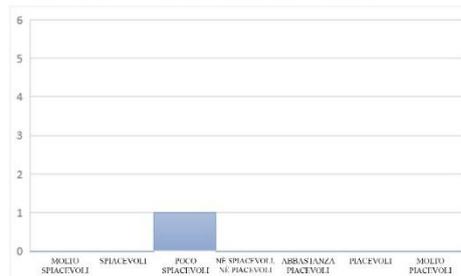
Fila centrale lato sinistro



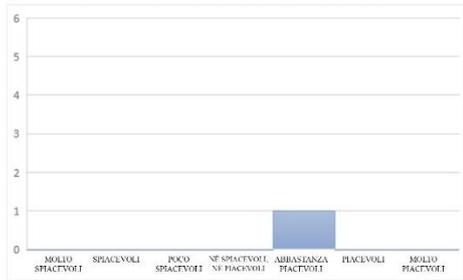
Fila centrale lato destro



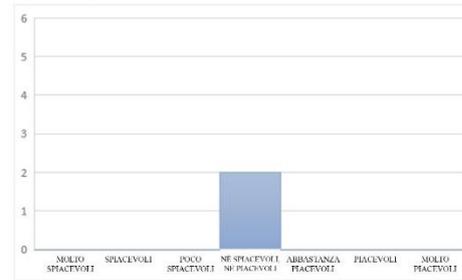
Terzultima - ultima fila lato destro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



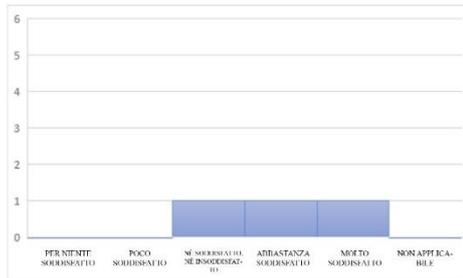
Analizzando i grafici emergono alcune considerazioni che verranno descritte di seguito. Indipendentemente dalla posizione, le risposte più selezionate dagli studenti nell'aula 25 riguardo la qualità dell'illuminazione naturale sono "Né spiacevole, né piacevole" e "Poco piacevole".

L'aula non è situata in un luogo favorevole all'illuminazione naturale a causa delle ostruzioni esterne presenti e questo si ripercuote sulle condizioni di comfort visivo riscontrate tra gli studenti. Parte dei campioni analizzati era posizionato tra la prima e la terza fila del lato destro dell'aula (guardando la cattedra), ed è emerso che in questa zona la risposta è più orientata sull'insoddisfazione delle condizioni, questo perché è la zona più sfavorevole dell'ambiente considerando la distanza dalla parete sud (dove sono posizionate le finestre) e la prossimità ad una parete con due porte verso il corridoio che non danno un contributo considerevole alla quantità di luce naturale in ambiente.

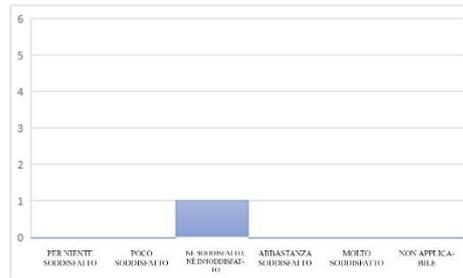
“Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione del piano lavagna?”

Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna

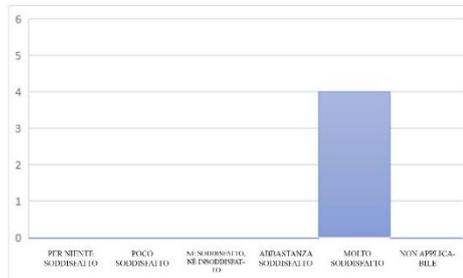
Prima - terza fila lato destro



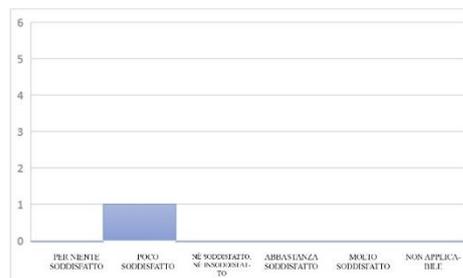
Prima - terza fila centro



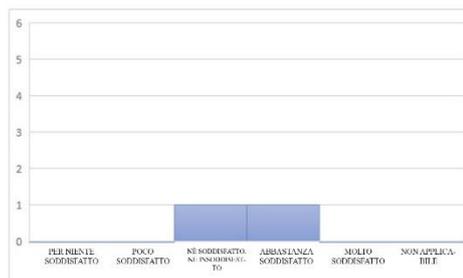
Prima - terza fila lato sinistro



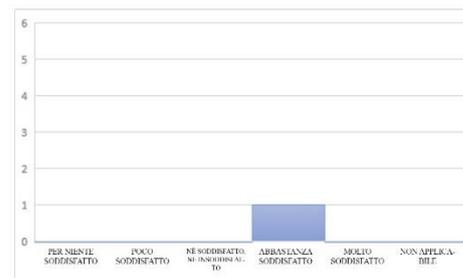
Fila centrale lato sinistro



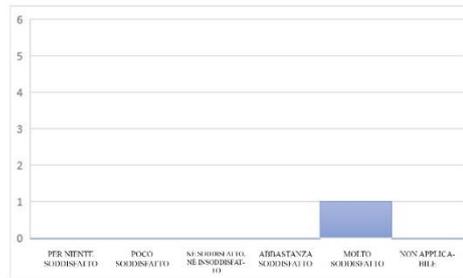
Fila centrale lato destro



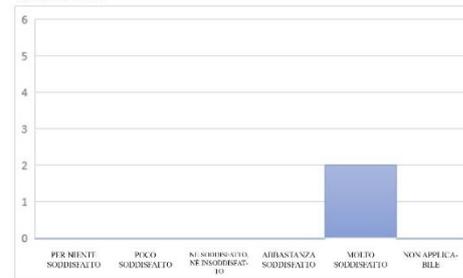
Terzultima - ultima fila lato destro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



L'aula 25 non possiede una grande quantità di luce naturale, tuttavia tramite l'utilizzo prevalente della luce artificiale non si verificano grossi problemi per lo svolgimento del compito visivo dello studente sul piano lavagna.

Analizzando le risposte ottenute si può notare come gli individui sparsi nell'ambiente siano in generale soddisfatti della quantità di luce sul piano lavagna.

Nel grafico “Prima-terza fila lato sinistro” si può notare come i campioni abbiano risposto tutti “Molto soddisfatto”, questo perché la distanza dalla lavagna può considerarsi ideale e non sono presenti fattori di disturbo.

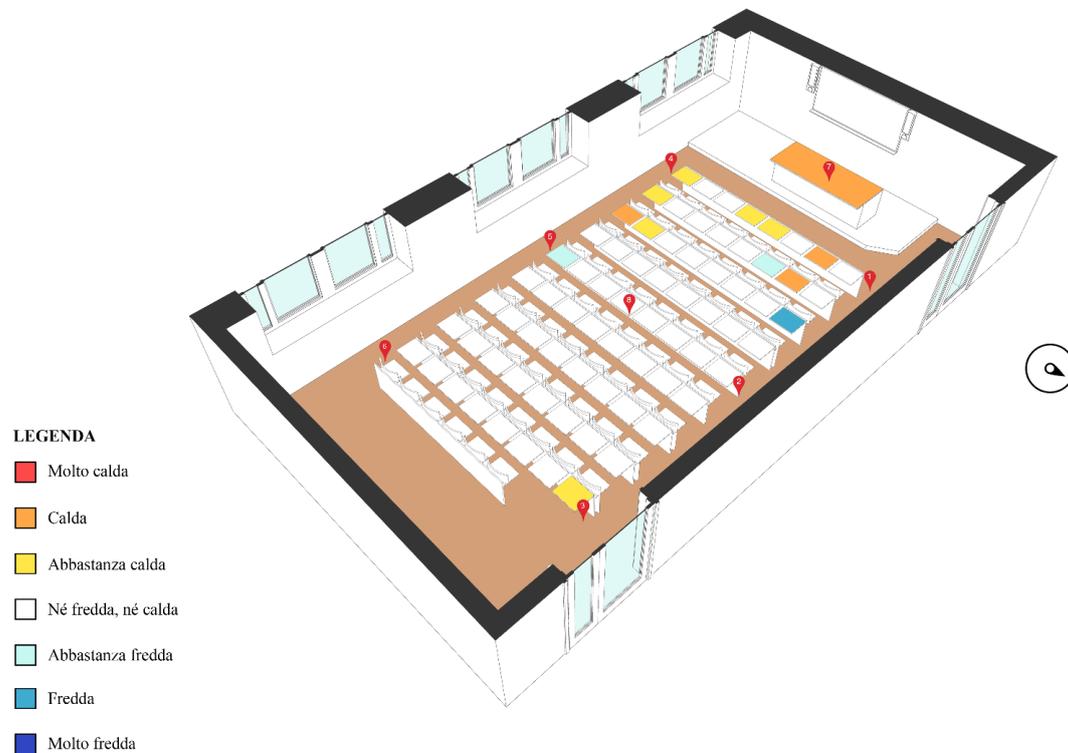


Fig. 190 Temperatura di colore correlata percepita.

4.6.2.2 Analisi oggettive

COMFORT VISIVO	Condizioni globali	Condizioni metereologiche	Ostruzioni esterne	Schermature interne	Illuminazione artificiale
	Inverno	Nuvoloso	Si	Tende aperte	Accesa

Tabella 32 Dati illuminotecnici invernali rilevati in aula 25.

PUNTI	ILLUMINAMENTO [lx]	TEMPERATURA DI COLORE [K]	CONDIZIONI METEO
A1	239	3593	NUVOLOSO
A2	260	3576	/
A3	269	3570	/
A4	255	3552	/
B1	238	3671	/
B2	249	3582	/
B3	270	3575	/
B4	281	3558	/
C1	206	3780	/
C2	220	3580	/
C3	261	3569	/
C4	391	3563	/
D1	174	3914	/
D2	206	3608	/
D3	296	3580	/
D4	298	3572	/
E1	188	3977	/
E2	191	3637	/
E3	246	3581	/
E4	280	3578	/
F1	170	3869	/
F2	180	3652	/
F3	228	3603	/
F4	271	3589	/
G1	170	3821	/
G2	191	3697	/
G3	229	3650	/
G4	258	3634	/
H1	200	3976	/
H2	200	3748	/
H3	224	3691	/
H4	263	3734	/
I1	186	3955	/
I2	184	3708	/
I3	185	3682	/
I4	226	3848	/
L1	113	3510	/
L3	109	3501	/
M1	173	3604	/
M2	182	3590	/
MEDIA	224	3667	

I livelli di illuminamento misurati nell'aula 25 possono considerarsi uniformi, tutti compresi tra i 100 e i 300 [lx]. I punti della fila 4 (A4, B4, C4, ecc...) mostrano valori più alti della media, spesso vicino a 300 [lx], in quanto posti in corrispondenza di un apparecchio luminoso.

I punti della fila 1 invece, risultano più vicini ai 100 [lx] presumibilmente perché le ostruzioni e condizioni meteorologiche (molto nuvoloso) limite l'ingresso di luce naturale in ambiente.

La temperatura di colore correlata media misurata è di 3667 [K] e risulta abbastanza uniforme in tutto l'ambiente, viene quindi percepita come "Bianco neutro" tendente però al "Bianco caldo".

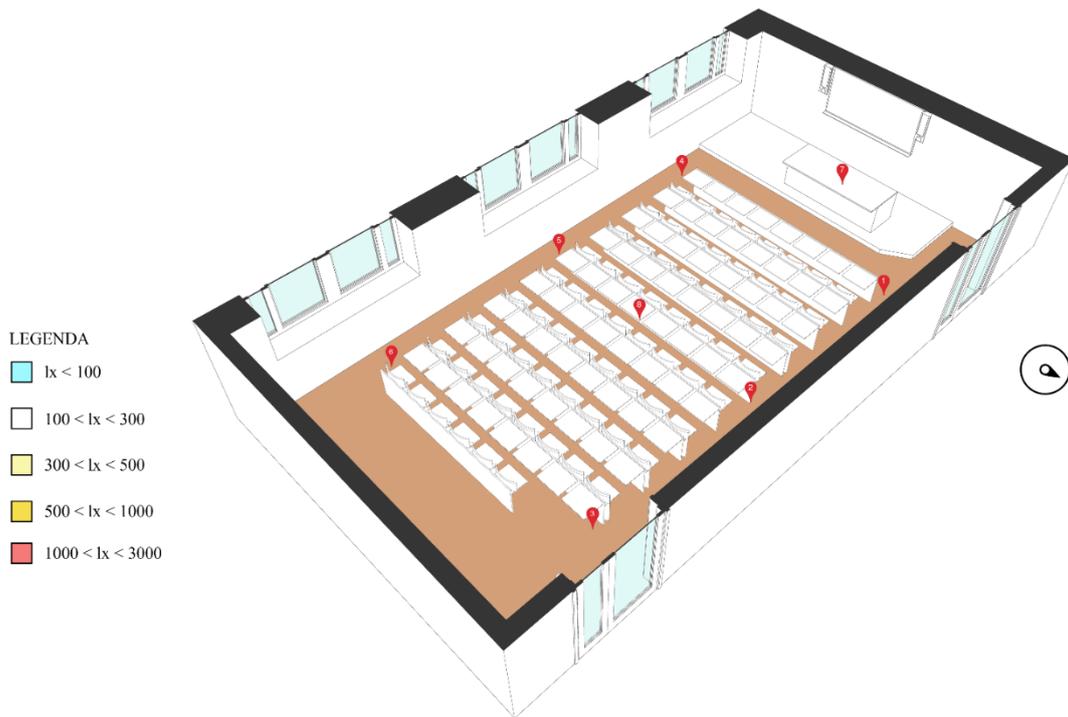


Fig. 191 Qualità illuminazione naturale rilevata.

4.6.2.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Proseguendo con l'analisi dei grafici del comfort visivo e soffermandosi su quelli della qualità dell'illuminazione naturale percepita (fig. 192) all'interno dell'aula dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 25 allegato B Invernale), si nota come nel primo grafico istogramma "prima-terza fila lato destro" le risposte siano più variabili.

Questa variazione di risposte, se si osserva l'assonometria sulla quantità di illuminazione naturale rilevata è dovuta alla posizione degli studenti; infatti, nella prima fila lato destro l'illuminazione è abbastanza bassa, così come quasi in tutta l'aula. Questo fenomeno è dovuto alla posizione degli studenti, ovvero se più o meno in prossimità della parete finestrata. I posti più lontani dalle finestre si sono rivelati sfavorevoli in quanto l'illuminazione proveniente dalle finestre nella maggior parte dei casi non arriva fino alla parete verso Nord.

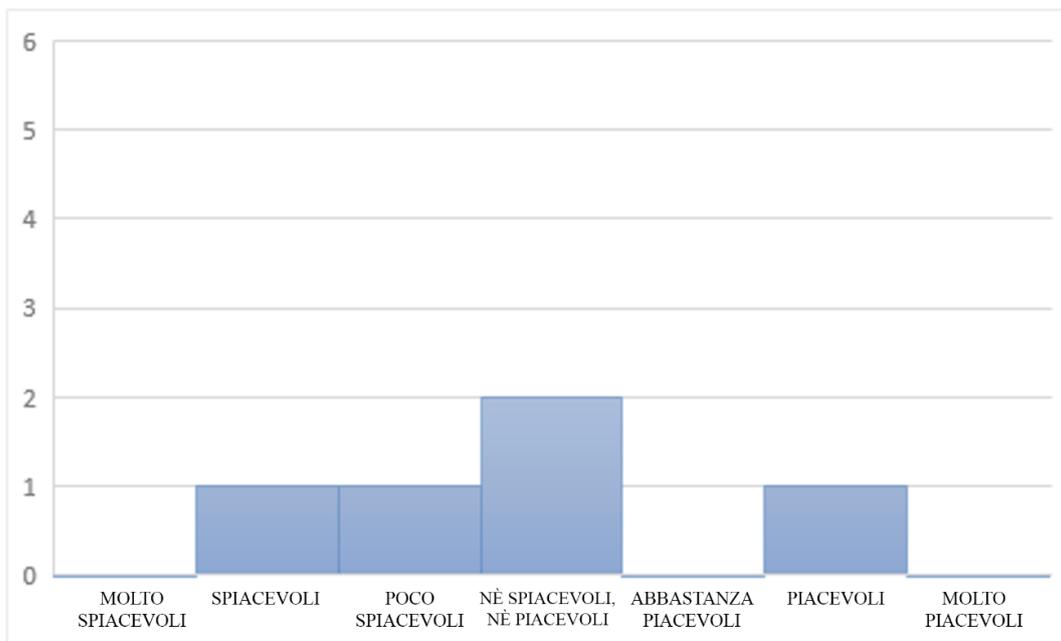


Fig. 192 Qualità illuminazione naturale percepita aula 25, prima - terza fila lato destro.

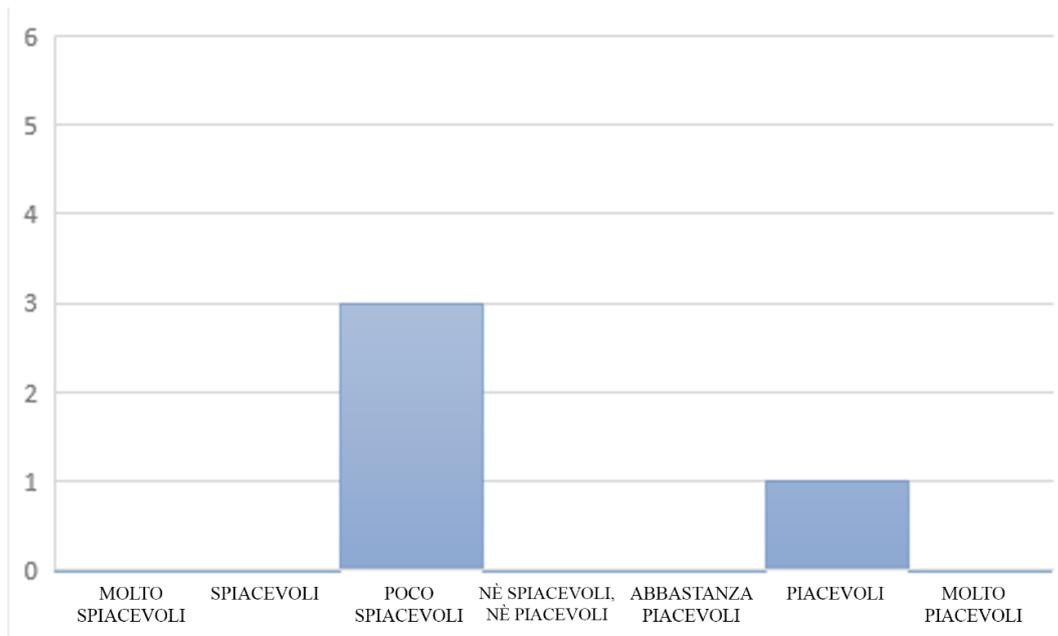


Fig. 193 *Qualità illuminazione naturale percepita aula 25, prima - terza fila lato sinistro.*

Nel grafico istogramma “prima-terza fila lato sinistro” invece si può notare che pur trattandosi di una zona meglio illuminata, il parere degli studenti sia negativo, questo perché le ostruzioni presenti influenzano le risposte.

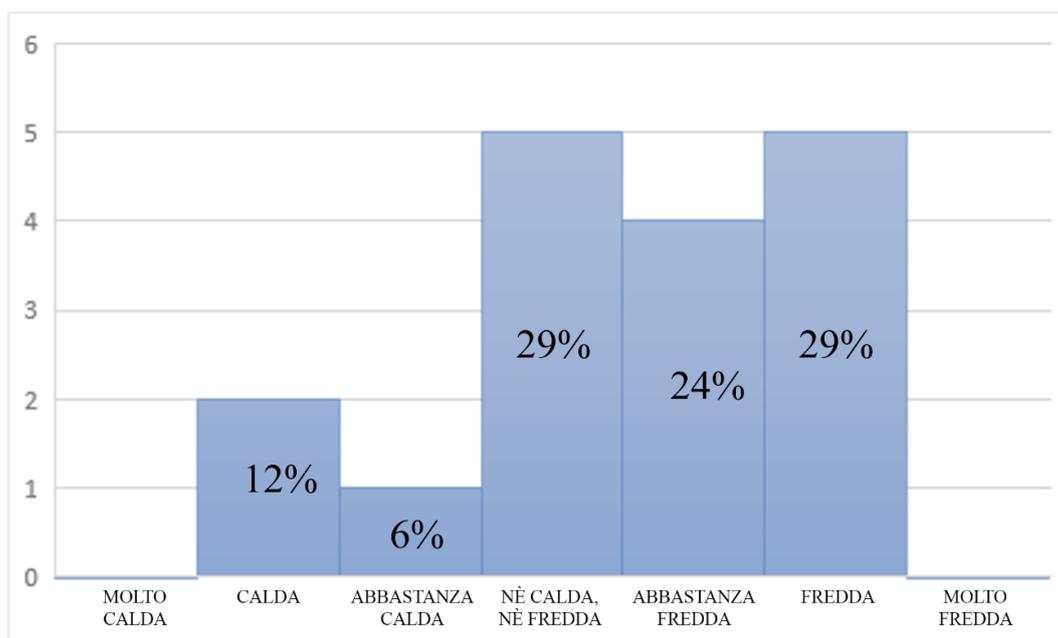


Fig. 194 *Temperatura di colore percepita aula 25, grafico complessivo.*

Analizzando l’assonometria sulla temperatura di colore percepita dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 25 allegato B Invernale), si nota subito che le

risposte più frequenti vadano dal “Né calda, né fredda” al “Fredda”. La temperatura di colore correlata rilevata appare uniforme in tutto l’ambiente, dunque il grafico di correlazione che ne consegue riunisce quasi tutti i punti in un’unica zona del grafico (fig. 195).

La temperatura di colore correlata media misurata è di 3667 [K], questo valore è coerente con l’opinione generale data dagli studenti che percepiscono principalmente la luce da “Fredda” a “Né fredda, né calda”. All’aumentare della temperatura di colore rilevata, quindi spostandosi verso una tonalità più fredda, si è notato che per gli studenti viene percepita come tale. I valori rilevati sono costanti e sempre paragonabili ad un “Bianco neutro” in quanto compresi nel range equivalente da 3300 a 5300 [K], ecco spiegato perché viene difficile che si verifichi una qualunque correlazione.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto calda: -1.5	Calda: -1	Abbastanza calda: -0.5	Né fredda, né calda: 0	Abbastanza fredda: 0.5	Fredda: 1	Molto fredda: 1.5
-------------------	-----------	------------------------	------------------------	------------------------	-----------	-------------------

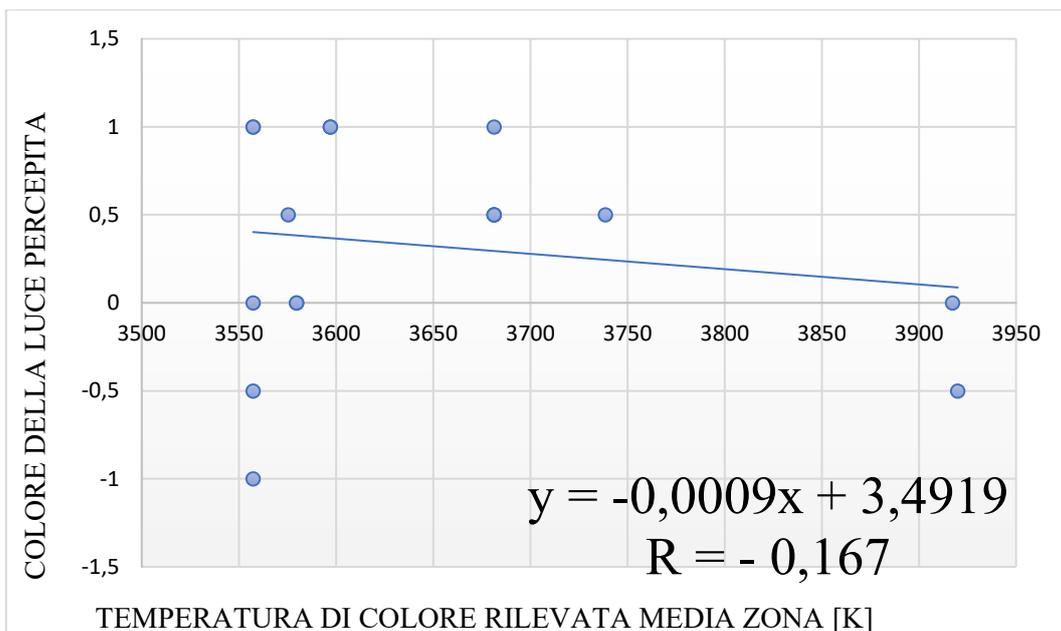


Fig. 195 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto spiacevoli: -1.5	Spiacevoli: -1	Poco piacevoli: -0.5	Né spiacevoli, né piacevoli: 0	Abbastanza piacevoli: 0.5	Piacevoli: 1	Molto piacevoli: 1.5
------------------------	----------------	----------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------	----------------------

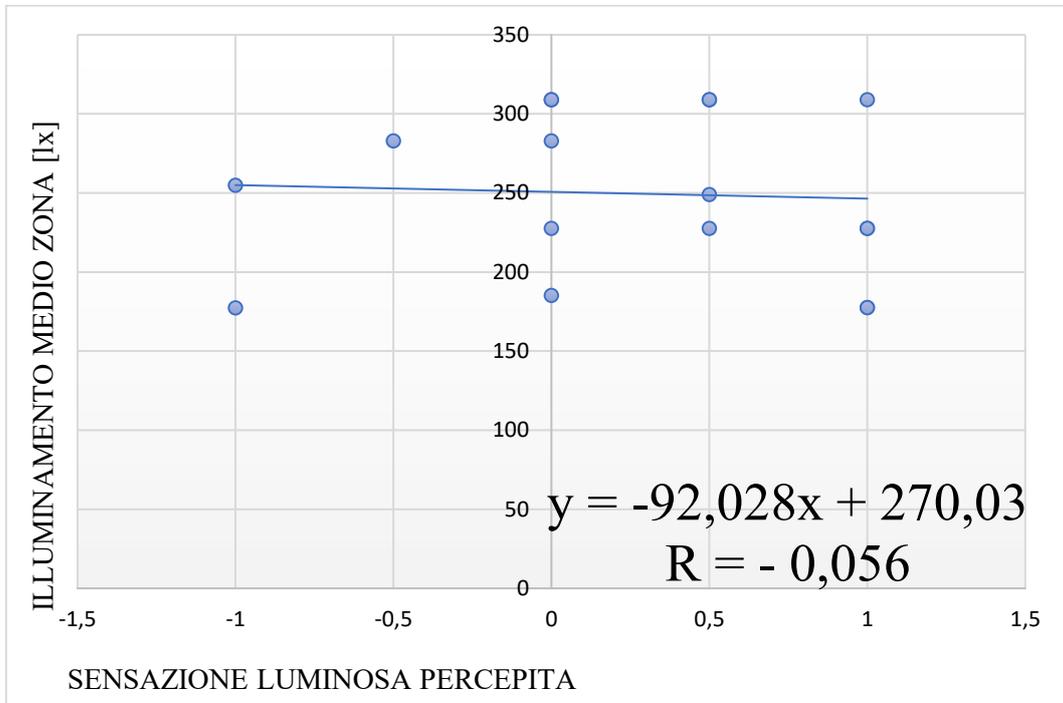


Fig. 196 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.

Il grafico soprastante (fig. 196) rivela invece la correlazione tra la sensazione luminosa percepita dagli studenti nell'aula e l'illuminamento medio rilevato aggregato per zone. Si nota subito come i punti siano distribuiti su tutto il grafico in posizioni opposte tra loro. Ciò non vuol dire che si tratti di un'analisi sbagliata, ma può voler significare che avendo un illuminamento uniforme in quasi tutta l'aula, gli studenti interpretano le loro sensazioni diversamente a causa della loro posizione. Guardando l'assonometria sulla qualità del comfort visivo (vedi Tavola comfort visivo aula 25 allegato B Invernale) si nota come alcuni banchi abbiano un illuminamento maggiore rispetto ad altri. Questo è dovuto ad illuminazione naturale diretta, ad elementi di riflessione e ad elementi schermanti, ma soprattutto è dovuto all'illuminazione artificiale presente nell'aula ed in molti casi non uniformemente distribuita a causa di malfunzionamenti dei corpi illuminanti.

I grafici seguenti riassumono i dati complessivi sul grado di soddisfazione del piano lavagna, banchi, schermo di proiezione e dell'aula in generale.

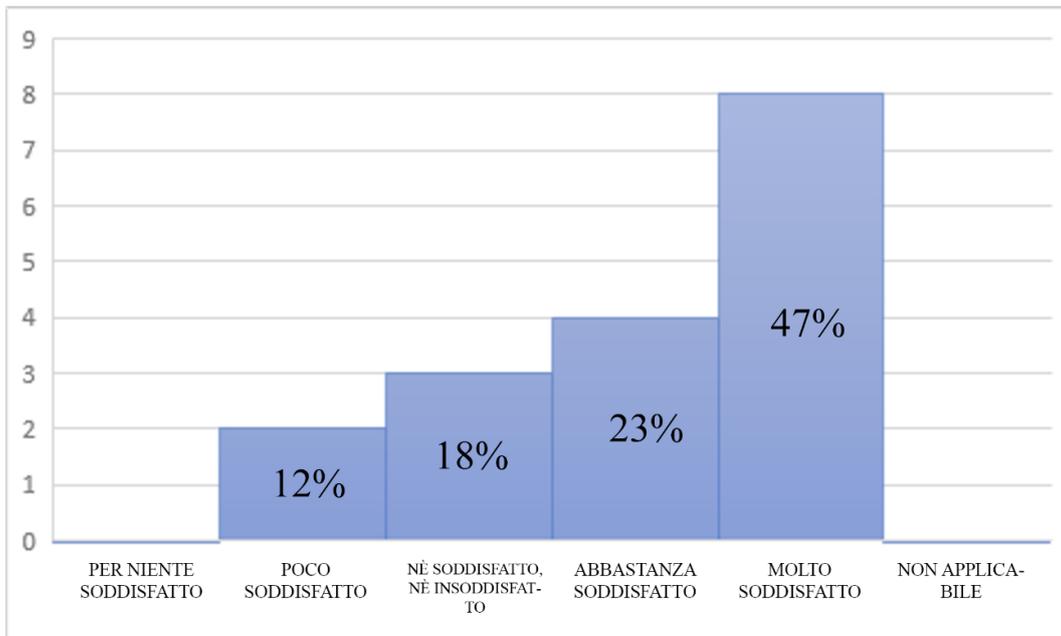


Fig. 197 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.

Il grafico precedente mostra come all'interno dell'aula la maggior parte degli studenti risulti soddisfatta riguardo la quantità di luce incidente sul piano lavagna. Tale condizione è dovuta maggiormente alla struttura dell'aula stessa in quanto essendo molto piccola favorisce una concentrazione ed una soddisfazione visiva maggiore rispetto ad altre aule, anche se i dati rilevati mostrano un illuminamento medio abbastanza basso (vedi Tavola comfort visivo aula 25 allegato B Invernale).

Analizzando il grafico successivo (fig. 198) riguardante lo schermo di proiezione si verifica una situazione simile.

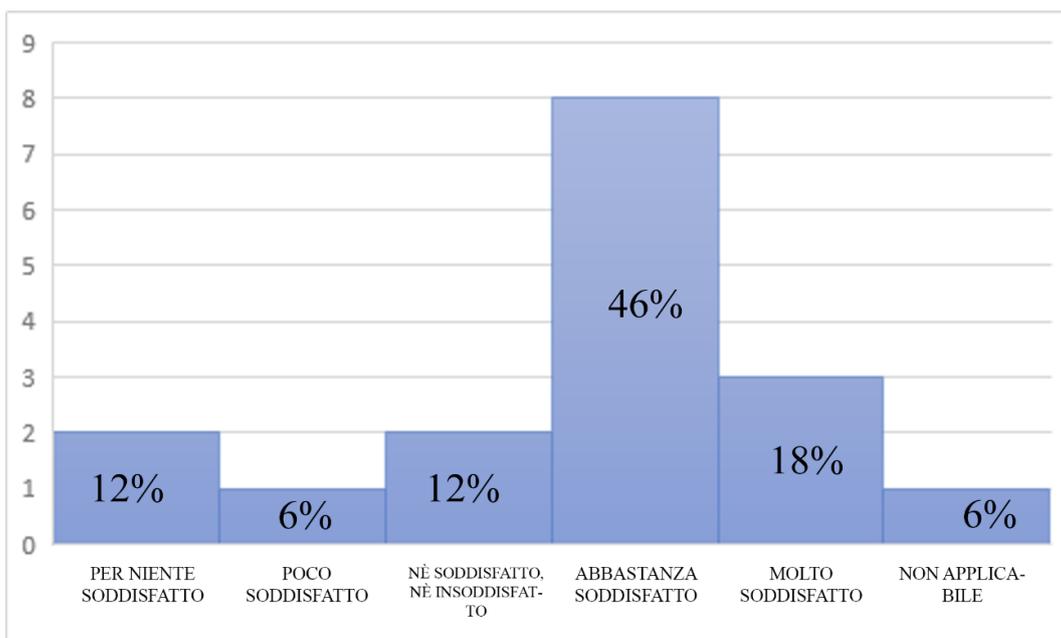


Fig. 198 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.

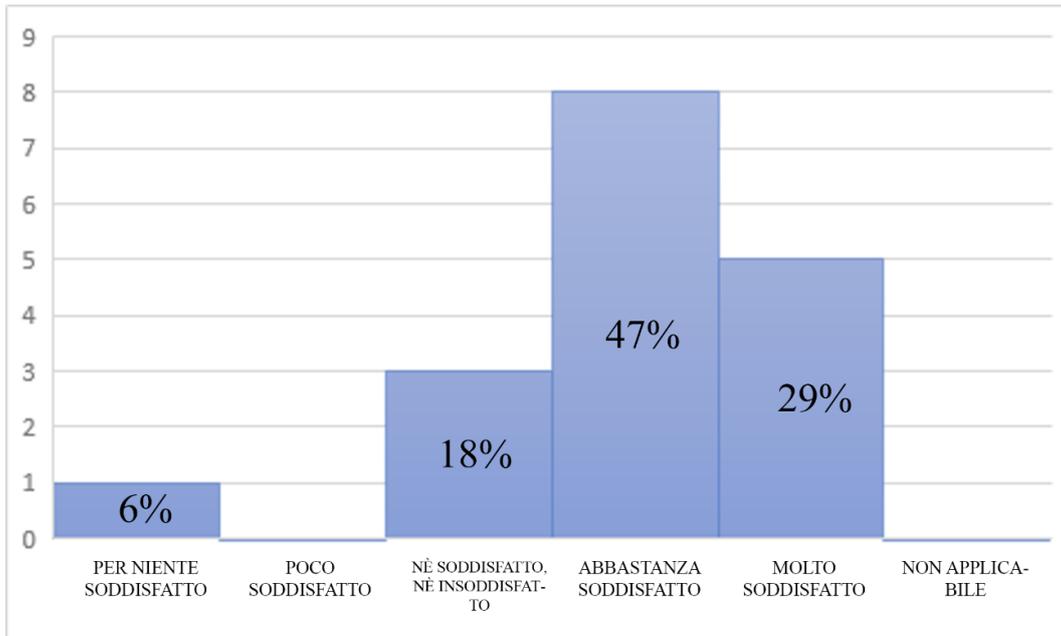


Fig. 199 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro (banco).

Per quanto riguarda il grafico precedente (fig. 199) sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano di lavoro, si può confermare in parte la correlazione precedente dove alcune postazioni risultano in condizioni di discomfort e influenzano il giudizio, la grande maggioranza degli individui è soddisfatta delle condizioni illuminotecniche.

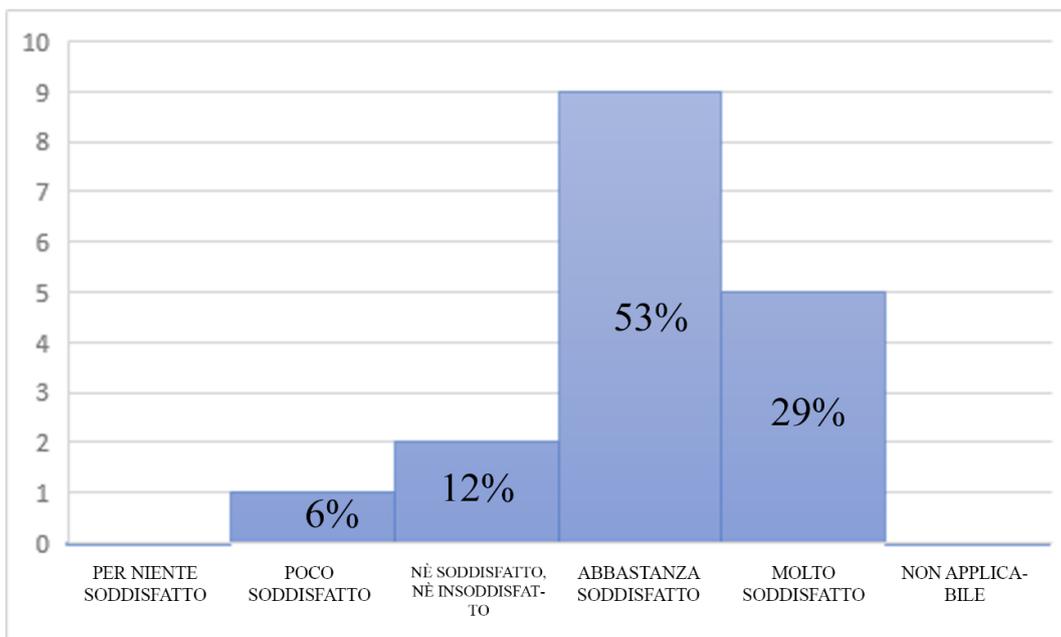


Fig. 200 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce all'interno dell'aula.

Il grafico sulle condizioni complessive di soddisfazione della quantità di luce entrante nell'aula mostra come quasi tutti gli individui siano abbastanza soddisfatti di tali condizioni. Come già accennato in precedenza, ciò è dovuto alla struttura dell'aula e all'adeguata quantità di illuminazione artificiale presente.

4.7 Aula 201

Il rilievo illuminotecnico estivo è stato eseguito in parallelo con quello termico, l'aula presentava schermature interne ed esterne aperte, illuminazione artificiale accesa e le condizioni meteorologiche erano ottimali in quanto molto soleggiato.

Per quanto riguarda il rilievo invernale, il cielo era coperto e l'aula presentava: le schermature esterne ed interne aperte e l'illuminazione artificiale spenta.

All'interno dell'aula è presente un impianto di illuminazione composto da 18 corpi illuminanti a doppio neon. Inoltre, l'aula su tutti i lati presenta pareti trasparenti: quelle verso l'interno dell'edificio oscurate da dalle tendine interne al vetro, mentre quelle verso l'esterno hanno sia delle schermature interne sia schermature esterne.

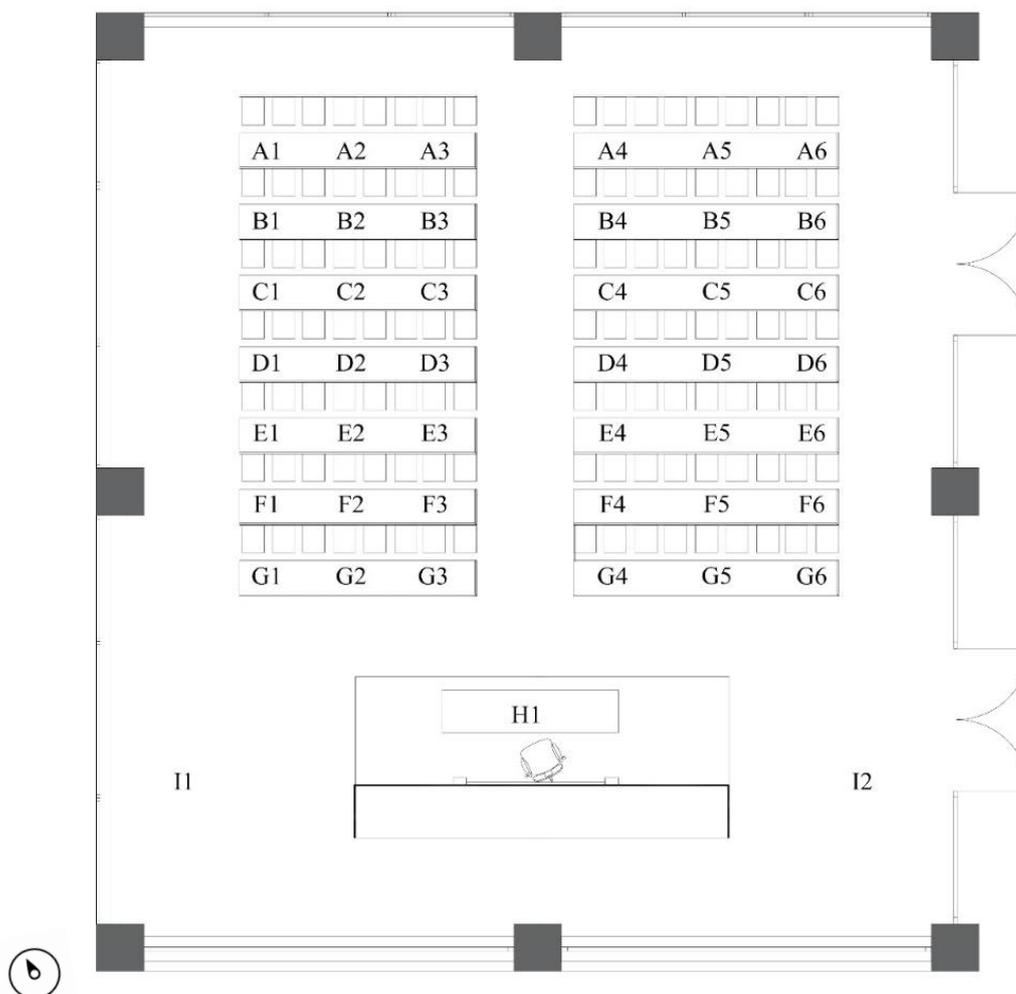


Fig. 201 Pianta aula 201 con punti di rilievo illuminotecnico.

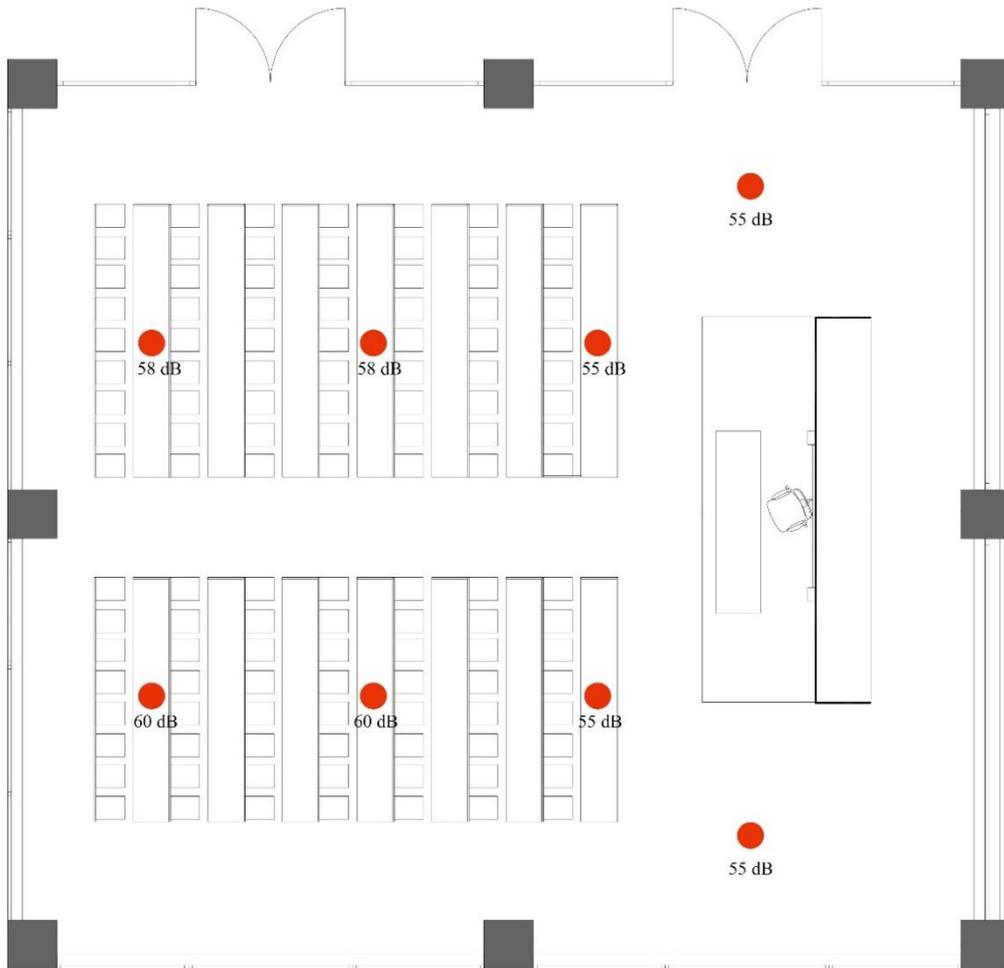


Fig. 202 Pianta aula 201 con punti di rilievo acustico.

4.7.1 Stagione estiva

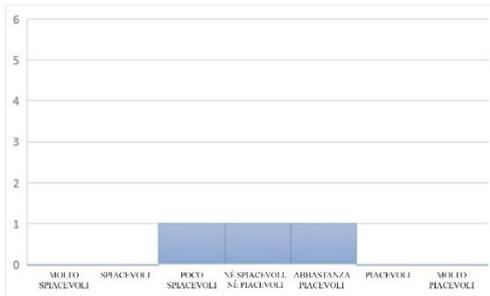
4.7.1.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

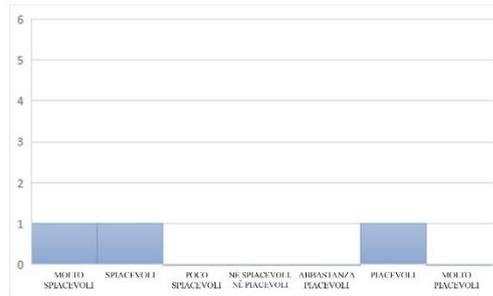
“Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?”

Qualità illuminazione naturale percepita

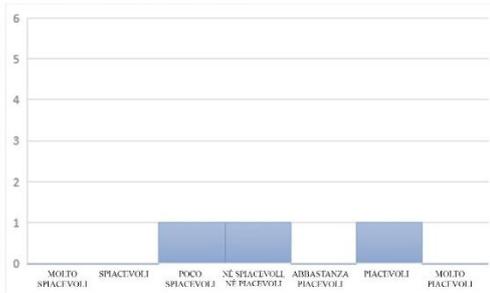
Prima - terza fila lato destro



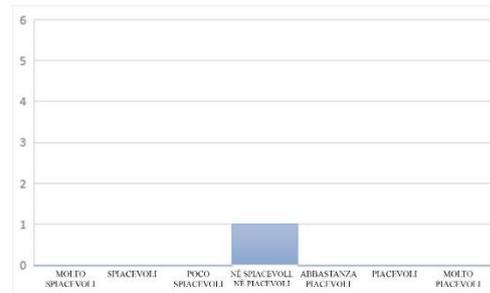
Prima - terza fila lato sinistro



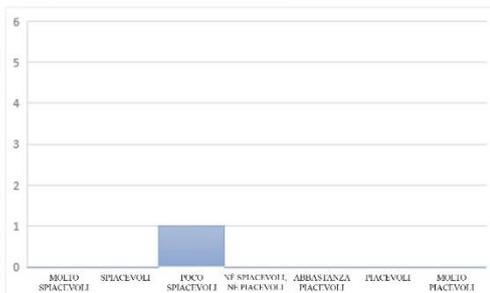
Prima - terza fila centro



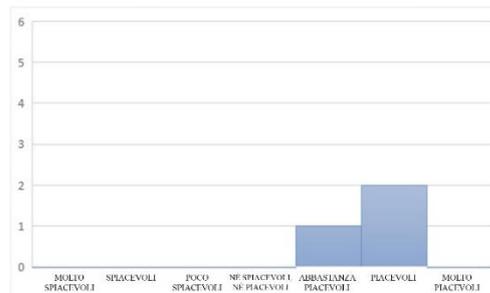
Fila centrale lato destro



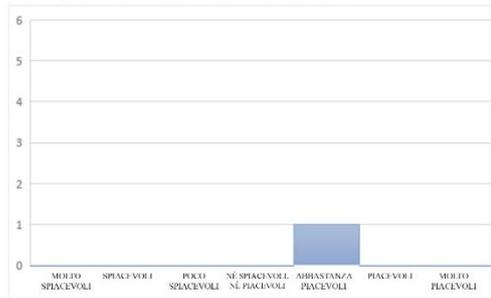
Fila centrale lato sinistro



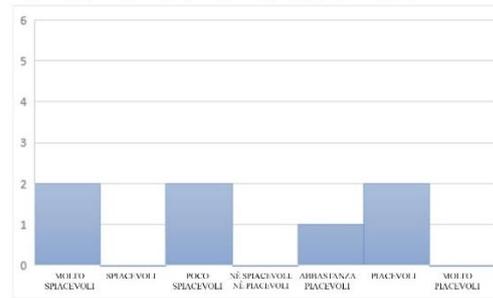
Terzultima - ultima fila lato destro



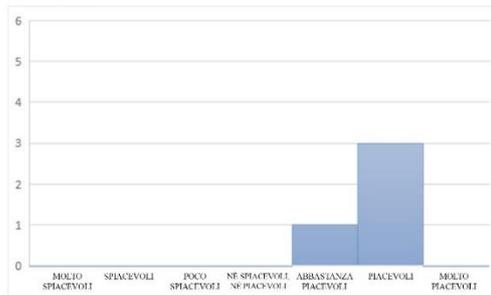
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



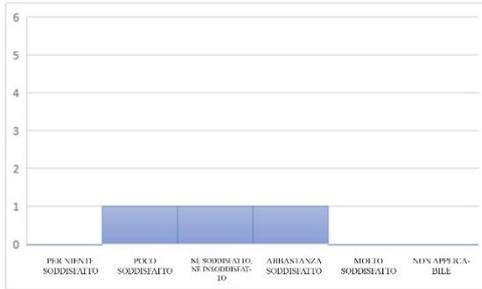
I dati più significativi inerenti alla domanda sulla qualità dell'illuminazione naturale sono abbastanza coerenti rispetto alla posizione degli individui, tranne verso il lato sinistro in cui analizzando i grafici si nota come le risposte sono orientate verso un grado di insoddisfazione maggiore.

Tenendo in considerazione la pianta dell'aula con i punti di rilievo illuminotecnico (fig. 201) si possono in parte confermare queste risposte e dunque le sensazioni percepite dagli individui. La zona terzultima-ultima fila lato sinistro invece, presenta sia risposte di insoddisfazione sia risposte positive, questo è dovuto sempre alla posizione di ogni studente all'interno della zona e alla sua percezione visiva.

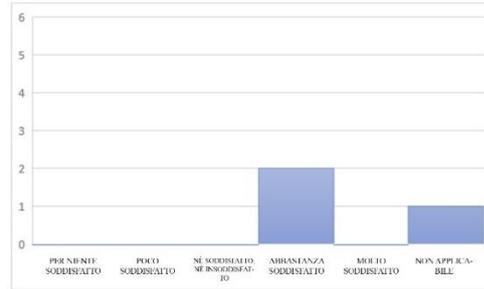
“Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione del piano lavagna?”

Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna

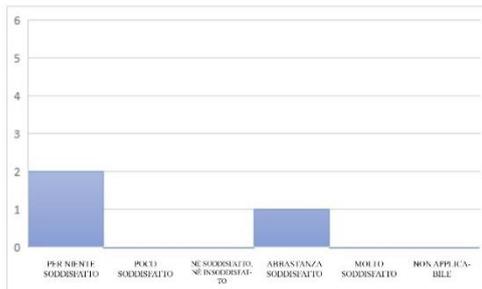
Prima - terza fila lato destro



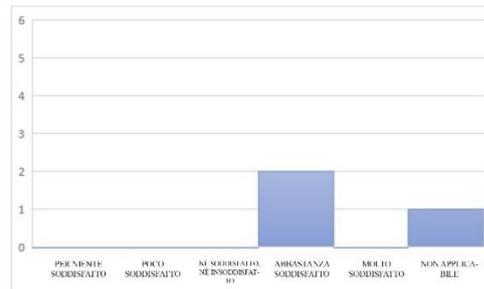
Prima - terza fila centro



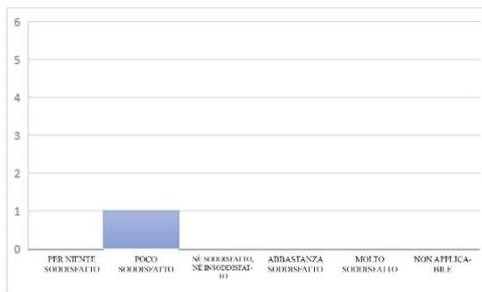
Prima - terza fila lato sinistro



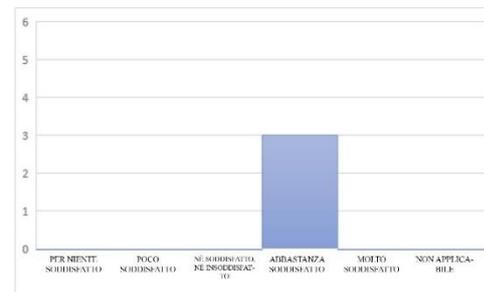
Fila centrale lato destro



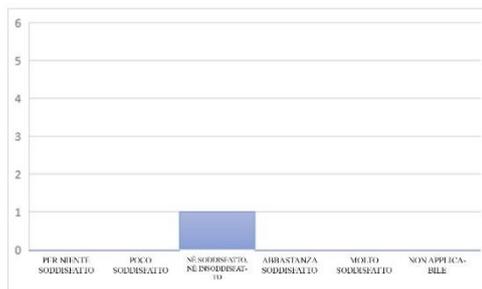
Fila centrale lato sinistro



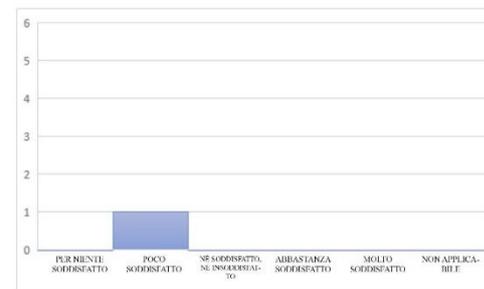
Terzultima - ultima fila lato destro



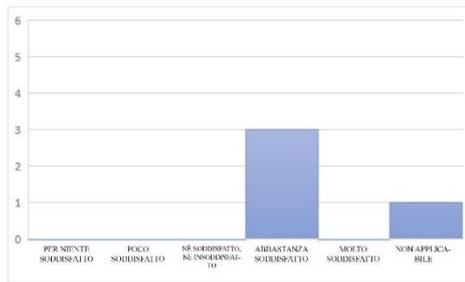
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Analizzando le risposte inerenti al grado di soddisfazione della quantità di illuminazione sul piano lavagna si nota come anche per quanto riguarda questa domanda, gli studenti posizionati sul lato sinistro dell'aula siano insoddisfatti della quantità di luce sulla lavagna.

Dunque, non solo la percezione personale è un fattore molto importante, ma anche la posizione all'interno dell'aula ha la sua rilevanza a livello di sensazioni.

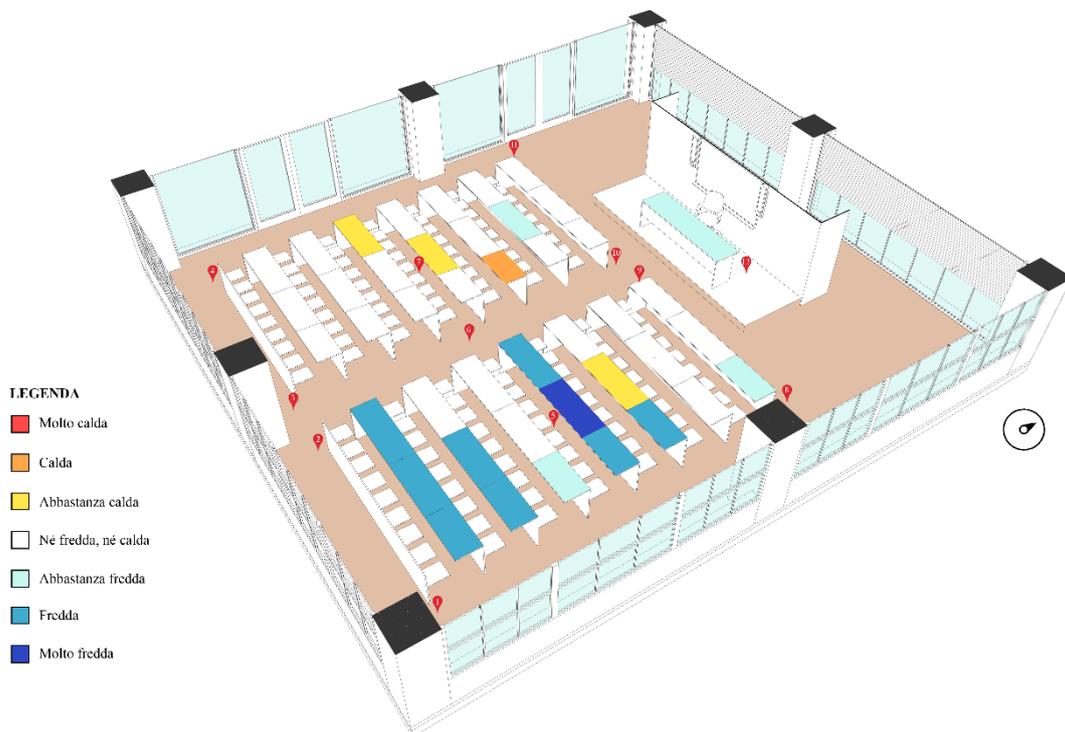


Fig. 203 Temperatura di colore correlata percepita.

4.7.1.2 Analisi oggettive

COMFORT VISIVO	Condizioni globali	Condizioni metereologiche	Ostruzioni esterne	Schermature interne	Illuminazione artificiale
	Estate	Soleggiato	No	Tende aperte	Accesa

Tabella 33 Dati illuminotecnici estivi rilevati in aula 201.

PUNTI	ILLUMINAMENTO [lx]	TEMPERATURA DI COLORE [K]	CONDIZIONI METEO
A1	9015	6064	SOLEGGIATO
A2	5692	5855	/
A3	2720	5734	/
A4	3601	5748	/
A5	3453	5851	/
A6	3078	5875	/
B1	9625	6129	/
B2	5596	5881	/
B3	2778	5674	/
B4	2741	5668	/
B5	2796	5616	/
B6	2487	5725	/
C1	9508	6694	/
C2	2436	5474	/
C3	1970	5170	/
C4	1822	5377	/
C5	1708	5511	/
C6	2358	5675	/
D1	9095	6077	/
D2	2436	5474	/
D3	1480	5170	/
D4	1565	5269	/
D5	1691	5324	/
D6	1276	5302	/
E1	6180	5924	/
E2	2961	5192	/
E3	2571	5202	/
E4	1358	5299	/
E5	968	5135	/
E6	639	4932	/
F1	5274	5645	/
F2	3112	5237	/
F3	2547	5132	/
F4	1317	5249	/
F5	1043	5165	/
F6	741	5005	/
G1	4327	5883	/
G2	3057	5744	/
G3	1924	5354	/
G4	1239	4930	/
G5	939	4936	/
G6	751	4934	/
H1	786	5209	/
I1	6380	6100	/
I2	392	5058	/
MEDIA	3099	5502	

Prendendo in considerazione i dati rilevati attraverso lo spettrofotometro, si può notare come all'interno dell'aula 201 quasi tutti i valori di illuminamento presenti

siano molto elevati (in alcune zone si superano i 3000 lux), tranne in alcuni punti ove non si raggiungono i 1000 lux.

Così come per la parte soggettiva, se si analizzano i dati oggettivi rilevati, si nota come tutta la parte sinistra (rispetto alla cattedra) dell'aula abbia dei valori più bassi di illuminamento. Questo fattore anche se l'aula presenta tutte le pareti vetrate, è dovuto alla posizione in cui è situata la zona di riferimento, in quanto affaccia sul corridoio interno dell'edificio.

Per quanto riguarda il rilievo acustico, i dati rilevati sono molto uniformi e si aggirano sui 55 dB, valore basso rispetto alle altre aule ma comunque elevato per un'aula universitaria. Questo è dovuto non solo al rumore esterno, minimo in quanto l'aula si trova al secondo piano, ma dalle pareti vetrate che garantiscono un'insonorizzazione dell'aula minore rispetto a delle pareti opache.

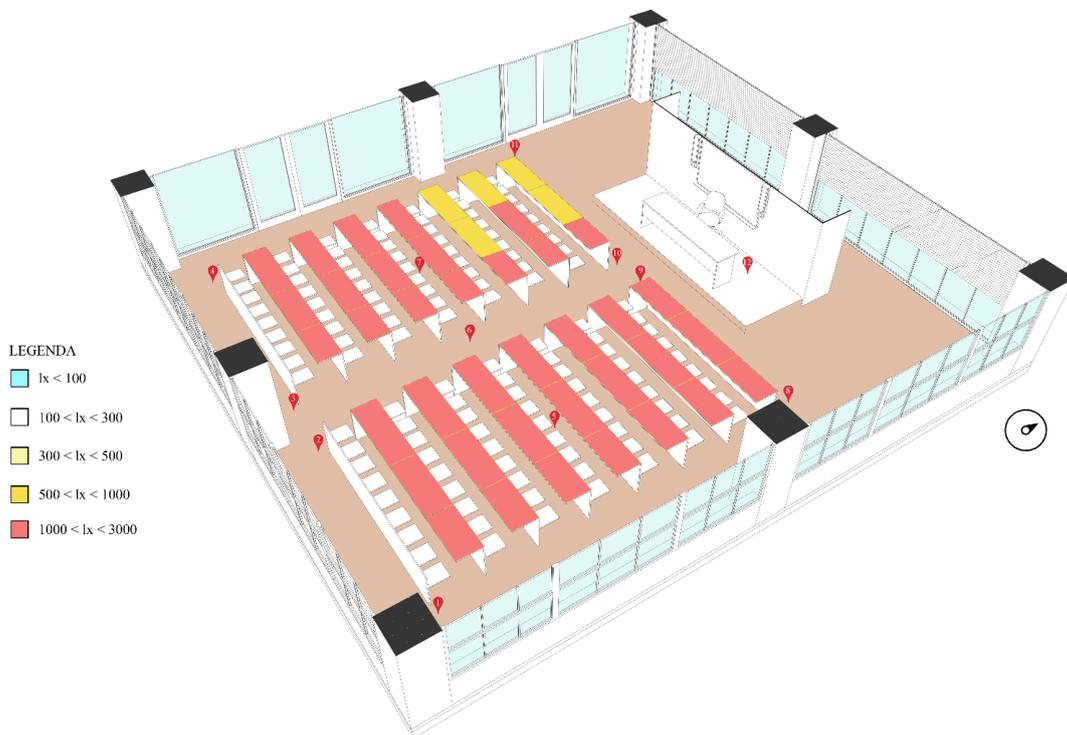


Fig. 204 Qualità illuminazione naturale rilevata.

4.7.1.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Proseguendo con l'analisi dei grafici del comfort visivo e soffermandosi su quelli relativi alla qualità dell'illuminazione naturale percepita all'interno dell'aula dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 201 allegato C Estivo), si nota come nel grafico complessivo le risposte siano orientate verso pareri positivi e quindi verso un livello di soddisfazione adeguato.

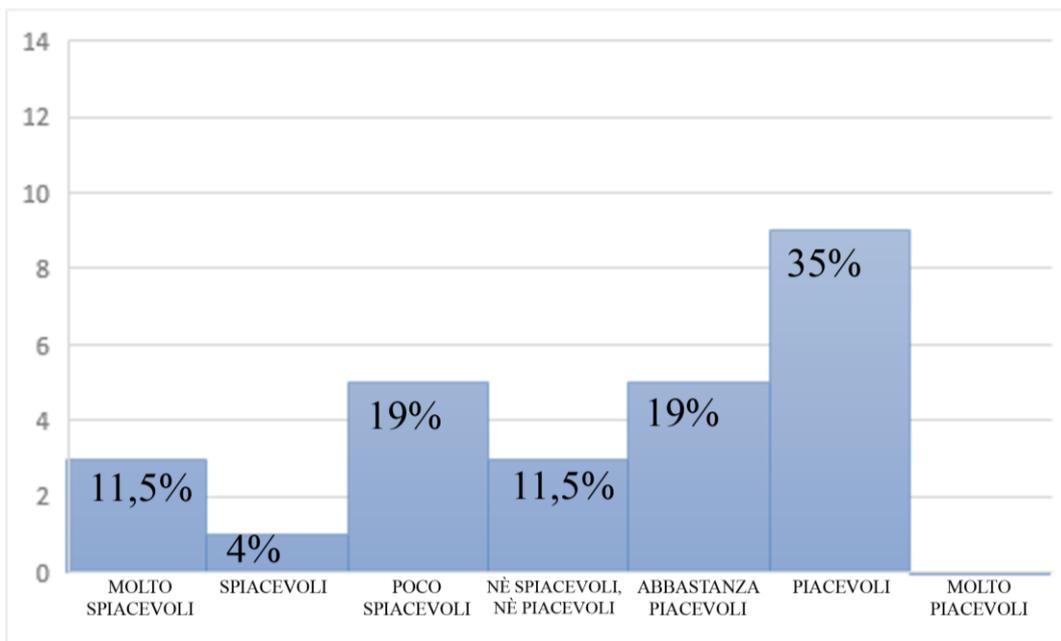


Fig. 205 Grafico istogramma complessivo sulla qualità dell'illuminazione naturale.

Questa variazione di risposte, se si osserva l'assonometria sulla quantità di illuminazione naturale rilevata è dovuta alla posizione degli studenti; infatti, tenendo conto dei grafici sulla qualità dell'illuminazione naturale disaggregati per zone (vedi fig. 206 e fig. 207), si nota come nella parte sinistra dell'aula ci sia un livello di illuminamento inferiore rispetto alla parte destra dovuta principalmente alla presenza delle pareti trasparenti verso l'esterno (vedi Tavola comfort visivo aula 201 allegato C Estivo).

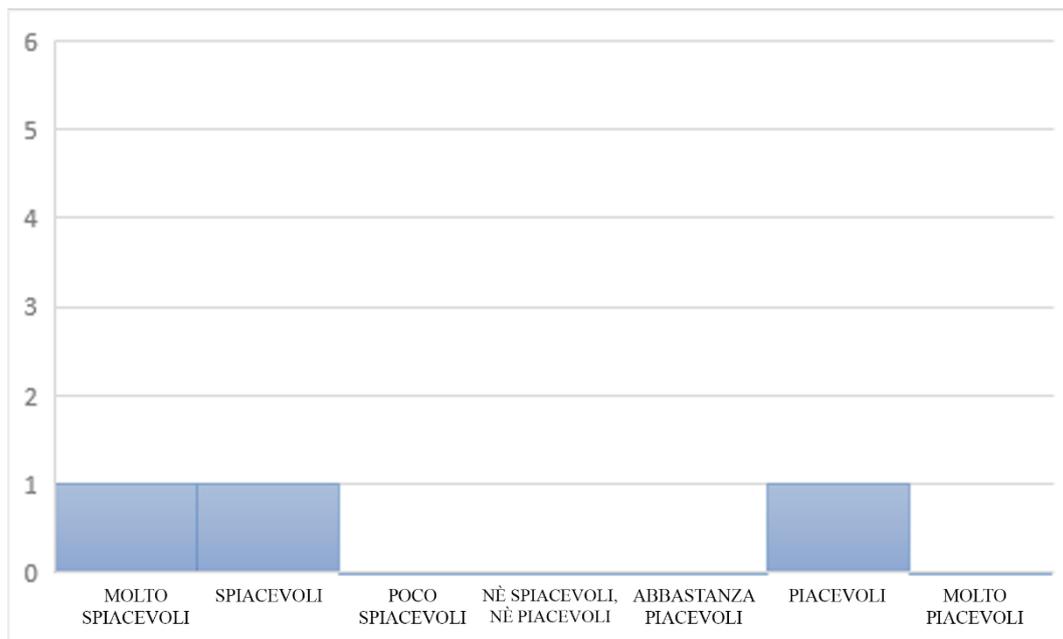


Fig. 206 Qualità illuminazione naturale percepita aula 201, prima - terza fila lato sinistro.

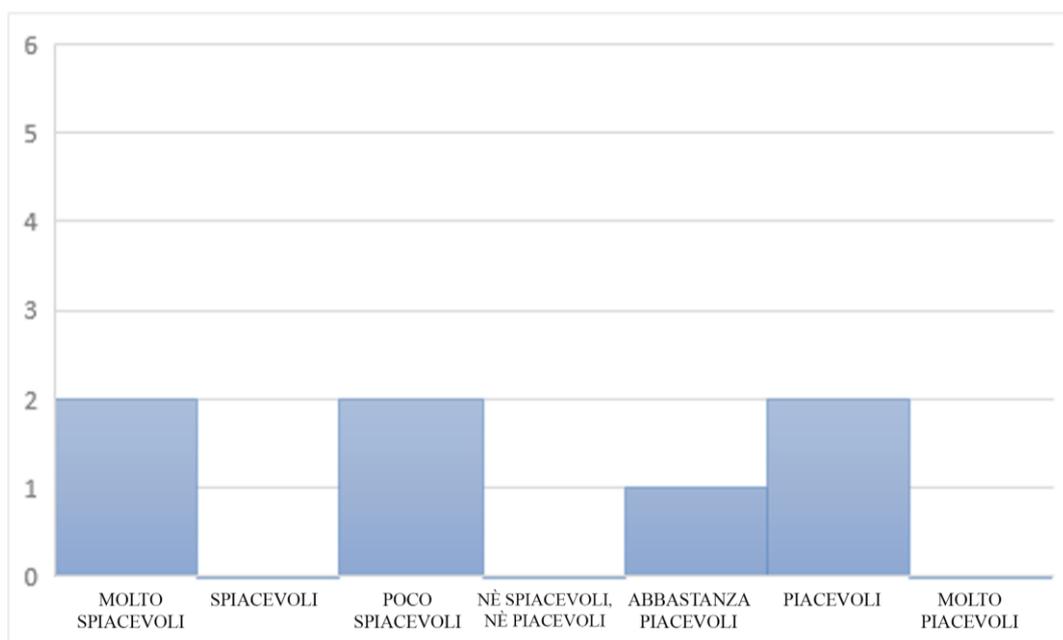


Fig. 207 Qualità illuminazione naturale percepita aula 201, terzultima - ultima fila lato sinistro.

Nel grafico sottostante (fig. 208) si è correlata la temperatura di colore media rilevata nell'aula con il colore della luce percepito dagli studenti. Si nota subito come i punti situati sul grafico siano in parte molto vicini alla linea di tendenza ed in parte lontani.

Questo fenomeno avviene in quanto la temperatura di colore è molto difficile da poter percepire, ed un solo grado di valore maggiore o minore rispetto alla giusta colorazione fa sì che il punto slitti lontano dalla media dell'aula.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto calda: -1.5	Calda: -1	Abbastanza calda: -0.5	Né fredda, né calda: 0	Abbastanza fredda: 0.5	Fredda: 1	Molto fredda: 1.5
-------------------	-----------	------------------------	------------------------	------------------------	-----------	-------------------

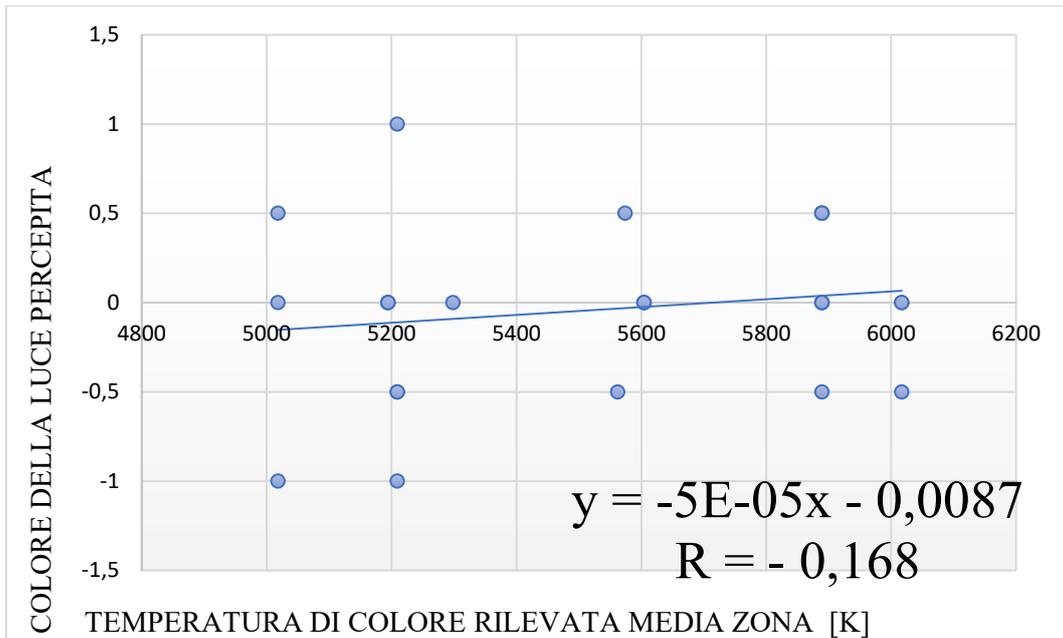


Fig. 208 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.

Per quanto riguarda sempre l'aula 201, un'altra correlazione molto significativa è quella espressa nel grafico successivo in cui si è correlato la sensazione luminosa percepita dagli studenti con l'illuminamento medio per zona rilevato.

In questo grafico si nota come molti punti siano completamente lontani dalla linea di tendenza estrapolata, ciò è dovuto ai numerosi dati di illuminamento rilevati che comprendono un range di misura molto ampio (da 500 a 7000 lux).

Il grafico seguente rappresenta i dati percepiti e rilevati correlati tra loro, analizzando a fondo questi si può dedurre come la maggior parte degli studenti (attraverso le loro risposte) si posizioni nella parte positiva del grafico. Quindi si può notare come le loro sensazioni siano abbastanza positive anche se il livello di illuminamento sia differente nelle varie zone dell'aula. Questo è dovuto alla presenza delle pareti trasparenti e dall'apertura delle schermature.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto spiacevoli: -1.5	Spiacevoli: -1	Poco piacevoli: -0.5	Né spiacevoli, né piacevoli: 0	Abbastanza piacevoli: 0.5	Piacevoli: 1	Molto piacevoli: 1.5
------------------------	----------------	----------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------	----------------------

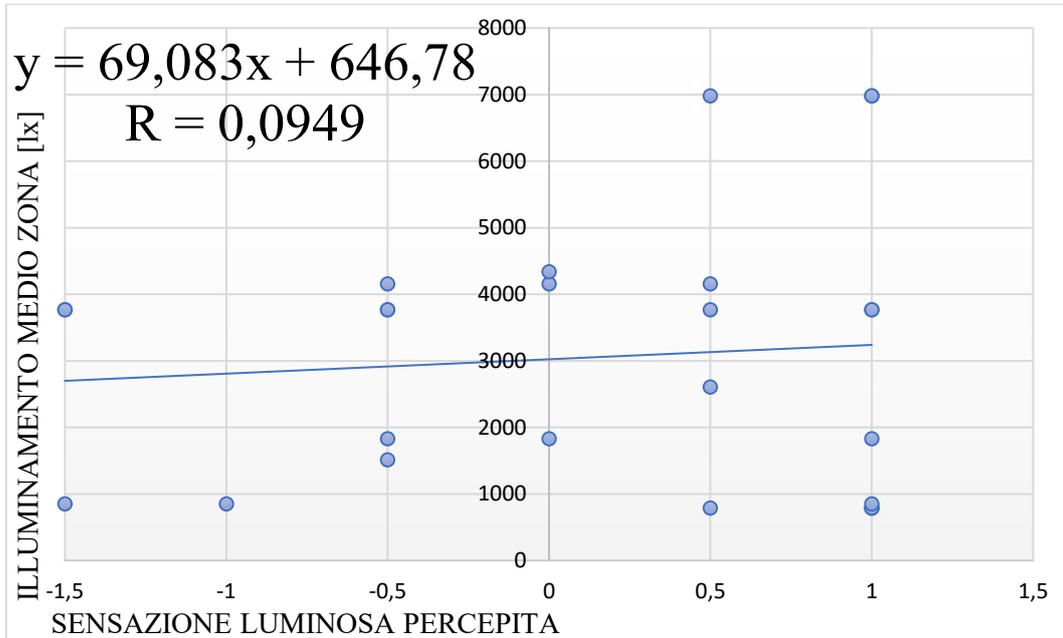


Fig. 209 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.

Un'altra analisi molto importante da tenere in considerazione per l'aula 201 sono i dati complessivi sul grado di soddisfazione sulla quantità di luce sulla lavagna, sui piani di lavoro, sullo schermo di proiezione e nell'aula stessa.

Il grafico seguente (fig. 210) mostra appunto il grado di soddisfazione sulla quantità di luce incidente sulla lavagna. Si nota subito come la maggior parte degli individui all'interno dell'aula siano abbastanza soddisfatti di ciò.

Questo dato è dovuto sia alla presenza di una quantità adeguata di illuminazione naturale, ma anche dovuto alla struttura stessa dell'aula. A differenza di aula come la 4V o la 7I, questa ha una struttura quadrata e dunque sviluppa la maggior parte dei banchi in larghezza, per questo motivo anche chi siede nelle ultime file ha la possibilità di avere un comfort visivo adeguato.

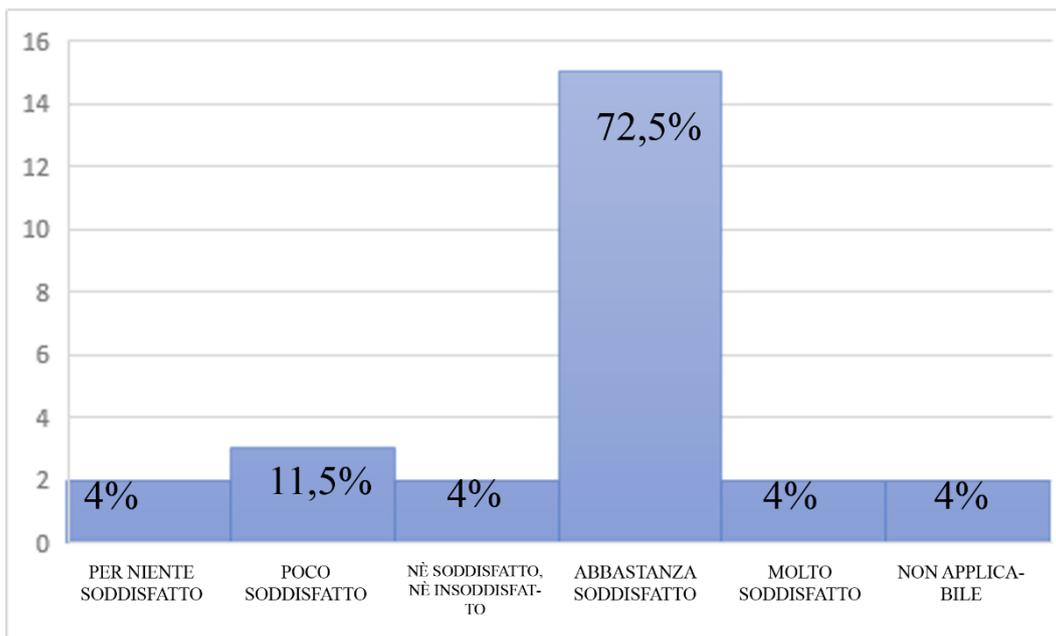


Fig. 210 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.

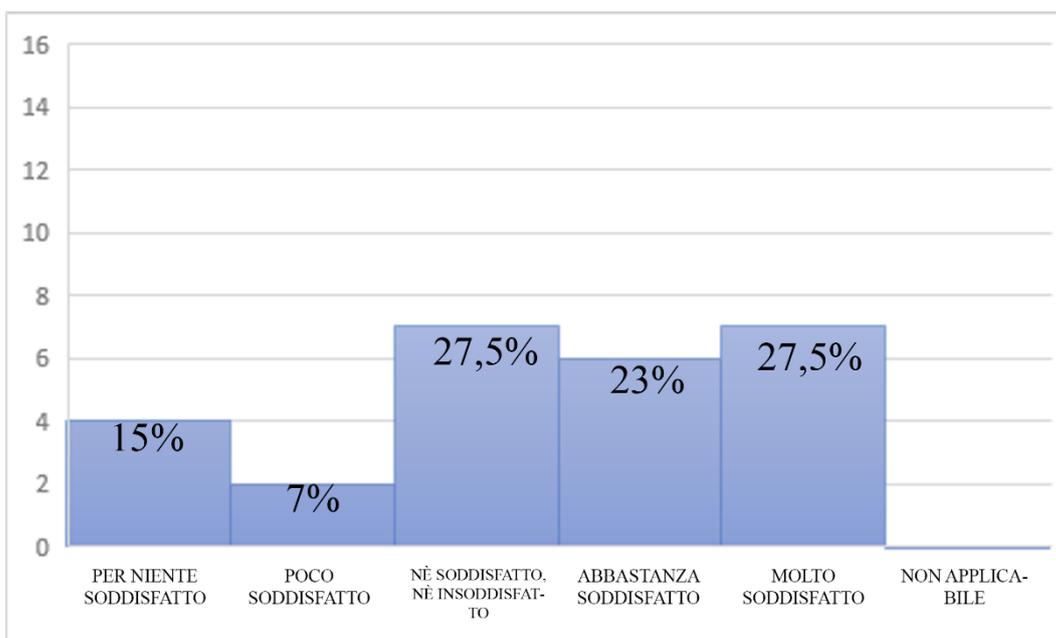


Fig. 211 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro (banco).

Non solo per la lavagna ma anche per il piano lavoro (banchi), gli studenti sono molto soddisfatti della quantità di luce incidente su di essi. Ovviamente, ci sono situazioni in cui la quantità di luce è inferiore ma è comunque compensata attraverso l'illuminazione artificiale.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Per niente soddisfatto: -1	Poco soddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Abbastanza soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
----------------------------	------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	----------------------

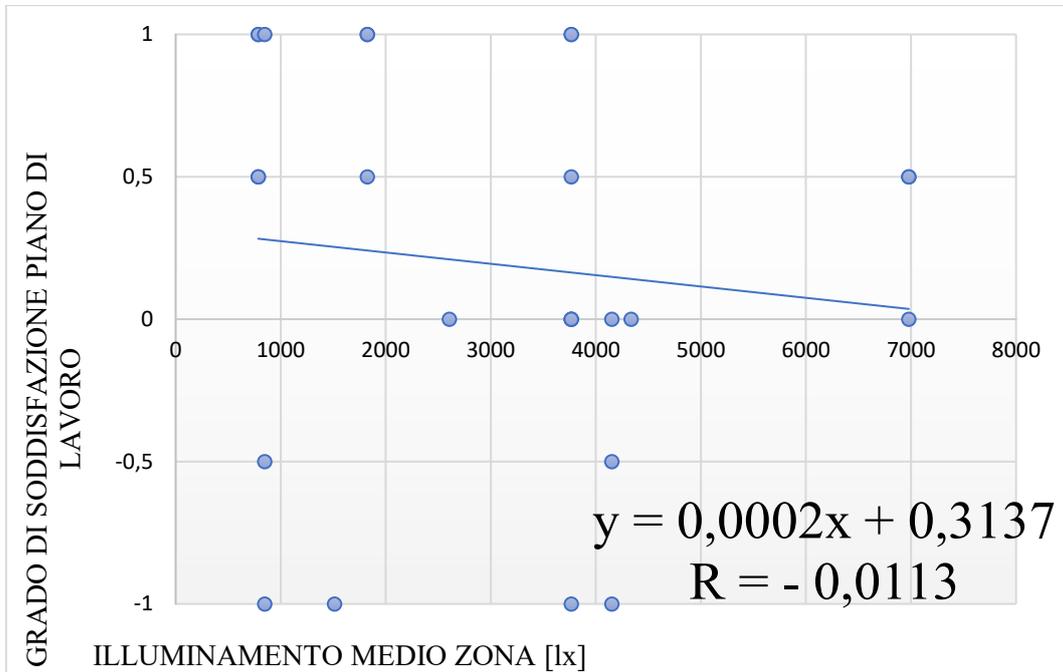


Fig. 212 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.

Correlando i dati sul grado di soddisfazione sulla quantità di luce incidente sui piani di lavoro con l'illuminamento medio rilevato sugli stessi piani (fig. 212), si osserva come anche in condizioni di illuminamento basso (1000 lux circa, basso per quest'aula ma molto alto rispetto alle altre aule) ci siano studenti che percepiscono un grado di soddisfazione alto e altri invece i quali sostengono che l'illuminamento incidente sia basso. Questi dati sono molto soggettivi, dunque le sensazioni percepite possono variare da persona a persona.

Per quanto riguarda lo schermo di proiezione (vedi fig. 213), molti studenti hanno risposto in modo insoddisfatto sulla quantità di luce incidente su di esso. Lo schermo di proiezione è sempre uno strumento un po' ambiguo in quanto se non vi è la giusta quantità di luce entrante nell'aula, provoca un affaticamento visivo. Allo stesso modo se vi è una quantità troppo elevata di luce, risulta difficile leggere i dati su di esso in quanto molto chiari.

Molte volte per poter utilizzare questi schermi si fa ricorso all'uso delle schermature per eliminare l'abbagliamento proveniente dall'esterno e dunque così facendo si riduce anche l'illuminazione incidente su di esso. Per questo motivo molti studenti possono risultare insoddisfatti.

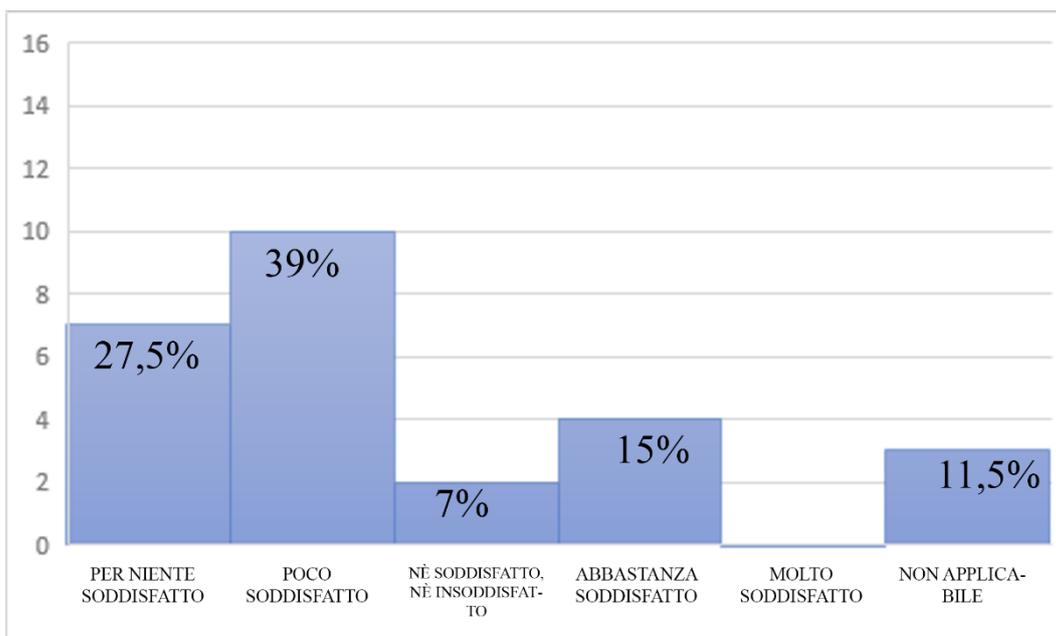


Fig. 213 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.

Il grafico sottostante (fig. 214) esprime il giudizio complessivo sul grado di soddisfazione sulla quantità di luce incidente nell'aula. Da ciò si nota come quasi tutti gli studenti siano soddisfatti dell'illuminazione dell'aula. Fattore positivo dovuto alle grandi vetrate e un'esposizione ideale dell'ambiente

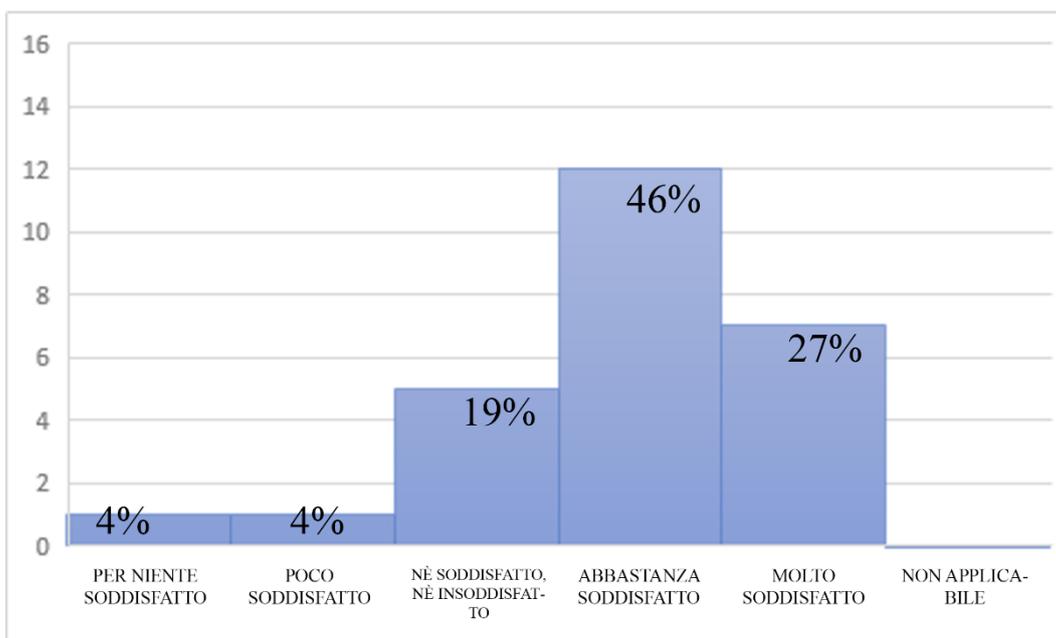


Fig. 214 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce all'interno dell'aula.

4.7.2 Stagione invernale

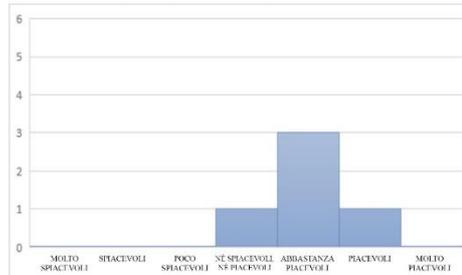
4.7.2.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

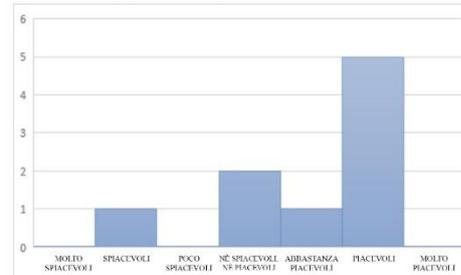
“Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?”

Qualità illuminazione naturale percepita

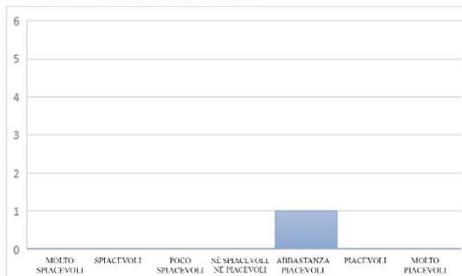
Prima - terza fila lato destro



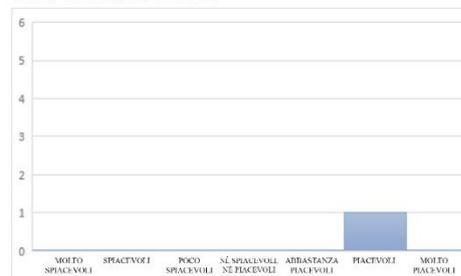
Prima - terza fila lato sinistro



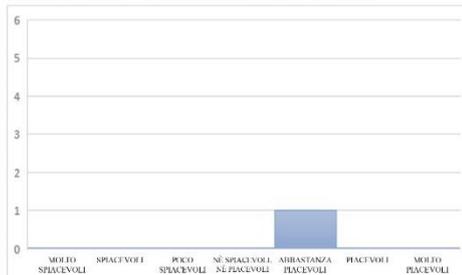
Prima - terza fila centro



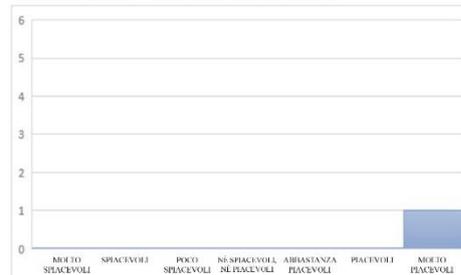
Fila centrale centro



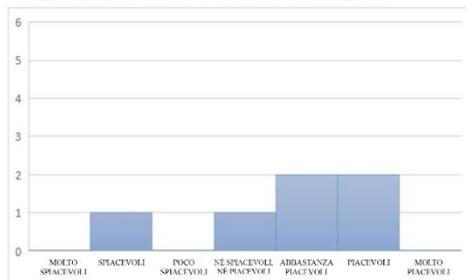
Terzultima - ultima fila lato destro



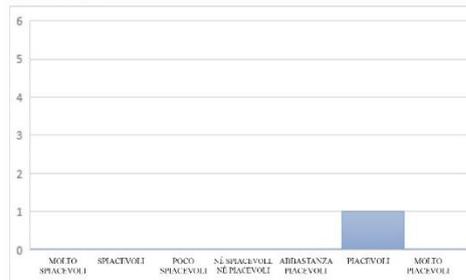
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



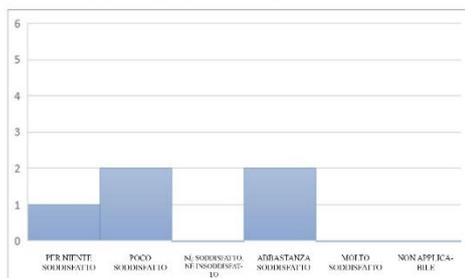
Analizzando i grafici ottenuti è possibile trarre alcune considerazioni descritte in seguito.

La quasi totalità degli studenti a cui è stato somministrato il questionario reputa soddisfacenti le condizioni di qualità di illuminazione naturale presenti in ambiente. Il dato più interessante viene fuori dai grafici “Prima - terza fila lato sinistro” e “Prima - terza fila lato destro”: in entrambi i casi sono stati assegnati giudizi positivi, la risposta più frequente è “Piacevoli”, nonostante siano le zone più buie dell’ambiente. La motivazione deriva dal fatto che nonostante la luce artificiale sia spenta e il cielo nuvoloso, la quantità di luce naturale in aula è adeguata e garantita dalle grandi vetrate poste sulle pareti sud ed est.

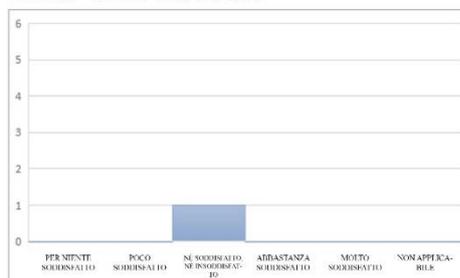
“Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione del piano lavagna?”

Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna

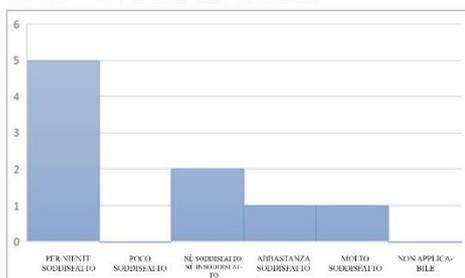
Prima - terza fila lato destro



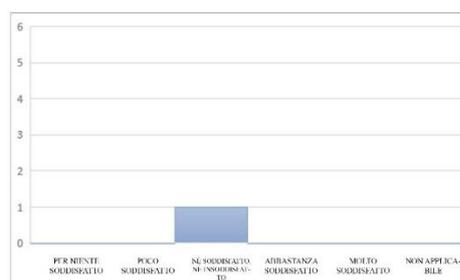
Prima - terza fila centro



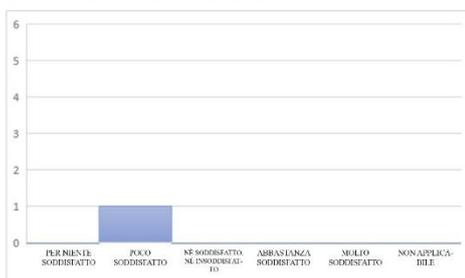
Prima - terza fila lato sinistro



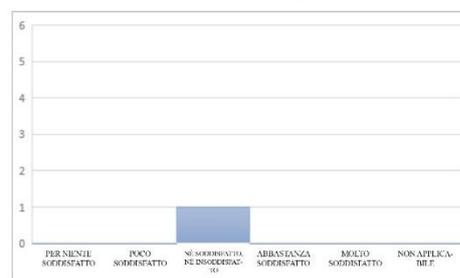
Fila centrale - centro



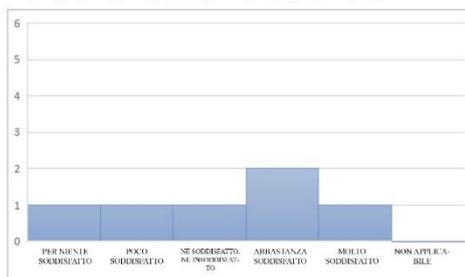
Terzultima - ultima fila lato destro



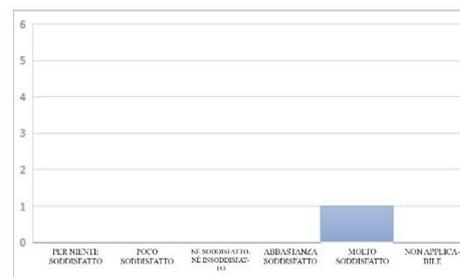
Terzultima - ultima fila lato centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



A volte, la grande quantità di illuminazione naturale compromette la corretta visione del piano lavagna: l'illuminazione artificiale, è spesso di tipo zenitale e non crea luminanze elevate o riflessioni sul piano lavagna. Al contrario la luce naturale, se entra lateralmente dalle finestre può creare luminanze elevate e riflessioni sul piano lavagna in alcuni momenti della giornata.

Molti studenti infatti in questo caso, hanno espresso un grado di insoddisfazione dell'illuminazione del piano lavagna.

Tuttavia, si può notare come gli studenti disposti frontalmente al piano lavagna abbiano risposto prevalentemente “Né soddisfatto, né insoddisfatto”, presumibilmente perché non percepiscono le riflessioni sul piano lavagna grazie alla loro posizione.

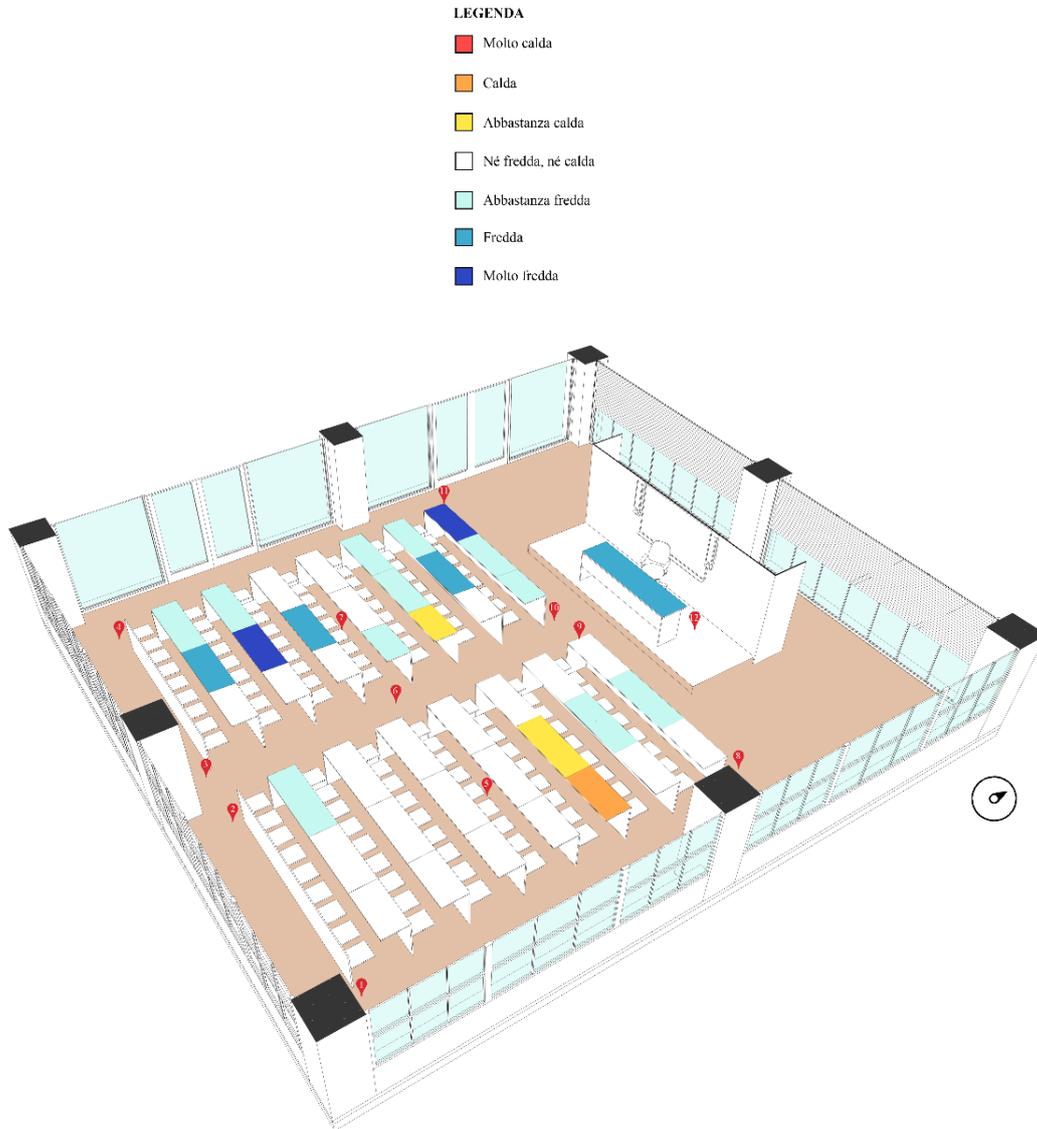


Fig. 215 Temperatura di colore correlata percepita.

4.7.2.2 Analisi oggettive

COMFORT VISIVO	Condizioni globali	Condizioni metereologiche	Ostruzioni esterne	Schermature interne	Illuminazione artificiale
		Inverno	Nuvoloso	No	Tende aperte

Tabella 34 Dati illuminotecnici invernali rilevati in aula 201.

PUNTI	ILLUMINAMENTO [lx]	TEMPERATURA DI COLORE [K]	CONDIZIONI METEO
A1	853	6048	NUVOLOSO
A2	643	5954	/
A3	352	5872	/
A4	381	5874	/
A5	449	5847	/
A6	410	5857	/
B1	670	6024	/
B2	391	5980	/
B3	245	5771	/
B4	250	5762	/
B5	377	5903	/
B6	254	5728	/
C1	516	6044	/
C2	371	6028	/
C3	223	5776	/
C4	257	5716	/
C5	179	5642	/
C6	180	5527	/
D1	424	6078	/
D2	344	5942	/
D3	209	5663	/
D4	180	5701	/
D5	94	5278	/
D6	124	5642	/
E1	474	5928	/
E2	176	5637	/
E3	170	5572	/
E4	143	5541	/
E5	65	5042	/
E6	60	5173	/
F1	292	5979	/
F2	198	5753	/
F3	180	5653	/
F4	120	5529	/
F5	62	5235	/
F6	55	5148	/
G1	420	6113	/
G2	205	5796	/
G3	145	5672	/
G4	59	5367	/
G5	73	5553	/
G6	51	5337	/
H1	187	5876	/
I1	102	6409	/
I2	76	5341	/
MEDIA	260	5718	

L'illuminamento medio rilevato è di 260 [lx], considerando che il rilievo è stato effettuato in condizioni dove l'unico contributo è dato dalla luce naturale in condizioni di cielo coperto è ritenibile molto soddisfacente.

Le misure effettuate sui banchi in prossimità delle vetrate mostrano valori di illuminamento decisamente soddisfacenti e quasi sempre superiori a 500 [lx]. Allontanandosi dalle vetrate si ha un decremento costante dell'illuminamento fino a toccare, nel banco più lontano dalle superfici finestrate, il valore di 51 [lx].

La temperatura di colore correlata media rilevata è di 5718 [K] e risulta abbastanza uniforme in tutto il locale, leggermente più alta in prossimità delle aperture dove tocca i 6000 [K].

È quindi paragonabile ad una percezione di “Bianco freddo”.

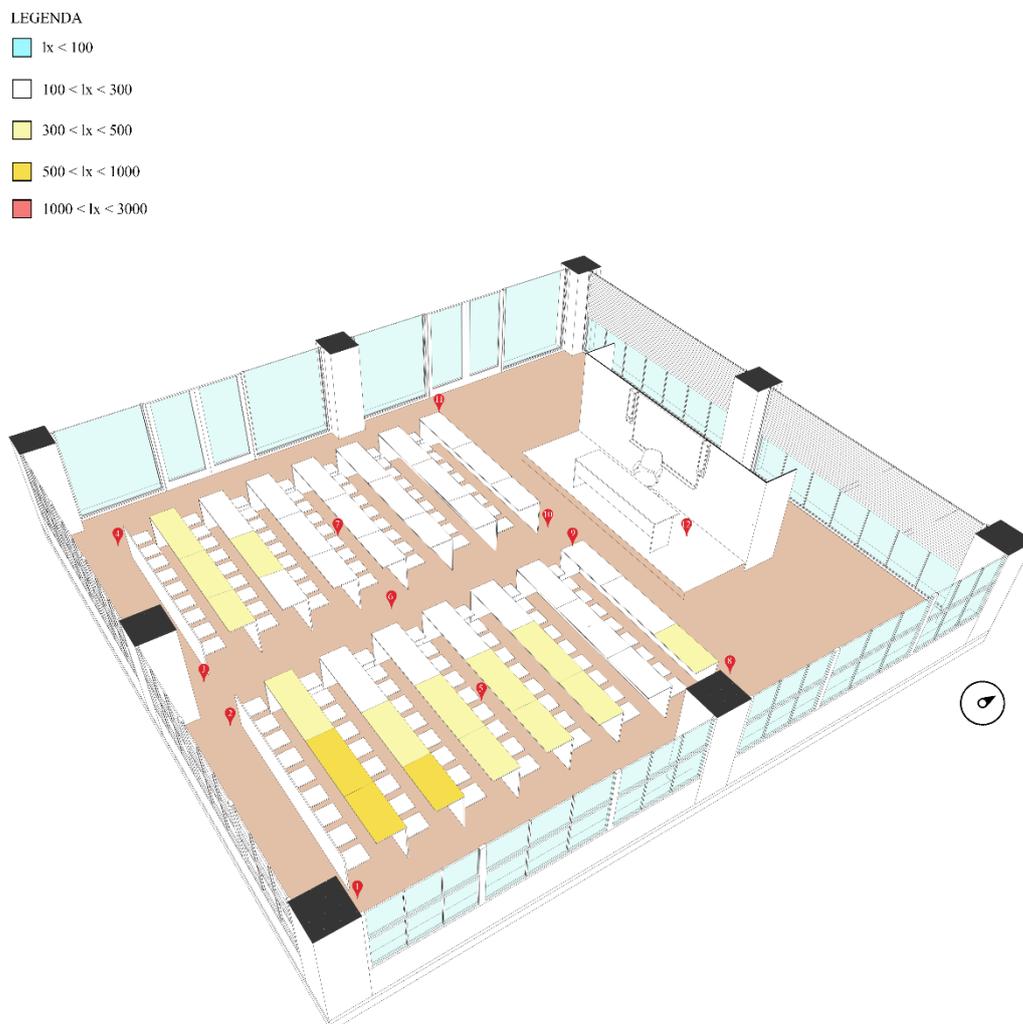


Fig. 216 *Qualità illuminazione naturale rilevata.*

4.7.2.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Proseguendo con l'analisi dei grafici del comfort visivo e soffermandosi su quelli relativi alla qualità dell'illuminazione naturale percepita all'interno dell'aula dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 201 allegato C Invernale), si nota come nel grafico complessivo le risposte siano orientate verso pareri positivi e quindi verso un livello di soddisfazione adeguato.

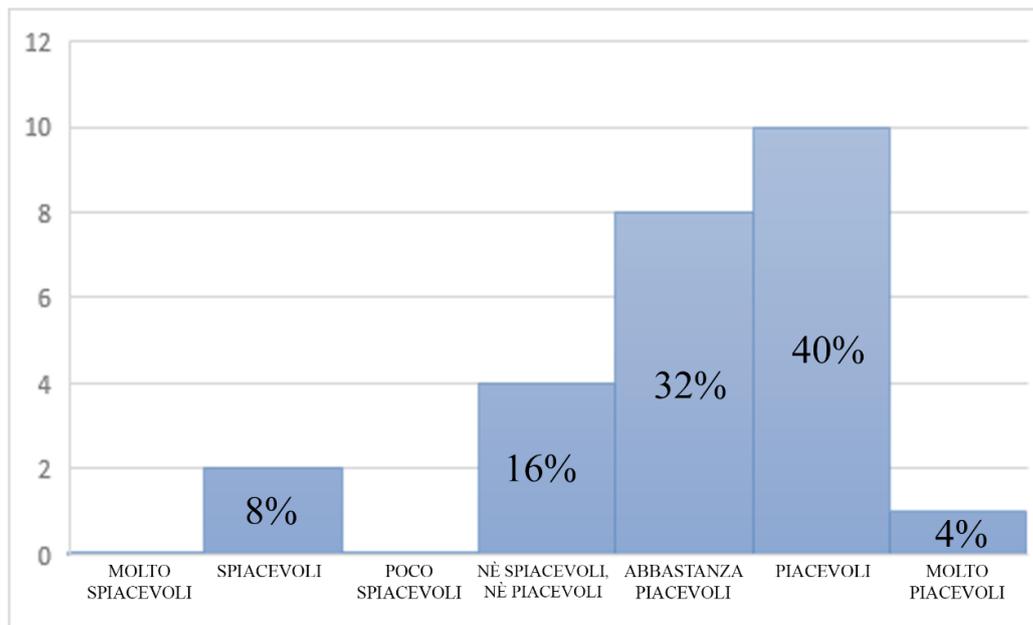


Fig. 217 Grafico istogramma complessivo sulla qualità dell'illuminazione naturale.

Questa variazione di risposte, se si osserva l'assonometria sulla quantità di illuminazione naturale rilevata è dovuta alla posizione degli studenti; infatti, tenendo conto dei grafici sulla qualità dell'illuminazione naturale disaggregati per zone (vedi fig. 218 e fig. 219), si nota come nella parte sinistra dell'aula ci sia un livello di illuminamento inferiore rispetto alla parte destra dovuta principalmente alla presenza delle pareti trasparenti verso l'esterno (vedi Tavola comfort visivo aula 201 allegato C Invernale).

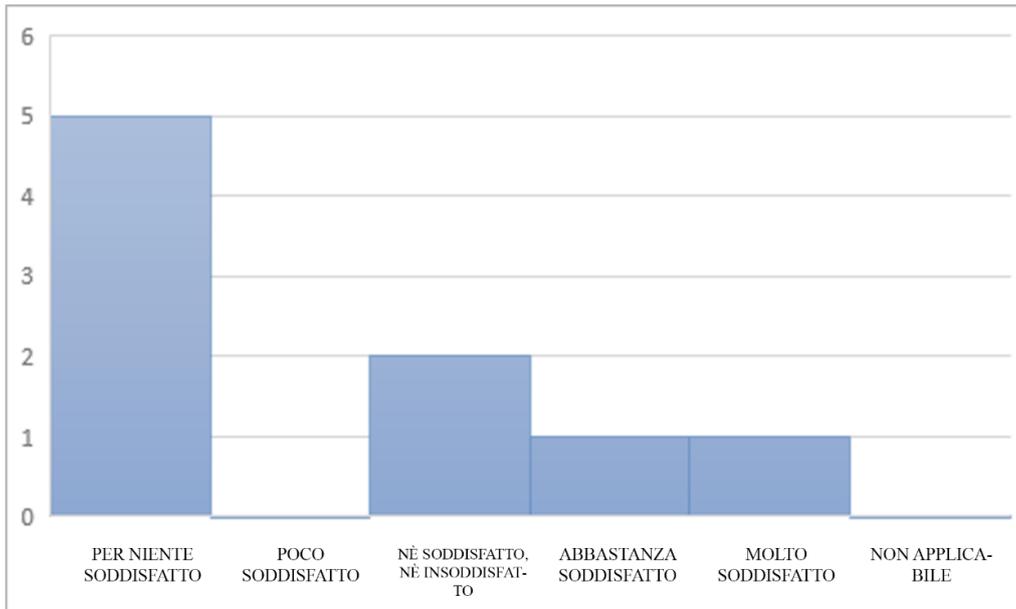


Fig. 218 *Qualità illuminazione naturale percepita aula 201, prima - terza fila lato sinistro.*

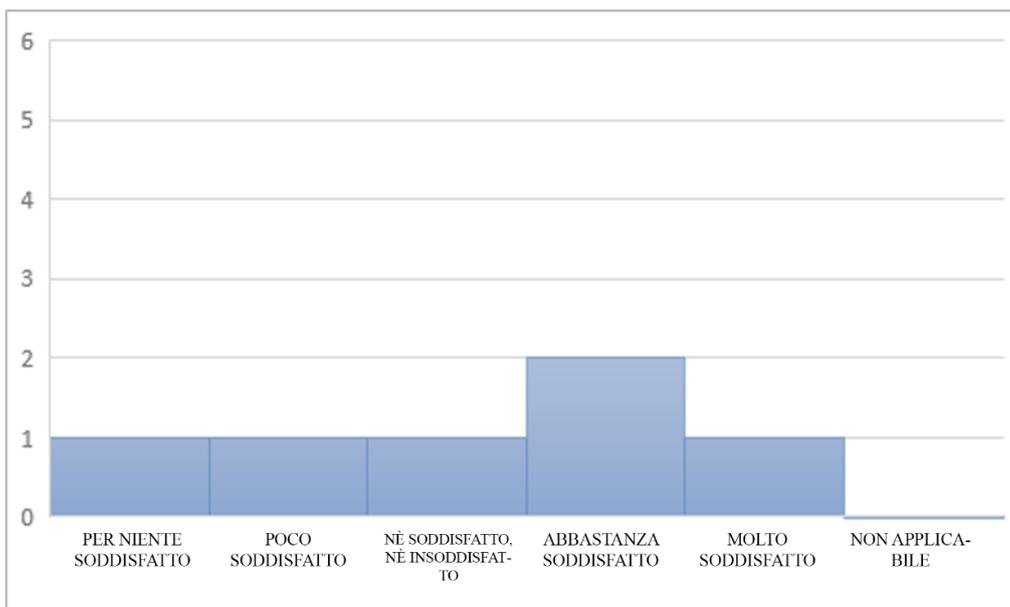


Fig. 219 *Qualità illuminazione naturale percepita aula 201, terzultima - ultima fila lato sinistro.*

Analizzando i grafici sopra raffigurati è riscontrabile un tasso di insoddisfazione elevato a causa delle condizioni metereologiche presenti durante l'analisi e illuminazione artificiale spenta.

Tuttavia, il grafico "Terzultima - ultima fila lato sinistro" mostra valori di apprezzamento più alti in quanto tratta una zona prossima alla vetrata sud quindi più luminosa.

Nel grafico sottostante (fig. 220) si è correlata la temperatura di colore media rilevata nell'aula con il colore della luce percepito dagli studenti. La temperatura di colore rilevata risulta uniforme nell'aula e riscontra un valore medio di 5718 [K] che si rispecchia nel giudizio medio ovvero "Abbastanza fredda". Facendo riferimento al valore di R ovvero l'indice di correlazione, emerge che non si verifica alcuna correlazione in quanto prossimo allo 0, questo perché nell'ambiente è presente un valore abbastanza uniforme di temperatura di colore correlata in tutte le zone, è quindi difficile che le piccole variazioni si riflettano sull'analisi soggettiva.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto calda -1.5	Calda: -1	Abbastanza calda: -0.5	Né fredda, né calda: 0	Abbastanza fredda: 0.5	Fredda: 1	Molto fredda: 1.5
------------------	-----------	------------------------	------------------------	------------------------	-----------	-------------------

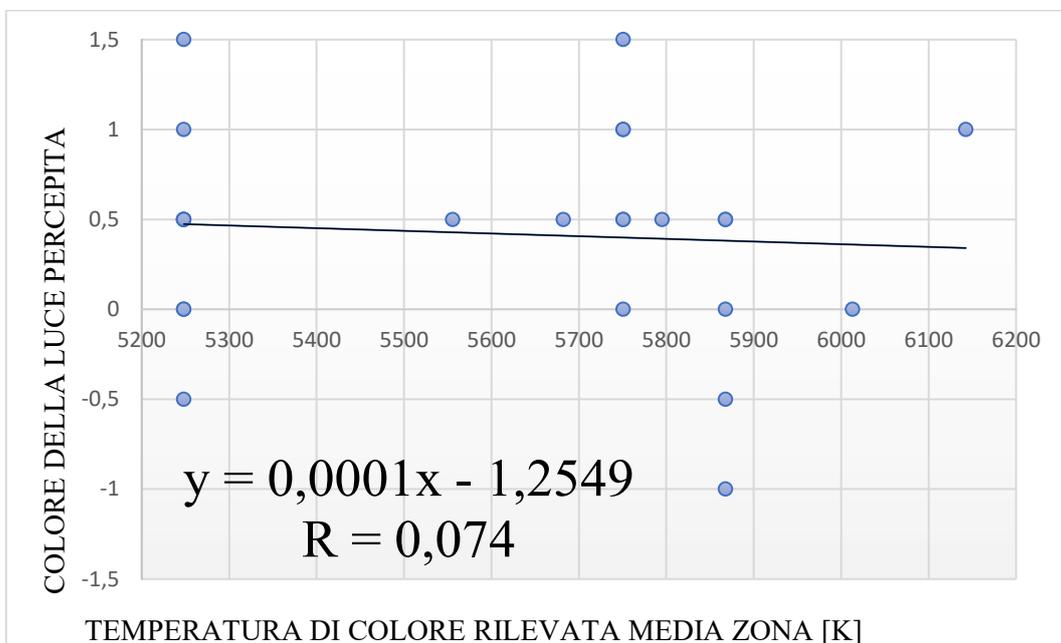


Fig. 220 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.

Per quanto riguarda sempre l'aula 201, un'altra correlazione molto significativa è quella espressa nel grafico successivo in cui si è correlato la sensazione luminosa percepita dagli studenti con l'illuminamento medio per zona rilevato. In questo grafico si nota come molti punti siano completamente lontani dalla linea di tendenza estrapolata, ciò è dovuto ai numerosi dati di illuminamento rilevati che comprendono un range di misura molto ampio (da 500 a 7000 lux).

Il grafico seguente rappresenta i dati percepiti e rilevati correlati tra loro, analizzando a fondo questi si può dedurre come la maggior parte degli studenti (attraverso le loro risposte) si posizioni nella parte positiva del grafico. Quindi si può notare come le loro sensazioni siano abbastanza positive anche se il livello di illuminamento sia differente nelle varie zone dell'aula. Questo perché, anche nelle

zone con valori di illuminamento più bassi, non si riscontrano particolari disagi di comfort visivo.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto spiacevoli: -1.5	Spiacevoli: -1	Poco piacevoli: -0.5	Né spiacevoli, né piacevoli: 0	Abbastanza piacevoli: 0.5	Piacevoli: 1	Molto piacevoli: 1.5
------------------------	----------------	----------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------	----------------------

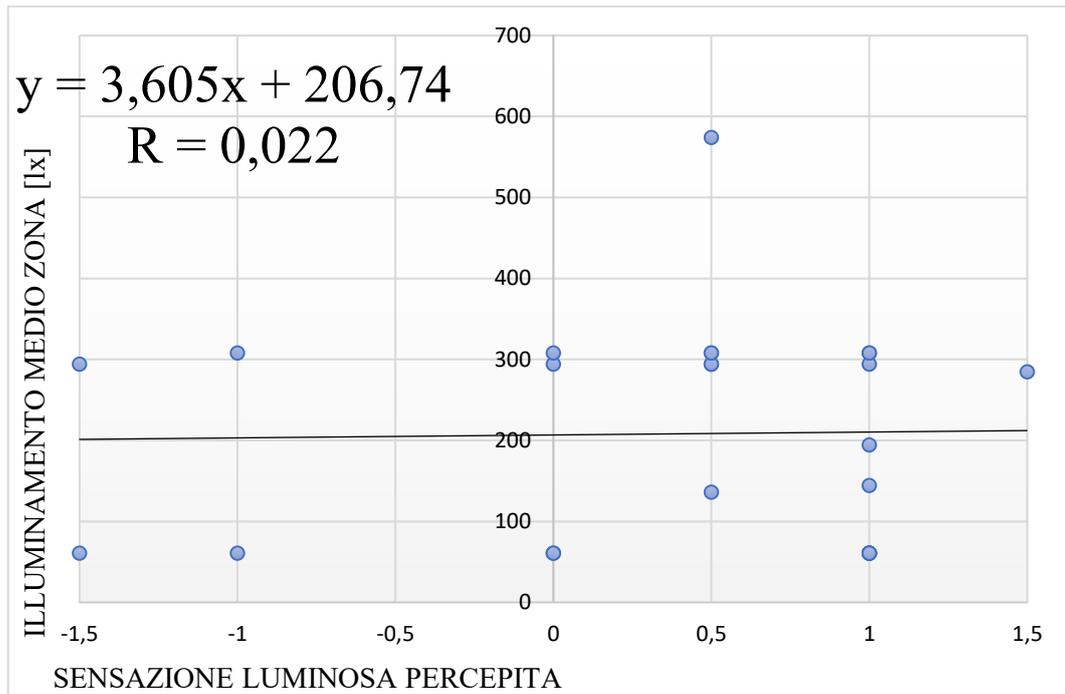


Fig. 221 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.

Un'altra analisi molto importante da tenere in considerazione per l'aula 201 sono i dati complessivi sul grado di soddisfazione sulla quantità di luce sulla lavagna, sui piani di lavoro e sullo schermo di proiezione.

Il grafico seguente (fig. 222) mostra il grado di soddisfazione sulla quantità di luce incidente sulla lavagna. Si nota subito come la maggior parte degli individui all'interno dell'aula non siano molto soddisfatti.

Una delle ragioni di questo fatto può essere attribuita all'inattività dell'impianto di illuminazione artificiale in condizioni meteorologiche che ne richiedevano l'utilizzo. Tuttavia, è presente anche un discreto numero di persone che si ritengono soddisfatte presumibilmente dovuto alla loro posizione favorevole nell'ambiente.

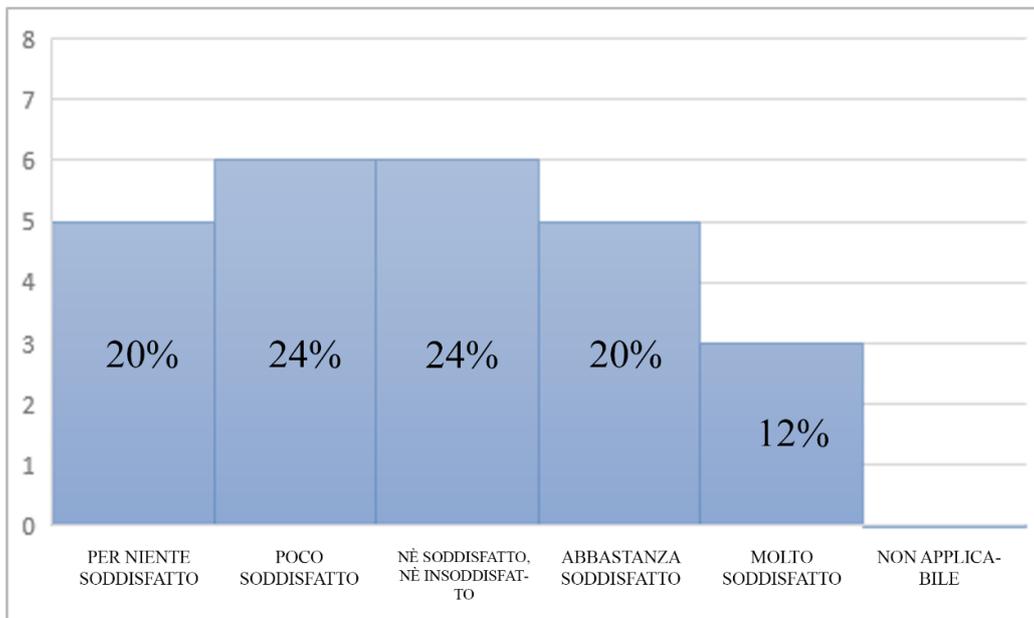


Fig. 222 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.

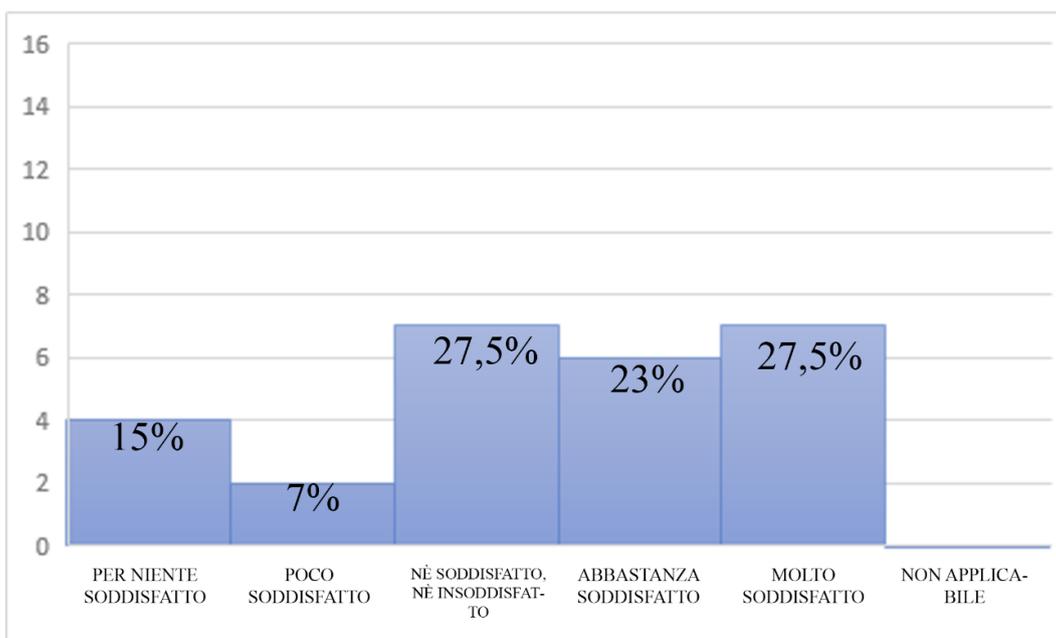


Fig. 223 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro (banco).

Pareri simili si verificano sull'illuminazione del piano di lavoro, anche in questo caso la ragione di questo malcontento generale è riconducibile alla mancanza di illuminazione artificiale, in condizioni che ne richiedevano l'utilizzo.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Per niente soddisfatto: -1	Poco soddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Abbastanza soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
----------------------------	------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	----------------------

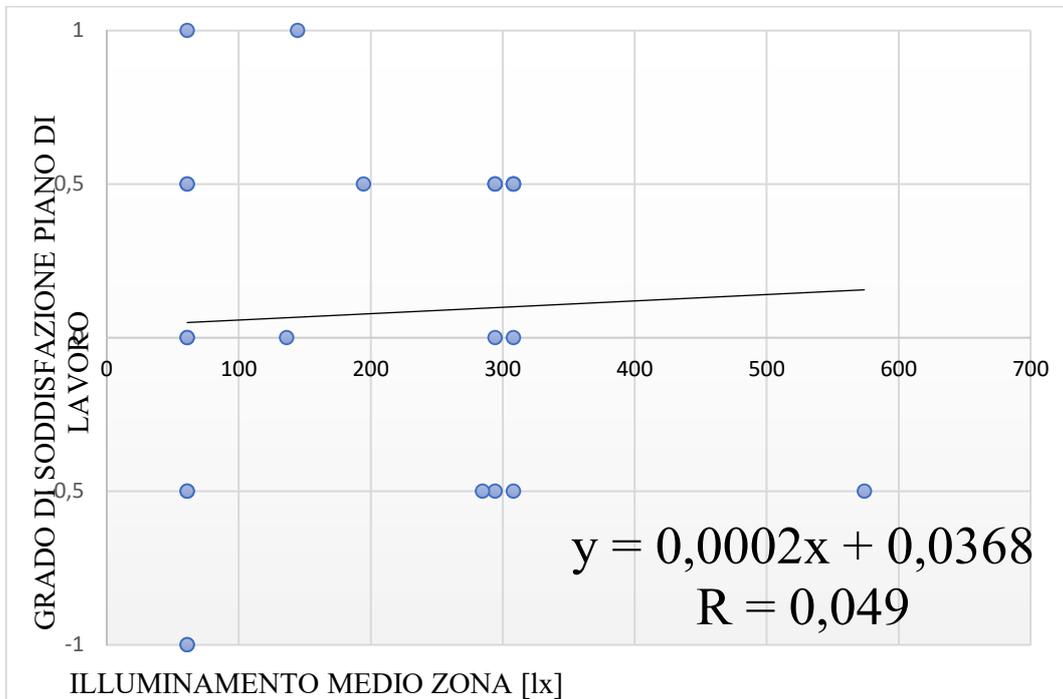


Fig. 224 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.

Correlando i dati sul grado di soddisfazione sulla quantità di luce incidente sui piani di lavoro con l'illuminamento medio rilevato sugli stessi piani (fig. 224), si osserva come anche in condizioni di illuminamento basso ci siano studenti che esprimono un grado di soddisfazione alto, altri invece sostengono che l'illuminamento incidente sia basso. Questi dati sono molto soggettivi, dunque le sensazioni percepite possono variare da persona a persona.

Per quanto riguarda lo schermo di proiezione (vedi fig. 225), molti studenti hanno risposto in modo insoddisfatto sulla quantità di luce incidente su di esso. Lo schermo di proiezione è sempre uno strumento ambiguo in quanto se non vi è la giusta quantità di luce entrante nell'aula, provoca un affaticamento visivo. Allo stesso modo se vi è una quantità troppo elevata di luce, risulta difficile leggere i dati su di esso in quanto molto chiari.

Molte volte per poter utilizzare questi schermi si fa ricorso all'uso delle schermature per eliminare l'abbagliamento proveniente dall'esterno e dunque così facendo si riduce anche l'illuminazione incidente su di esso. Per questo motivo molti studenti possono risultare insoddisfatti.

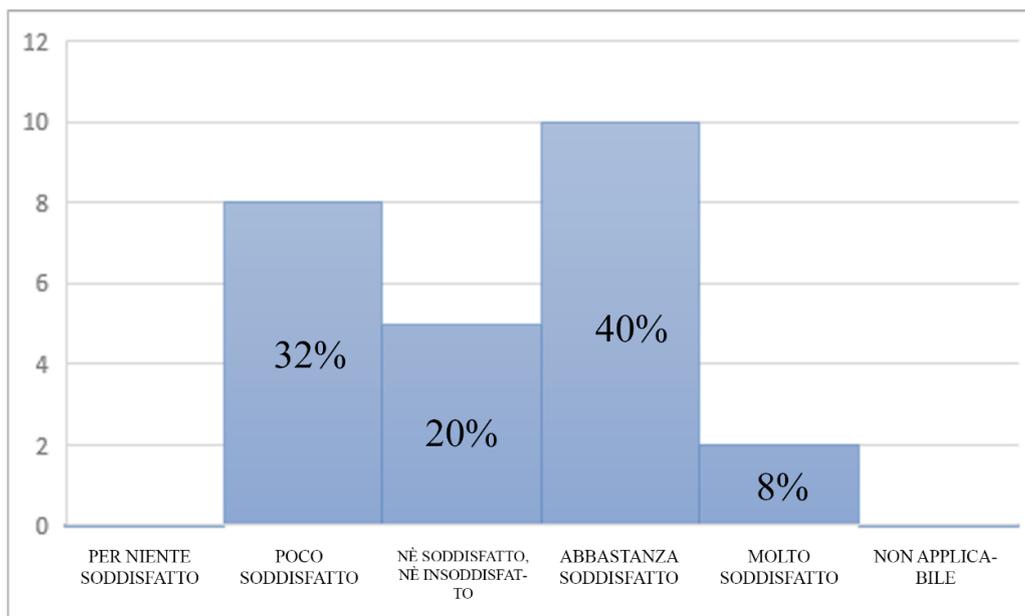


Fig. 225 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.

Il grafico sottostante (fig. 226) esprime il giudizio complessivo sul grado di soddisfazione sulla quantità di luce incidente nell'aula. Da ciò si nota come vi sia una divisione abbastanza netta dei pareri, più orientati verso il gradimento. Considerando le condizioni metereologiche avverse e il mancato contributo dell'illuminazione artificiale questo dato può ritenersi positivo e certifica le buone condizioni generali di comfort visivo nell'ambiente.

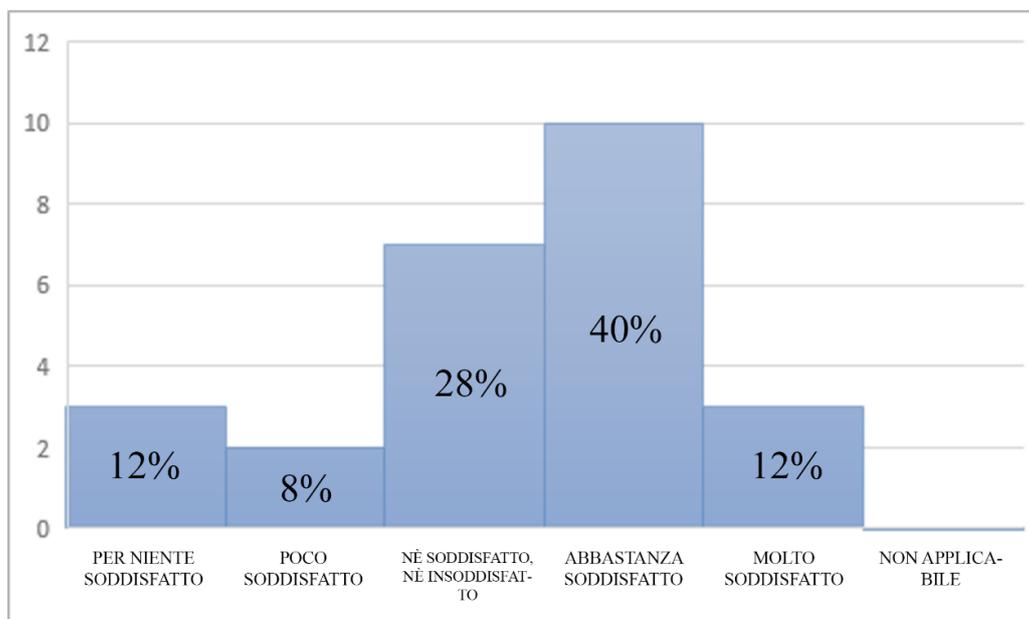


Fig. 226 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce all'interno dell'aula.

4.8 Aula 7I

Il rilievo illuminotecnico estivo è stato eseguito in parallelo con quello termico, l'aula presentava schermature interne (tende) aperte su entrambi i lati, l'illuminazione artificiale accesa e le condizioni metereologiche erano ottimali in quanto soleggiato.

Per quanto riguarda il rilievo invernale, le tende interne erano chiuse completamente, il cielo era nuvoloso con leggere precipitazioni e l'illuminazione artificiale era accesa.

All'interno dell'aula è presente un impianto di illuminazione composto da 24 corpi illuminanti a quattro neon. Inoltre, l'aula ha un'intera parete vetrata verso Sud, schermata da delle tende apribili all'occorrenza.

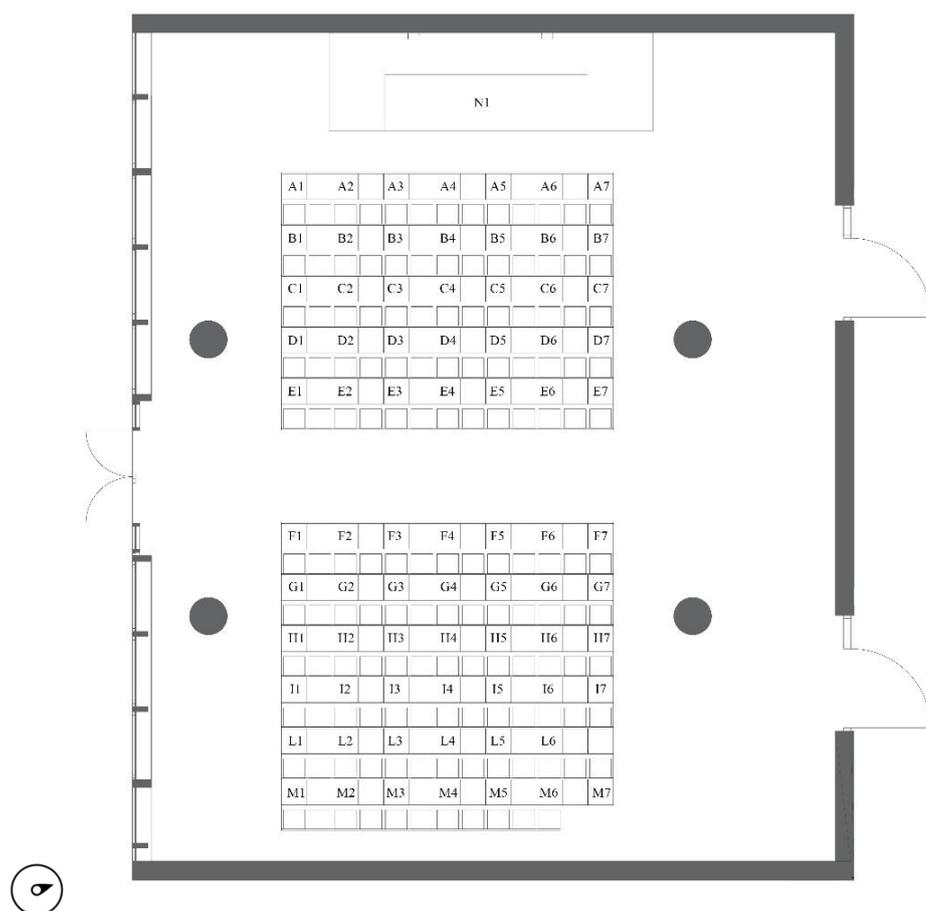


Fig. 227 Pianta aula 7I con punti di rilievo illuminotecnico.

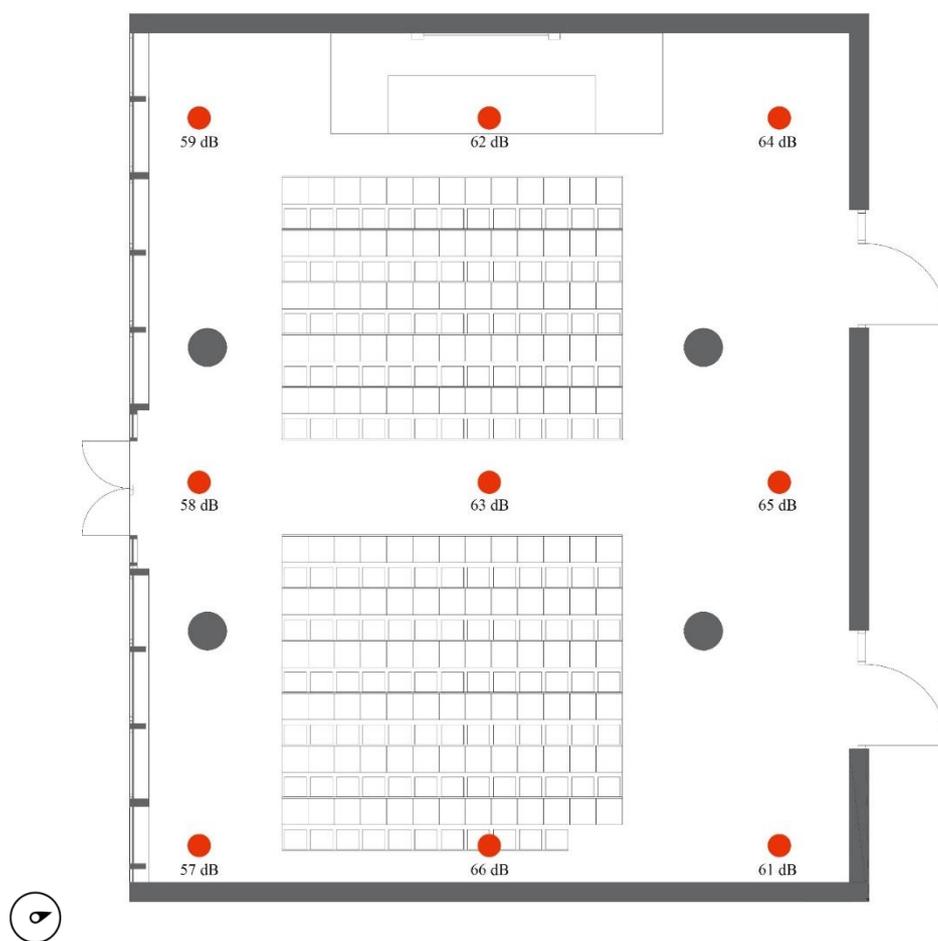


Fig. 228 Pianta aula 71 con punti di rilievo acustico.

4.8.1 Stagione estiva

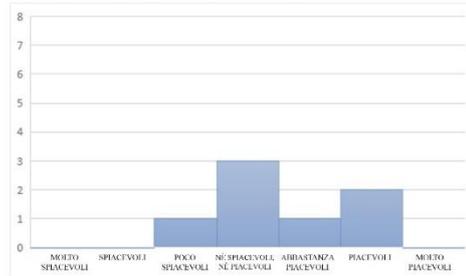
4.8.1.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

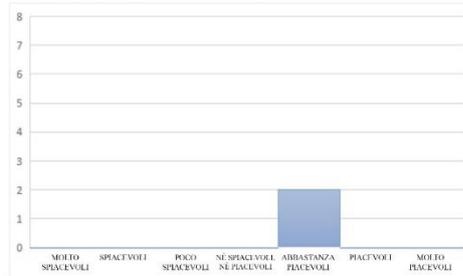
“Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?”

Qualità illuminazione naturale percepita

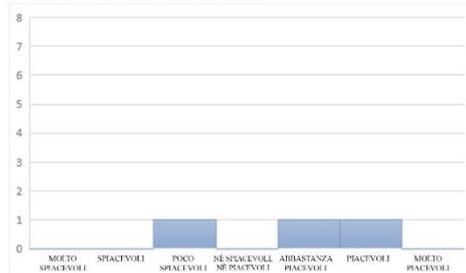
Prima - terza fila lato destro



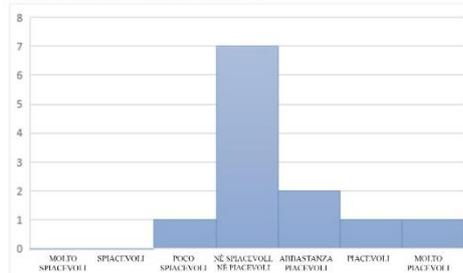
Prima - terza fila lato sinistro



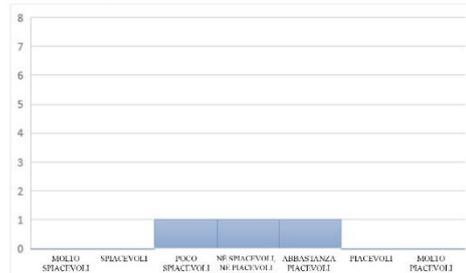
Prima - terza fila centro



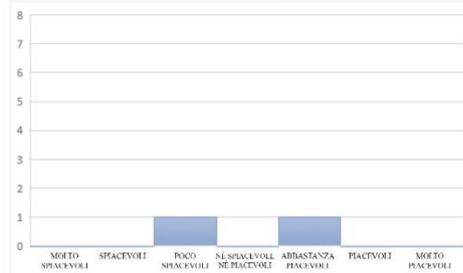
Fila centrale lato destro



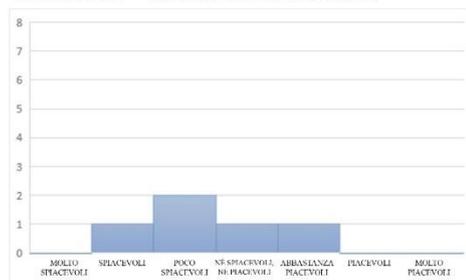
Fila centrale - centro



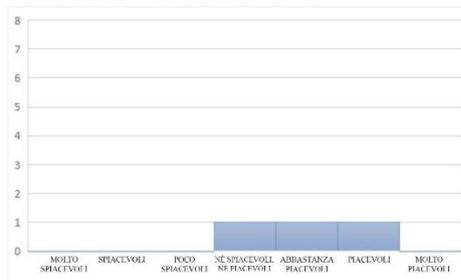
Fila centrale lato sinistro



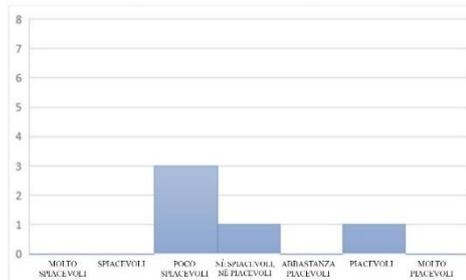
Terzultima - ultima fila lato destro



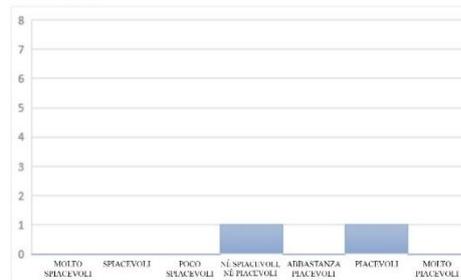
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



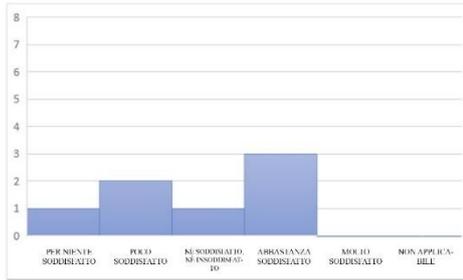
I dati più significativi inerenti alla domanda sulla qualità dell'illuminazione naturale sono abbastanza uniformi per tutto l'ambiente.

Questo fattore è dovuto alla quantità adeguata di illuminamento entrante nell'aula, avendo un'intera parete vetrata. Anzi, molte volte in quella stessa aula vengono chiuse le schermature interne per evitare abbagliamenti fastidiosi sui piani di lavoro e sulla lavagna.

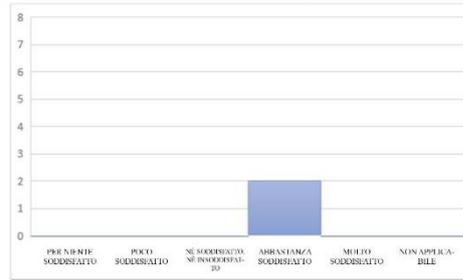
“Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione del piano lavagna?”

Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna

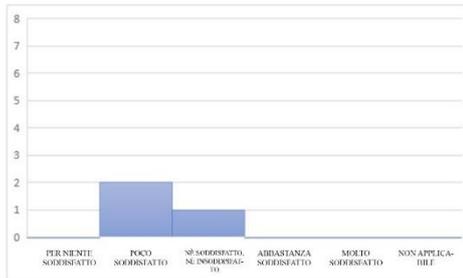
Prima - terza fila lato destro



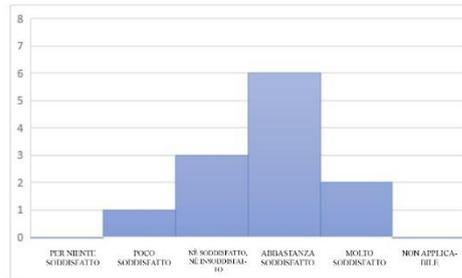
Prima - terza fila lato sinistro



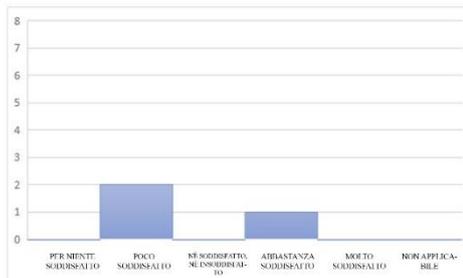
Prima - terza fila centro



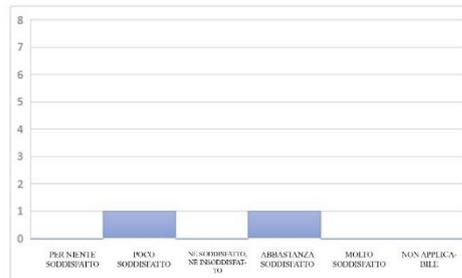
Fila centrale lato destro



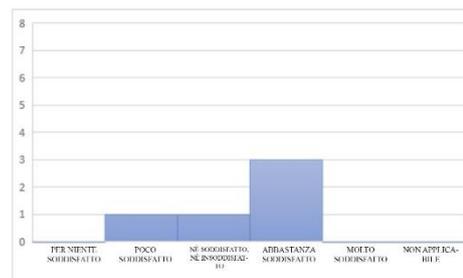
Fila centrale - centro



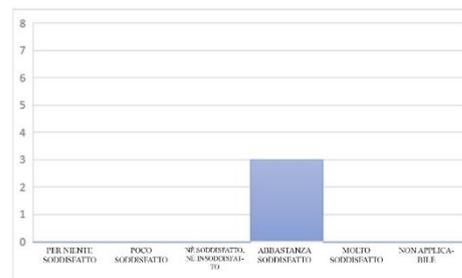
Fila centrale lato sinistro



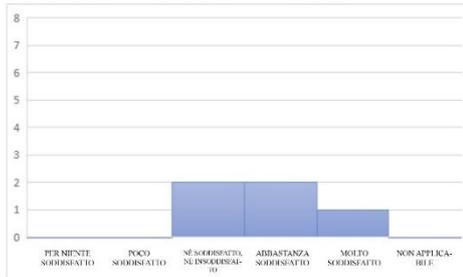
Terzultima - ultima fila lato destro



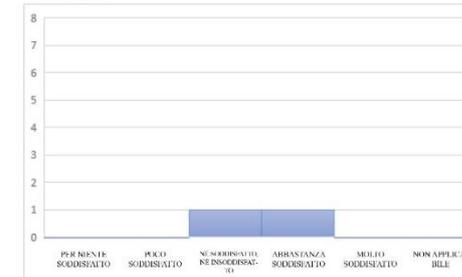
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Analizzando le risposte inerenti al grado di soddisfazione della quantità di illuminazione sul piano lavagna si nota come anche per quanto riguarda questa domanda, gli studenti posizionati sul lato sinistro dell'aula siano soddisfatti della quantità di luce sulla lavagna, mentre dalla zona centrale verso la parete opaca a Nord prevalgono risposte di insoddisfazione.

La ragione di questo malcontento è riscontrabile nell'analisi oggettiva dove sono stati rilevati valori minori di illuminamento verso l'interno dell'aula. L'aula 7I mostra una parete interamente vetrata che però risulta un po' bassa per garantire buoni valori di illuminamento nelle zone più lontane dalla parete, considerando che dalla parete opposta non giunge alcun contributo di illuminazione naturale. Inoltre, c'è da considerare il posizionamento inusuale dell'aula, situata nella corte interrata della Cittadella Politecnica, dove nelle circostanze sono presenti ostruzioni esterne dovute alla presenza di fabbricati. Questi fabbricati, se l'aula fosse posizionata al livello 0, non sarebbero molto compromettenti, ma considerando che si trova livello -1 diventano significativi.

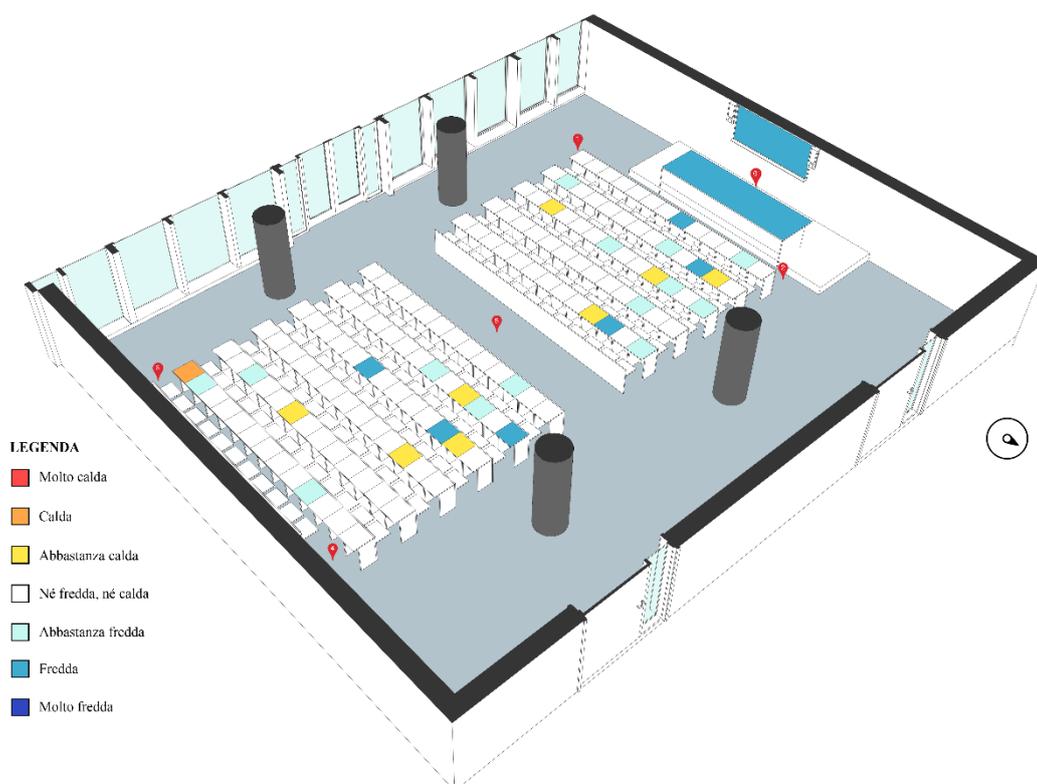


Fig. 229 Temperatura di colore correlata percepita.

4.8.1.2 Analisi oggettive

COMFORT VISIVO	Condizioni globali	Condizioni metereologiche	Ostruzioni esterne	Schermature interne	Illuminazione artificiale
	Estate	Soleggiato	Si	Tende in parte chiuse	Accesa

Tabella 35 Dati illuminotecnici estivi rilevati in aula 7I.

PUNTI	ILLUMINAMENTO (lx)	TEMPERATURA DI COLORE (K)	CONDIZIONE METEO
A1	1822	5622	SOLEGGIATO
A2	1054	5002	/
A3	807	4581	/
A4	620	4263	/
A5	511	3989	/
A6	498	3852	/
A7	507	3796	/
B1	1418	5540	/
B2	984	5060	/
B3	694	4551	/
B4	561	4267	/
B5	425	3951	/
B6	418	3817	/
B7	418	3796	/
C1	1716	5615	/
C2	798	/	/
C3	731	/	/
C4	720	/	/
C5	615	/	/
C6	550	/	/
C7	482	/	/
D1	1192	/	/
D2	947	/	/
D3	764	/	/
D4	660	/	/
D5	490	/	/
D6	485	/	/
D7	491	/	/
E1	728	/	/
E2	763	/	/
E3	731	/	/
E4	636	/	/
E5	505	/	/
E6	737	/	/
E7	688	/	/
F1	1048	/	/
F2	829	/	/
F3	735	/	/
F4	700	/	/
F5	694	3848	/
F6	671	3810	/
F7	593	3807	/
G1	872	4553	/
G2	711	4148	/
G3	687	4043	/
G4	586	3937	/
G5	598	3816	/
G6	601	3805	/
G7	571	3814	/
H1	649	4454	/
H2	529	4215	/
H7	401	3739	/
I1	350	4506	/
I2	619	4123	/
I3	444	3874	/
I4	447	3827	/
I5	465	3821	/
L1	338	4173	/
L2	371	3569	/
L3	492	3912	/
L4	514	3867	/
L5	530	3819	/
L6	519	3819	/
M1	399	4173	/
M2	447	3912	/
M3	536	3851	/
M4	510	3852	/
M5	508	3850	/
M6	514	3815	/
M7	491	3846	/
MEDIA	659	4137	

Prendendo in considerazione i dati rilevati attraverso lo spettrofotometro, si può notare come all'interno dell'aula 7I quasi tutti i valori presenti di illuminamento siano adeguati (in alcune zone si superano i 1000 lux).

Così come per la parte soggettiva, se si analizzano i dati rilevati oggettivi si nota che tutta la parte destra (rispetto alla cattedra) dell'aula abbia dei valori più bassi di illuminamento. Questo fattore di illuminamento basso, anche se l'aula presenta una parete totalmente vetrata, è dovuto alla posizione in cui è posta questa zona, in quanto affaccia sul corridoio interno dell'edificio interrato.

Per quanto riguarda il rilievo acustico, i dati rilevati sono molto uniformi e si aggirano sui 60 dB, valore basso rispetto alle altre aule ma comunque elevato per un'aula universitaria. Questo è causato dalla presenza di un corridoio molto spesso affollato, ma anche dal cortile presente verso Sud sul quale affaccia la parete vetrata, che dunque non isola completamente l'interno dall'esterno.

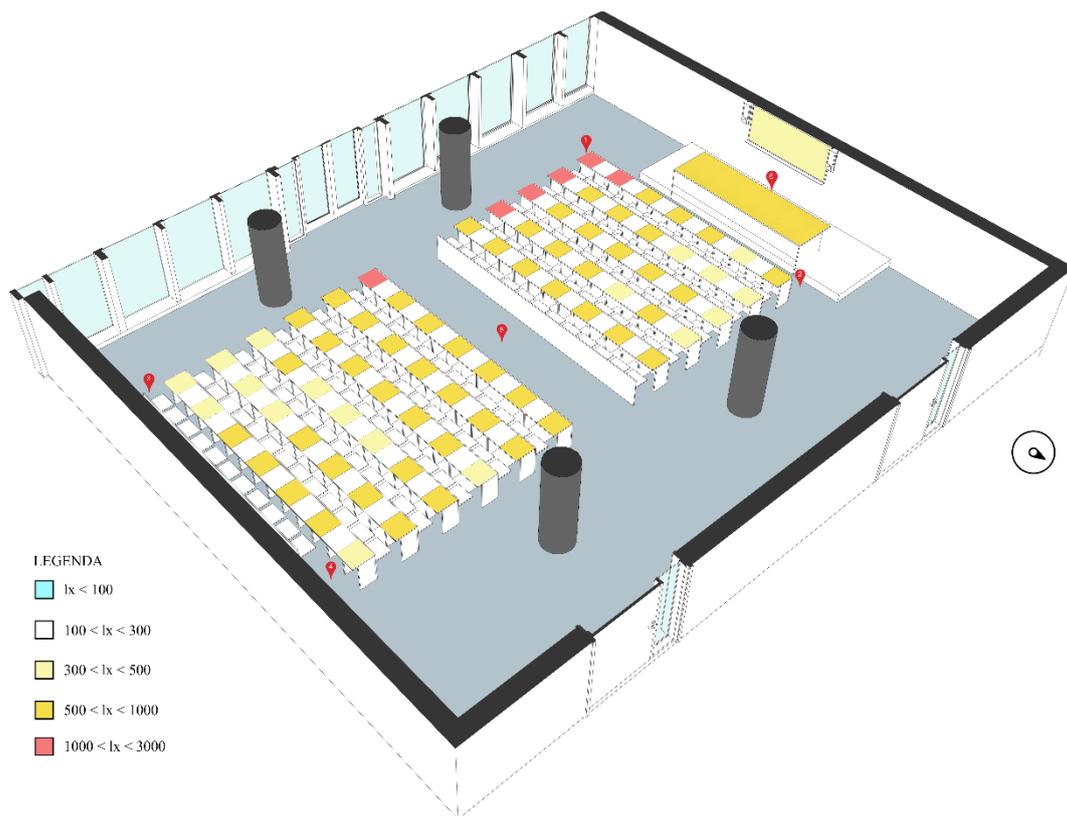


Fig. 230 Qualità illuminazione naturale rilevata.

4.8.1.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Proseguendo con l'analisi dei grafici del comfort visivo e soffermandosi su quelli della qualità dell'illuminazione naturale percepita all'interno dell'aula dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 7I allegato D Estivo), si nota come nel grafico complessivo le risposte soggettive hanno un andamento maggiore verso le risposte positive e quindi verso un livello di soddisfazione adeguato.

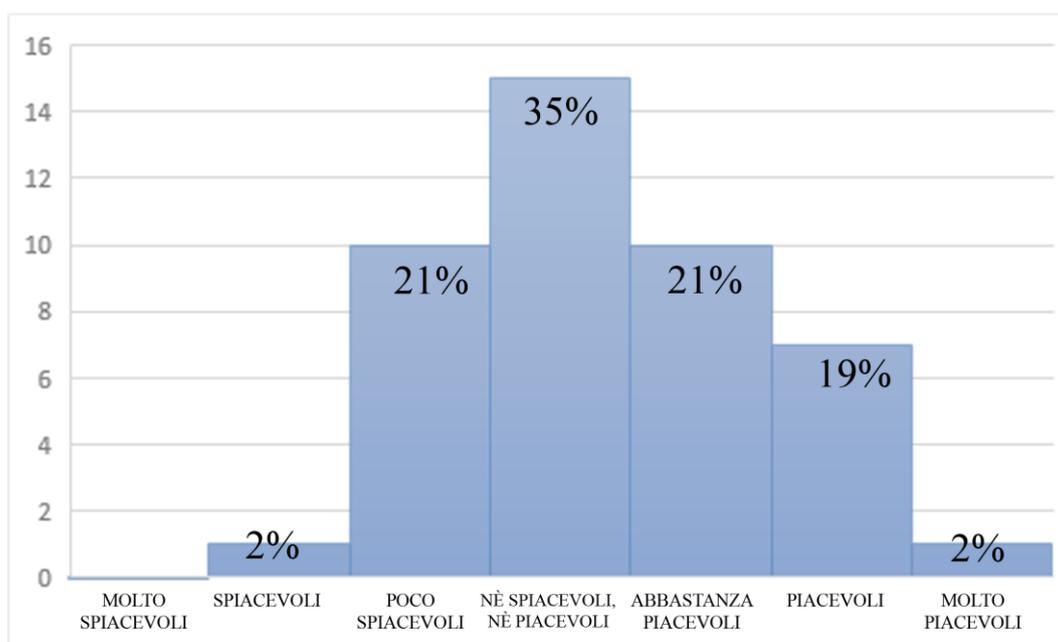


Fig. 231 Grafico istogramma complessivo sulla qualità dell'illuminazione naturale.

Osservando i grafici disaggregati (vedi fig. 232 e fig. 233) riguardanti la prima – terza fila lato destro e la fila centrale lato destro si estrapolano dati soggettivi molto positivi sulla quantità di illuminazione naturale.

In parallelo tenendo conto dell'assonometria (vedi Tavola comfort visivo aula 7I allegato D estivo) sull'illuminamento rilevato all'interno dell'aula si nota che tutta la parte centrale dell'aula abbia dei valori di illuminamento adeguati. Questo fenomeno è dovuto alla presenza di illuminazione artificiale accesa che dunque altera alcuni dati.

Si nota però che la quantità maggiore di illuminamento è situata nella prima – terza fila lato sinistro (fig. 234), zona però in cui vi era poca concentrazione di persone e dunque poche risposte per il questionario.

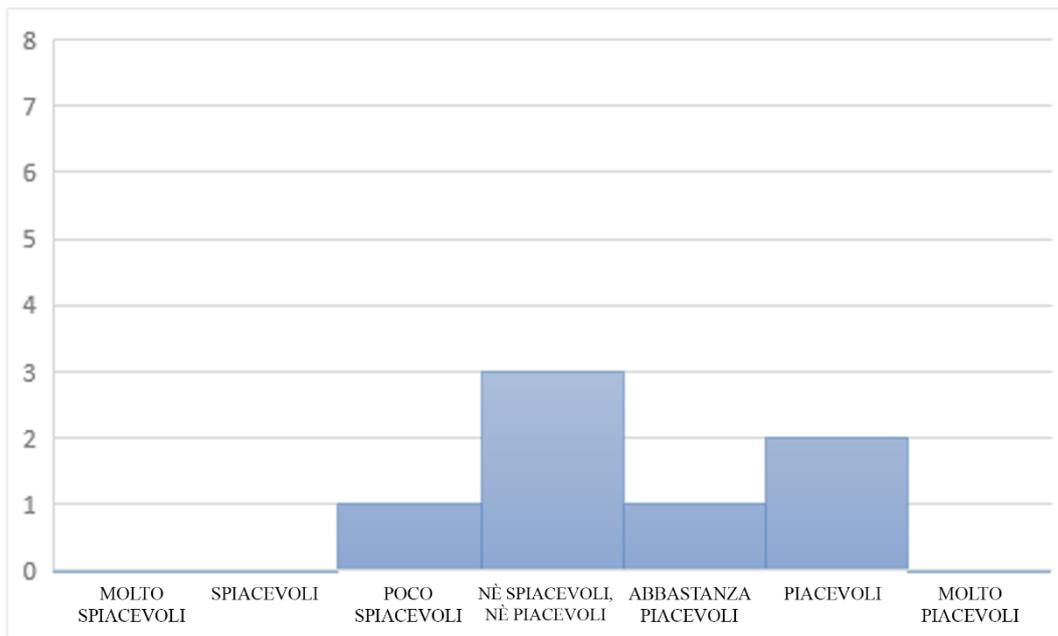


Fig. 232 *Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, prima - terza fila lato destro.*

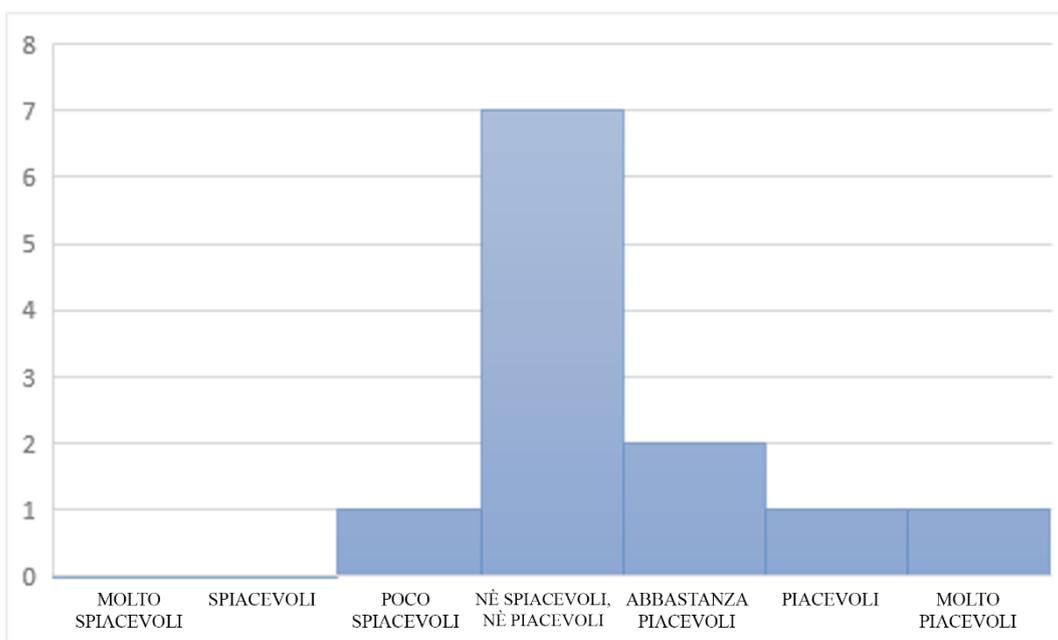


Fig. 233 *Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, fila centrale lato destro.*

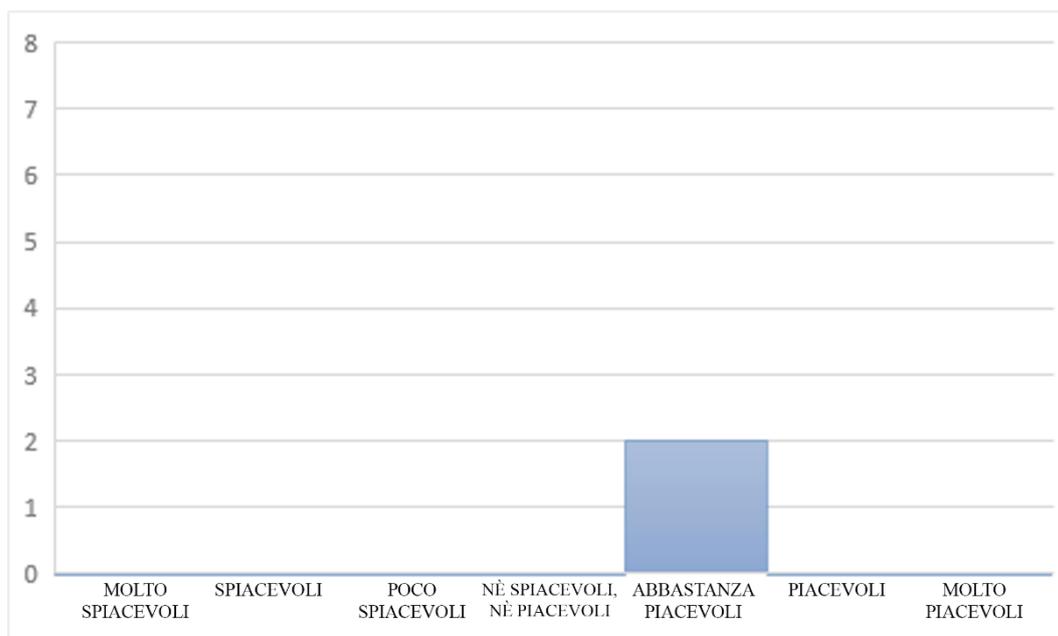


Fig. 234 Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, prima - terza fila lato sinistro.

Dal grafico di correlazione tra i dati rilevati di illuminamento medio per zona e la sensazione luminosa percepita dagli studenti, si nota come molti punti siano vicini alla linea di tendenza mentre molti altri siano distanti. La maggior parte dei punti si posiziona nella parte inferiore della linea di tendenza in quanto i dati di illuminamento rilevati sono concentrati in un range compreso tra 400 e 700 lux.

Per la gran parte degli individui la sensazione luminosa è ottimale in quasi tutte le zone dell'aula, tranne in alcune zone dove sia i valori di illuminamento sia i dati percepiti sono bassi. Questo è dovuto alla presenza delle schermature posteriori dell'aula chiuse, che dunque generano un impatto visivo differente rispetto alle zone senza schermature.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto spiacevoli: -1,5	Spiacevoli: -1	Poco piacevoli: -0,5	Né spiacevoli, né piacevoli: 0	Abbastanza piacevoli: 0,5	Piacevoli: 1	Molto piacevoli: 1,5
------------------------	----------------	----------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------	----------------------

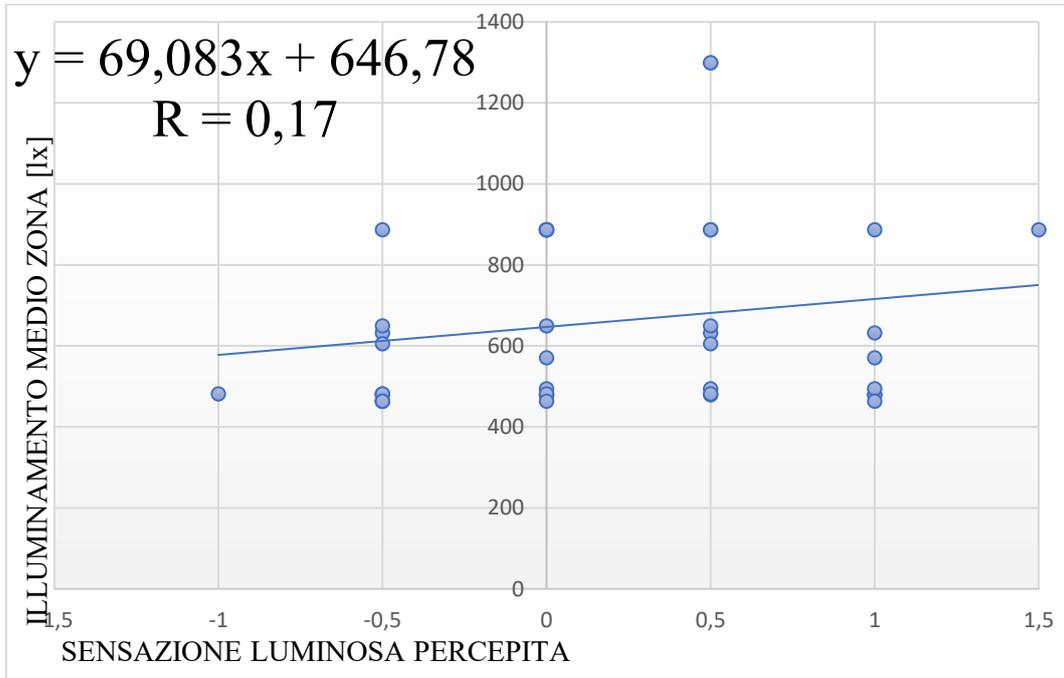


Fig. 235 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.

Il grafico seguente mostra la correlazione tra la temperatura di colore rilevata con gli strumenti e il colore della luce percepito dagli studenti. Osservando contemporaneamente questo grafico e l'assonometria sulla Tavola comfort visivo aula 7I allegato D estivo, si nota che a livello di percezione degli studenti la temperatura di colore è più calda nella fila centrale e verso il lato destro dell'aula mentre fredda verso il lato sinistro.

Il grafico di correlazione invece mostra che avendo un range di temperature rilevato molto ristretto, tutti gli studenti hanno risposto in modo contraddittorio sulla loro percezione visiva.

Questi dati purtroppo sono molto soggettivi e basati sulla percezione di ogni singolo individuo, quindi è molto difficile poter comparare questi dati. La temperatura di colore della luce è un parametro ostico a causa di un range molto ristretto di valori, che ne può provocare errori in fase di risposta.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto calda: -1.5	Calda: -1	Abbastanza calda: -0.5	Né fredda, né calda: 0	Abbastanza fredda: 0.5	Fredda: 1	Molto fredda: 1.5
-------------------	-----------	------------------------	------------------------	------------------------	-----------	-------------------

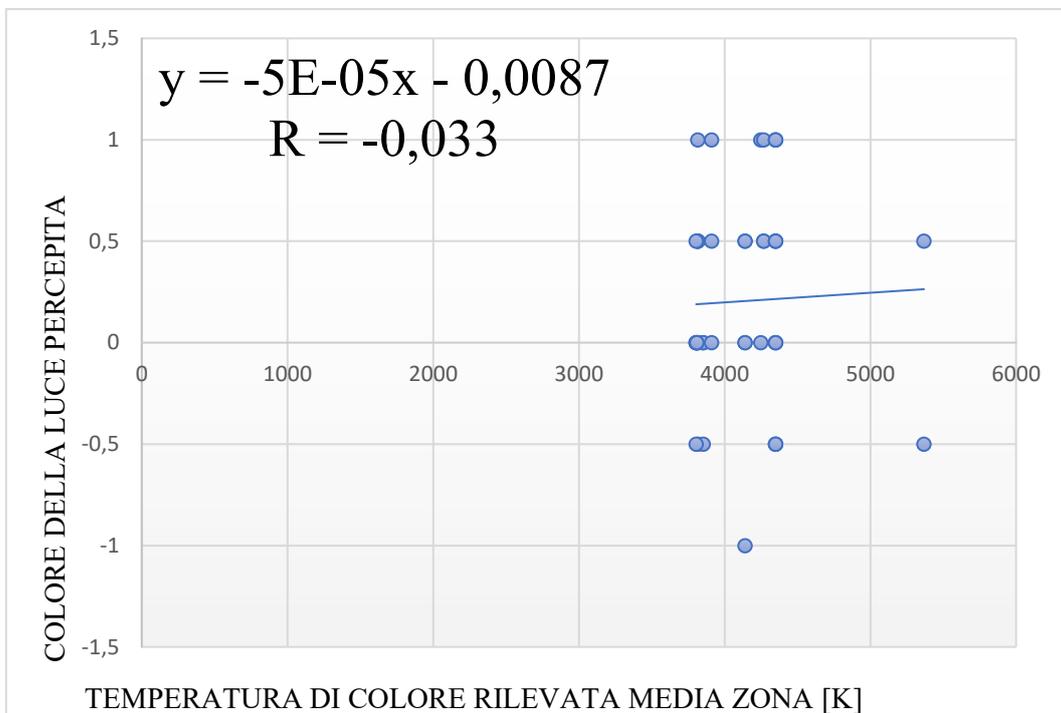


Fig. 236 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.

I grafici successivi (fig. 237 e fig. 238) mostrano due differenti percezioni visive in base alla posizione degli studenti. I dati estrapolati riguardano il grado di soddisfazione della quantità di luce sulla lavagna da differenti posizioni dell'aula. Nel primo grafico si nota che il grado di soddisfazione degli studenti ha un andamento tendente all'insoddisfazione, mentre il secondo mostra come gli studenti siano molto soddisfatti della quantità di luce.

Il primo grafico riguarda gli studenti situati nella prima – terza fila lato destro, mentre il secondo è basato sulle percezioni degli studenti situati nella fila centrale lato destro.

Dal confronto di questi due grafici si deduce che il grado di soddisfazione della quantità di luce può essere più soddisfacente in zone più lontane rispetto a zone più vicine. Questo fenomeno può essere dovuto sia alla presenza di fattori di abbagliamento sulla lavagna stessa che rende insoddisfatti gli studenti, ma anche dovuto a problemi tecnici: neon posti in corrispondenza degli studenti della prima-terza fila lato destro non funzionanti.

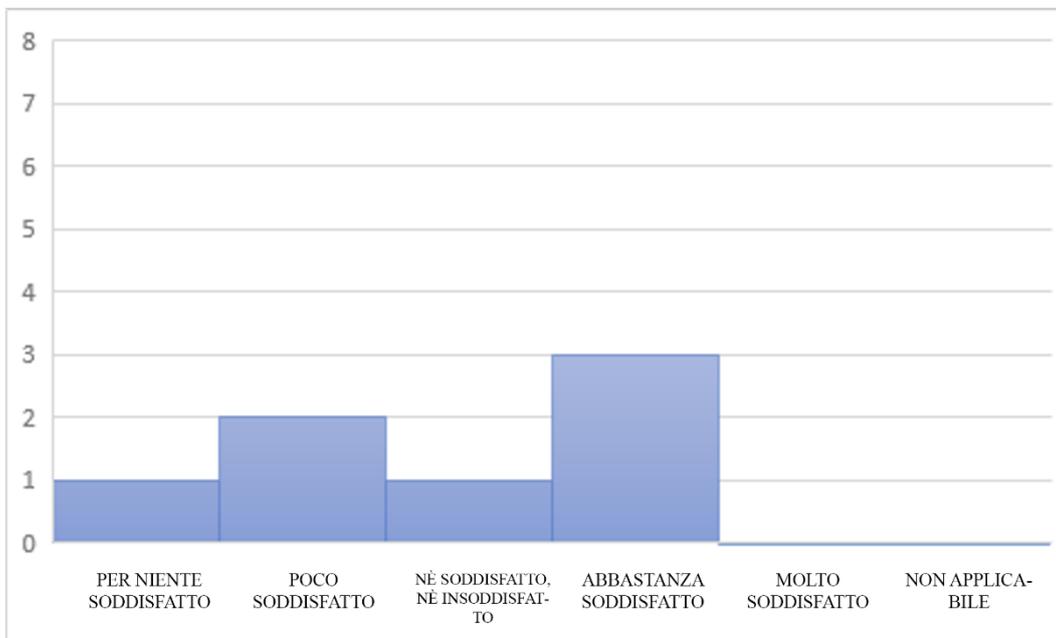


Fig. 237 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna, prima-terza fila lato destro.

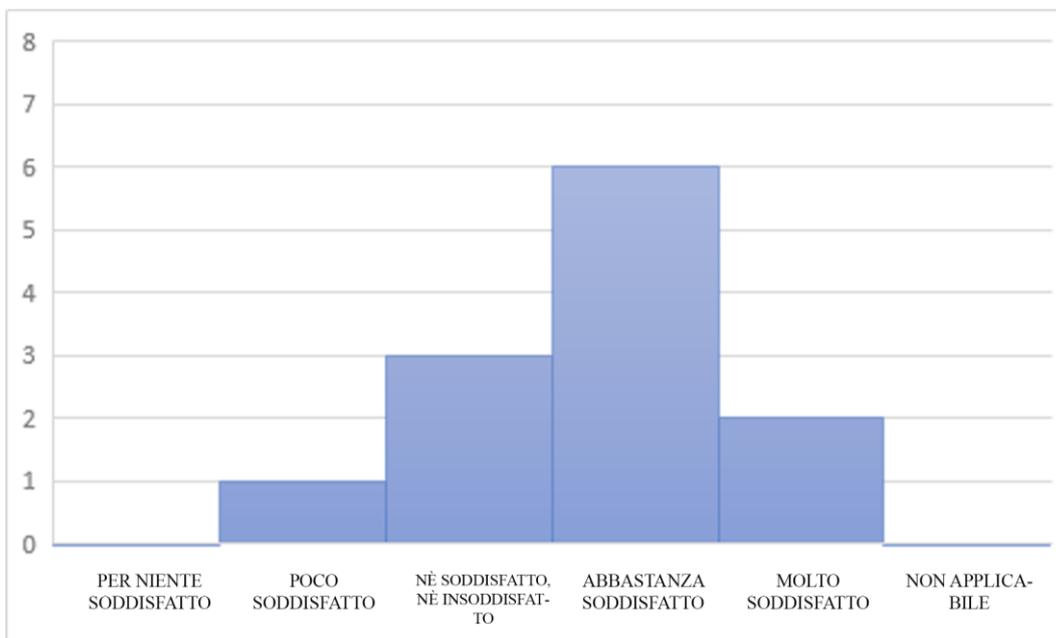


Fig. 238 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna, fila centrale lato destro.

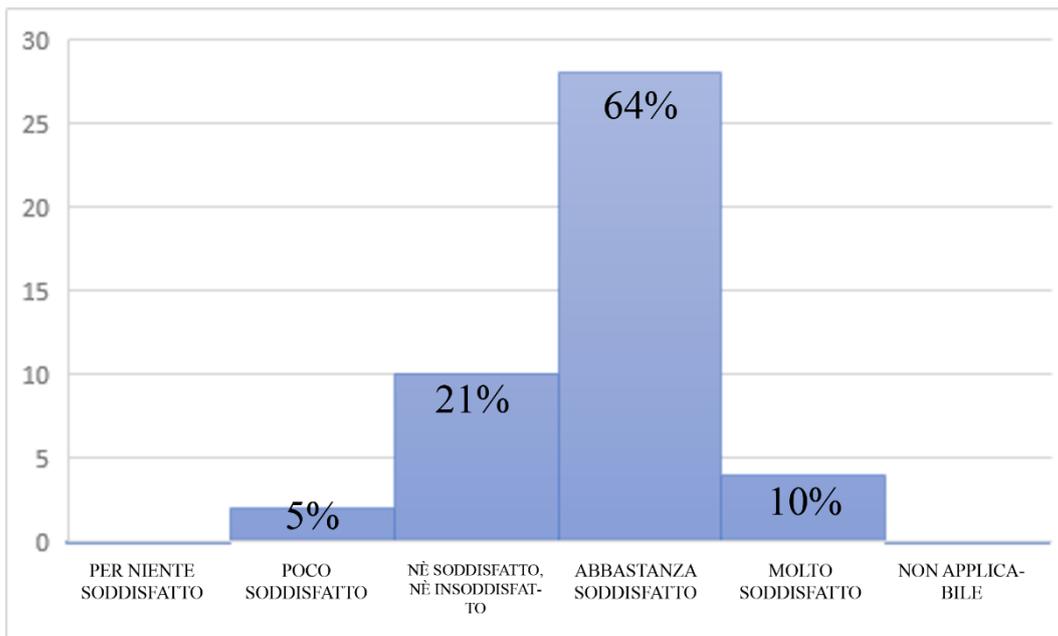


Fig. 239 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.

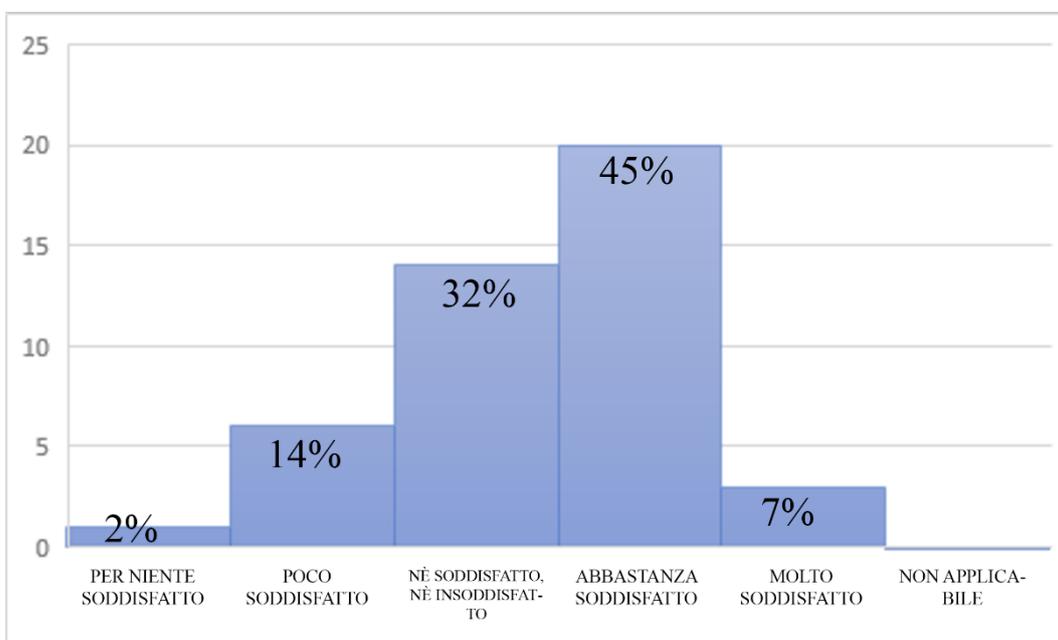


Fig. 240 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.

Estrapolando tutti i dati dei questionari sul grado di soddisfazione della quantità di luce complessivi sulla lavagna, piano di lavoro, schermo di proiezione e nell'aula, si nota che la maggior parte degli individui presenti all'interno dell'aula 7I sono soddisfatti di queste condizioni illuminotecniche.

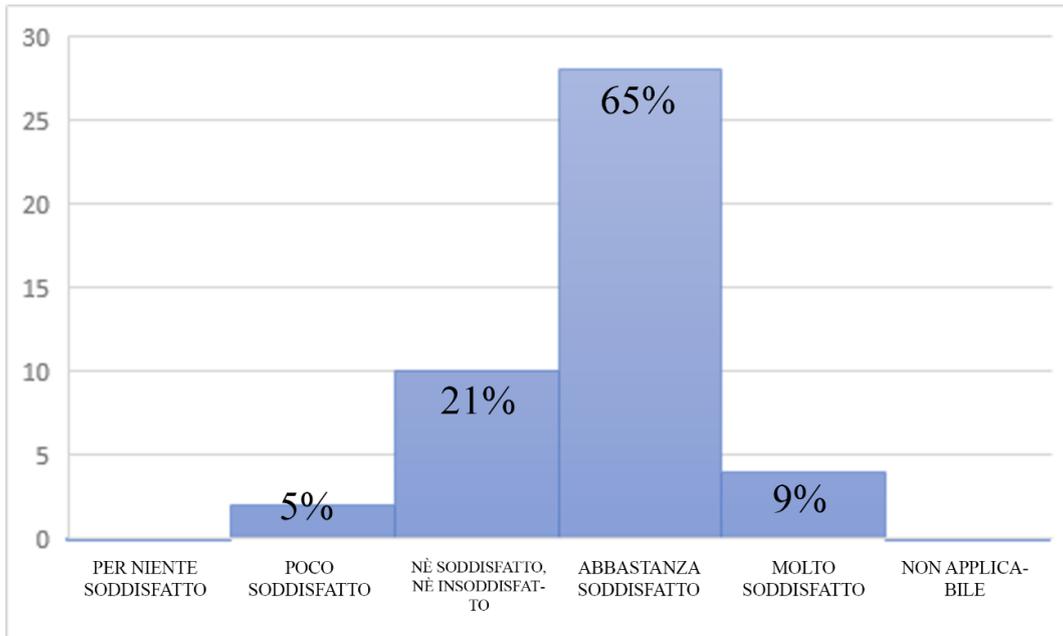


Fig. 241 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce nell'aula.

Il grafico seguente (fig. 241) mostra il grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano di lavoro. La maggior parte degli studenti è soddisfatto di queste condizioni, infatti analizzando anche l'assonometria in cui sono segnati i dati sull'illuminamento rilevato, si nota come si ha un valore di illuminamento compreso tra 300 e 1000 lux.

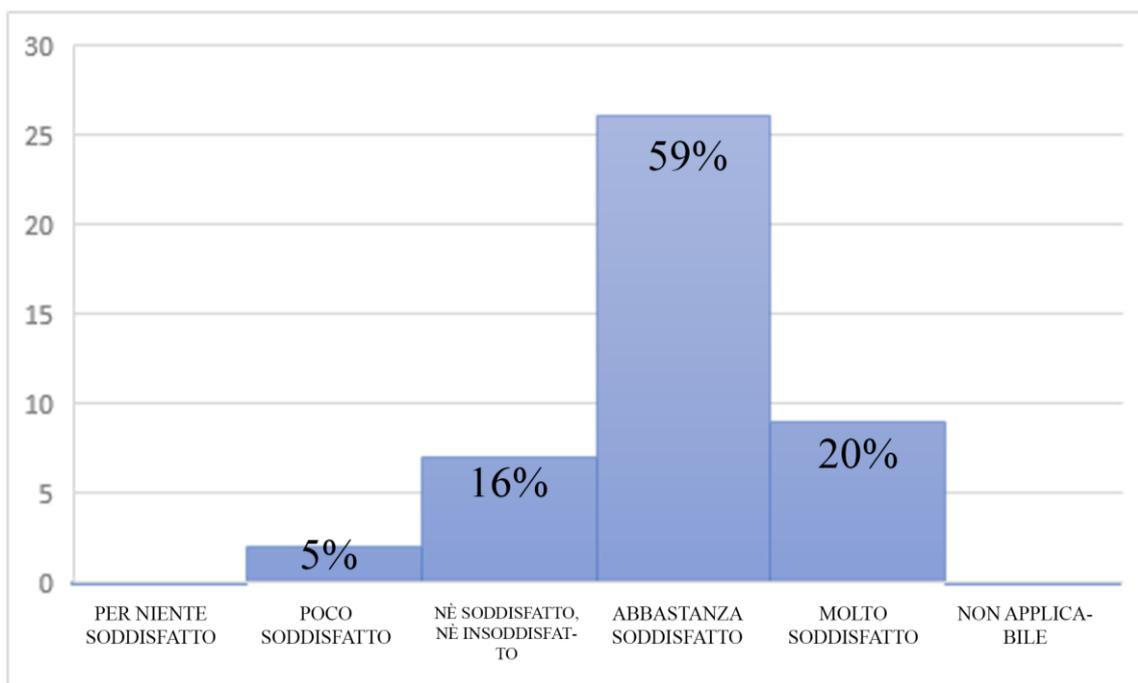


Fig. 242 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro.

Il successivo (fig. 243) invece, mostra la correlazione tra il grado di soddisfazione percepito e l'illuminamento medio rilevato sui banchi.

I punti rappresentanti gli studenti sono in maggioranza distribuiti lungo la linea di tendenza, questo fa capire che anche con un illuminamento medio, gli studenti sono molto soddisfatti delle condizioni di illuminamento dei banchi.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Per niente soddisfatto: -1	Poco soddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Abbastanza soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
----------------------------	------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	----------------------

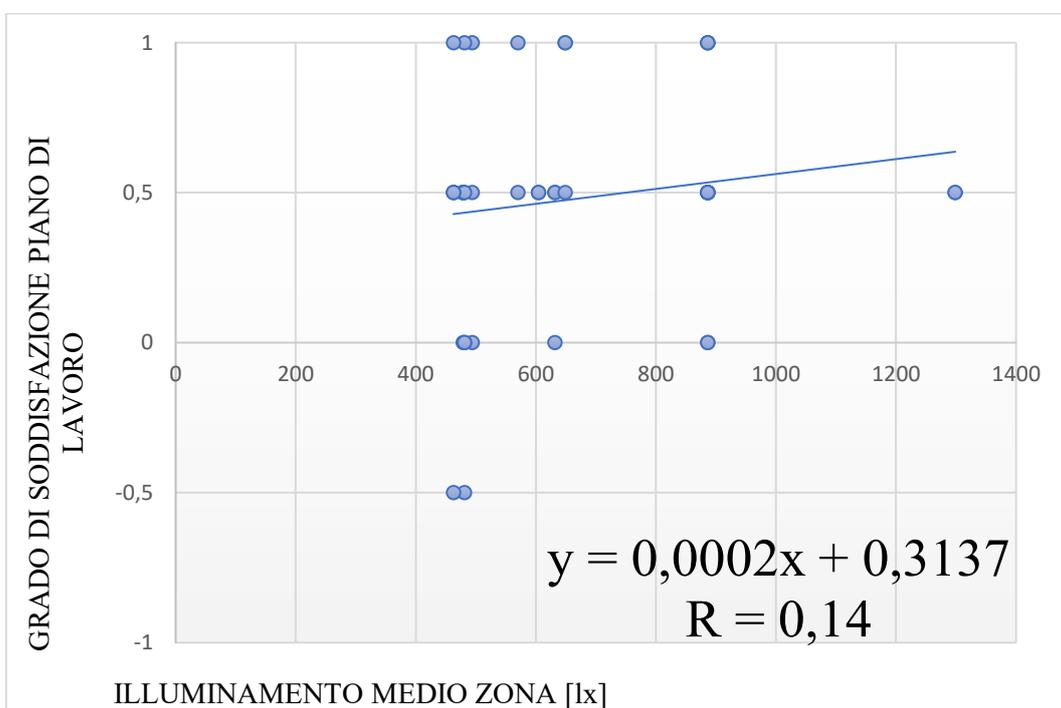


Fig. 243 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.

4.8.2 Stagione invernale

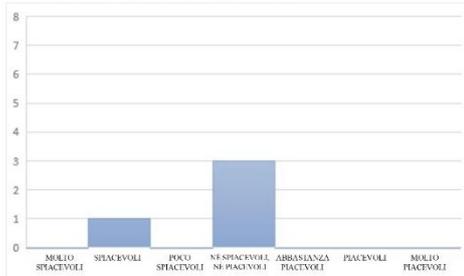
4.8.2.1 Analisi soggettive

I dati qui di seguito illustrati sono dei grafici istogramma elaborati dalle risposte dei questionari somministrati agli individui presenti all'interno dell'aula. I dati sono stati suddivisi per zona in modo tale da facilitarne il confronto con i dati rilevati oggettivi.

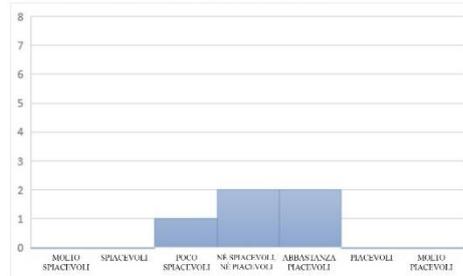
“Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?”

Qualità illuminazione naturale percepita

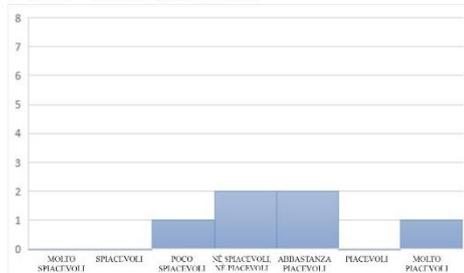
Prima - terza fila lato destro



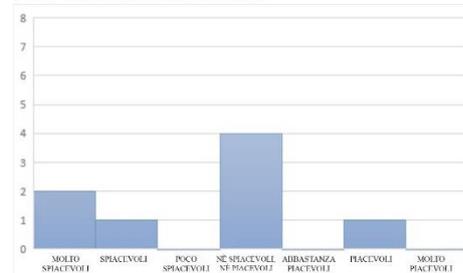
Prima - terza fila lato sinistro



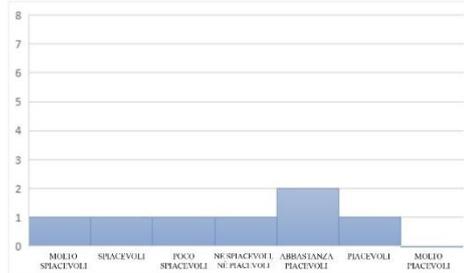
Prima - terza fila centro



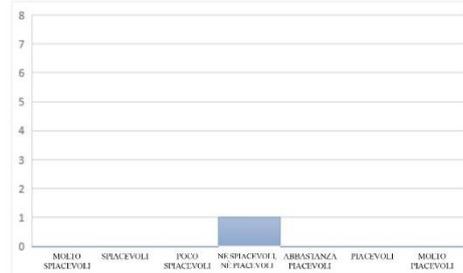
Fila centrale lato destro



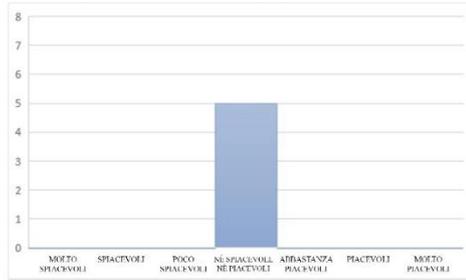
Fila centrale lato sinistro



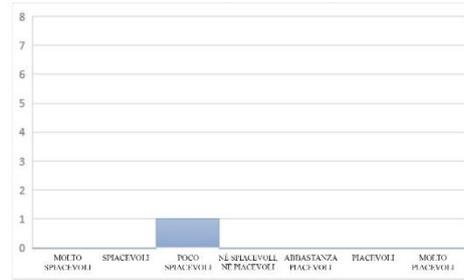
Fila centrale - centro



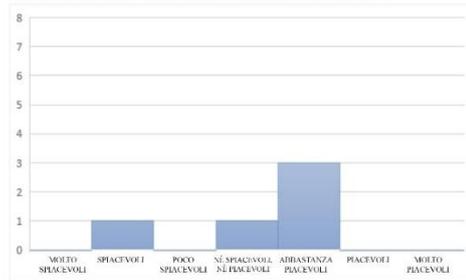
Terzultima - ultima fila lato destro



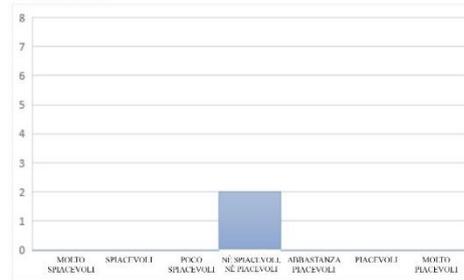
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



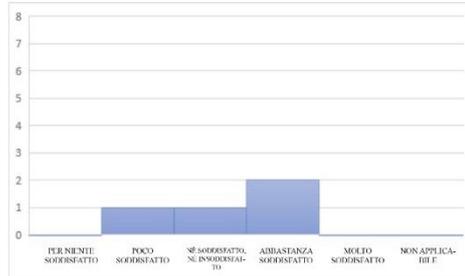
Analizzando i grafici ottenuti è possibile trarre alcune considerazioni descritte in seguito.

Nell'aula 7I è stata prevista un'illuminazione naturale di tipo unilaterale proveniente dalla parete vetrata posta ad est. Analizzando il parere generale degli studenti si può notare come le risposte corrispondenti a posizioni nella parte sinistra dell'aula (guardando la cattedra) sulla qualità di illuminazione vadano dal "Piacevole" al "Né soddisfatto, né insoddisfatto", questo perché ci si trova in una zona dell'ambiente in prossimità della parete vetrata. Se ci si allontana dalla vetrata si può notare come le risposte siano improntate verso una situazione di insoddisfazione.

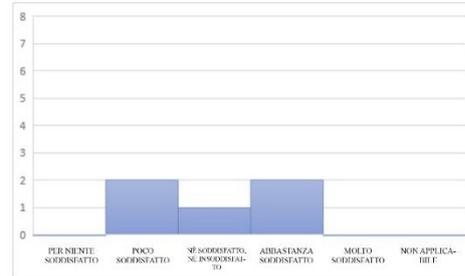
“Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione del piano lavagna?”

Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna

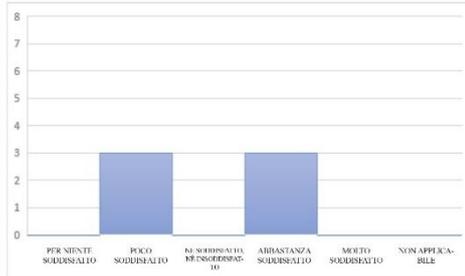
Prima - terza fila lato destro



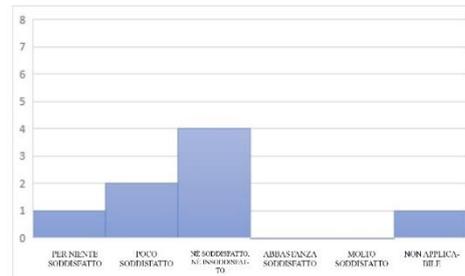
Prima - terza fila lato sinistro



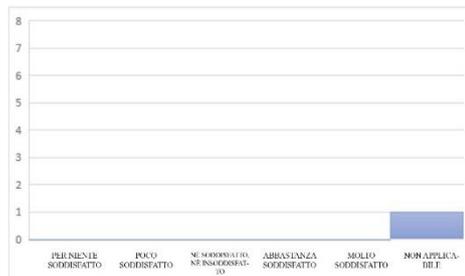
Prima - terza fila centro



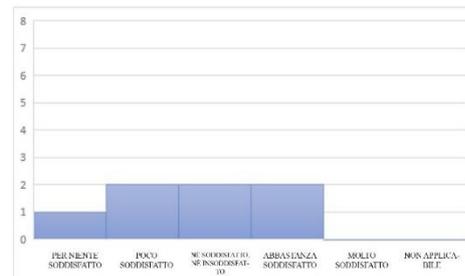
Fila centrale lato destro



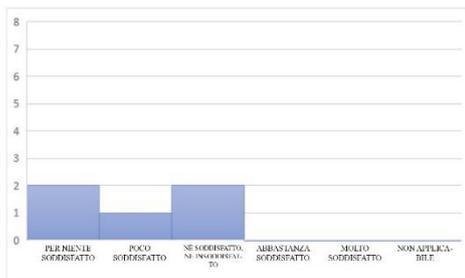
Fila centrale - centro



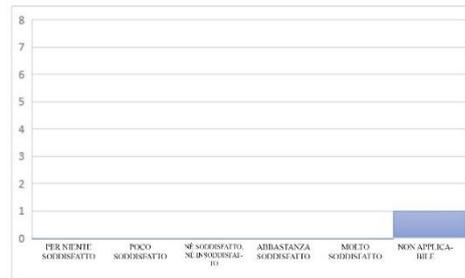
Fila centrale lato sinistro



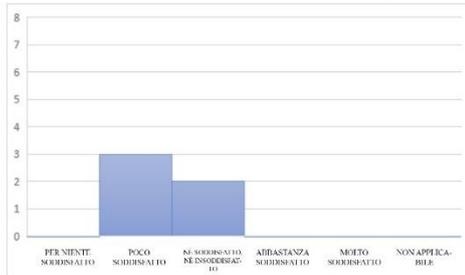
Terzultima - ultima fila lato destro



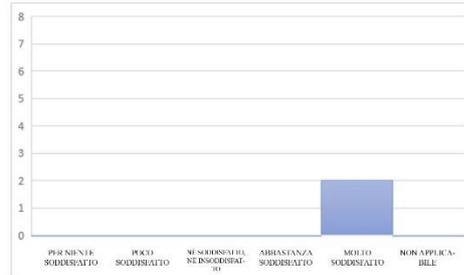
Terzultima - ultima fila centro



Terzultima - ultima fila lato sinistro



Cattedra



Come accade di consueto, gli studenti posti lateralmente percepiscono riflessioni sul piano lavagna e questo fattore si ripercuote sul loro giudizio del grado di soddisfazione del piano lavagna.

Come emerge dai grafici “Prima - terza fila lato destro” e “Prima - terza fila lato destro” il grado di soddisfazione è basso, ma in generale in questo aula sono stati rilevati in grande maggioranza pareri di insoddisfazione.

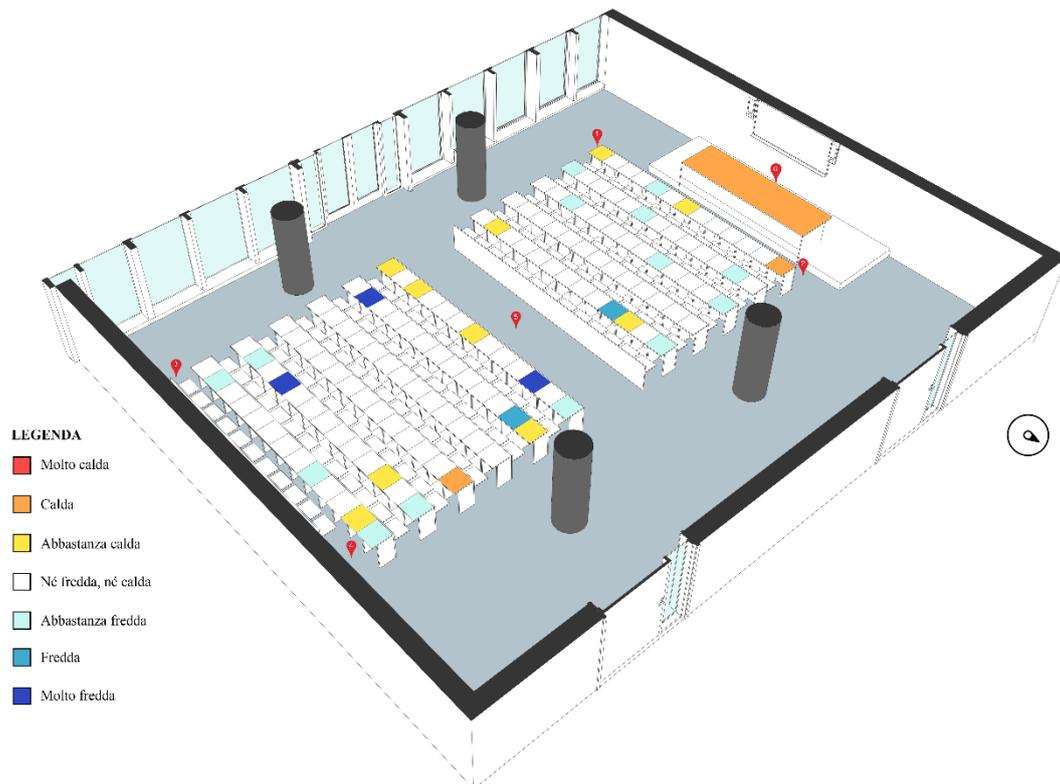


Fig. 244 Temperatura di colore correlata percepita.

4.8.2.2 Analisi oggettive

COMFORT VISIVO	Condizioni globali	Condizioni metereologiche	Ostruzioni esterne	Schermature interne	Illuminazione artificiale
	Inverno	Nuvoloso	Si	Tende chiuse	Accesa

Tabella 36 Dati illuminotecnici invernali rilevati in aula 71.

PUNTI	ILLUMINAMENTO [lx]	TEMPERATURA DI COLORE [K]	CONDIZIONI METEO
A1	402	3774	NUVOLOSO
A2	459	3773	/
A3	447	3785	/
A4	387	3788	/
A5	436	3789	/
A6	349	3754	/
A7	321	3881	/
B1	400	3760	/
B2	464	3752	/
B3	456	3784	/
B4	436	3753	/
B5	430	3650	/
B6	313	3766	/
B7	334	3833	/
C1	380	3731	/
C2	367	3721	/
C3	353	3698	/
C4	357	3730	/
C5	345	3689	/
C6	321	3567	/
C7	169	3837	/
D1	424	3743	/
D2	406	3729	/
D3	402	3714	/
D4	341	3708	/
D5	462	3740	/
D6	394	3742	/
D7	286	3740	/
E1	569	3755	/
E2	361	3693	/
E3	436	3733	/
E4	446	3733	/
E5	536	3735	/
E6	484	3752	/
E7	371	3723	/
F1	434	3695	/
F2	565	3680	/
F3	381	3704	/
F4	487	3727	/
F5	510	3727	/
F6	541	3752	/
F7	508	3740	/
G1	359	3652	/
G2	352	3650	/
G3	385	3689	/
G4	380	3679	/
G5	484	3746	/
G6	498	3746	/
G7	394	3730	/
H1	389	3678	/
H2	439	3665	/
H3	445	3716	/
H4	447	3722	/
H5	425	3701	/
H6	435	3745	/
H7	405	3723	/
I1	358	3651	/
I2	415	3683	/
I3	445	3704	/
I4	412	3701	/
I5	379	3649	/
I6	387	3705	/
I7	348	3676	/
L1	351	3661	/
L2	335	3681	/
L3	350	3695	/
L4	330	3635	/
L5	335	3605	/
L6	318	3650	/
L7	399	3641	/
M1	472	3666	/
M2	408	3666	/
M3	369	3681	/
M4	381	3692	/
M5	412	3675	/
M6	295	3741	/
M7	315	3828	/
N1	380	3780	/
MEDIA		401	3718

L'illuminamento medio rilevato è di 401 [lx], considerando che il rilievo è stato effettuato in condizioni di cielo coperto e illuminazione artificiale accesa è ritenibile quasi soddisfacente.

Le misure effettuate sui banchi in prossimità della vetrata mostrano valori di illuminamento anche superiori ai 500 [lx]. Allontanandosi dalla vetrata l'illuminamento rimane circa costante sui 400 [lx] eccetto in prossimità della parete che dà sul corridoio ove si riscontrano valori di circa 300 [lx].

La temperatura di colore correlata media rilevata è di 3718 [K] e risulta abbastanza uniforme in tutto il locale.

È quindi paragonabile ad una percezione di “Bianco neutro”.

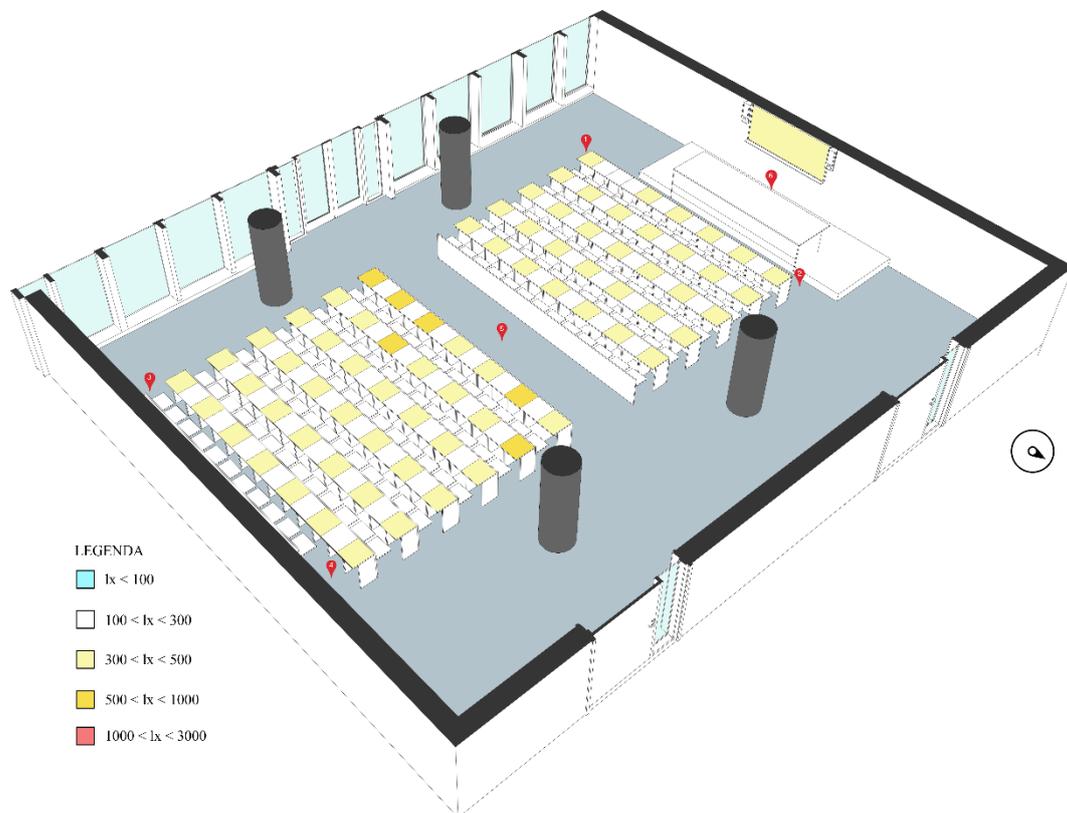


Fig. 245 Qualità illuminazione naturale rilevata.

4.8.2.3 Confronto risultati soggettivi ed oggettivi

Proseguendo con l'analisi dei grafici del comfort visivo e soffermandosi su quelli della qualità dell'illuminazione naturale percepita all'interno dell'aula dagli studenti (vedi Tavola comfort visivo aula 7I allegato D Invernale, si nota come nel grafico complessivo le risposte soggettive abbiano un andamento maggiore verso le risposte positive e quindi verso un livello di soddisfazione adeguato.

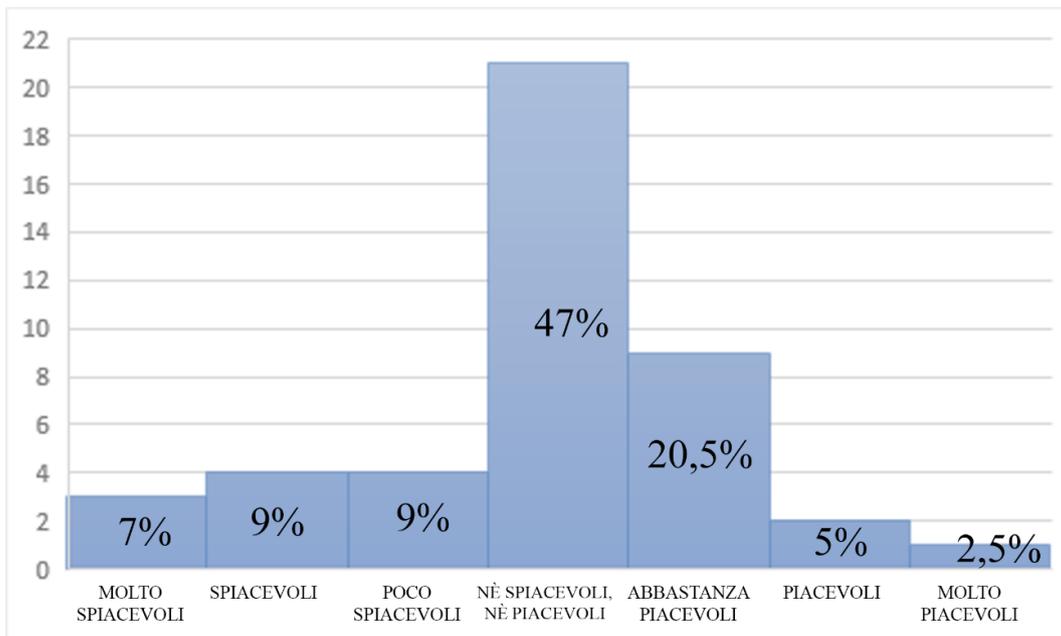


Fig. 246 Grafico istogramma complessivo sulla qualità dell'illuminazione naturale.

Analizzando il grafico istogramma complessivo sulla qualità dell'illuminazione naturale emerge che il parere generale equivale ad un grado di soddisfazione neutrale, questo perché anche l'illuminazione artificiale era accesa ed ha influenzato le risposte degli studenti.

Analizzando il grafico disaggregato "Fila centrale lato destro" (fig. 247), si può osservare come ci siano pareri contrastanti degli studenti riguardo la soddisfazione della qualità di luce naturale presente in ambiente, questo fatto è imputabile alla presenza di tende chiuse nella suddetta zona.

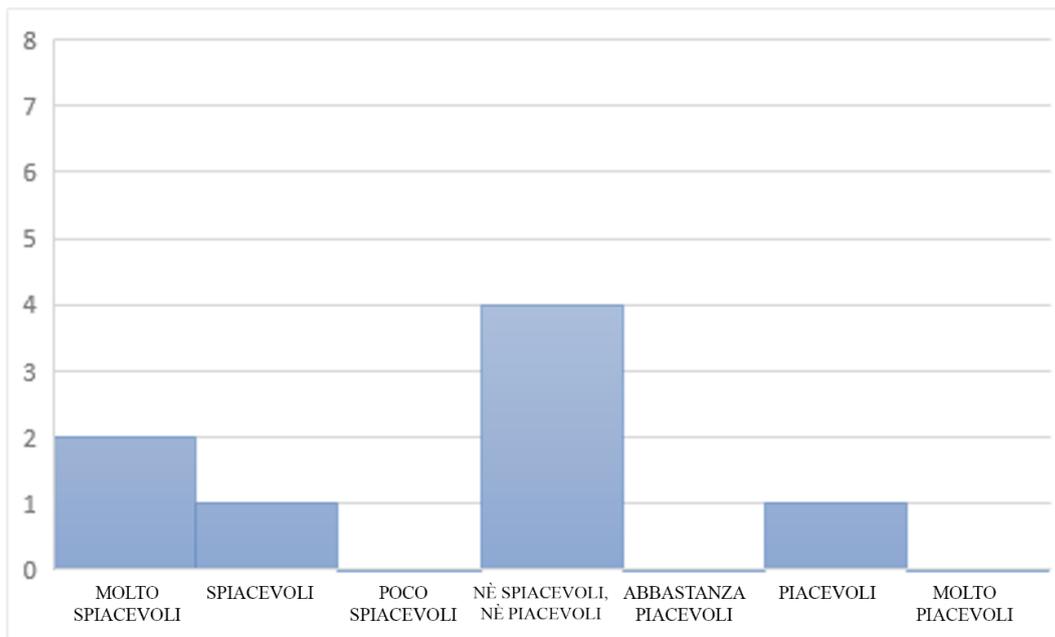


Fig. 247 Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, Fila centrale lato destro.

Analizzando infatti il medesimo grafico riferito però alla parte sinistra (più vicino alla parete e alle tende) si può notare come il tasso di soddisfazione diminuisca ulteriormente a conferma di quanto detto in precedenza.

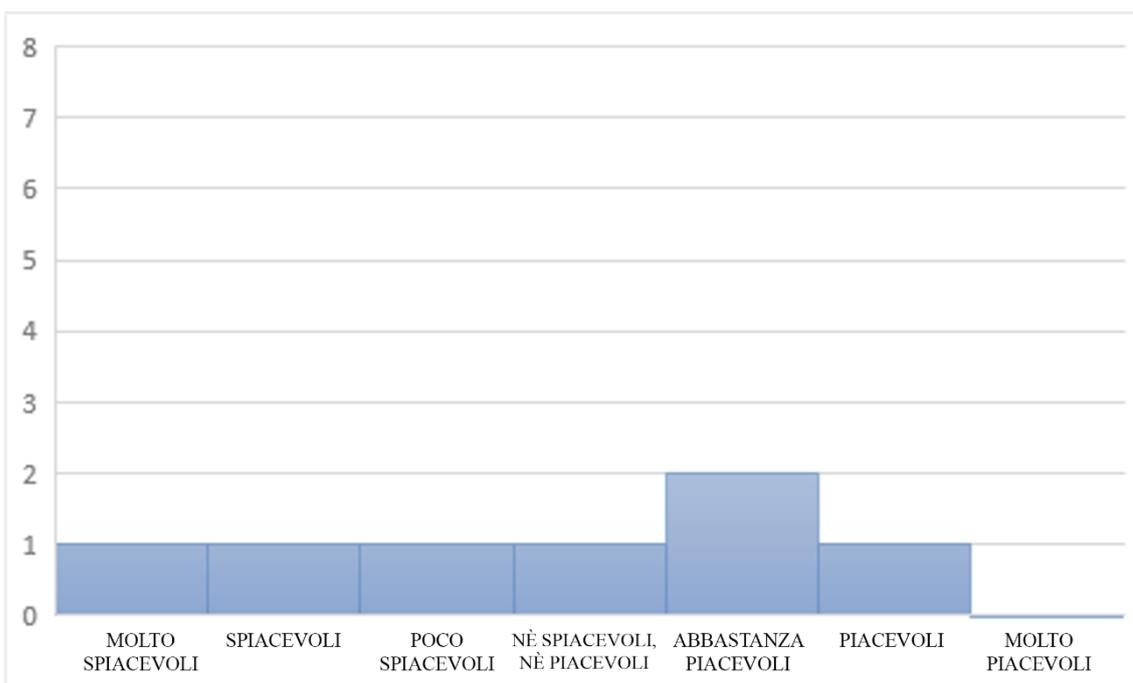


Fig. 248 Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, fila centrale lato sinistro.

Dal grafico di correlazione tra i dati rilevati di illuminamento medio per zona e la sensazione luminosa percepita dagli studenti, si nota come molti punti siano vicini alla linea di tendenza e alcuni siano distanti. La maggior parte dei punti si posiziona in prossimità della linea di tendenza in quanto i dati di illuminamento rilevati sono concentrati in un range compreso che si aggira sui 400 lux.

Per la gran parte degli individui la sensazione luminosa non è ottimale in molte tutte le zone dell'aula, anche in questo caso a causa della presenza di schermature chiuse e dal fatto che molti studenti avrebbero preferito la luce naturale rispetto a quella artificiale in quel momento, questo fattore ha influenzato la loro risposta.

Scala di conversione dei valori sulle ascisse.

Molto spiacevoli: -1.5	Spiacevoli: -1	Poco piacevoli: -0.5	Né spiacevoli, né piacevoli: 0	Abbastanza piacevoli: 0.5	Piacevoli: 1	Molto piacevoli: 1.5
------------------------	----------------	----------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------	----------------------

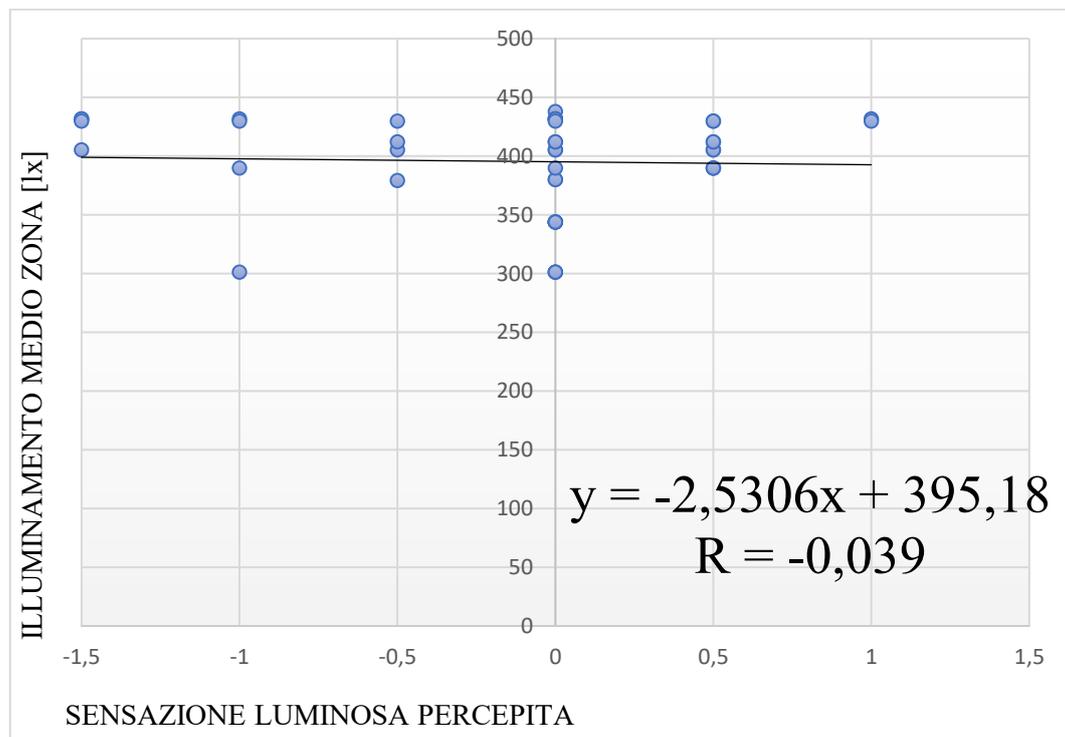


Fig. 249 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.

Nel grafico sottostante (fig. 250) si è correlata la temperatura di colore media rilevata nell'aula con il colore della luce percepito dagli studenti. La temperatura di colore rilevata risulta uniforme nell'aula e riscontra un valore medio di 3718 [K] che si rispecchia nel giudizio medio ovvero "Né fredda, né calda". Facendo riferimento al valore di R ovvero l'indice di correlazione, emerge che non si verifica alcuna correlazione in quanto prossimo allo 0, questo perché nell'ambiente è presente un valore abbastanza uniforme di temperatura di colore correlata in tutte

le zone, è quindi difficile che le piccole variazioni si riflettano sull'analisi soggettiva.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Molto calda -1.5	Calda: -1	Abbastanza calda: -0.5	Né fredda, né calda: 0	Abbastanza fredda: 0.5	Fredda: 1	Molto fredda: 1.5
------------------	-----------	------------------------	------------------------	------------------------	-----------	-------------------

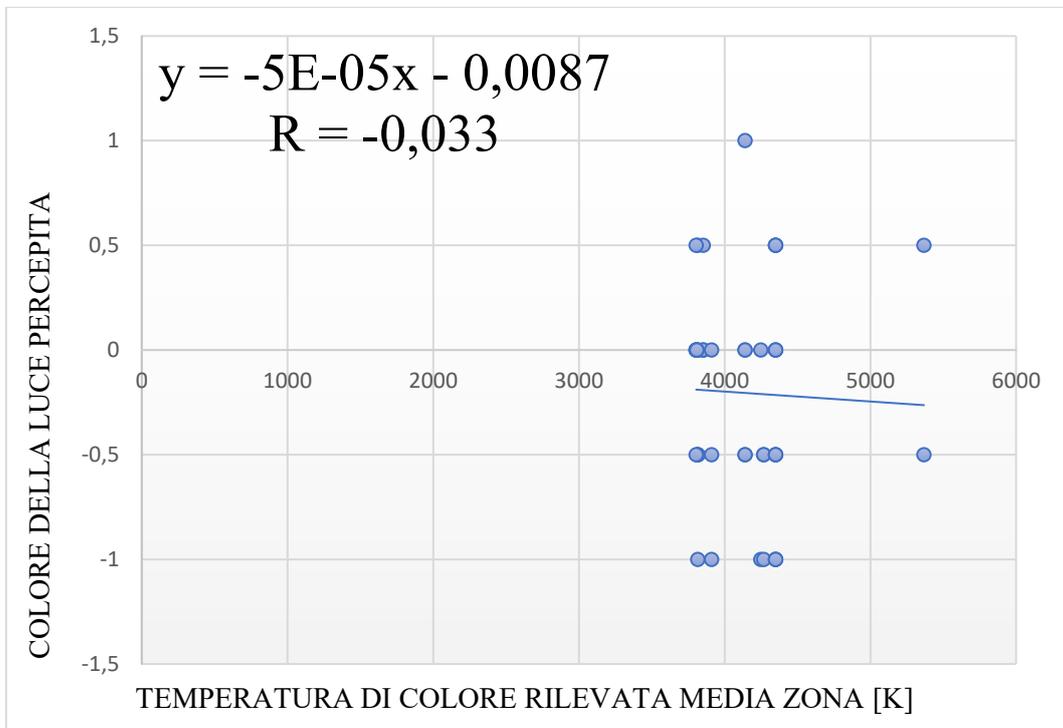


Fig. 250 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.

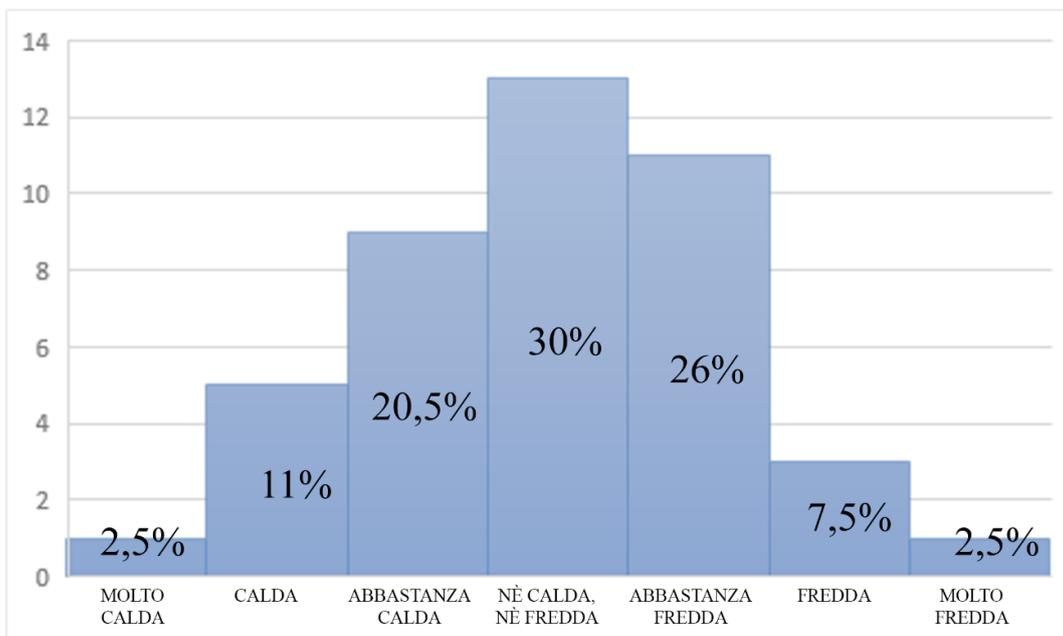


Fig. 251 Grafico istogramma sulla percezione del colore della luce nell'ambiente da parte degli studenti.

I grafici successivi (fig. 252 e fig. 253) mostrano due differenti percezioni visive in base alla posizione degli studenti. I dati estrapolati riguardano il grado di soddisfazione della quantità di luce sulla lavagna da differenti posizioni dell'aula. Analizzando la parte centrale dell'ambiente si è notato che da ambe le parti non si riscontra un grado di soddisfazione adeguato. Solitamente nell'ambiente ci sono zone che gli studenti prediligono ad altre per aver una miglior visione del piano lavagna, ma analizzando i dati di quest'aula non si verifica questa situazione, come si può notare nel grafico complessivo (fig. 254).

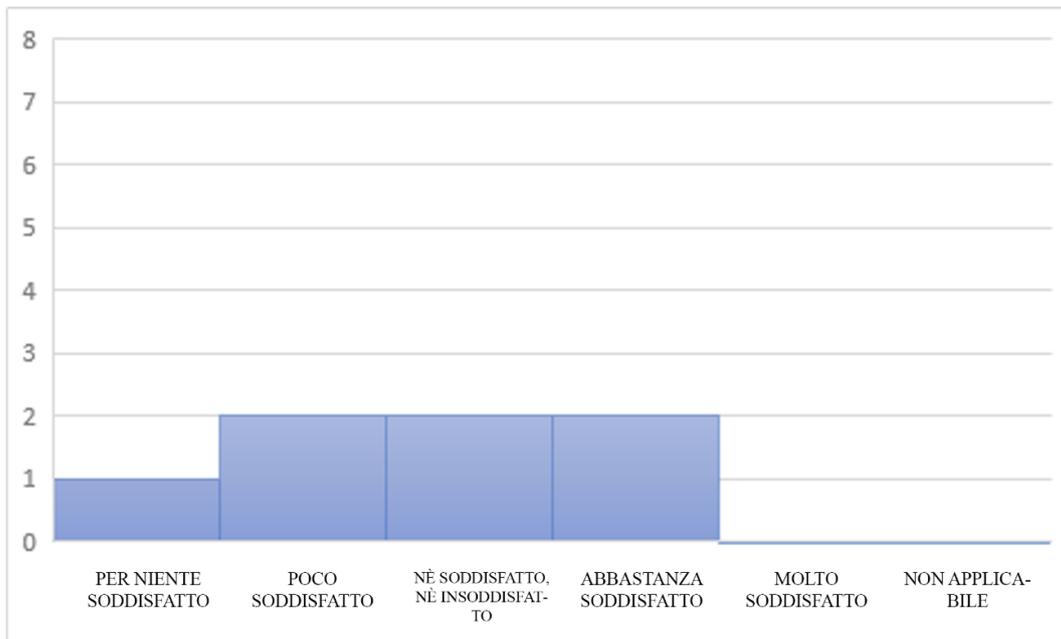


Fig. 252 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna, fila centrale lato sinistro.

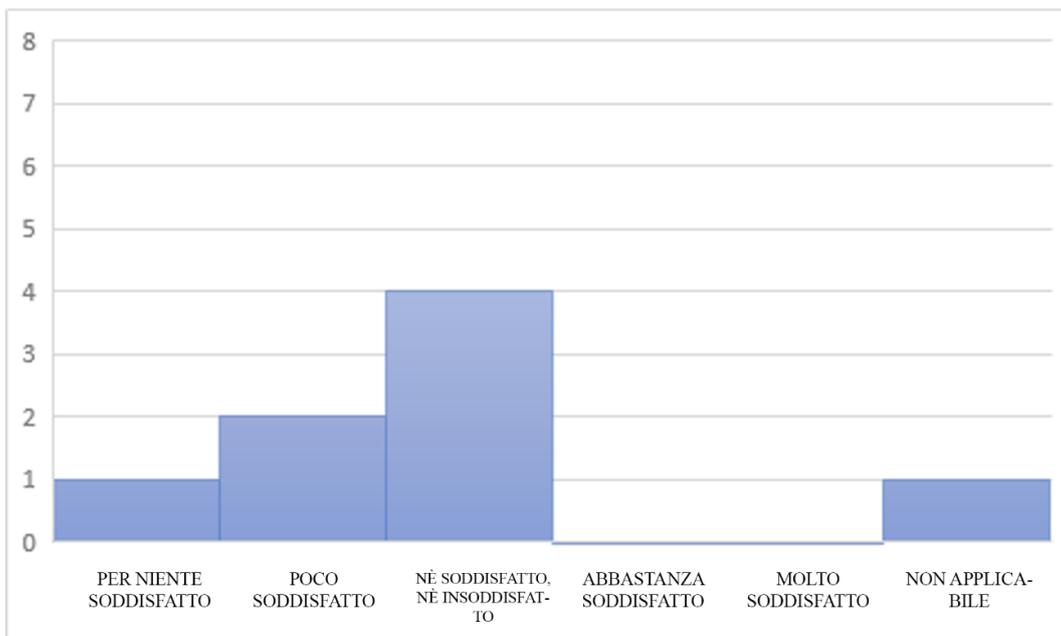


Fig. 253 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna, fila centrale lato destro.

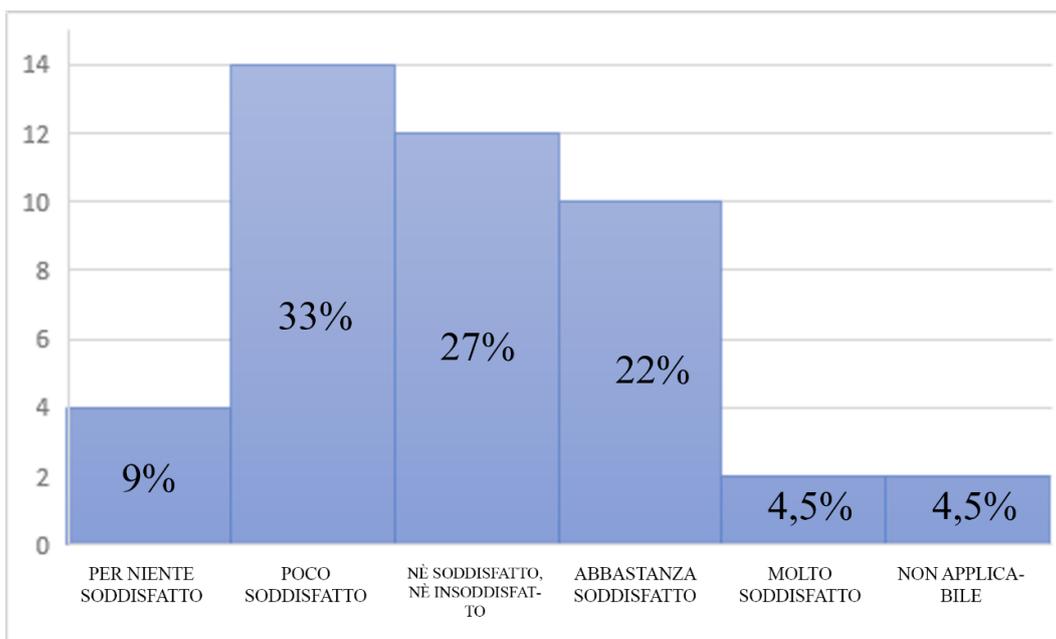


Fig. 254 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.

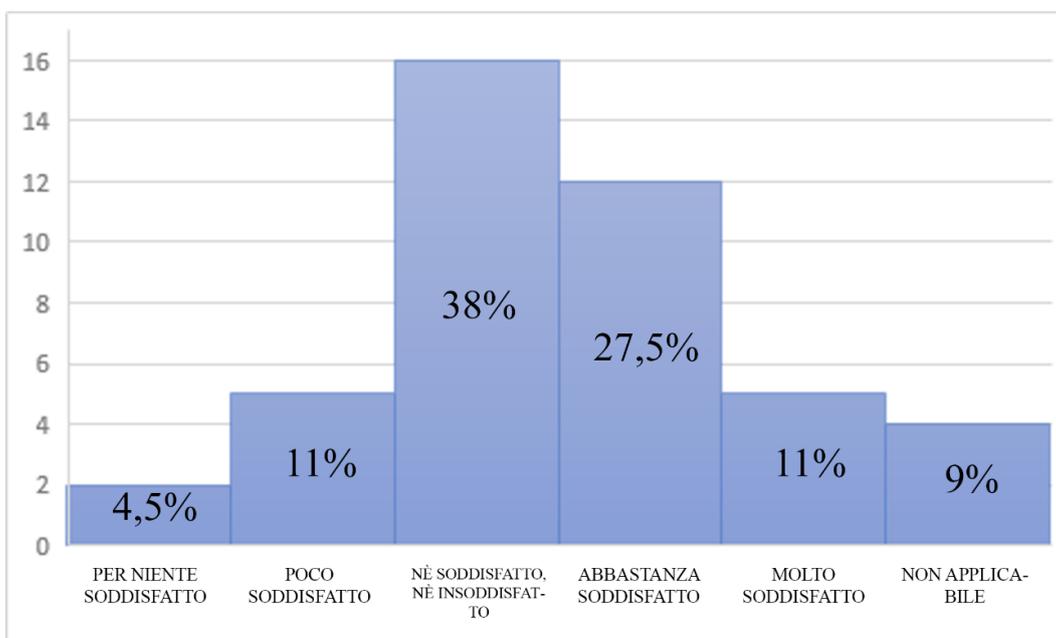


Fig. 255 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.

Estrapolando tutti i dati dei questionari sul grado di soddisfazione della quantità di luce complessivi sulla lavagna, piano di lavoro, schermo di proiezione e nell'aula, si nota che gli individui presenti all'interno dell'aula 7I sono in parte soddisfatti e in no delle condizioni visive. C'è un grado di apprezzamento superiore dello schermo di proiezione rispetto al piano lavagna. Per quanto riguarda la quantità di luce nell'aula si verifica un grado di apprezzamento abbastanza alto riscontrabile nell'analisi oggettiva con buoni valori di illuminamento.

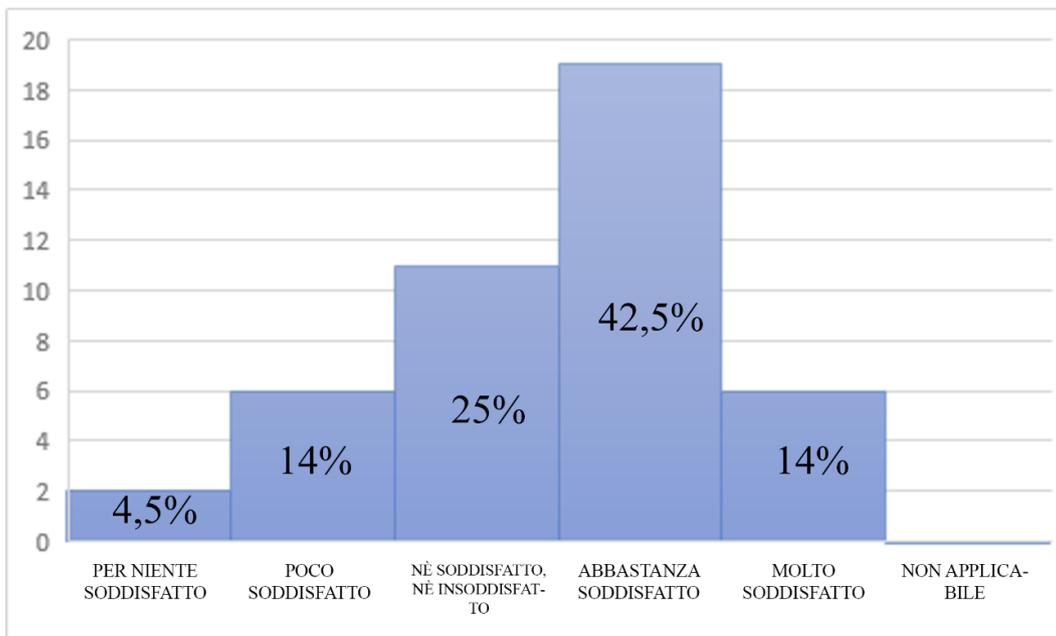


Fig. 256 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce nell'aula.

Il grafico seguente (fig. 257) mostra il grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano di lavoro. La maggior parte degli studenti è soddisfatta di queste condizioni, infatti analizzando anche l'assonometria in cui sono segnati i dati sull'illuminamento rilevato, si nota come si riscontrino valore di illuminamento anche superiori ai 400 lux.

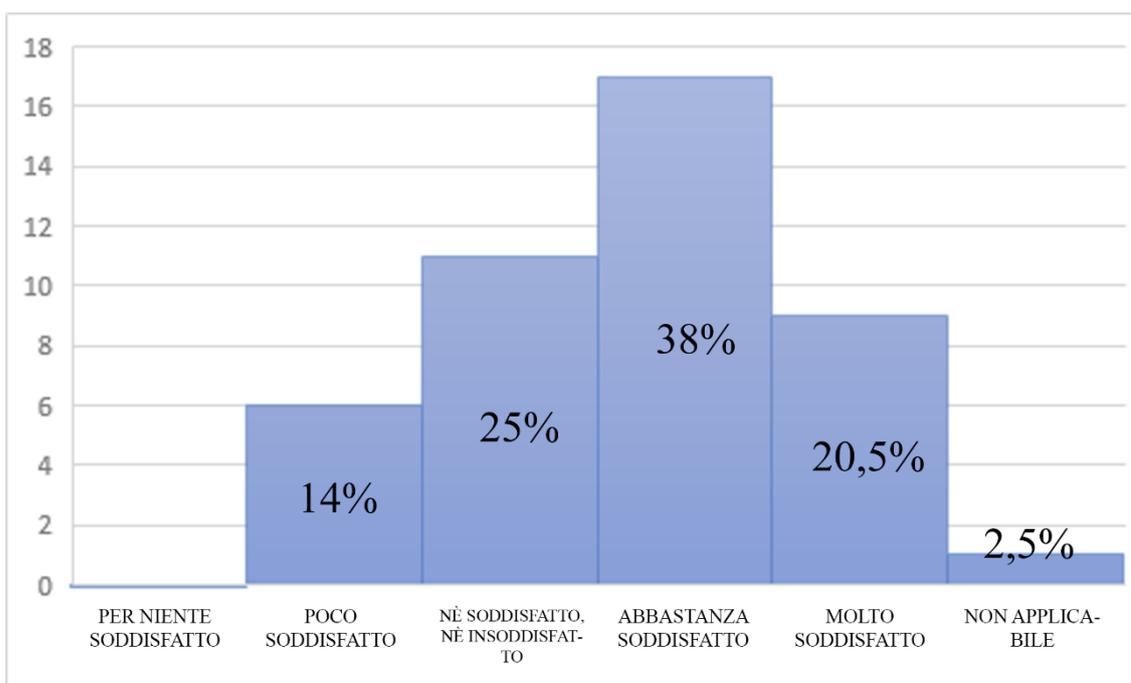


Fig. 257 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro.

Il successivo, invece, mostra la corrispondenza tra il grado di soddisfazione percepito e l'illuminamento medio rilevato sui banchi.

Scala di conversione dei valori sulle ordinate.

Per niente soddisfatto: -1	Poco soddisfatto: -0.5	Né insoddisfatto, né soddisfatto: 0	Abbastanza soddisfatto: 0.5	Molto soddisfatto: 1
----------------------------	------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	----------------------

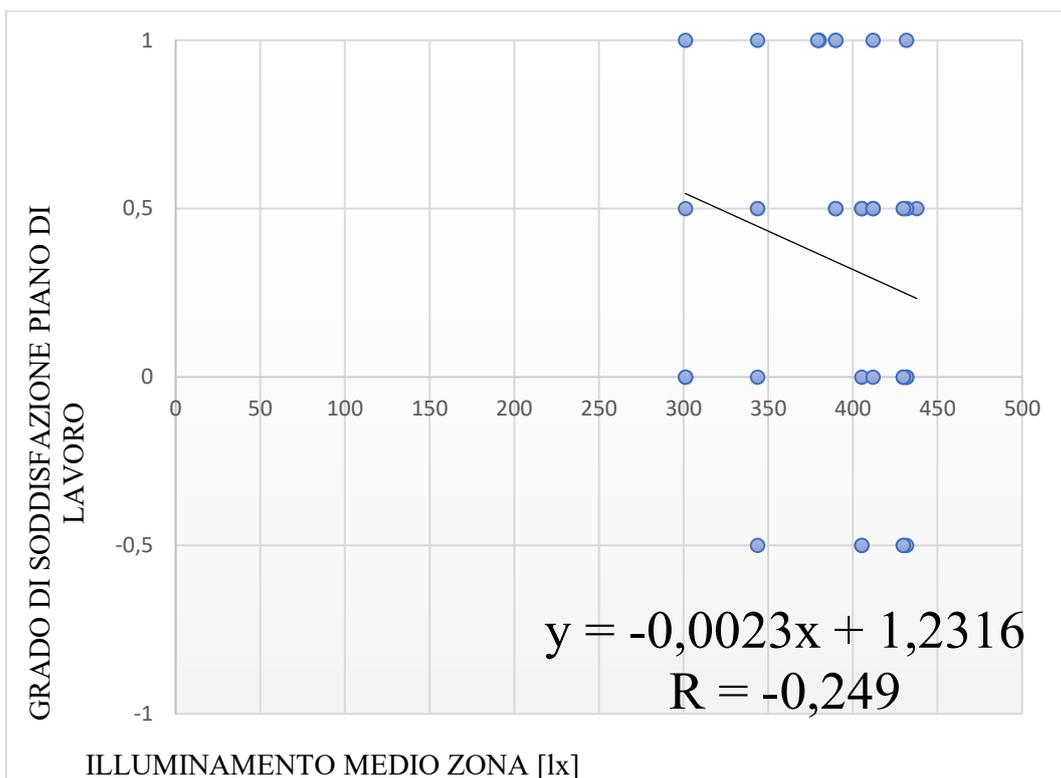


Fig. 258 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.

Analizzando il grafico di Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi, si nota che gli studenti apprezzano le condizioni indipendentemente dall'illuminamento misurato nelle diverse zone, questo perché si verificano valori abbastanza uniformi nell'ambiente, è quindi difficile che si verifichi una qualsiasi correlazione.

Capitolo 5: Calcolo analitico e confronto tramite software DIVA del Fattore di Luce Diurna medio

Oltre all'analisi oggettiva e soggettiva del confort visivo, è stata effettuata una terza analisi per confrontare i dati ottenuti con valori estrapolati da software così da avere un metro di paragone.

Il software che si è scelto di utilizzare è Diva for Rhinoceros²⁵.

Il software Diva, concesso da Solemma, consente di effettuare simulazioni di illuminazione naturale se si dispone di un modello 3D rappresentativo del caso studio scelto. È possibile scegliere tra numerosi tipi di simulazione a seconda del risultato che si vuole ottenere e dal grado di definizione che si vuole raggiungere. Nel nostro caso è servito per verificare i valori di Fattore di luce diurna medio per confrontarli con i dati ottenuti analiticamente in base ai rilievi sul campo.

Inoltre, è servito per confrontare i dati di distribuzione dell'illuminamento nei casi studio con l'analisi oggettiva svolta.

Essendo Diva un software correlato a Rhinoceros, è stato necessario importare i modelli definiti tramite ArchiCAD in tale piattaforma.

5.1 Interfaccia

Diva si presenta come plug-in del software Rhinoceros, e va ad aggiungere 4 comandi alla variegata selezione del programma.

Questi comandi sono:

- Location
- Nodes
- Materials
- Metrics

²⁵ Software applicativo commerciale per la modellazione 3D di superfici sculturate realizzato da Robert McNeel & Associates.

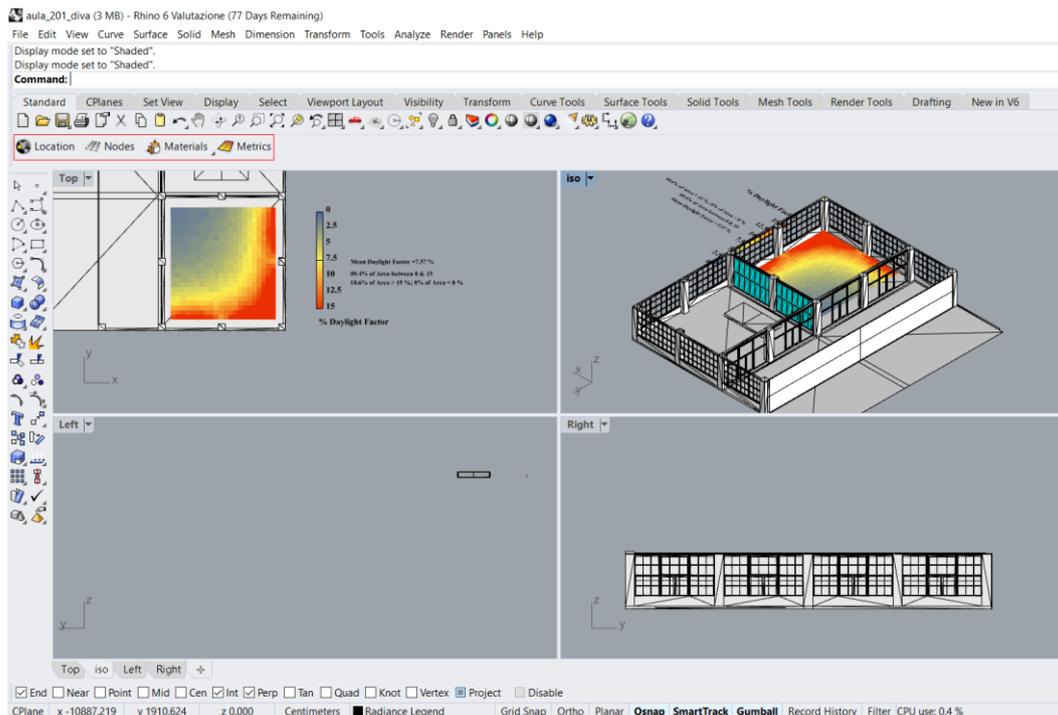


Fig. 259 Interfaccia del software Rhinoceros con aggiunta dei comandi del plug-in DIVA.

5.1.1 Location

Per rendere verosimile la simulazione è necessario geolocalizzare il modello, ovvero attribuirgli una posizione per simulare i parametri di illuminazione del luogo scelto. È stato scelto come file di destinazione rappresentativo dei parametri di illuminazione “Torino- Caselle”.

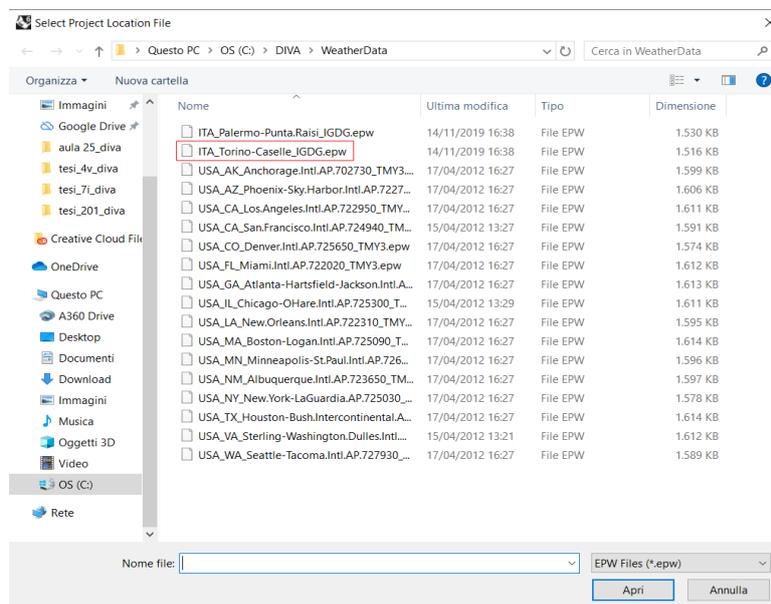


Fig. 260 File di locazione utilizzato.

5.1.2 Nodes

Diva, per fornire dati di simulazione, necessita di una superficie planare rappresentativa del piano di lavoro che si vuole analizzare. È stata scelta una griglia per ogni caso studio rappresentativa della disposizione dei banchi. È necessario settare l'altezza della superficie di analisi, è stata scelta l'altezza della superficie dei banchi.

Il programma permette di stabilire dei nodi che rappresentano i punti dove andrà ad effettuare l'analisi. Di conseguenza, più saranno i nodi, più accurata sarà l'analisi. Il programma permette di selezionare la distanza dei nodi sulla superficie di analisi, quindi controllarne la quantità.

È stata scelta una distanza di 0,50 metri fra i nodi perché rappresentativa della distanza fra gli studenti nelle postazioni, e perché ha permesso di ottenere una buona accuratezza di risultati.

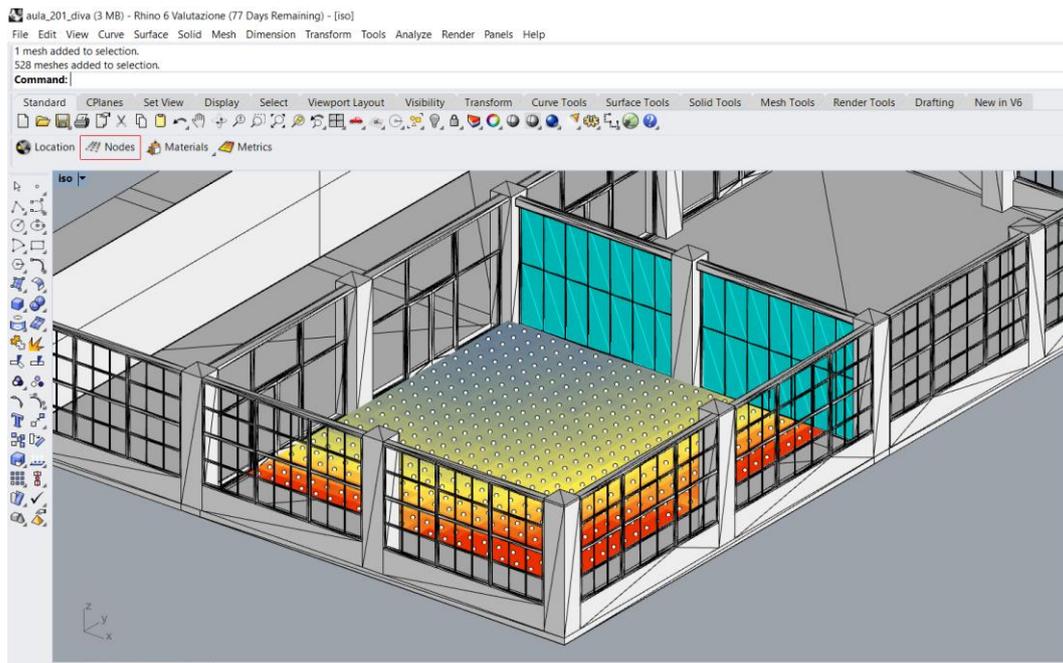


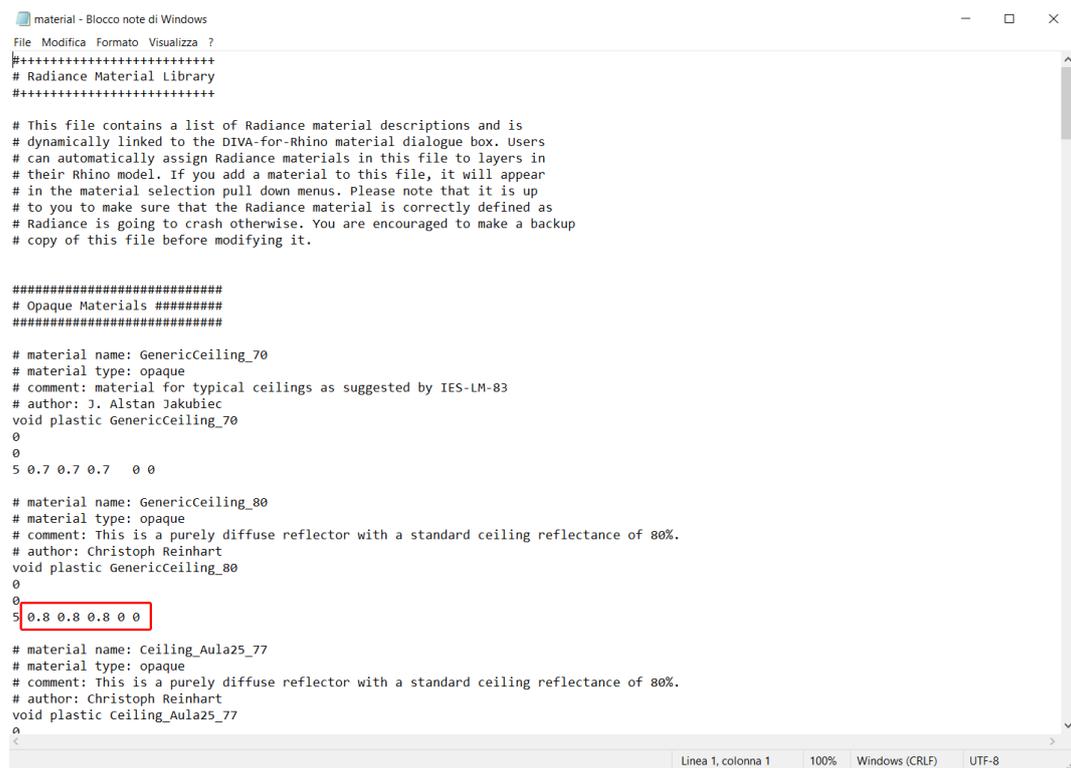
Fig. 261 Visualizzazione della griglia di analisi con nodi.

5.1.3 Materials

Il software Diva ragiona tramite la sovrascrittura dei materiali relativi ai layers di lavoro del modello di Rhinoceros con i materiali presenti nel suo database. L'obiettivo delle analisi disponibili nel software è quello di verificare condizioni di illuminazione (ed eventualmente condizioni termiche), di conseguenza i

materiali riportati nel database proprio del programma mostrano solo parametri di illuminazione, principalmente i coefficienti di riflessione e trasmissione luminosa. Proprio per questo motivo è possibile editare facilmente i materiali aprendo il file di destinazione che appare come un file di testo con estensione .rad.

Per effettuare una simulazione realistica, è necessario riprodurre i materiali presenti negli ambienti con i rispettivi parametri. Per creare un nuovo materiale è sufficiente copiarne uno esistente e modificarne i parametri. Ad esempio, per un materiale opaco è sufficiente modificarne il fattore di riflessione luminosa.



```
material - Blocco note di Windows
File Modifica Formato Visualizza ?
#+++++
# Radiance Material Library
#+++++

# This file contains a list of Radiance material descriptions and is
# dynamically linked to the DIVA-for-Rhino material dialogue box. Users
# can automatically assign Radiance materials in this file to layers in
# their Rhino model. If you add a material to this file, it will appear
# in the material selection pull down menus. Please note that it is up
# to you to make sure that the Radiance material is correctly defined as
# Radiance is going to crash otherwise. You are encouraged to make a backup
# copy of this file before modifying it.

#####
# Opaque Materials #####
#####

# material name: GenericCeiling_70
# material type: opaque
# comment: material for typical ceilings as suggested by IES-LM-83
# author: J. Alstan Jakubiec
void plastic GenericCeiling_70
0
0
5 0.7 0.7 0.7 0 0

# material name: GenericCeiling_80
# material type: opaque
# comment: This is a purely diffuse reflector with a standard ceiling reflectance of 80%.
# author: Christoph Reinhart
void plastic GenericCeiling_80
0
0
5 0.8 0.8 0.8 0 0

# material name: Ceiling_Aula25_77
# material type: opaque
# comment: This is a purely diffuse reflector with a standard ceiling reflectance of 80%.
# author: Christoph Reinhart
void plastic ceiling_Aula25_77
0
0
```

Fig. 262 File editor dei materiali di DIVA.

Per inserire i materiali creati o di default è sufficiente cliccare sull'icona “materials” di Diva, comparirà un menu a tendina ove sono presenti i layers del modello di rhinoceros con i rispettivi menu a tendina relativi materiali selezionabili del software Diva.

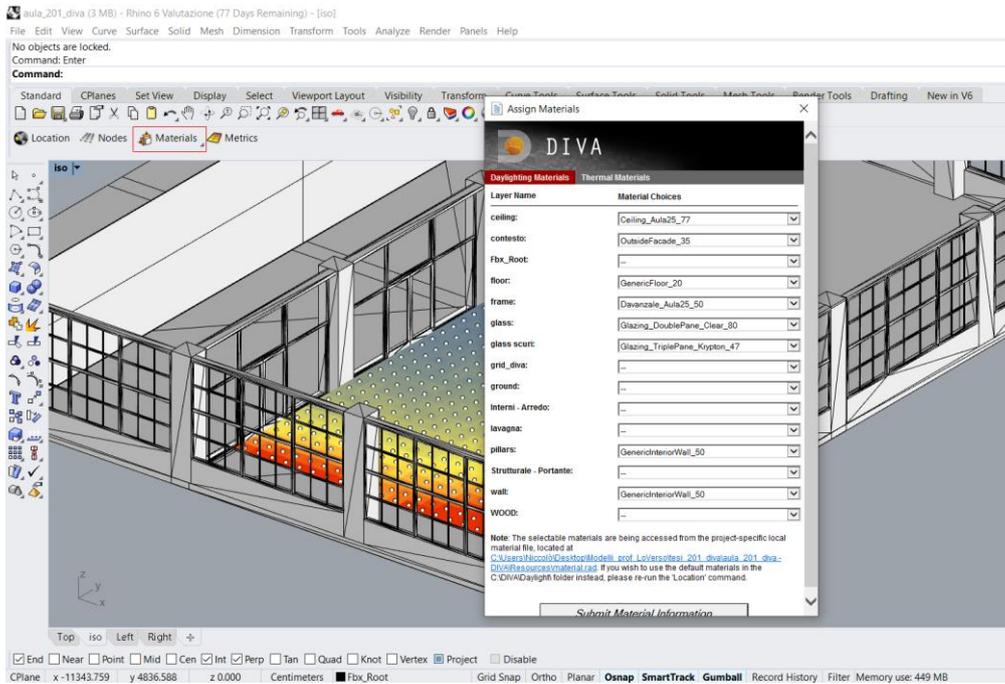


Fig. 263 Visualizzazione dei materiali all'interno del software Rhinoceros.

5.1.4 Metrics

Una volta settati i parametri di locazione, nodi e superficie di analisi, materiali, è possibile lanciare l'analisi illuminotecnica.

Occorre selezionare la tipologia di analisi che si vuole effettuare. È stata effettuata un'analisi del "Daylight factor" ovvero il fattore medio di luce diurna.

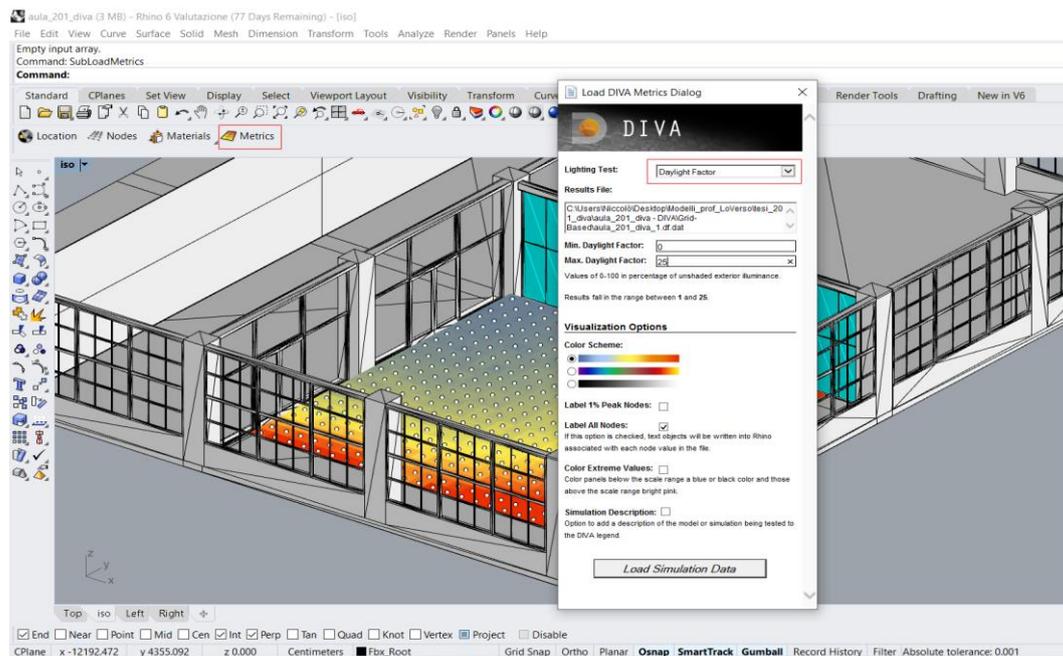


Fig. 264 Visualizzazione dei risultati ottenuti post analisi.

Una volta effettuata la simulazione, per visualizzarne i risultati è necessario settare il range dei risultati (suggerito dal programma) e la gamma di colori corrispondente ai risultati.

Apparirà successivamente sulla schermata di Rhinoceros, una griglia dove sono rappresentati i nodi e la loro area di validità con un certo colore rappresentante la misura puntuale di FLD secondo le scale di colore e di visualizzazione valori scelte.

5.2 Risultati ottenuti

Paragonando i risultati ottenuti con l'analisi analitica del FLDm e quella tramite software si può notare che in linea di massima i risultati di FLDm ottenuti sono simili, ma il grosso vantaggio che offre l'analisi tramite software è la possibilità di capire quali sono le zone dell'ambiente più buie e più luminose, considerando che fornisce anche valori puntuali di FLD. Da un certo punto di vista è possibile paragonare questi dati di FLD con i valori di illuminamento misurati tramite l'analisi oggettiva se si considera costante l'illuminamento esterno nel periodo in cui si è effettuato, ma non si otterrebbero valori fedeli alla situazione reale considerando la variabilità nel tempo delle condizioni di illuminamento, di conseguenza i valori di illuminamento rilevati tramite analisi oggettiva sono stati usati unicamente per valutare le condizioni di comfort visivo interno e come confronto con l'analisi soggettiva.

5.2.1 Aula 4V

L'aula 4V si presenta in condizioni limite dal punto di vista illuminotecnico. È un ambiente vasto e alto, con aperture numerose non propriamente sufficienti a garantire il fabbisogno di luce naturale. In passato c'è stato un intervento che ha portato il posizionando di lucernari aggiuntivi sul lato sud, ma come riportato di seguito si ottengono risultati non abbastanza soddisfacenti.

Per il calcolo del FLDm si è proseguito in questo modo:

- Coefficiente riflessione luminosa medio ponderato r_m [-]: 0,42
- Area vetrata A_f [m²]: 22,3
- Area totale A_{tot} [m²]: 667
- Fattore riduzione finestra Ψ (Sud) [-]: 1
- Fattore riduzione finestra Ψ (Nord) [-]: 0,92
- Fattore finestra (Sud) ε [-]: 0,42
- Fattore finestra (Nord) ε [-]: 0,36
- Fattore di trasmissione luminosa del vetro t [-]: 0,70

$$\text{FLDm} = \frac{A_f \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \Psi}{A_{tot} (1 - r_m)} = 0,015 = 1,5 \%$$

Il valore ottenuto pari a 1.5% è un valore abbastanza basso per la Normativa Italiana vigente che ne richiede come valore minimo il 3% (per edifici di nuova costruzione). Considerando l'esigenza del Politecnico di Torino di massimizzare gli spazi dedicati agli studenti, anche dove le condizioni del luogo non sono a favore dell'illuminazione, questo dato può essere considerato accettabile anche se non rispetta a pieno la norma. Ovviamente, il dato appena elaborato è frutto di condizioni metereologiche sfavorevoli e dunque in condizioni di cielo aperto e soleggiato il valore sarebbe sicuramente più alto.

I dati ottenuti qui di seguito dalle due equazioni sono i valori di WWR e WFR:

$$\text{WWR: } A_{\text{vetrata}} / A_{\text{parete}} = 22,3 / 193,5 = 0,11$$

$$\text{WFR: } A_{\text{vetrata}} / A_{\text{pavimento}} = 22,3 / 204,6 = 0,11$$

Il valore di WWR è tanto migliore quanto più si avvicina ad 1, in questo caso è ritenuto basso. Il WFR ottenuto, spesso chiamato "rapporto aero illuminante", è appena inferiore a 1/8 che è il valore raccomandato, questo dato ci indica che la superficie vetrata presente all'interno dell'aula 4V è insufficiente (anche se poco sotto la soglia) a coprire il fabbisogno di illuminazione naturale entrante, considerando un piccolo margine di errore è possibile che l'ambiente soddisfi i requisiti minimi.

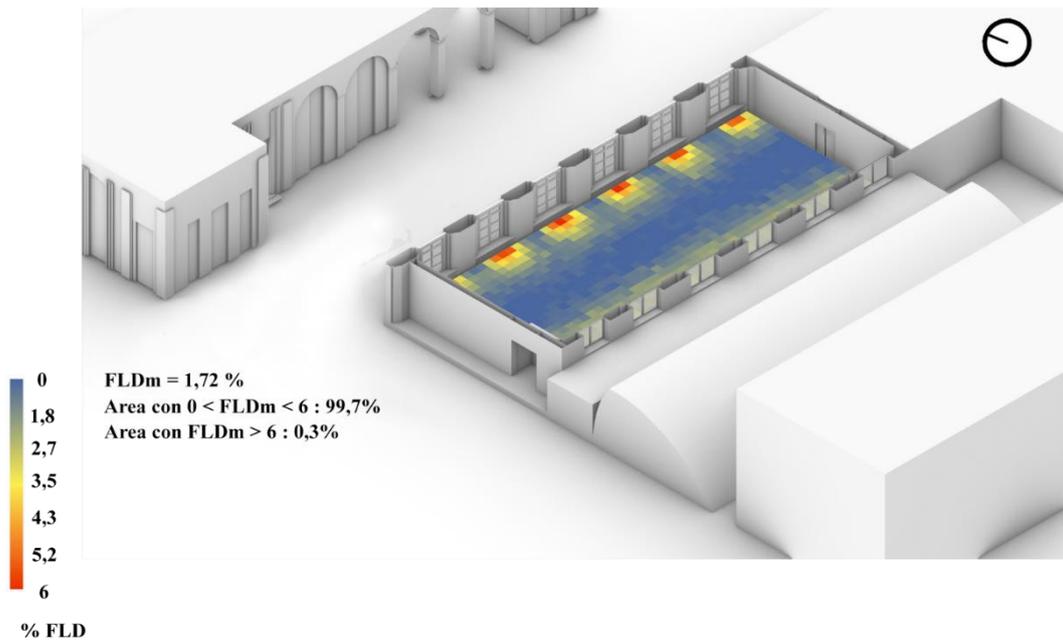


Fig. 265 Vista assometrica dei risultati ottenuti, aula 4V.

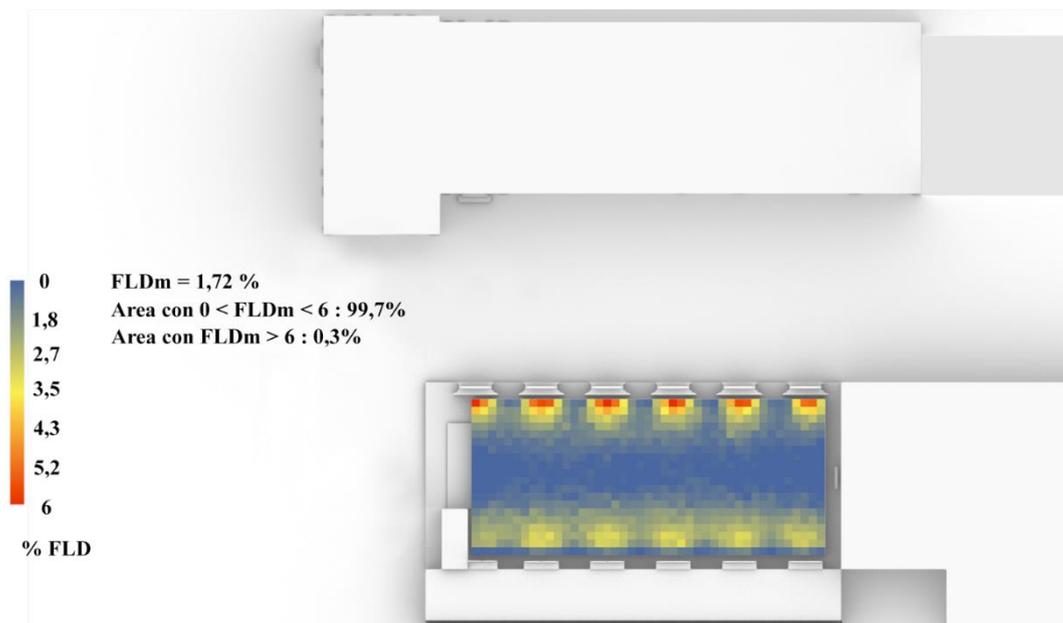


Fig. 266 Vista dall'alto dei risultati ottenuti, aula 4V.

Il valore di FLDm ottenuto per via analitica è dell'1,5 %. Utilizzando gli stessi valori di fattore di riflessione luminosa tramite software è stato ottenuto un valore di FLDm pari a 1,72 %. È anche emerso che l'99,7% dell'ambiente ha un valore di FLD compreso da 0 e 6, e lo 0,3% dell'ambiente ha un valore di FLD ha un valore di FLD > 6.

5.2.2 Aula 25

L'aula 25, considerando le analisi eseguite, è la più critica a livello di comfort visivo, questo a causa della sua posizione strutturale e delle molteplici ostruzioni presenti intorno ad essa.

Per il calcolo del FLDm si è proseguito in questo modo:

- Coefficiente riflessione luminosa medio ponderato r_m [-]: 0,61
- Area vetrata A_f [m²]: 8,4
- Area totale A_{tot} [m²]: 249
- Fattore riduzione finestra Ψ (Sud) [-]: 1
- Fattore finestra (Sud) ε [-]: 0,10
- Fattore di trasmissione luminosa del vetro t [-]: 0,70

$$FLDm = \frac{A_f \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \Psi}{A_{tot} (1 - r_m)} = 0,006 = 0,6 \%$$

Il risultato ottenuto dall'equazione precedente è nettamente basso per la Normativa Italiana vigente che ne richiede come valore minimo il 3% (per edifici di nuova costruzione), seppur calcolato in modo analitico, bisogna considerare l'usura di alcuni elementi interni all'aula che ne provocano la modifica dei coefficienti di riflessione. Il valore ottenuto però è anche dipendente dalle ostruzioni che nel caso dell'aula 25 sono maggiori a Sud in corrispondenza delle superfici vetrate.

I dati ottenuti qui di seguito dalle due equazioni sono i valori di WWR e WFR:

$$WWR: A_{\text{vetrata}} / A_{\text{parete}} = 8,4 / 42 = 0,20$$

$$WFR: A_{\text{vetrata}} / A_{\text{pavimento}} = 8,4 / 68 = 0,12$$

Il valore di WWR è tanto migliore quanto più si avvicina ad 1, in questo caso è ritenuto basso. Il WFR ottenuto, spesso chiamato "rapporto aero illuminante", è circa pari rispetto a 1/8 che è il valore raccomandato, questo dato indica che la superficie vetrata presente all'interno dell'aula 25 è appena sufficiente a coprire il fabbisogno di illuminazione naturale entrante.

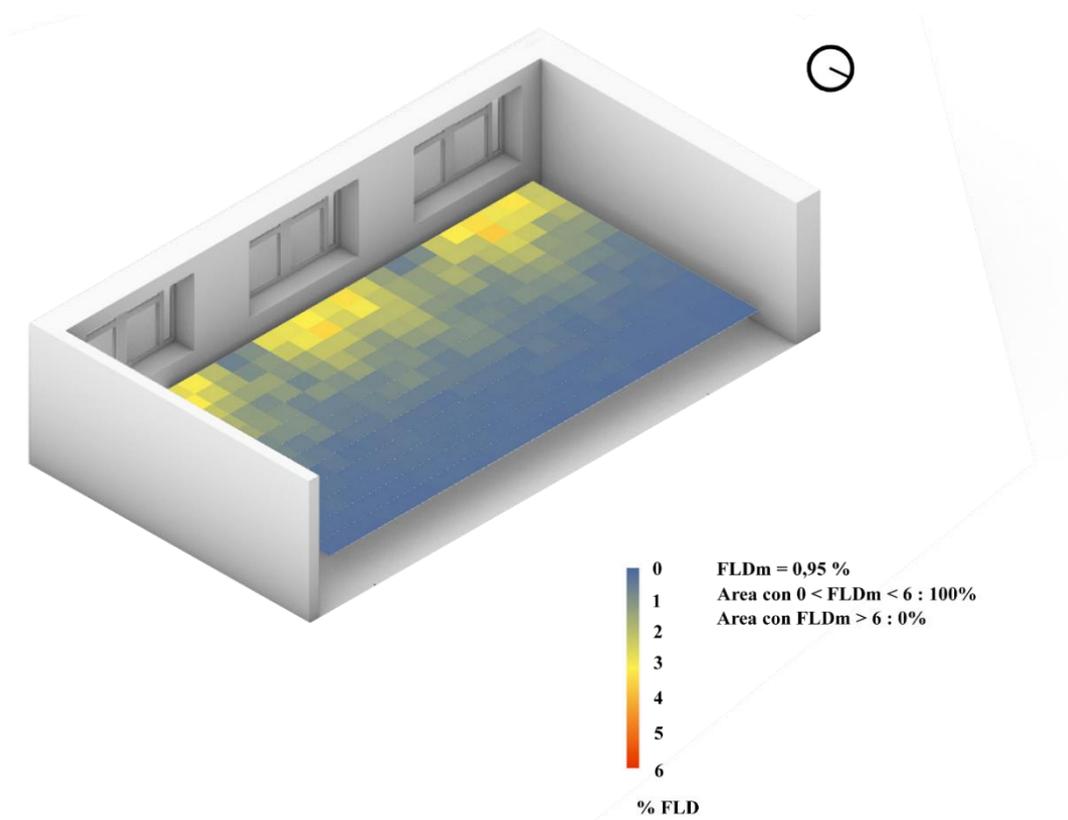


Fig. 267 Vista assonometrica dei risultati ottenuti, aula 25.

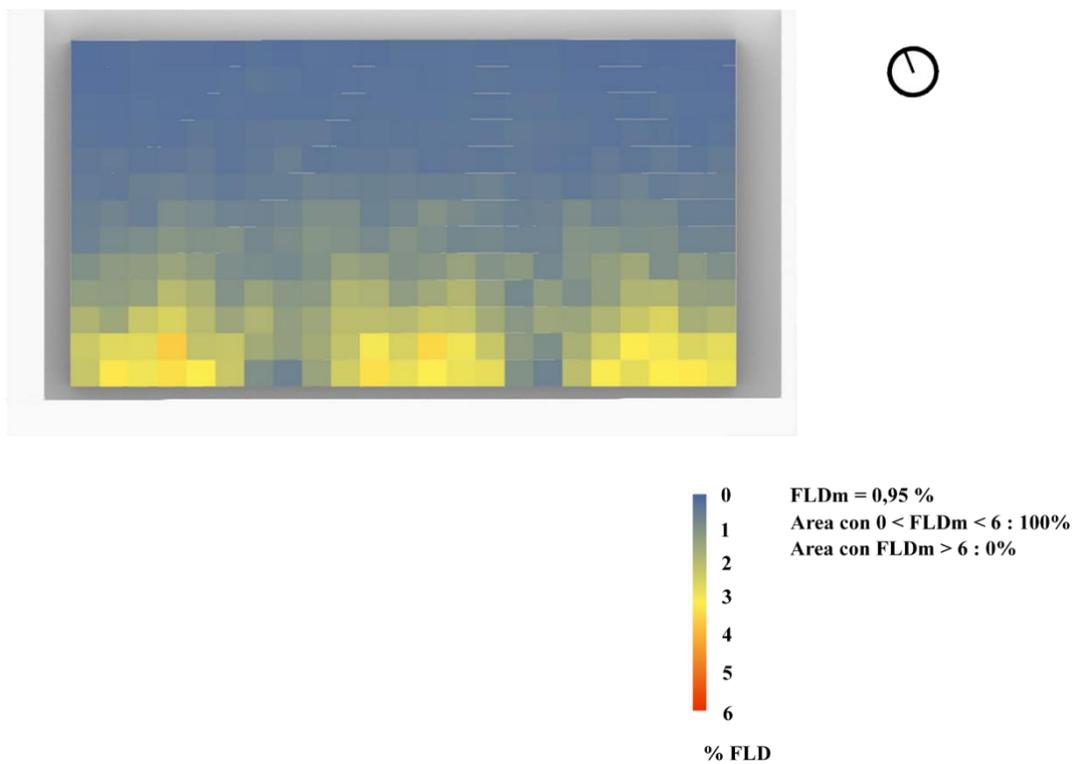


Fig. 268 Vista dall'alto dei risultati ottenuti, aula 25.

Il valore di FLDm ottenuto per via analitica è dello 0,6 %. Utilizzando gli stessi valori di fattore di riflessione luminosa tramite software è stato ottenuto un valore di FLDm pari a 0,95 %. È anche emerso che il 100 % dell'ambiente ha un valore di FLD compreso da 0 a 6, ma il valore massimo riscontrabile si non supera il 4,5 %.

5.2.3 Aula 201

L'aula 201 si può definire come una delle aule più confortevoli dal punto di vista illuminotecnico, questo grazie alla sua posizione strutturale senza ostruzioni essendo posta al secondo piano dell'edificio ed inoltre presenta tutte le pareti vetrate, di cui due con affaccio esterno.

Per il calcolo del FLDm si è proseguito in questo modo:

- Coefficiente di riflessione luminosa medio ponderato r_m [-]: 0,48
- Area vetrata (Sud) A_f [m²]: 26
- Area vetrata (Est) A_f [m²]: 29
- Area totale A_{tot} [m²]: 354
- Fattore riduzione finestra Ψ (Sud) [-]: 1
- Fattore riduzione finestra Ψ (Est) [-]: 1
- Fattore finestra (Sud) ε [-]: 0,34
- Fattore finestra (Est) ε [-]: 0,43
- Fattore di trasmissione luminosa del vetro t [-]: 0,70

$$FLDm = \frac{A_f \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \Psi}{A_{tot} (1 - r_m)} = 0,082 = 8,2 \%$$

Il risultato ottenuto dall'equazione precedente è molto elevato rispetto al valore della Normativa Italiana vigente che ne richiede come valore minimo il 3 % (per edifici di nuova costruzione), seppur calcolato in modo analitico, bisogna considerare l'usura di alcune finiture interne all'aula che ne provocano la modifica dei coefficienti di riflessione. Quindi questo valore potrebbe risultare ancora più elevato, ma anche con il passare del tempo e con l'usura, l'aula presenta un ottimo fattore di luce diurna medio.

I dati ottenuti qui di seguito dalle due equazioni sono i valori di WWR e WFR:

$$WWR: A_{vetrata} / A_{parete} = 55 / 65,6 = 0,83$$

$$WFR: A_{vetrata} / A_{pavimento} = 55 / 144 = 0,38$$

Il valore di WWR è tanto migliore quanto più si avvicina ad 1, in questo caso è soddisfacente. Il WFR ottenuto, spesso chiamato “rapporto aero illuminante”, è nettamente superiore a 1/8 che è il valore raccomandato, questo dato ci indica che la superficie vetrata presente all’interno dell’aula 201 è sufficiente a coprire il fabbisogno di illuminazione naturale entrante.

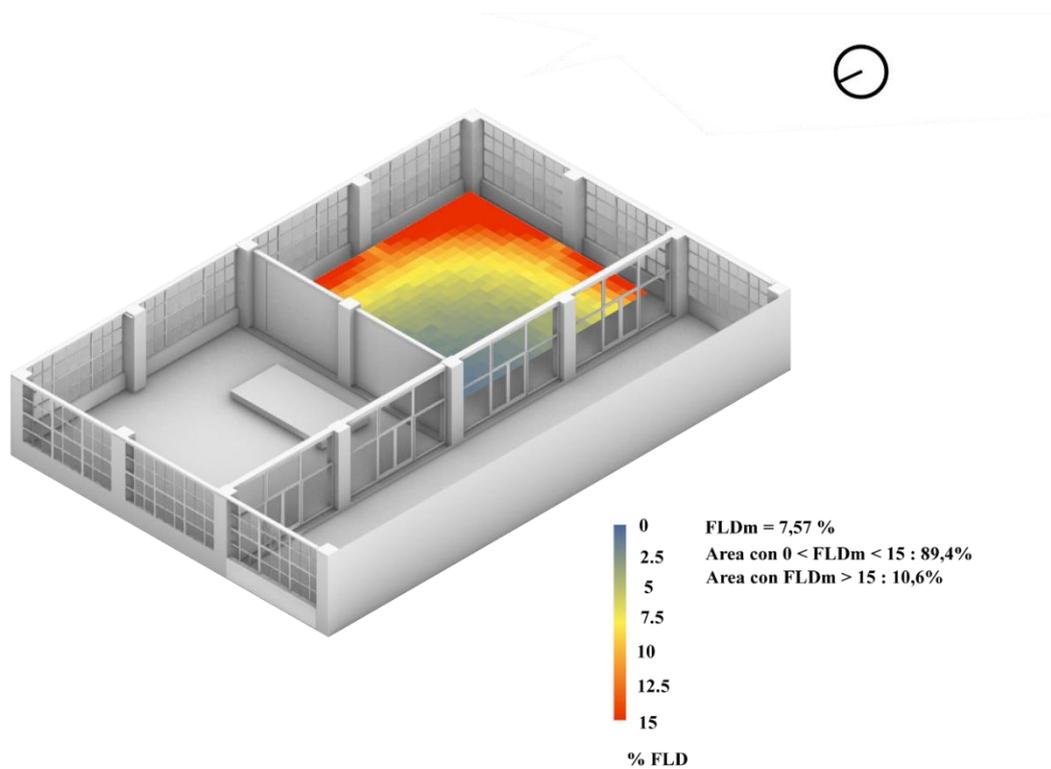


Fig. 269 Vista assonometrica dei risultati ottenuti, aula 201.

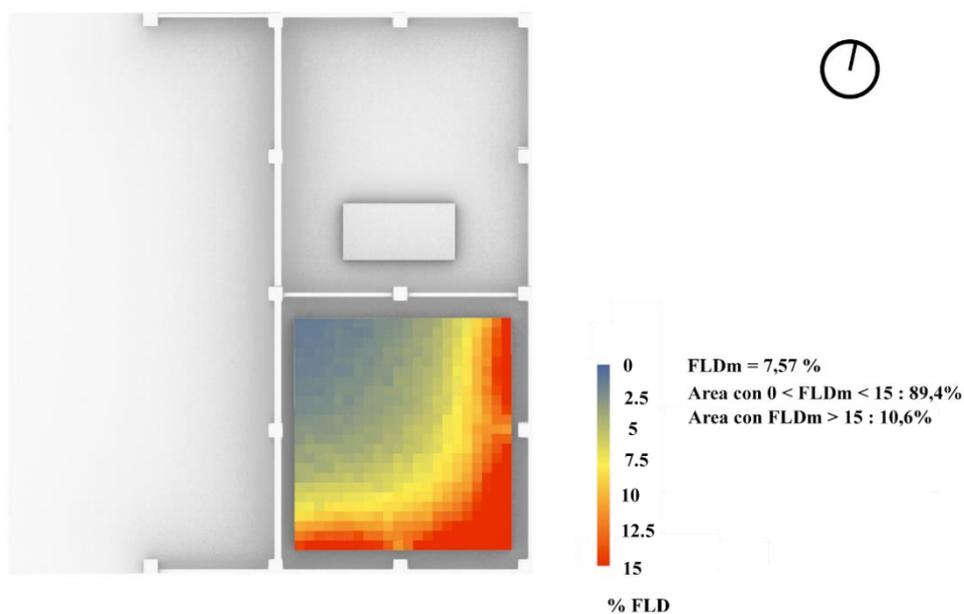


Fig. 270 Vista dall'alto dei risultati ottenuti, aula 201.

Il valore di FLDm ottenuto per via analitica è dell'8,2%. Utilizzando gli stessi valori di fattore di riflessione luminosa tramite software è stato ottenuto un valore di FLDm pari a 7,57 %. È anche emerso che il 89,4 % dell'ambiente ha un valore di FLD compreso da 0 e 15, e il 10,6 % dell'ambiente ha un valore di FLD > 15. Per questo ambiente è stata utilizzata una scala di valori diversa dagli altri ambienti (stabilita da 0 a 6) per classificare i valori di FLD con la scala di colore. Questo perché i valori di FLD sono risultati molto più alti degli altri ambienti, si è optato quindi per una scala da 0 a 15.

5.2.4 Aula 7I

L'aula 7I può essere definita confortevole dal punto di vista illuminotecnico, questo grazie ad un'intera parete verso Sud che garantisce una buona illuminazione naturale.

Per il calcolo del FLDm si è proseguito in questo modo:

- Coefficiente di riflessione luminosa medio ponderato r_m [-]: 0,51
- Area vetrata A_f [m²]: 28,2
- Area totale A_{tot} [m²]: 453
- Fattore riduzione finestra Ψ (Sud) [-]: 1
- Fattore finestra (Sud) ε [-]: 0,35
- Fattore di trasmissione luminosa del vetro t [-]: 0,70

$$FLDm = \frac{A_f \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \Psi}{A_{tot} (1 - r_m)} = 0,031 = 3,1 \%$$

Il risultato ottenuto dall'equazione precedente rientra nei limiti rispetto al valore della Normativa Italiana vigente che ne richiede come valore minimo il 3% (per edifici di nuova costruzione), seppur calcolato in modo analitico, bisogna considerare l'usura di alcuni elementi interni all'aula che ne provocano la modifica dei coefficienti di riflessione. Quindi questo valore potrebbe risultare ancora più elevato, ma anche con il passare del tempo e con l'usura, l'aula presenta un buon fattore di luce diurna medio.

I dati ottenuti qui di seguito dalle due equazioni sono i valori di WWR e WFR:

$$WWR: A_{\text{vetrata}} / A_{\text{parete}} = 28,2 / 46,2 = 0,61$$

$$\text{WFR: } A_{\text{vetrata}} / A_{\text{pavimento}} = 28,2 / 154 = 0,18$$

Il valore di WWR è tanto migliore quanto più si avvicina ad 1, in questo caso è adeguato. Il WFR ottenuto, spesso chiamato “rapporto aero illuminante”, è nettamente superiore a 1/8 che è il valore raccomandato, questo dato indica che la superficie vetrata presente all’interno dell’aula 7I è sufficiente a coprire il fabbisogno di illuminazione naturale entrante.

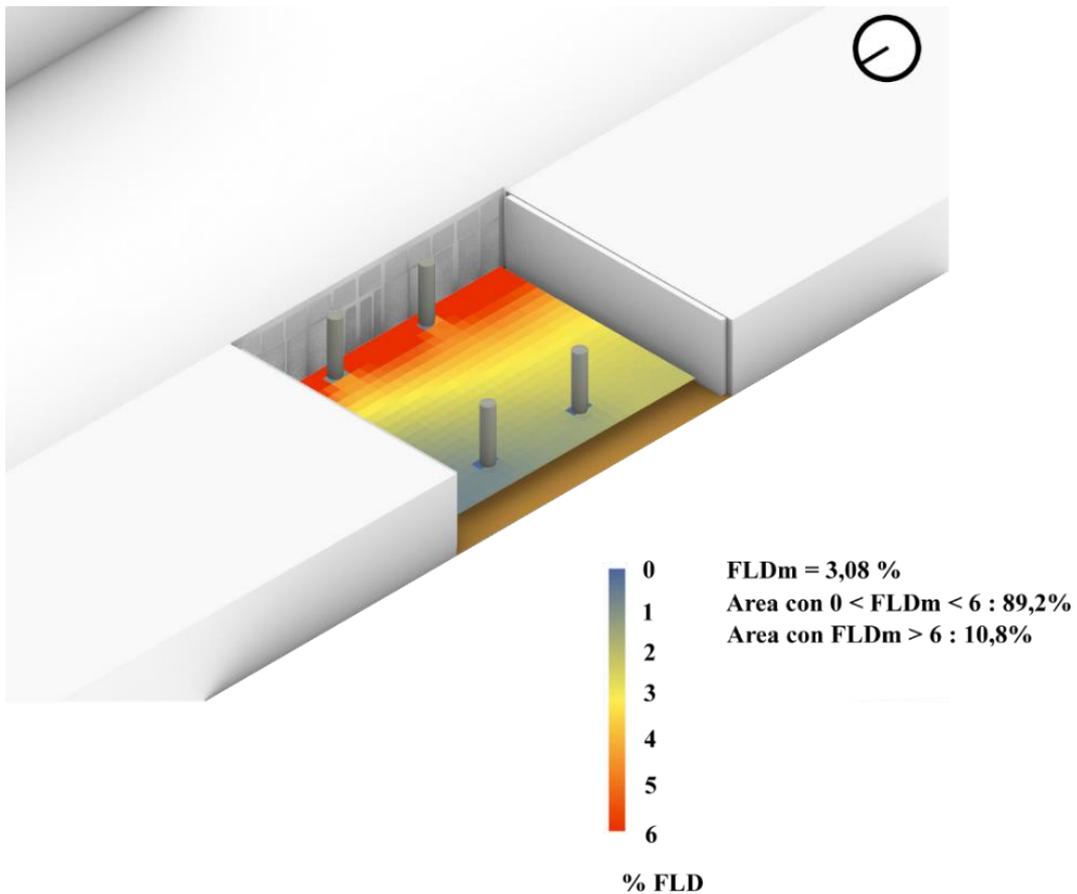


Fig. 271 Vista assometrica dei risultati ottenuti, aula 7I.

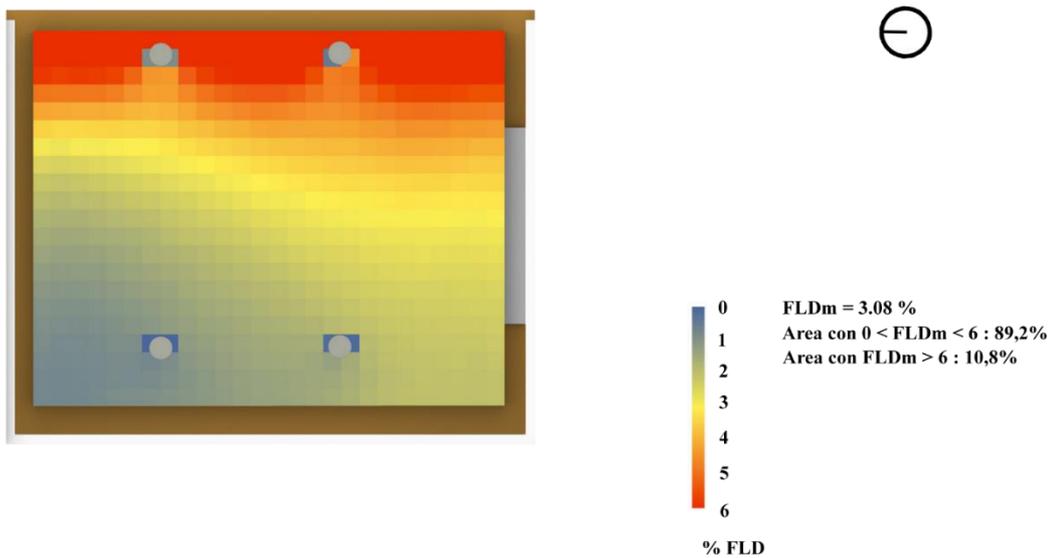


Fig. 272 Vista dall'alto dei risultati ottenuti, aula 7I.

Il valore di FLDm ottenuto per via analitica è del 3,1%. Utilizzando gli stessi valori di fattore di riflessione luminosa tramite software è stato ottenuto un valore di FLDm pari a 3,08 %. È anche emerso che il 89,2 % dell'ambiente ha un valore di FLD compreso da 0 e 6, e il 10,8 % dell'ambiente ha un valore di FLD > 6 .

Conclusioni

In questa sezione vengono descritte analogie e differenze dei vari ambienti analizzati dal punto di vista del comfort termico, visivo e acustico. Le suddette conclusioni riguardano principalmente il confronto tra la stagione estiva e quella invernale per ogni aula già analizzata.

Inoltre, non sono trattate solo a livello singolare ma anche a livello di confronto generale, mettendo in evidenza punti di forza e punti di debolezza di ogni singola sezione di comfort trattata.

Lo scopo finale del lavoro svolto, dunque, è racchiuso all'interno di questa sezione, in quanto i confronti trattati sono la sintesi di ogni singola aula e di come gli studenti si trovano all'interno di essa nelle due stagioni analizzate.

Vengono anche forniti degli accorgimenti, che, a nostro parere, dovrebbero essere seguiti nel caso in cui si voglia effettuare un'analisi di questo tipo.

Comfort termico

I risultati ottenuti confrontando i dati soggettivi ed oggettivi riguardanti il comfort termico per ogni aula analizzata permettono di ottenere un confronto tra le due stagioni prese in esame, e dunque, capire le differenti sensazioni termiche provate dagli individui all'interno di ogni singolo ambiente.

Il primo ambiente rilevato ed analizzato è l'aula 4V. In questa aula il confronto tra i dati ottenuti nelle due differenti stagioni è avvenuto attraverso l'utilizzo di due diversi metodi di analisi riguardanti il comfort: adattativo per la stagione estiva e stazionario per la stagione invernale. Nei grafici successivi si confrontano i due tipi di metodi.

Nel primo (fig. 273), quello del comfort adattativo, si evince che ogni punto (corrispondente alla temperatura operativa di ogni zona) è compreso all'interno dei limiti inferiori e superiori tracciati per delimitare le condizioni di comfort all'interno dell'ambiente.

Nell'altro grafico, invece, riguardante il comfort stazionario (fig. 274) si nota che quasi tutti i punti, rappresentanti ogni singolo individuo presente nell'aula, sono compresi all'interno della fascia di apprezzamento (range indicato dal Protocollo Well, entro i quali il PMV è ritenuto attendibile). Ciò vuol dire che sia in estate sia in inverno, all'interno dell'aula 4V la gran parte delle zone si trovano in condizioni di comfort termico.

La differenza tra i due metodi utilizzati sta nel range di accettabilità, in quanto per il comfort adattativo è più ampio, mentre per quello stazionario si ha un range meno ampio e più preciso. Inoltre, mentre nel comfort adattativo ogni singolo individuo cerca di adattarsi all'ambiente circostante in modo attivo, nel comfort stazionario avviene il contrario: cioè l'individuo diventa passivo e si cerca di creare un'ambiente ideale.

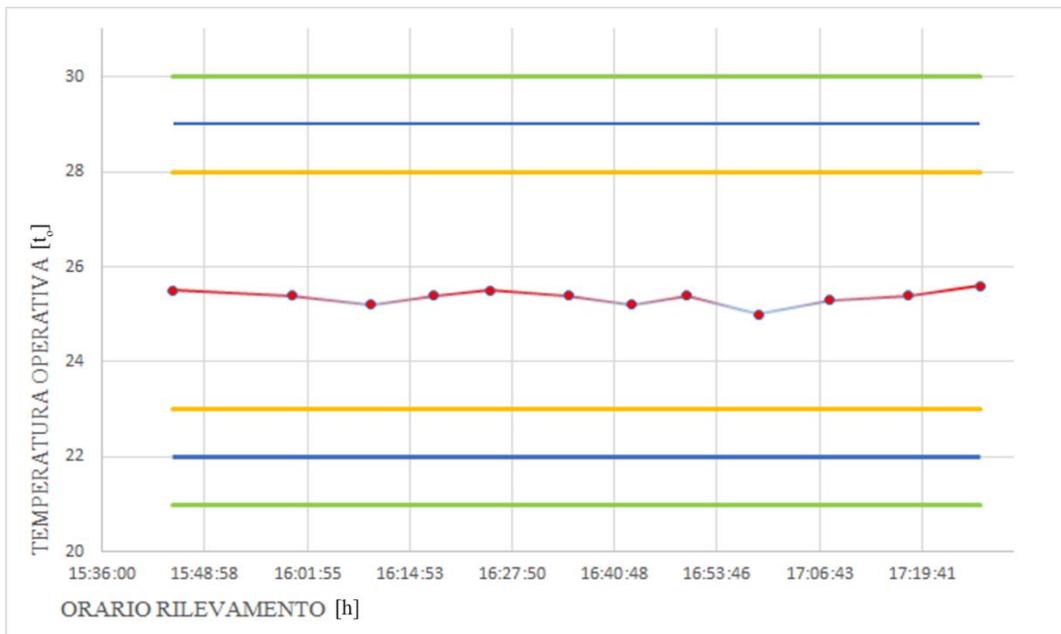


Fig. 273 Comfort adattativo: correlazione tra la temperatura operativa e l'orario di rilievo, aula 4V.

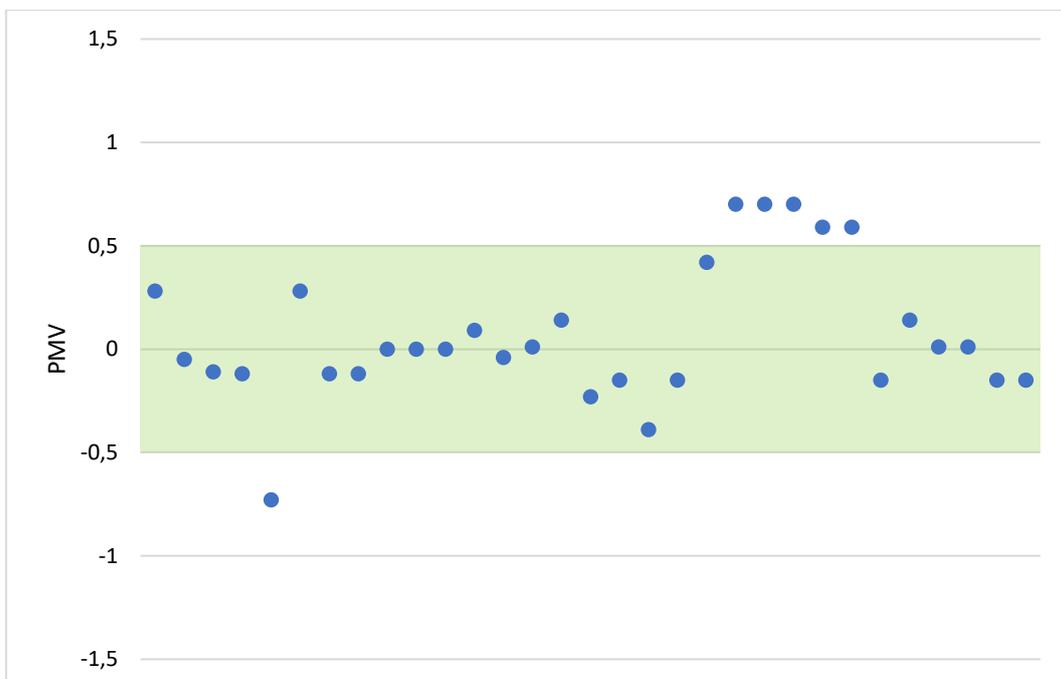


Fig. 274 Comfort stazionario: risultati PMV, aula 4V.

Altri parametri importanti da prendere in considerazione per ottenere un confronto completo tra le due stagioni di analisi, sono la velocità dell'aria e la percentuale di draft risk presente all'interno dell'ambiente.

Analizzando il seguente grafico si nota come nelle due stagioni di analisi si hanno valori di correnti d'aria presenti nell'ambiente molto differenti. In parte questo fenomeno è dovuto alle condizioni interne dell'aula, in estate vi erano quattro finestre aperte, mentre in inverno erano tutte chiuse. Le condizioni dell'aula per questo tipo di confronto sono il primo fattore determinante, in quanto determinano i valori dei parametri analizzati. Non avendo un sistema di ventilazione meccanica e di raffrescamento all'interno dell'ambiente, durante la stagione estiva l'unico modo per poter provare delle sensazioni termiche di benessere si è costretti a ricorrere a metodi tradizionali di apertura o chiusura dei serramenti. Nella stagione invernale, il discorso è diverso in quanto molte volte non si ha bisogno di aprire o chiudere i serramenti in quanto si ha già una condizione di benessere quasi accettabile. Se si nota attentamente sul grafico però, i valori della velocità dell'aria estivi e invernali in alcune zone si eguagliano. Questo è dovuto al fatto che in quelle zone le condizioni interne dell'aule erano le stesse per le due stagioni.

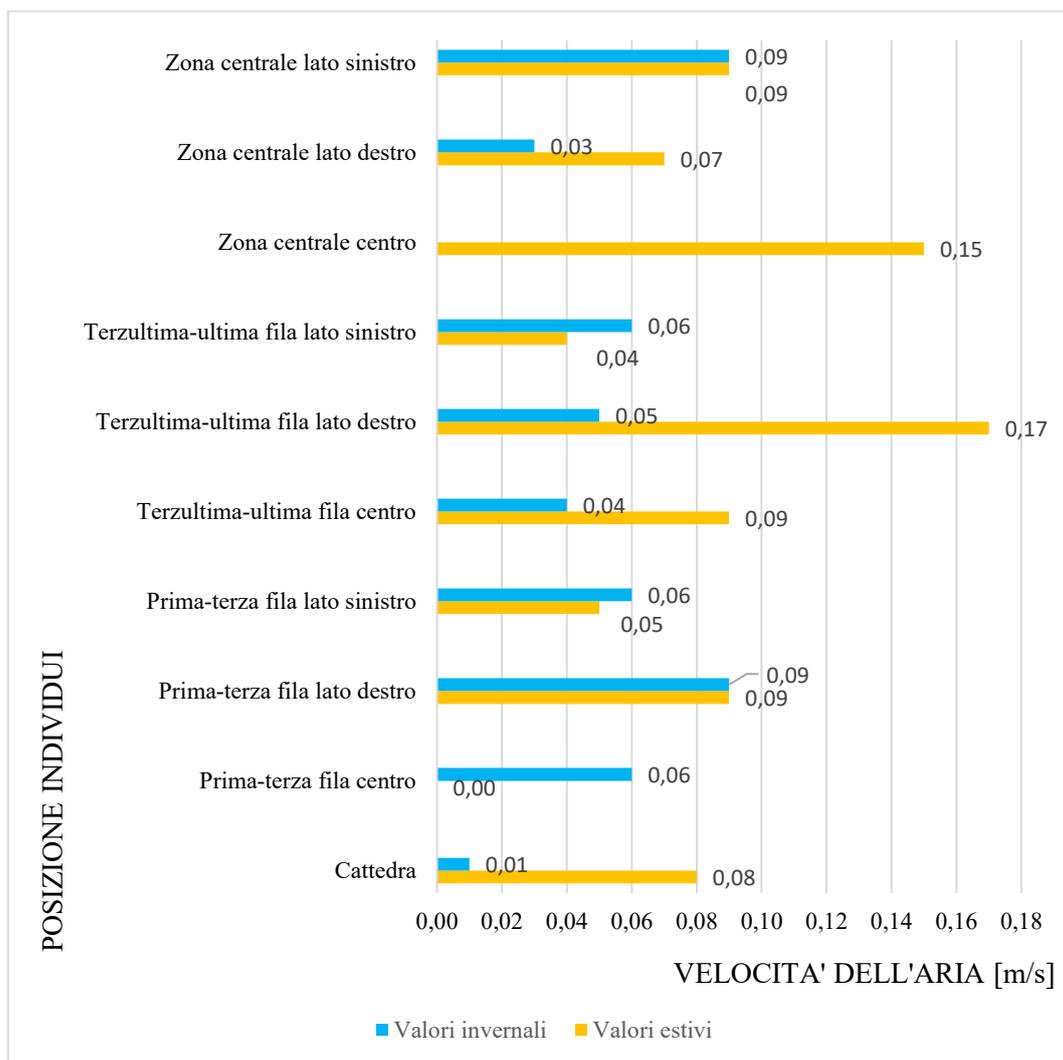


Fig. 275 Confronto valori velocità dell'aria a pari posizione degli individui, aula 4V.

Simile analisi riguarda il fattore di draft risk, ovvero la percentuale di rischio di correnti d'aria che possono provocare discomfort all'interno dell'ambiente.

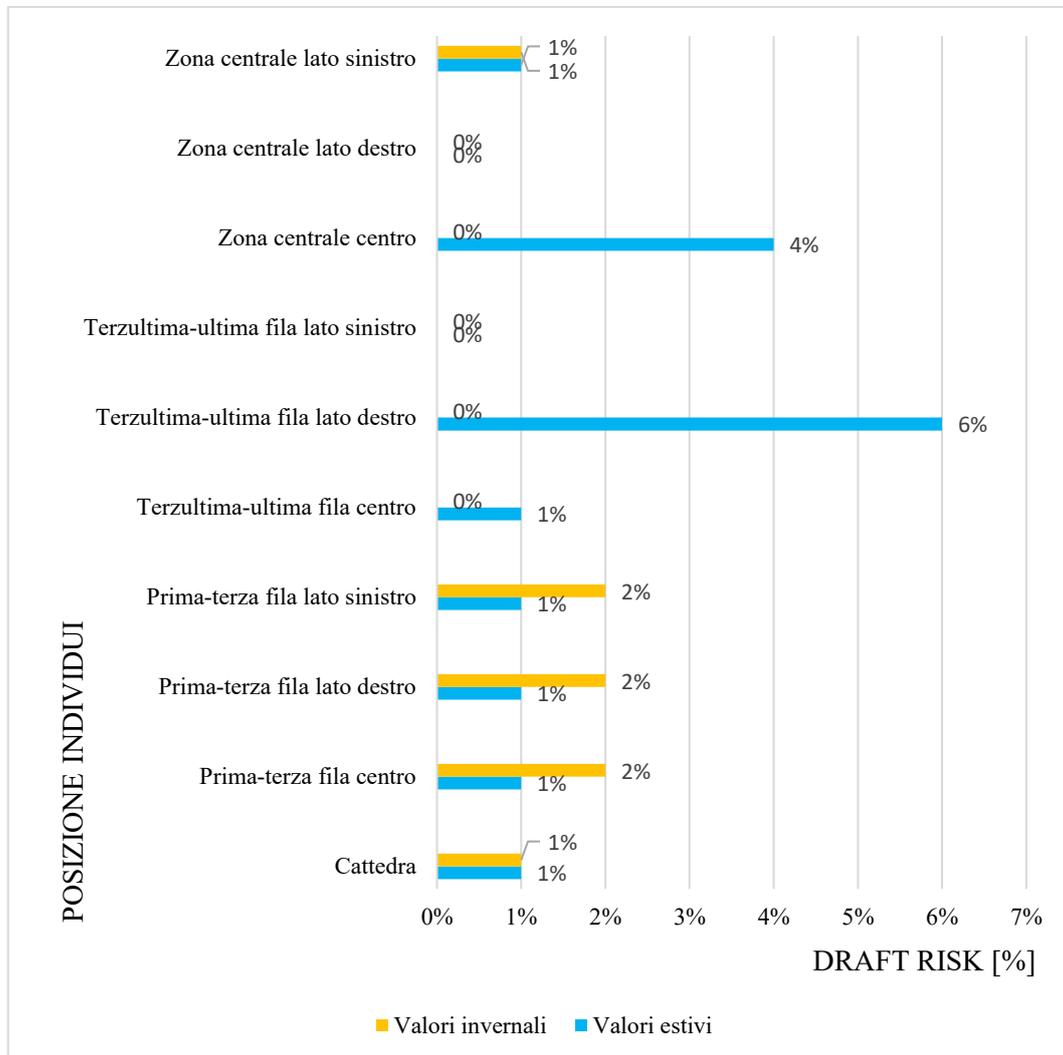


Fig. 276 Confronto valori draft risk a pari posizione degli individui, aula 4V.

Anche per questo grafico si può notare come nella stagione invernale la percentuale di draft risk risulti maggiore rispetto alla stagione estiva in alcune zone, raggiungendo picchi del 6%. Questo valore anche se relativamente basso, in alcune zone (spesso vicino alle finestre) può provocare leggero discomfort termico.

Proseguendo con il confronto stagionale, si passa all'analisi dell'aula 25. Anche in questo ambiente così come nell'aula 4V, è assente sia l'impianto di ventilazione meccanica sia quello di raffrescamento.

Di seguito sono trattati prima i grafici (fig. 277 e fig. 278) riguardanti le sensazioni termiche espresse attraverso i due metodi: adattativo per la stagione estiva e stazionario per la stagione invernale; e successivamente i grafici (fig. 279 e fig. 280) relativi alla velocità dell'aria.

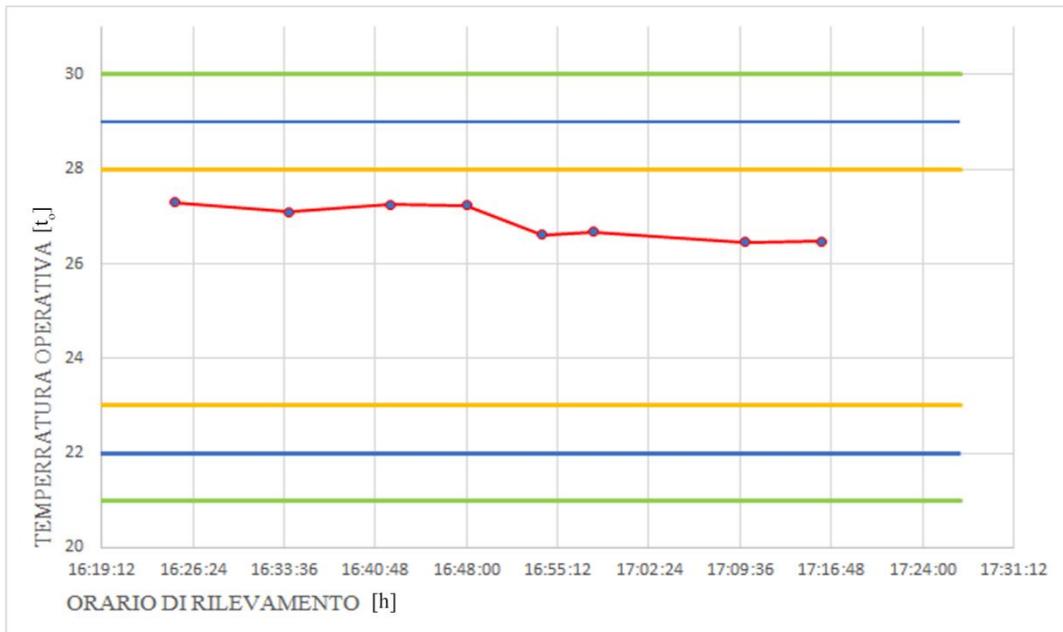


Fig. 277 Comfort adattativo: correlazione tra la temperatura operativa e l'orario di rilievo, aula 25.

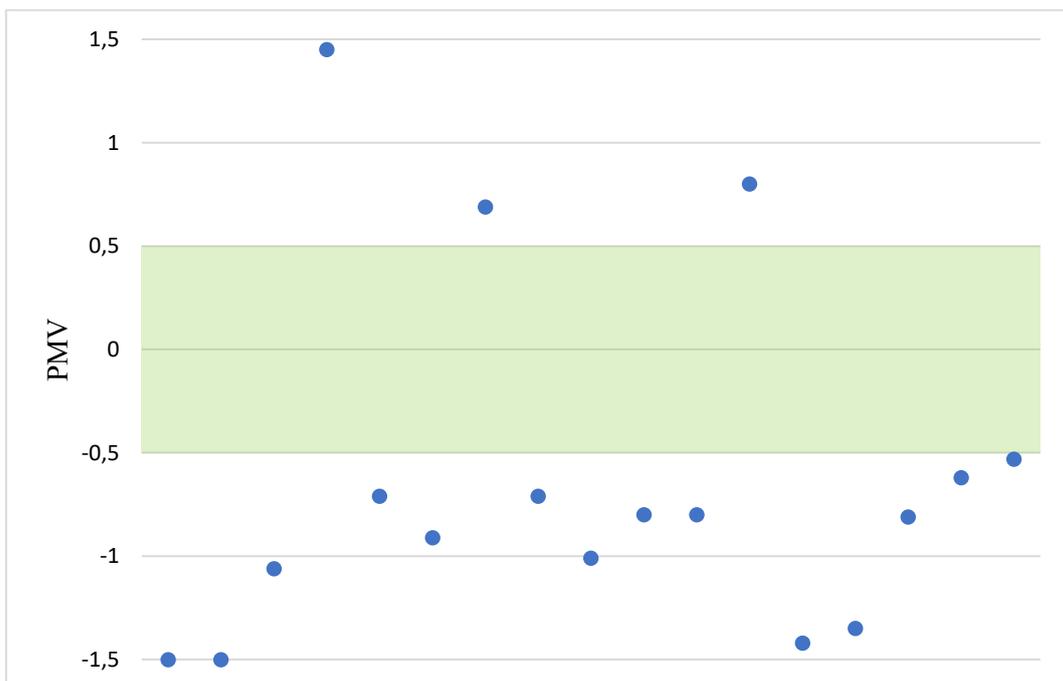


Fig. 278 Comfort stazionario: risultati PMV, aula 25.

A differenza dell'aula 4V, in cui quasi tutti gli individui presenti all'interno dell'ambiente sono in una condizione di benessere termoisometrico, nell'aula 25 guardando i due grafici relativi al comfort termico si nota una netta differenza tra la stagione estiva e quella invernale.

Nel grafico relativo al comfort adattativo (fig. 277) basato sui dati della stagione estiva si deduce che gli studenti si trovano in una condizione di comfort, condizione però molto al limite rispetto alla media che si dovrebbe ottenere. Il grafico mostra che nella parte iniziale del rilievo i punti rilevati relativi alle zone hanno un valore molto al limite nella prima parte del rilievo, mentre più costanti ed accettabili nella parte finale del rilievo.

Durante il rilievo termoigrometrico estivo, l'aula presentava le finestre aperte e le porte chiuse: questo è uno dei fattori principali per cui il comfort adattativo rilevato abbia avuto una variazione di dati in quanto, con il passare del tempo, le zone all'interno dell'aula tendono ad uniformarsi dal punto di vista termico.

Se si paragona il grafico appena descritto con quello del comfort stazionario relativo alla stagione invernale, si nota una netta differenza. Durante il rilievo della stagione invernale, all'interno dell'aula sia le finestre sia le porte erano chiuse. Questo parametro probabilmente è uno dei principali fattori influenzanti. Nel grafico si nota come nessuno degli individui si trovi in una condizione di benessere termoigrometrico (range ritenuto accettabile da -0.5 a +0.5), ma quasi tutti tendono a provare una sensazione di freddo. Questa sensazione non è dovuta al vestiario indossato dagli studenti, in quanto se si paragonano il CLO degli studenti all'interno dell'aula 4V e quelli dell'aula 25, si deduce che hanno quasi lo stesso valore. Analizzando e comparando i dati rilevati (vedi paragrafi 4.5.2.2 e 4.6.2.2) sia dell'aula 4V sia dell'aula 25 si notano nette differenze termiche. Infatti, la temperatura dell'aria ha una differenza di 2°C tra le due aule, questo fattore, influenza molto le condizioni di benessere degli studenti, provocando una condizione quasi assoluta di discomfort.

Dunque, la causa principale dedotta dall'analisi non solo si basa sulla differenza termica rilevata, ma anche basata su determinate caratteristiche strutturali diverse rispetto alla 4V. L'aula 25 presenta: due lati verso l'esterno, fattore determinato dal punto di vista di trasmissione di calore interno-esterno; un sistema di riscaldamento non efficiente (temperatura dell'aria interna pari a 21°C), che molte volte viene portato al massimo delle sue potenzialità creando eccessivo caldo, e nel momento in cui nell'aula si crea una condizione di eccessivo caldo, questi vengono spenti manualmente generando una condizione opposta. In sostanza all'interno dell'ambiente non si raggiunge mai una condizione di equilibrio termoigrometrico.

Per poter far fronte a questo problema, la soluzione più probabile ed efficace sarebbe quella di isolare termicamente le due pareti verso l'esterno, o di installare un impianto di ventilazione meccanica. Soluzioni efficaci che porterebbe ad avere un equilibrio termico interno e dunque, un miglioramento del benessere termoigrometrico.

I grafici analizzati successivamente (fig. 279 e fig. 280) riguardano i dati relativi alla velocità dell'aria e alla percentuale di draft risk tra le due stagioni di analisi all'interno dell'aula 25.

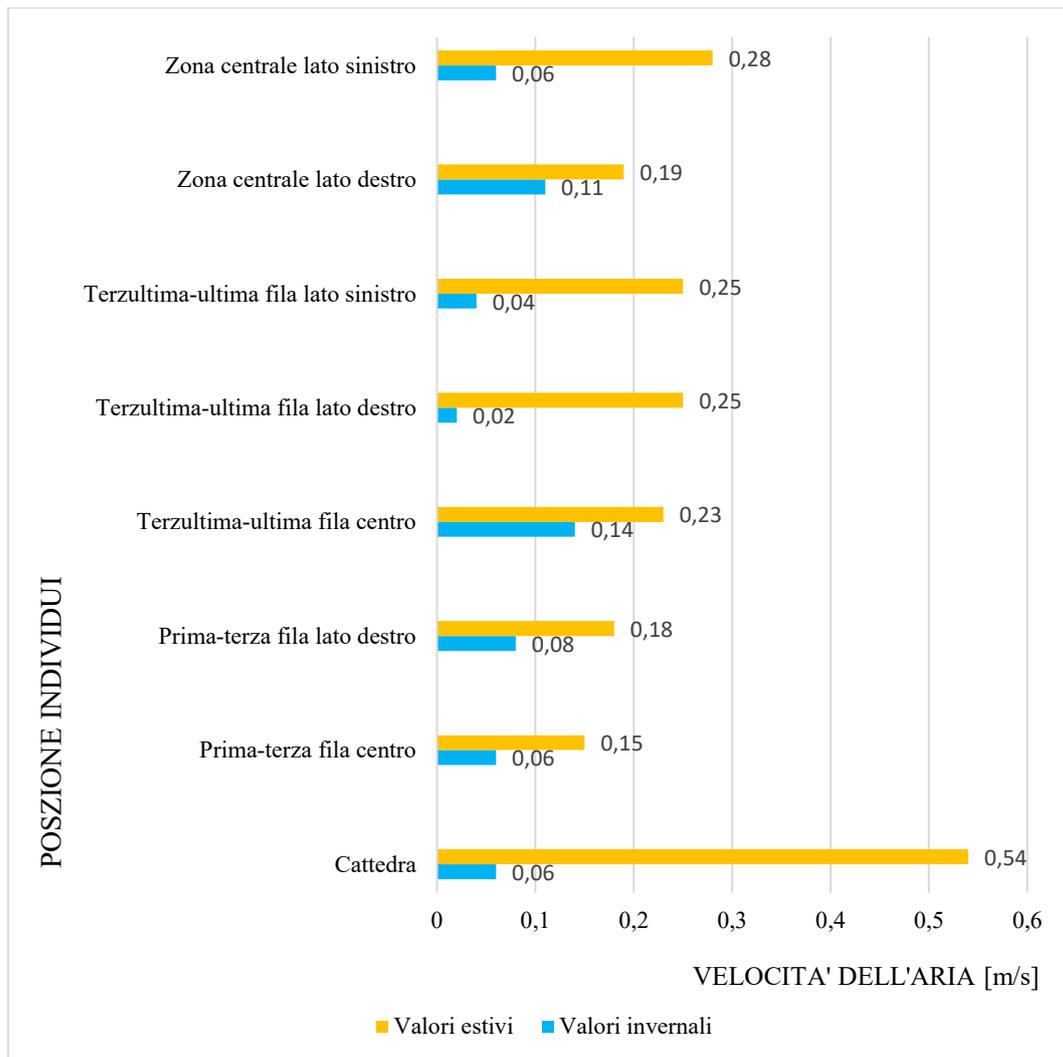


Fig. 279 Confronto valori velocità dell'aria a pari posizione degli individui, aula 25.

All'interno dell'aula 25, durante la stagione estiva, come si può notare dal grafico soprastante (fig. 279) la velocità dell'aria risulta superare il limite massimo consentito in diversi punti: cattedra e zona centrale lato sinistro, con dei valori al limite anche per tutta la terzultima-ultima fila. Questo valore così elevato è dovuto principalmente alle condizioni interne dell'aula, in quanto durante i rilievi della stagione estiva vi erano tutte e tre le finestre ed una delle due porte (in corrispondenza della cattedra) aperte.

Queste condizioni, dunque, durante i rilievi estivi hanno favorito la generazione di correnti d'aria all'interno dell'ambiente. Ovviamente, seguendo la normativa, la velocità dell'aria anche se ha un valore alto durante la stagione estiva, non provoca nessuna tipologia di discomfort in quanto, anzi, favorisce una condizione di benessere termoigrometrico.

Parallelamente al grafico della velocità dell'aria, vi è il grafico seguente che invece ne spiega il draft risk. I valori sono rispettivamente correlati in base alla posizione, questo perché avendo un valore della velocità dell'aria elevato, anche il draft risk

avrà una percentuale elevata. Infatti, se si prende in considerazione la zona della cattedra, si nota come il valore di draft risk sia pari al 35% di probabilità di rischio di insoddisfatti, ma anche gli altri valori seguono in modo costante i valori della velocità dell'aria. Se si comparano i dati rilevati oggettivi con quelli percepiti soggettivi (vedi paragrafo 4.6.1.1) si nota come gli individui abbiano risposto con alla domanda "Come percepisci i movimenti d'aria?" con una risposta "Forti", ed inoltre, anche se si hanno valori alti di correnti d'aria, questi preferirebbe una sensazione termica più fredda, tenendo in considerazione che la temperatura dell'aria interna era pari a 27 °C.

In modo opposto, invece, per la stagione invernale sia i dati relativi alla velocità dell'aria sia quelli di draft risk hanno dei valori molto bassi in quanto durante i rilievi sia le porte sia le finestre erano chiuse, e dunque, questo ha favorito l'assenza di correnti d'aria.

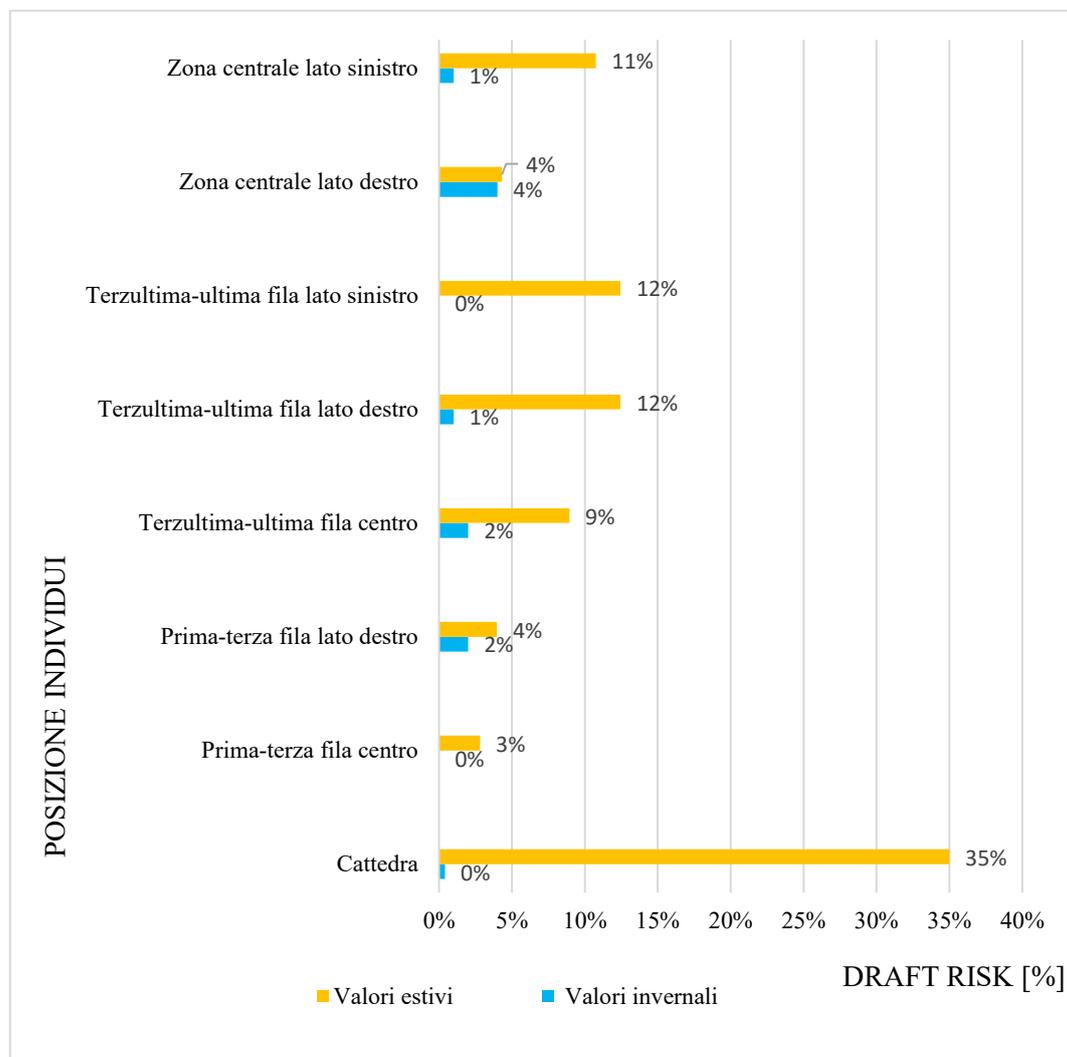


Fig. 280 Confronto valori draft risk a pari posizione degli individui, aula 25.

Analogamente alle aule 4V e 25, anche per le aule 201 e 7I sono stati effettuati gli stessi confronti per la stagione estiva e invernale. Per la stagione estiva però, a differenza delle due aule in cui è assente sia l'impianto di raffrescamento sia quello di ventilazione meccanica, nelle aule analizzate qui di seguito, si è utilizzato il metodo del comfort stazionario in quanto in queste aule risultano essere presenti entrambi gli impianti.

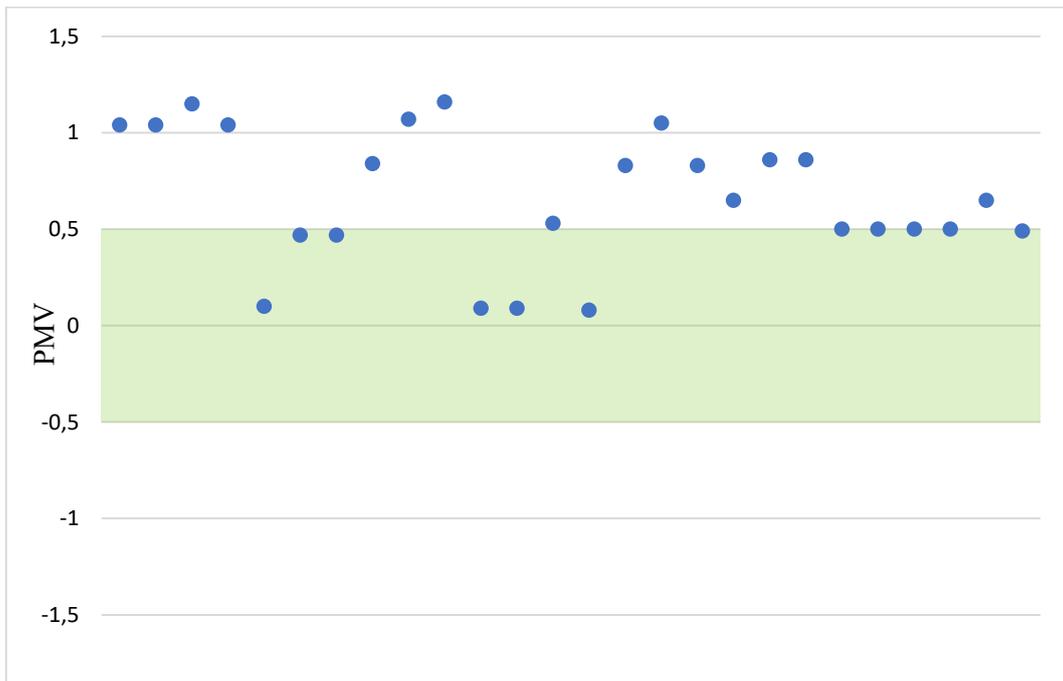


Fig. 281 Comfort stazionario: risultati PMV estivi, aula 201.

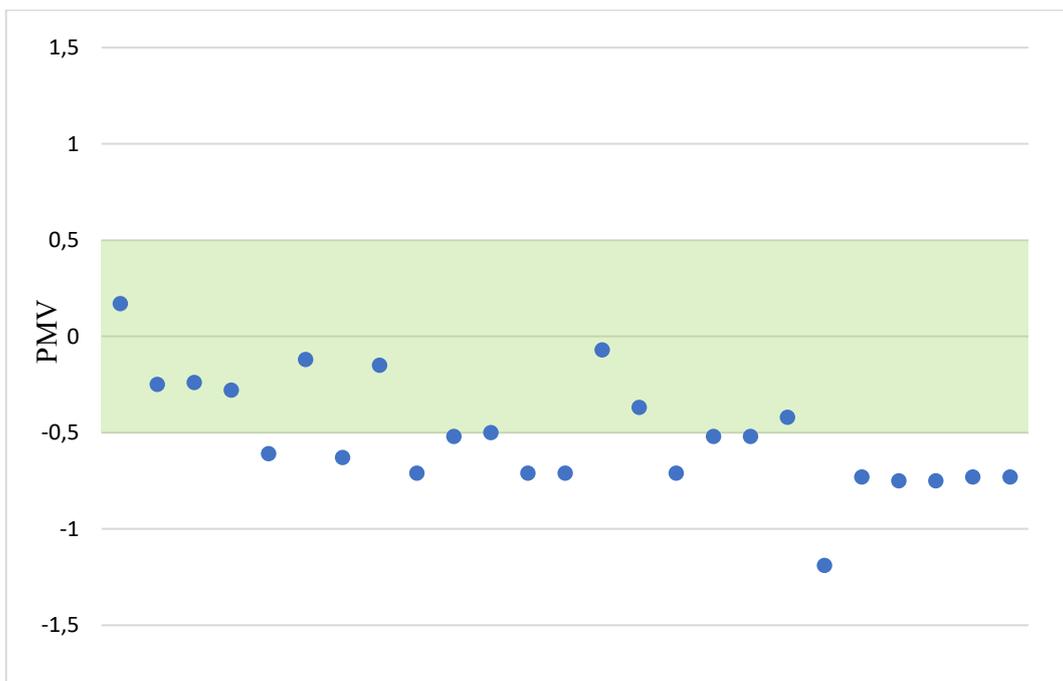


Fig. 282 Comfort stazionario: risultati PMV invernali, aula 201.

Come possiamo notare dai grafici soprastanti riguardanti il PMV, nelle due stagioni: estive e invernali, notiamo come durante il periodo estivo le persone risultano essere in maggior parte in una situazione di discomfort orientata verso una sensazione termica di caldo.

Essendo l'aula 201 completamente vetrata e soggetta direttamente alla radiazione solare proveniente da Sud, ne risulta che: anche se l'aula è provvista di schermature interne ed esterne, che durante il rilievo risultavano essere aperte insieme a due finestre, si ha comunque una sensazione di discomfort. Questa sensazione è dovuta in modo particolare anche alle cattive abitudini che si hanno quando si provano sensazioni di calore, cioè quella di aprire gli infissi anche in ambienti in cui si ha un sistema di raffrescamento.

Inversamente, per quanto riguarda la stagione invernale gli studenti risultano essere in una situazione di discomfort orientata verso una sensazione di freddo, questo perché essendo l'aula completamente vetrata con due pareti affacciate verso l'esterno si ha una gran dispersione di calore. La struttura dell'aula e la sua localizzazione portano, dunque, ad un ambiente che risulta essere non confortevole in entrambe le stagioni analizzate.

Se si confrontano l'aula 201 con l'aula 4V per la stagione invernale, a parità di temperatura dell'aria (circa 23°C), si nota una netta differenza di condizioni di benessere termoigrometrico. Questa differenza è dovuta in modo particolare alle caratteristiche strutturali dell'aula, avere un'ambiente completamente vetrato può risultare ideale dal punto di vista illuminotecnico, ma non per il comfort termico. Le dispersioni di calore risultano essere maggiori, specialmente quando gli infissi non sono ben isolati o a taglio termico, o comunque trascurati a livello manutentivo.

Considerando il dato rilevato medio della temperatura operativa pari a 28,1°C, valore al limite per quanto riguarda la stagione estiva, si può dedurre che effettivamente all'interno di questo ambiente il sistema di raffrescamento non è abbastanza efficiente per la capienza dell'aula. Un altro accorgimento sarebbe quello di avere sempre chiuse, durante le ore di sole, le schermature esterne in modo tale da evitare ulteriori innalzamenti della temperatura interna. Inoltre, anche la qualità degli infissi e non solo dei vetri, è un fattore non da trascurare.

Anche per l'aula 201, così come per le altre due analizzate in precedenza, si sono confrontati i dati relativi alla velocità dell'aria e del draft risk rappresentati qui di seguito (fig. 283 e fig. 284).

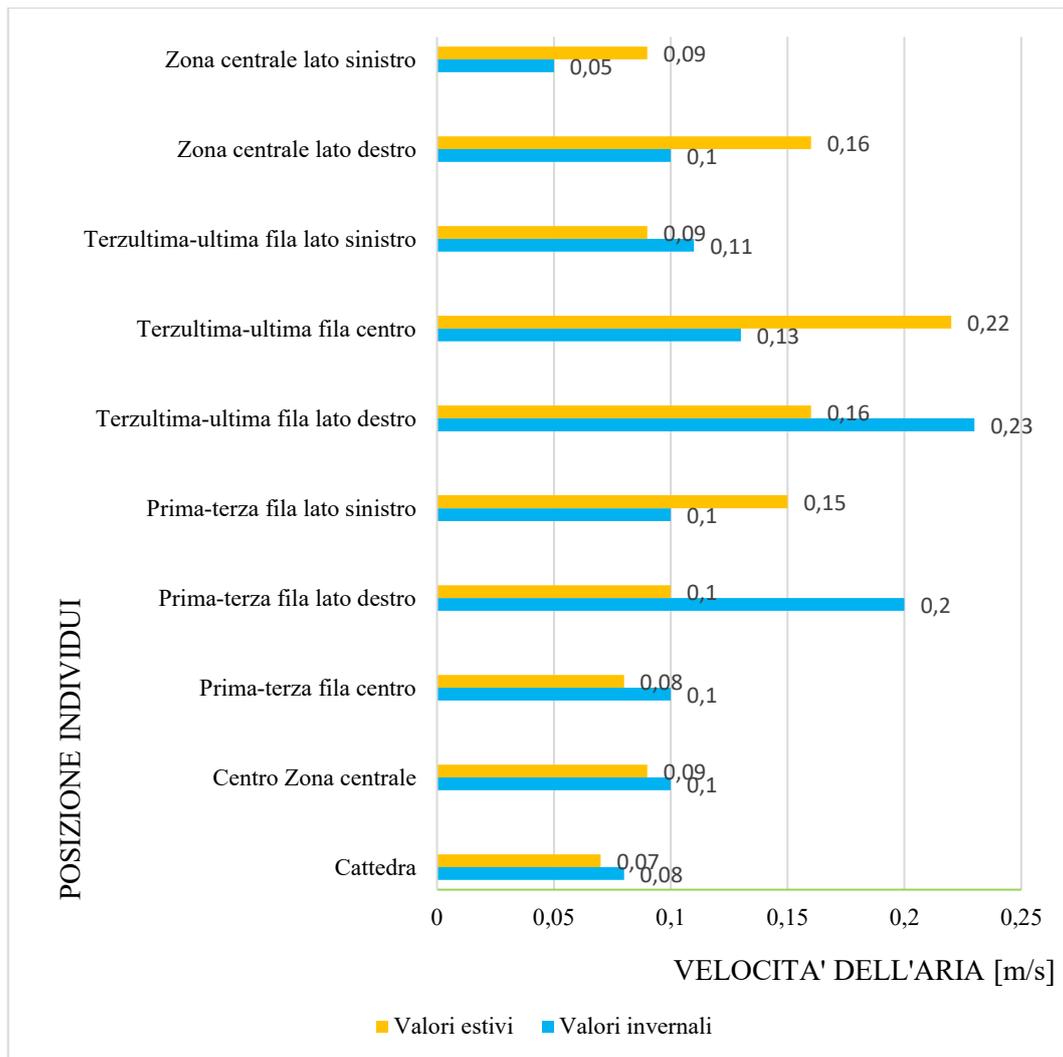


Fig. 283 Confronto valori velocità dell'aria a pari posizione degli individui, aula 201.

Per quanto riguarda i dati rilevati sulla velocità dell'aria all'interno dell'aula 201, si nota dal grafico soprastante che sia durante la stagione estiva sia durante quella invernale questo parametro ha dei abbastanza alti. Questo fenomeno è dovuto al fatto che durante la stagione estiva erano presenti delle finestre aperte che hanno generato correnti d'aria interne all'ambiente: valori al di sotto del limite massimo di 0,25 m/s secondo la Normativa Italiana, che implementano il comfort termico. Invece, durante la stagione invernale i dati assumono valori leggermente più alti in alcune zone rispetto agli stessi dati rilevati nella stagione estiva.

Non avendo finestre aperte, ma solo una porta aperta (in corrispondenza della terzultima-ultima fila lato sinistro) durante la stagione invernale, si deduce che i valori rilevati siano generati da questo fattore per quanto riguarda il lato sinistro dell'aula. Per quanto riguarda il lato destro, si notano due zone in cui i valori superano 0,2 m/s, questo valore non lo consideriamo attendibile, in quanto durante i rilievi non vi erano finestre o porte aperte sul lato destro, e vi erano persone che si spostavano continuamente per via di un'esercitazione.

Inoltre, se si prende in considerazione la tabella 24 relativa ai dati rilevati in aula 201, si nota che i valori della deviazione standard della velocità dell'aria sono pari a 0,1 m/s. Questo significa che durante il rilievo lo strumento non ha rilevato la velocità esatta dell'aria ma che viene approssimata per difetto tramite la deviazione standard.

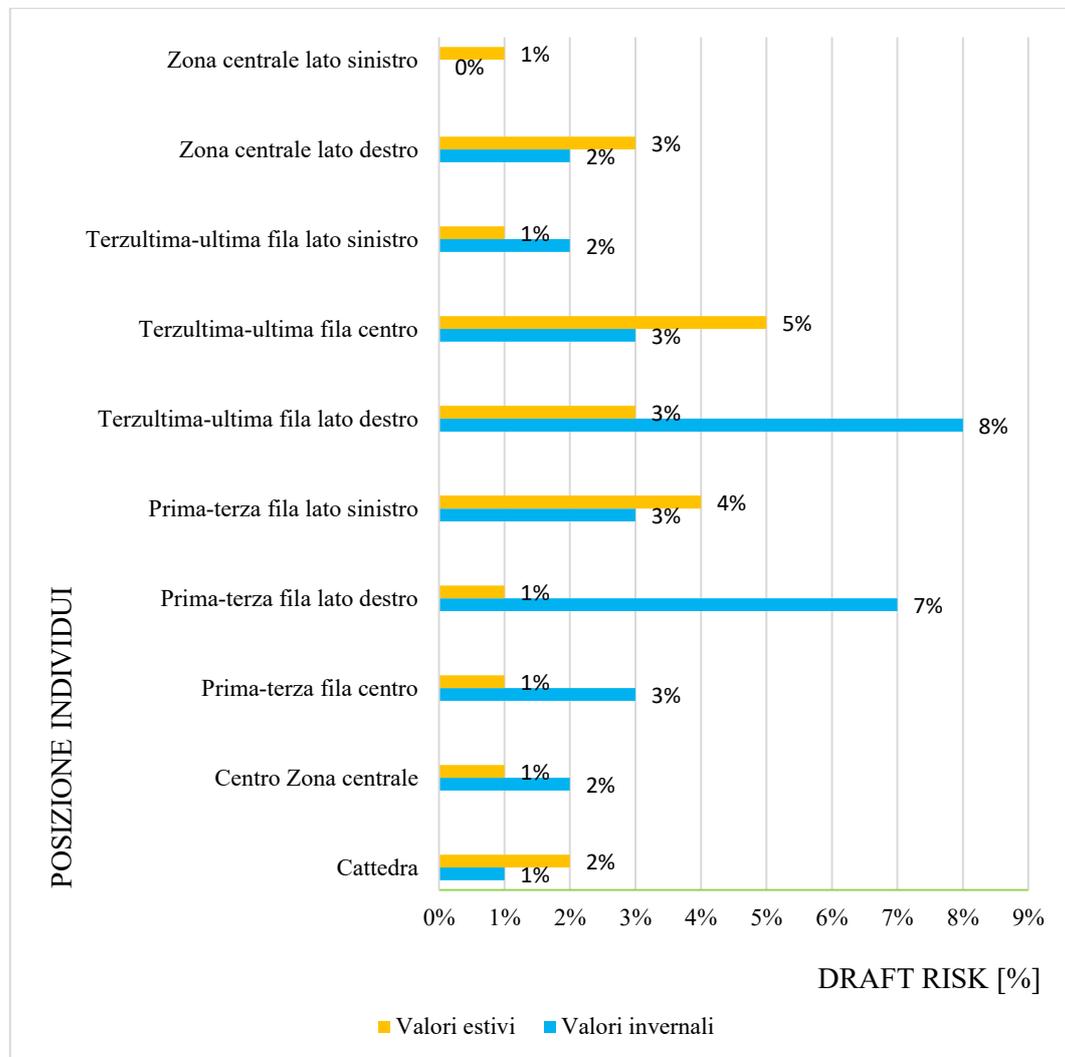


Fig. 284 Confronto valori draft risk a pari posizione degli individui, aula 201.

I valori rilevati sul draft risk sono molto bassi e relativi alla velocità dell'aria che anch'essa ha dei valori accettabili. Anche in questo caso però si notano due valori elevati relativi alle stesse posizioni in cui i dati della velocità dell'aria vengono ritenuti non attendibili.

Analizzando l'ultima aula presa come caso studio, si procede anche per questo ambiente innanzitutto all'analisi del comfort termico attraverso l'uso del comfort stazionario basato sull'indice PMV.

Nei grafici successivi si nota come sia per la stagione estiva sia per la stagione invernale la maggior dei punti si trovi in una condizione di perfetto benessere termoigrometrico.

Nel primo grafico (fig. 285) si osserva che alcuni punti si discostano rispetto al range di benessere provando una sensazione di freddo. Questo fenomeno lo si rileva maggiormente nella parte sinistra dell'aula, in quanto proprio sulla stessa fascia del soffitto sono posti i ventilconvettori dell'impianto di raffrescamento. Impianto che funzionando in modo efficiente crea in quella zona un gradiente termico differente.

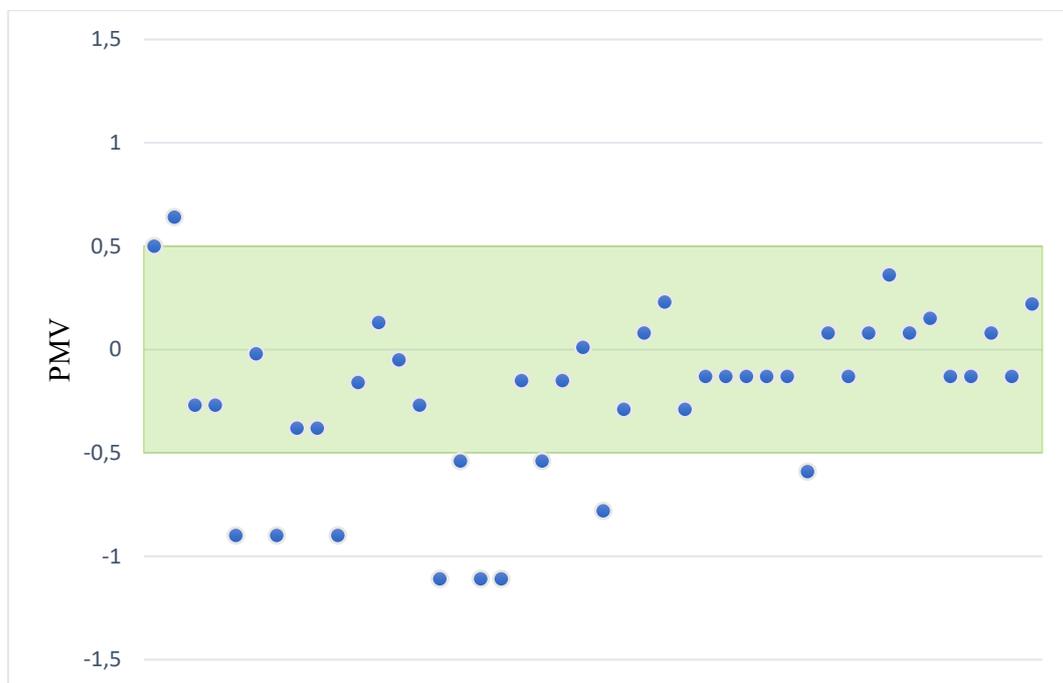


Fig. 285 Comfort stazionario: risultati PMV estivi, aula 71.

Per quanto riguarda, invece, il grafico (fig. 286) relativo al comfort stazionario della stagione invernale, si può osservare che tutti i punti sono compresi all'interno della fascia di perfetto benessere termoigrometrico. Infatti, durante la stagione invernale l'aula presenta delle condizioni termiche accettabili in quanto il sistema di riscaldamento e di ventilazione meccanica funzionano in modo efficiente.

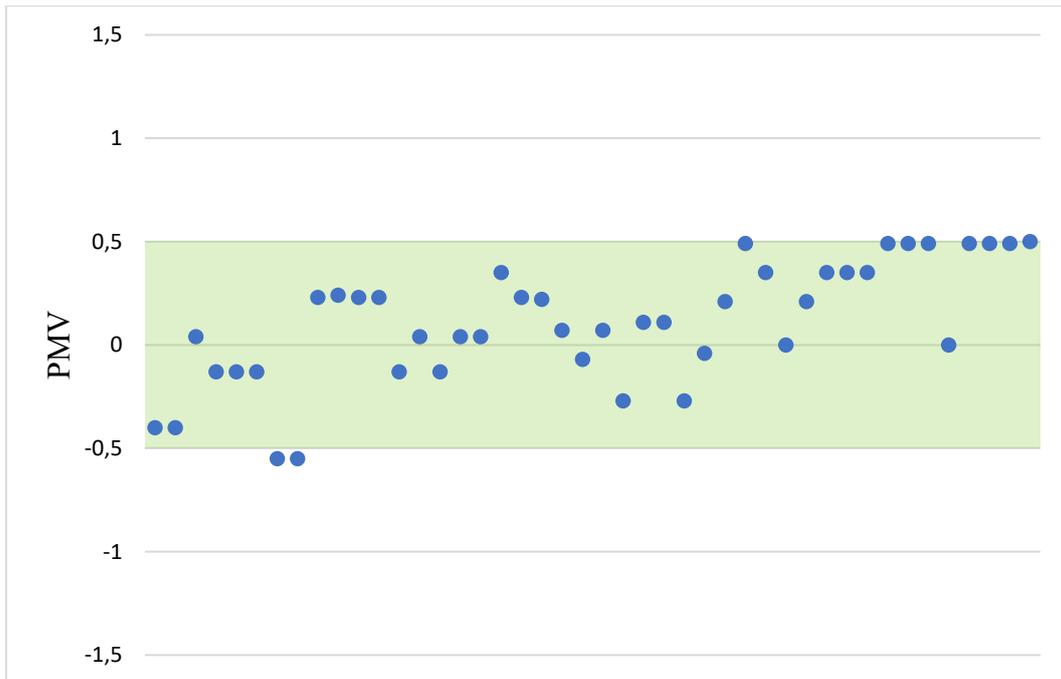


Fig. 286 Comfort stazionario: risultati PMV invernali, aula 71.

Anche nell'ultima aula, così come per le altre, si è proseguito con l'analisi dei grafici riguardanti la velocità dell'aria e il draft risk rilevati all'interno nell'ambiente. Qui di seguito i due grafici relativi a questi dati.

Il primo grafico rappresentato (fig. 287) riguarda i dati rilevati della velocità dell'aria in base alle posizioni delle zone all'interno dell'ambiente. I dati della stagione estiva risultano essere abbastanza uniformi in tutta l'aula, tranne due zone in cui i valori risultano essere pari a 0,23 m/s. questo fenomeno è dovuto al fatto che sia in corrispondenza della prima-terza fila lato destro sia della terzultima-ultima fila lato destro vi era la presenza di porte aperte. Inoltre, vi era anche la porta al centro della parete vetrata del lato sinistro aperta. Questo dunque, provoca correnti d'aria che sono state rilevate dallo strumento.

Per la stagione invernale, invece, i dati risultano essere tutti uniformi e con valori molti bassi in quanto tutte le aperture erano chiuse. Quindi, quella poca velocità d'aria rilevata è dovuta probabilmente al sistema di ventilazione meccanica e di riscaldamento a ventilconvettori presenti all'interno dell'ambiente.

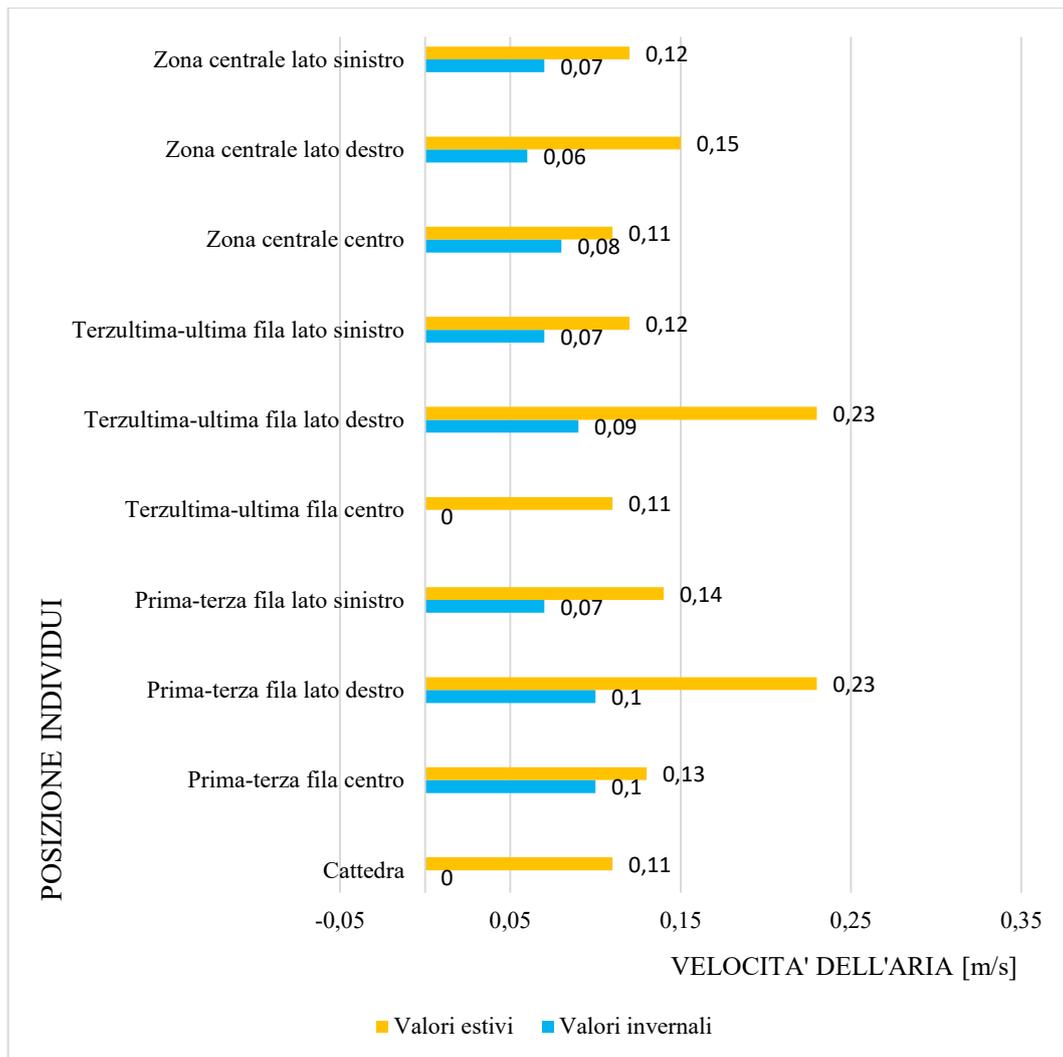


Fig. 287 Confronto valori velocità dell'aria a pari posizione degli individui, aula 7I.

Parallelamente al grafico sui dati inerenti alla velocità dell'aria, si è sviluppato quello sul draft risk. Anche in questo grafico così come in quello precedente, i dati risultano essere uniformi tranne due zone: prima-terza fila lato destro e terzultima-ultima fila lato destro. Zone in cui, come spiegato già precedentemente vi erano le porte aperte e dunque, correnti d'aria. Essendo però un dato rilevato durante la stagione estiva, non provoca discomfort termico.

Per la stagione invernale, invece, la probabilità di rischio di correnti d'aria è inferiore al 2%.

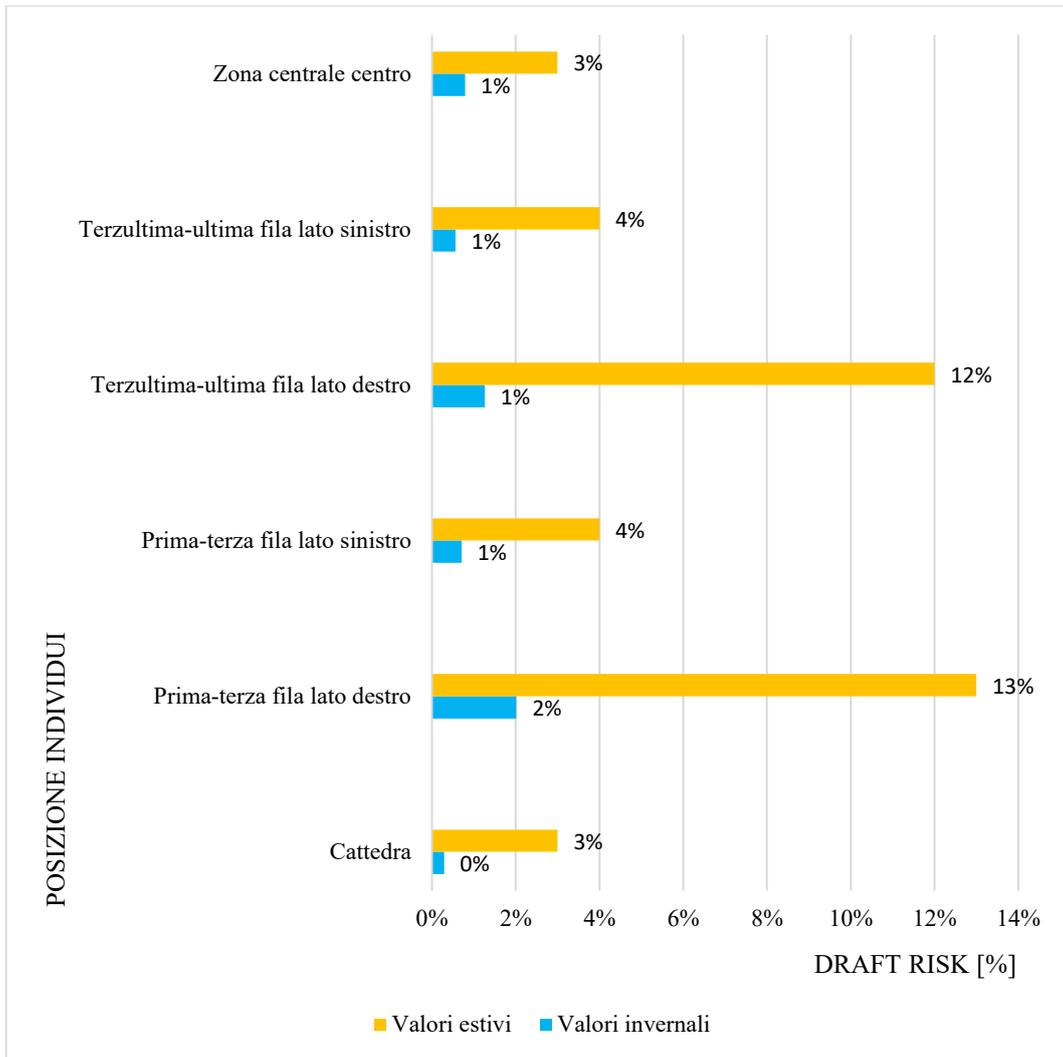


Fig. 288 Confronto valori draft risk a pari posizione degli individui, aula 7I.

Comfort visivo

Per quanto riguarda il comfort visivo, sono stati analizzati complessivamente i vari ambienti per trovare analogie fra di essi, variabilità stagionali e suggerimenti per eventuali miglioramenti nelle aule. Trattandosi di comfort visivo la stagionalità influisce solo parzialmente (orario di misura con conseguente quantità di luce in ambiente) e molto meno rispetto alle condizioni di comfort termico, mentre è stato molto utile effettuare una seconda analisi per capire se in condizioni diverse cambiassero anche i dati ottenuti.

Partendo da un'analisi relativa ad ogni aula si è cercato di trovare divergenze e analogie stagionali nell'ambiente.

Trattando l'aula 4V ad esempio è possibile comprendere che in condizioni di cielo sereno e soleggiato è un ambiente che funziona ottimamente da quasi ogni punto di vista ovvero: svolgimento del compito visivo su lavagna, schermo di proiezione e piano di lavoro (banco).

In condizioni di cielo nuvoloso invece si è notato come alcune zone dell'aula non si ha una buona quantità di illuminazione naturale e bisogna fare ricorso all'illuminazione artificiale, questo fatto però si ripercuote sul gradimento degli studenti che trovano in questo caso l'ambiente poco adatto e non soddisfa a pieno le loro esigenze di comfort visivo.

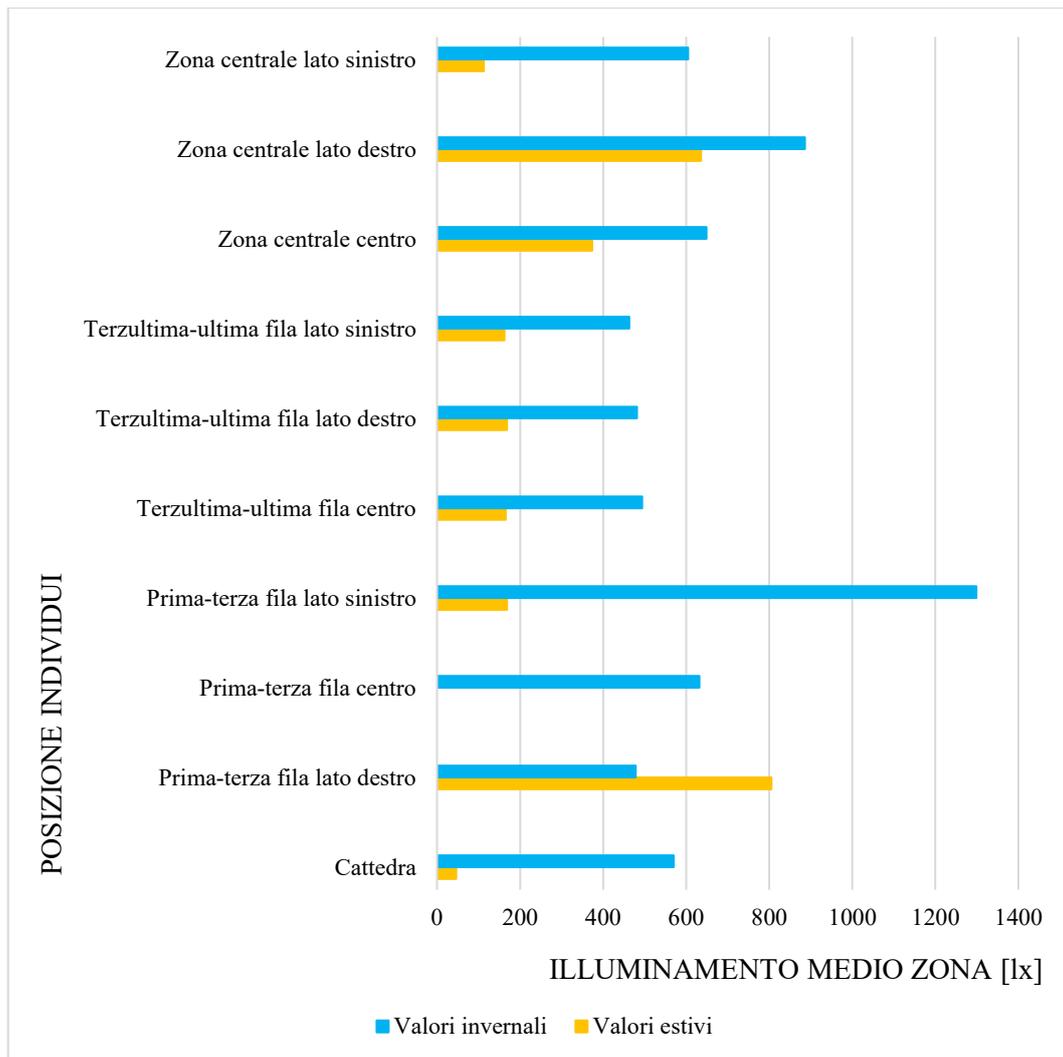


Fig. 289 Grafico a barre dell'illuminamento medio disaggregato per zone nell'aula 4V, confronto tra stagione invernale ed estiva.

In definitiva emerge che l'aula 4V si presenta come un'ambiente complessivamente soddisfacente se si considera l'edificio in cui è situata. I lucernari posti a sud aumentano la quantità di illuminazione naturale nell'aula ma talvolta non sono apprezzati a causa dell'abbagliamento provocato. La disposizione dei banchi rispetto alle aperture e alle sorgenti di luce artificiale risulta ideale anche se talvolta vengono percepite luminanze elevate e riflessioni sul piano lavagna.

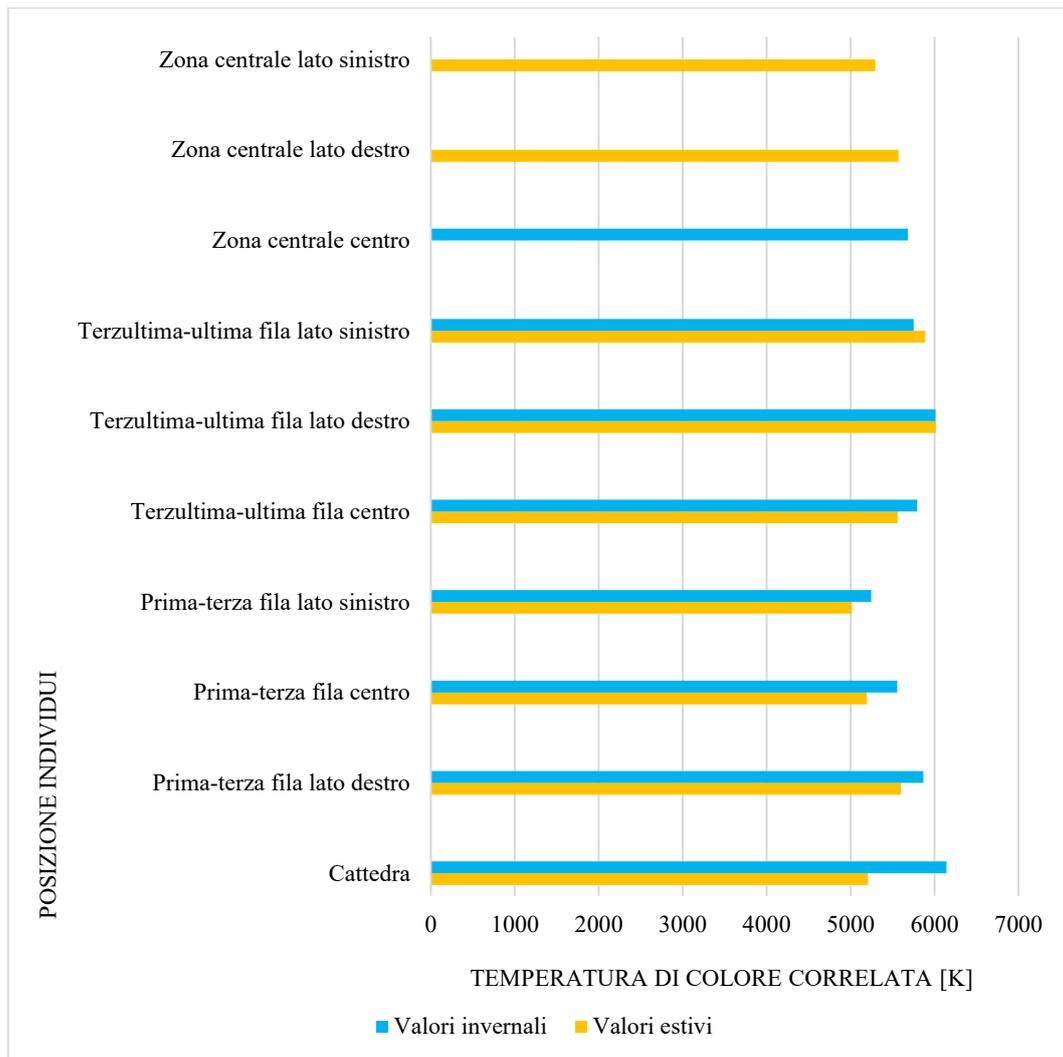


Fig. 290 Grafico a barre della temperatura di colore correlata media disaggregato per zone nell'aula 4V, confronto tra stagione invernale ed estiva.

Dal grafico di paragone della temperatura di colore correlata emerge che in inverno, situazione in cui sono state svolte le misure in condizioni di cielo sereno, si sono misurati valori più bassi che corrispondono a percezioni della luce più fredde. Trattandosi di un'aula universitaria si può dire che sia un bene, considerando che una luce fredda può aiutare lo studente ad essere attivo e mantenere un buon livello di concentrazione.

L'aula 7I mostra condizioni di illuminazione soddisfacenti in entrambe le stagioni in cui è stata svolta l'analisi, gli studenti hanno espresso gradimento delle condizioni di illuminazione generali dell'aula sia in estate che in inverno, dell'illuminazione presente sulle zone del compito visivo (lavagna e banco). L'intera parete vetrata presente a est fornisce un buon quantitativo di illuminazione naturale gran parte dell'ambiente. Per la quasi totalità delle ore in cui viene utilizzata non si verifica abbagliamento, e nei momenti in cui potrebbe verificarsi verso alcune postazioni, si può compensare attivando le schermature interne di cui è provvista l'aula. L'illuminazione artificiale è molto apprezzata dagli studenti in

quest'aula, che da ogni postazione mostrano tassi di apprezzamento simili. Essendo più recente come epoca di realizzazione rispetto ad altri ambienti analizzati, gode di tecnologie e soluzioni più adatte e performanti che rendono l'ambiente complessivamente gradevole e consono a soddisfare le esigenze di comfort visivo della netta maggioranza degli studenti presenti nell'ambiente.

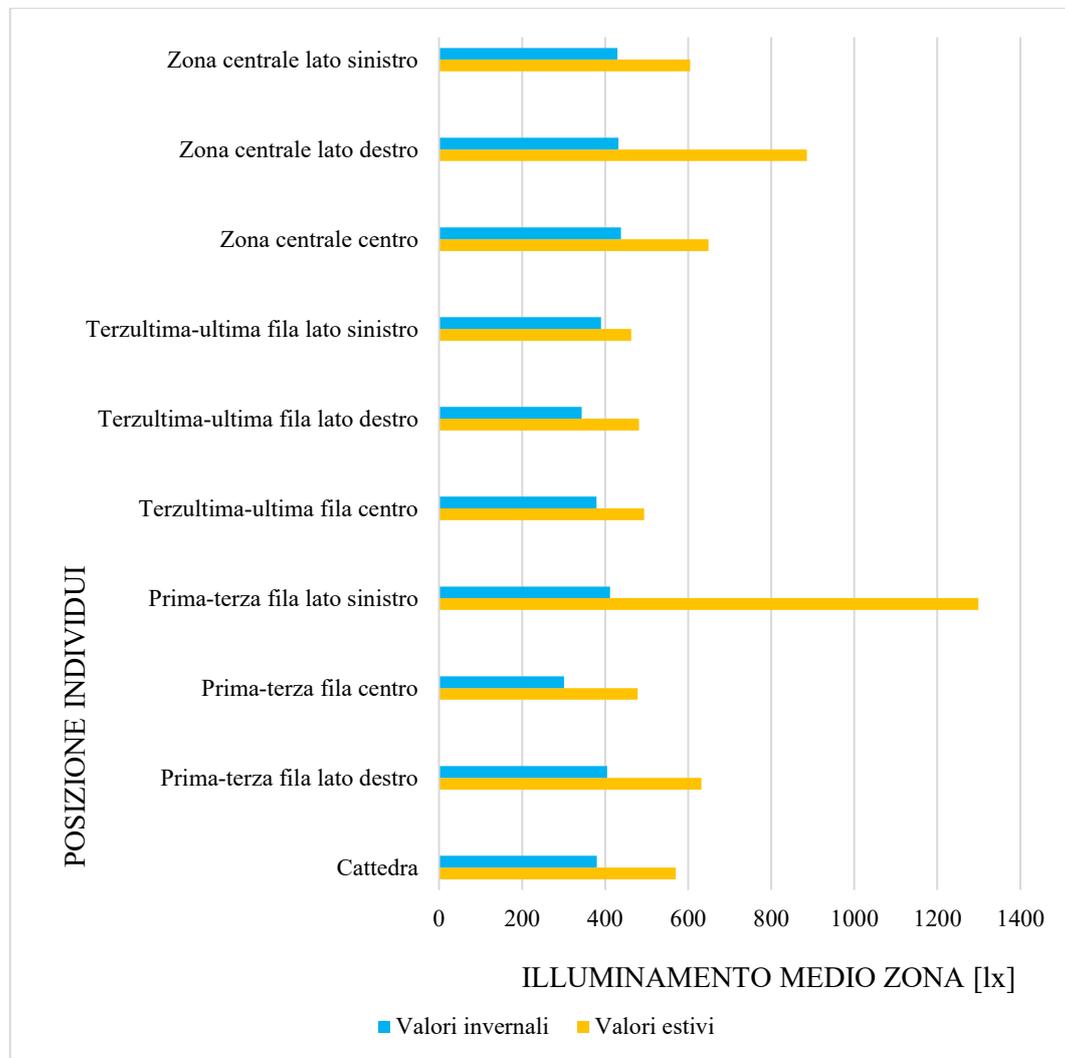


Fig. 291 Grafico a barre dell'illuminamento medio disaggregato per zone nell'aula 71, confronto tra stagione invernale ed estiva.

I dati forniti dall'analisi oggettiva estiva delle condizioni di comfort visivo nelle due stagioni mostrano una certa proporzionalità dovuta alle differenze delle condizioni del cielo riscontrate ma in entrambi i casi delineano valori di illuminamento adeguati e in buona parte dovuti al contributo dell'illuminazione naturale.

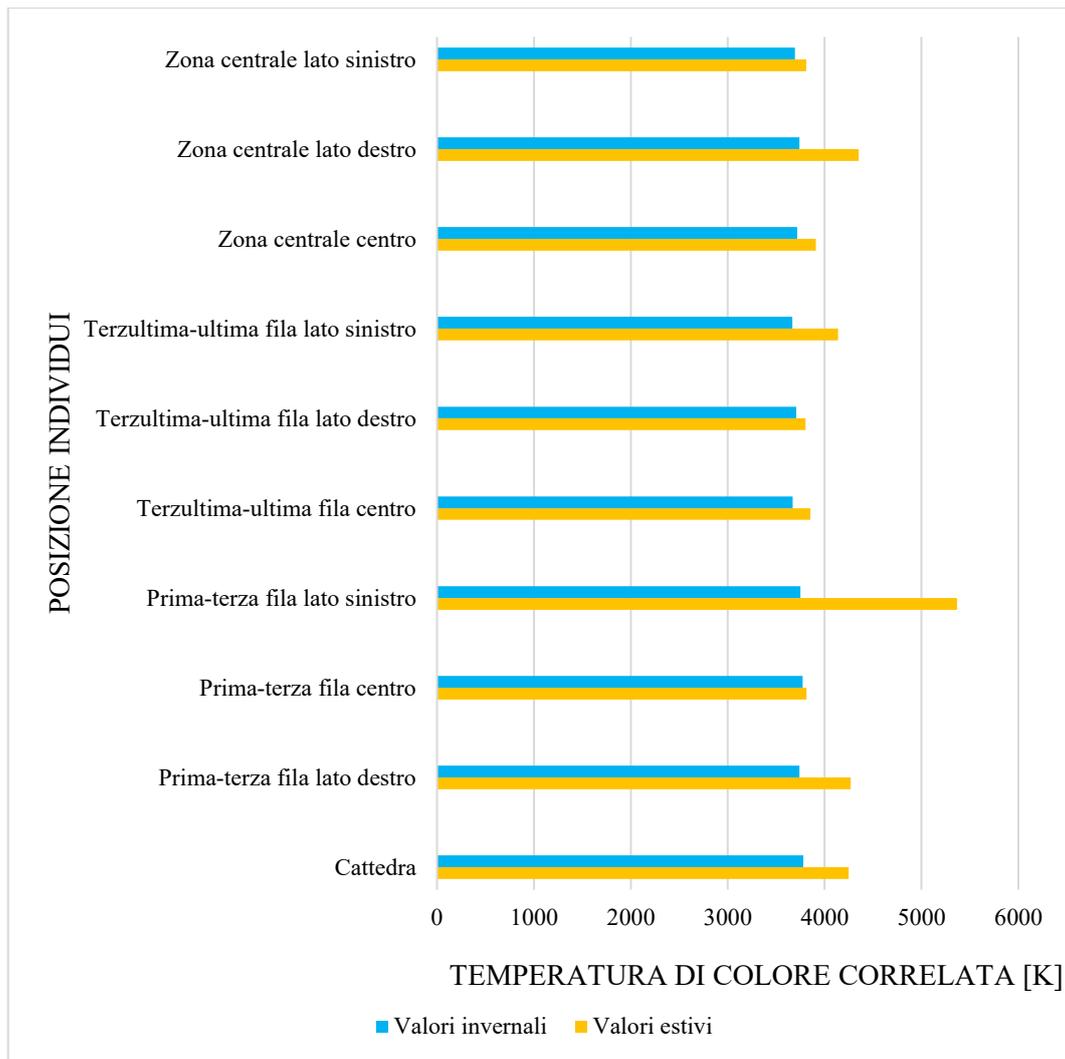


Fig. 292 Grafico a barre della temperatura di colore correlata media disaggregato per zone nell'aula 7I, confronto tra stagione invernale ed estiva.

I dati forniti dall'analisi oggettiva della temperatura di colore correlata rilevata in ambiente riportano valori simili in entrambi le stagioni in cui è stata svolta l'analisi. Questi dati possono considerarsi coerenti considerando l'illuminazione artificiale accesa in entrambe le analisi, e adeguati in quanto riportano valori corrispondenti alla percezione della luce pari ad un bianco neutro. I valori più bassi riscontrati sono quelli corrispondenti alla stagione invernale dove ci si trovava in condizioni di cielo coperto.

L'aula 25 si presenta come l'ambiente in condizioni di comfort visivo più sfavorevoli fra quelli analizzati. A causa della posizione sfavorevole, ovvero al piano terreno di un edificio multipiano, e dalla presenza ostruzioni di ostruzioni esterne tutto meno che trascurabili, emerge dall'analisi oggettiva che in entrambe le stagioni in cui è stata effettuata l'analisi si verificano condizioni che permettano di soddisfare il fabbisogno di illuminazione sfruttando il solo contributo della luce naturale. I valori di FLDm calcolati in più analisi testimoniano questo fatto. In

compenso, tramite l'utilizzo della luce artificiale si ottengono valori di illuminamento accettabili in quasi tutte le posizioni le postazioni dell'ambiente, gli studenti mostrano gradi di soddisfazione soddisfacenti per quanto riguarda l'osservazione delle zone del compito visivo.

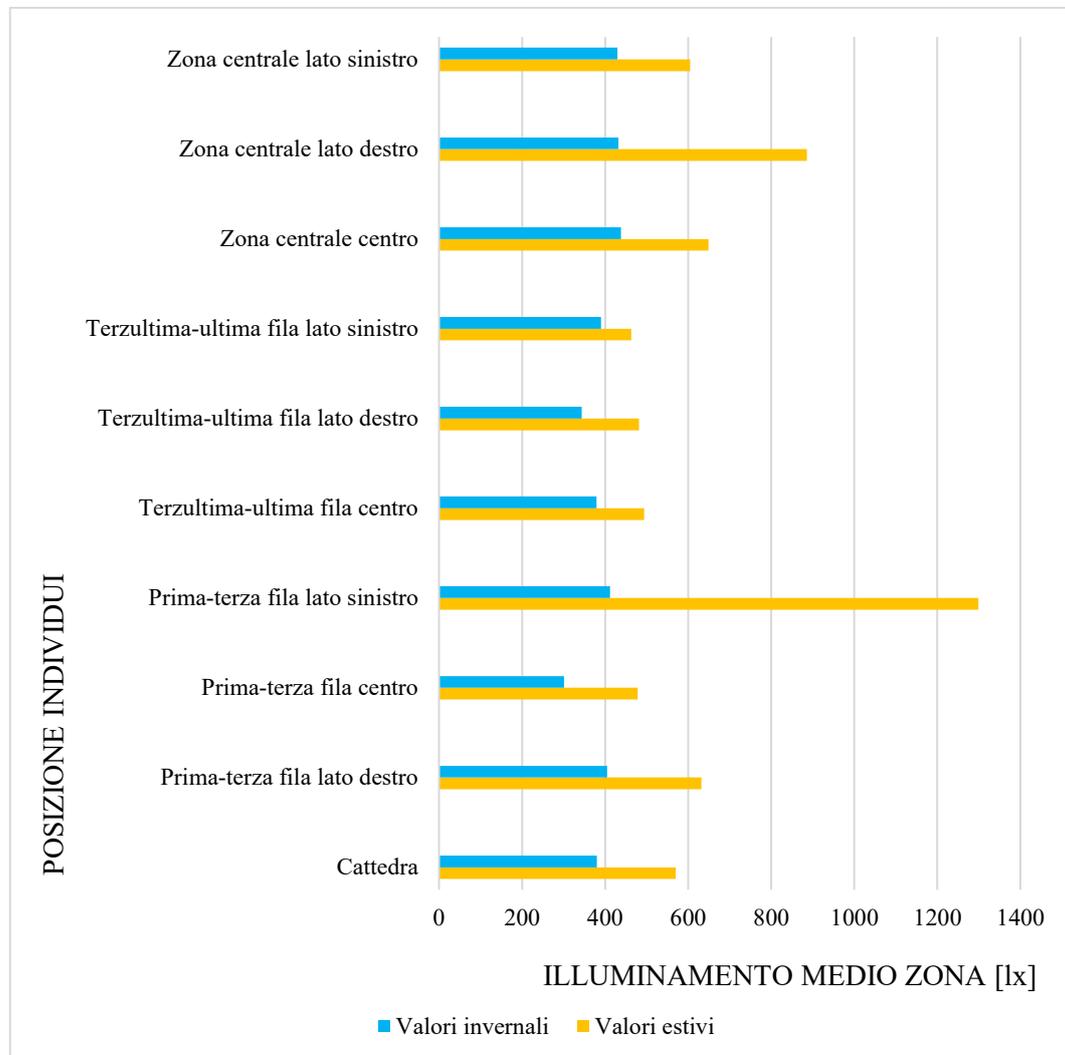


Fig. 293 Grafico a barre dell'illuminamento medio disaggregato per zone nell'aula 25, confronto tra stagione invernale ed estiva.

Nel grafico precedente sono riportati i valori di illuminamento rilevati in estate e in inverno a confronto. Si può notare come i valori estivi siano più alti a causa delle migliori condizioni meteorologiche. Va anche considerato il fatto che gli studenti abbiano espresso apprezzamento sull'illuminazione artificiale in estate, mentre in inverno è presente un leggero malcontento a generale. Questo fattore testimonia che gli studenti, in inverno (dove sono presenti più ore di buio) e in condizioni di cielo nuvoloso apprezzano l'utilizzo dell'illuminazione artificiale, ma in estate e in condizioni cielo sereno preferirebbero che nell'ambiente non si debba fare uso forzato dell'illuminazione artificiale.

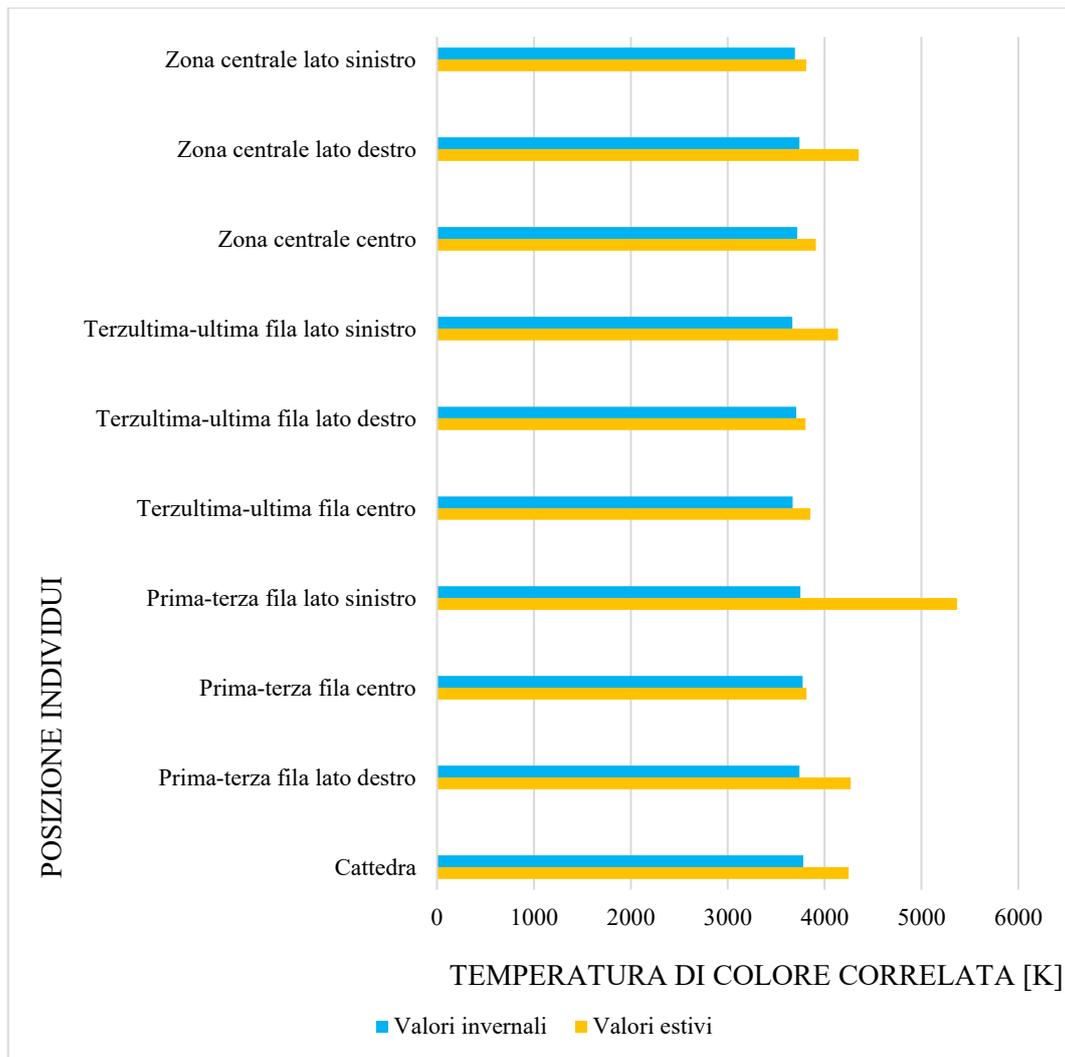


Fig. 294 Grafico a barre della temperatura di colore correlata media disaggregato per zone nell'aula 25, confronto tra stagione invernale ed estiva.

Nel grafico precedente si possono notare gli andamenti stagionali della temperatura di colore correlata. Si può notare come in entrambe le analisi, nonostante cambino le condizioni del cielo, si verificano valori simili a testimonianza del fatto che la luce artificiale prevale all'interno dell'ambiente.

L'aula 201 si presenta come un ottimo ambiente per lo svolgimento delle attività didattiche.

L'esposizione delle pareti vetrate verso sud-est favorisce l'ingresso di illuminazione naturale, a volte anche eccessiva, che richiede l'utilizzo di schermature esterne per evitare l'abbagliamento.

I valori di illuminamento rilevati, sono elevati sia in estate che in inverno. Dal punto di vista del comfort visivo può essere considerata come un ambiente ideale. È

L'unico ambiente analizzato che consente agli studenti di vedere una buona porzione da quasi ogni postazione, fattore che rende le condizioni visive molto apprezzate.

L'analisi è stata effettuata in condizioni di cielo sereno e illuminazione artificiale accesa d'estate, mentre d'inverno, condizioni di cielo nuvoloso e luce artificiale spenta. Il grado di soddisfazione degli studenti sulla quantità di luce in ambiente rilevato è chiaramente più alto nella stagione estiva, ma il dato interessante emerge dalla stagione invernale dove, nonostante le condizioni sfavorevoli, si è registrato un grado di soddisfazione abbastanza alto che certifica quanto possa essere adeguato a livello di comfort visivo questo ambiente.

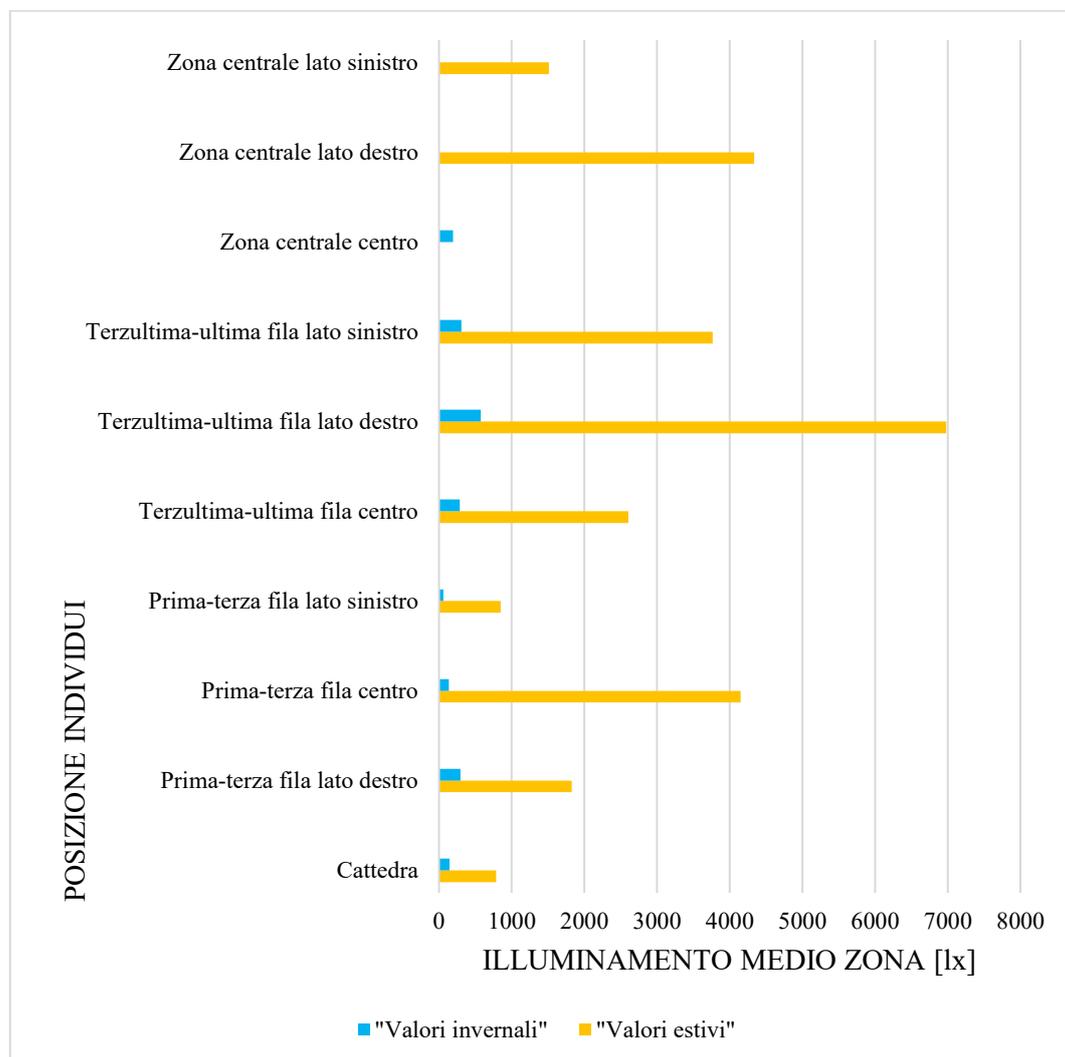


Fig. 295 Grafico a barre dell'illuminamento medio disaggregato per zone nell'aula 201, confronto tra stagione invernale ed estiva.

Analizzando il grafico dell'illuminamento medio disaggregato per zone, si può notare quanta differenza ci possa essere in aula completamente vetrata in presenza o meno di radiazione solare diretta. I valori invernali possono apparire relativamente bassi rispetto a quelli estivi, ma se si considera che l'illuminamento

medio dell'aula in queste condizioni (pari a circa 260 lux) è più alto di quello rilevato nell'aula 25 con il contributo dell'illuminazione artificiale si comprendono bene le potenzialità di questo ambiente.

L'unica vera pecca di quest'aula, è emersa dall'analisi soggettiva effettuata in inverno ed è riferita al grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna. Ricevendo grandi quantità di luce dalle aperture verticali c'è la possibilità che si verifichino riflessioni sul piano lavagna e da alcune postazioni risulta difficoltoso effettuare il compito visivo.

Analizzando i dati estivi si può notare come i valori di illuminamento possano risultare anche eccessivamente elevati in alcune postazioni, fattore che suggerisce l'utilizzo delle schermature esterne.

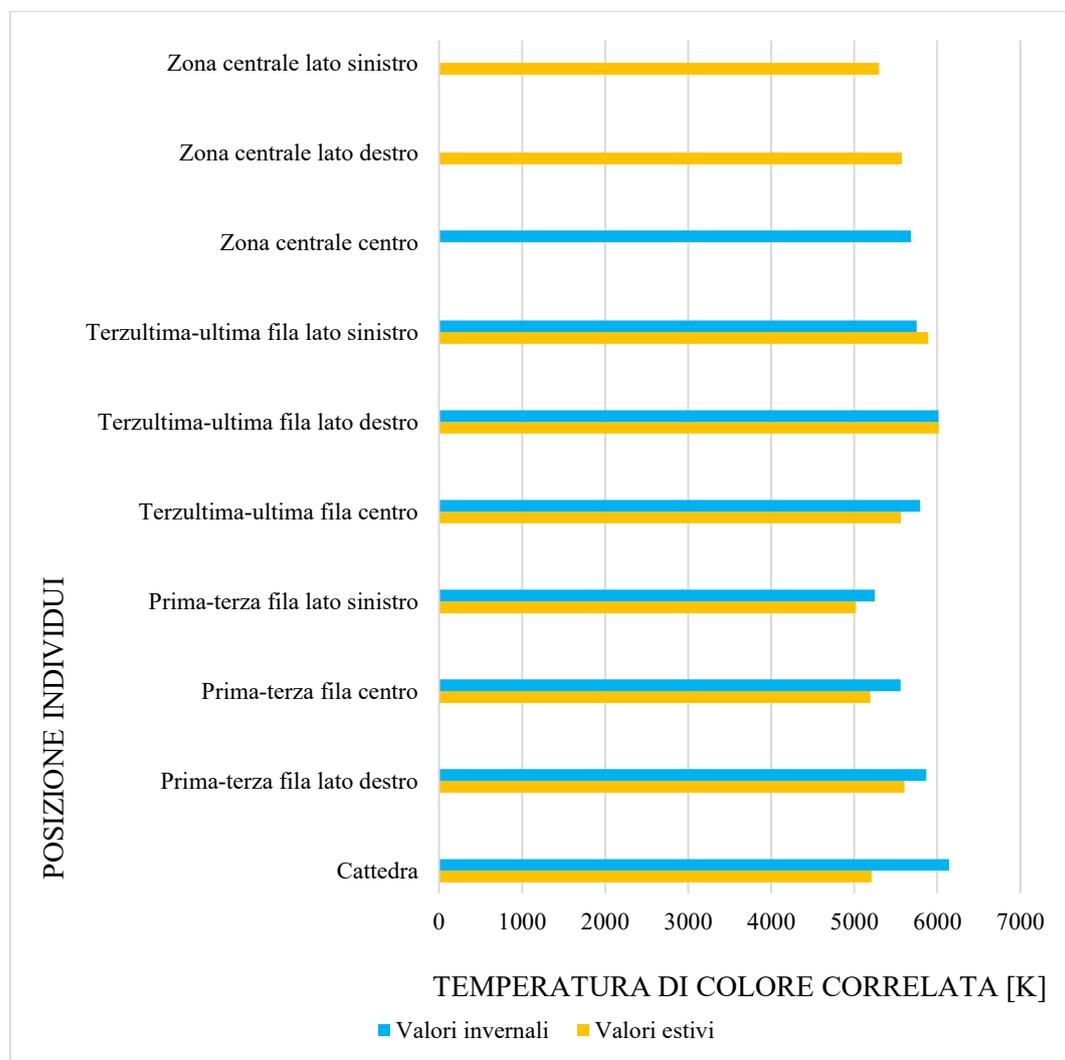


Fig. 296 Grafico a barre della temperatura di colore correlata media disaggregato per zone nell'aula 201, confronto tra stagione invernale ed estiva.

Dal grafico della temperatura di colore correlata media disaggregato per zone nell'aula 201, si può notare come i valori siano decisamente alti a testimonianza della grande quantità di luce naturale presente in ambiente. I valori invernali sono più alti perché durante l'analisi l'illuminazione artificiale era assente, e corrispondendo ad una tonalità di luce più calda avrebbe fatto registrare valori più bassi, cosa che si verifica nell'analisi estiva.

In definitiva si può sottolineare che in tutti gli ambienti analizzati non si sono riscontrati importanti disagi che compromettano il comfort visivo degli studenti. L'aula 25 appare come l'aula meno confortevole, con i valori di illuminamento più bassi riscontrati, ma con l'utilizzo dell'illuminazione artificiale gli studenti riescono a svolgere ogni tipo di compito visivo. La quantità di luce naturale in ambiente è molto bassa, quindi sarebbe opportuno valutare l'opportunità di modifiche al locale o al fabbricato che lo ospita. Per quanto riguarda gli altri ambienti analizzati in tutti i casi si sono verificati valori di FLDm accettabili e adatti allo svolgimento di attività didattiche. Lo scopo perseguibile dovrebbe essere quello di massimizzare la luce naturale nelle aule dedicate alle attività didattiche. Tramite l'analisi si è verificato come il Politecnico di Torino, spesso e volentieri, persegua questo scopo al fine di consentire agli studenti, di trascorrere al meglio il tempo passato negli ambienti.

Comfort acustico

A differenza delle correlazioni e conclusioni effettuate per il comfort termico e per il comfort visivo, per il comfort acustico i dati rilevati e percepiti non sono stati approfonditi nel dettaglio. Questo perché lo scopo dell'analisi acustica prevedeva di testare un'applicazione sperimentale OpeNoise scaricabile sullo store di Android e iOS. A tal fine da poter rilevare i livelli di rumore presenti all'interno degli ambienti presi in esame.

Non è stato effettuato un calcolo del rumore di fondo esterno, ma solamente un calcolo riferito al valore di L_{Aeq} all'interno delle aule.

Di seguito sono rappresentati alcuni grafici che comparano il valore di L_{Aeq} tra le aule con e senza una strada ad alto scorrimento nelle vicinanze, ed infine una comparazione totale delle quattro aule.

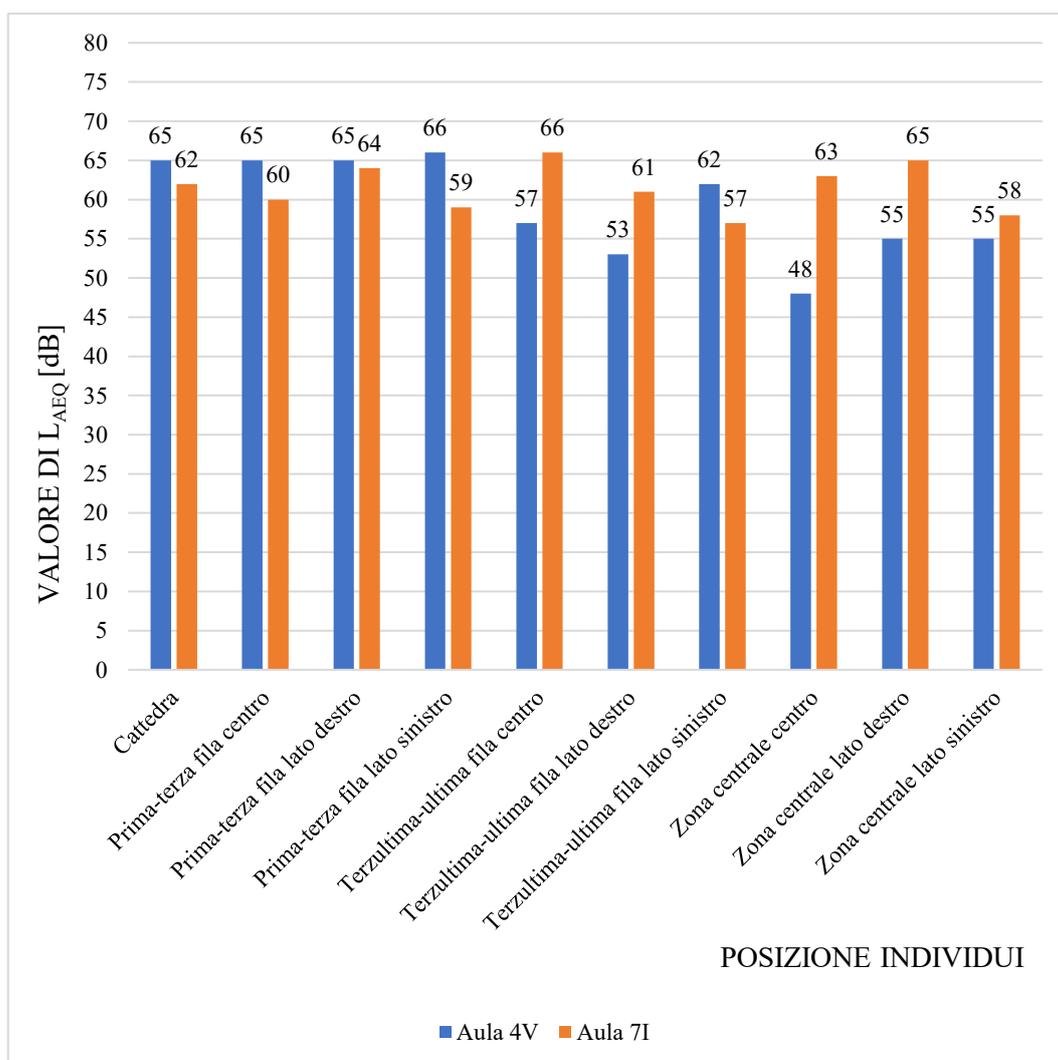


Fig. 297 Confronto tra aula 4V e aula 7I, entrambe senza una strada ad alto scorrimento nelle vicinanze.

Il grafico soprastante raffigura i valori di L_{Aeq} rilevati all'interno dell'aula 4V e dell'aula 7I, entrambi ambienti in cui è assente una strada ad alto scorrimento nelle vicinanze che dunque non genera rumore di fondo esterno. I valori rilevati fanno riferimento al livello di rumore presente all'interno dell'aula in presenza di docenti ed alunni che svolgevano le proprie attività.

La differenza tra i valori è relativamente bassa, anche se il valore del livello di rumore è elevato rispetto agli standard normativi (D. P. R. n. 142, 30/3/2004) che prevedono un valore limite di 45 dB per gli edifici scolastici, ma in assenza di persone. Nelle analisi effettuate per questo studio, all'interno delle aule erano presenti persone e dunque i valori non sono paragonabili con la normativa.

Stesso confronto è stato effettuato per le aule, invece, che hanno una strada ad alto scorrimento nelle vicinanze.

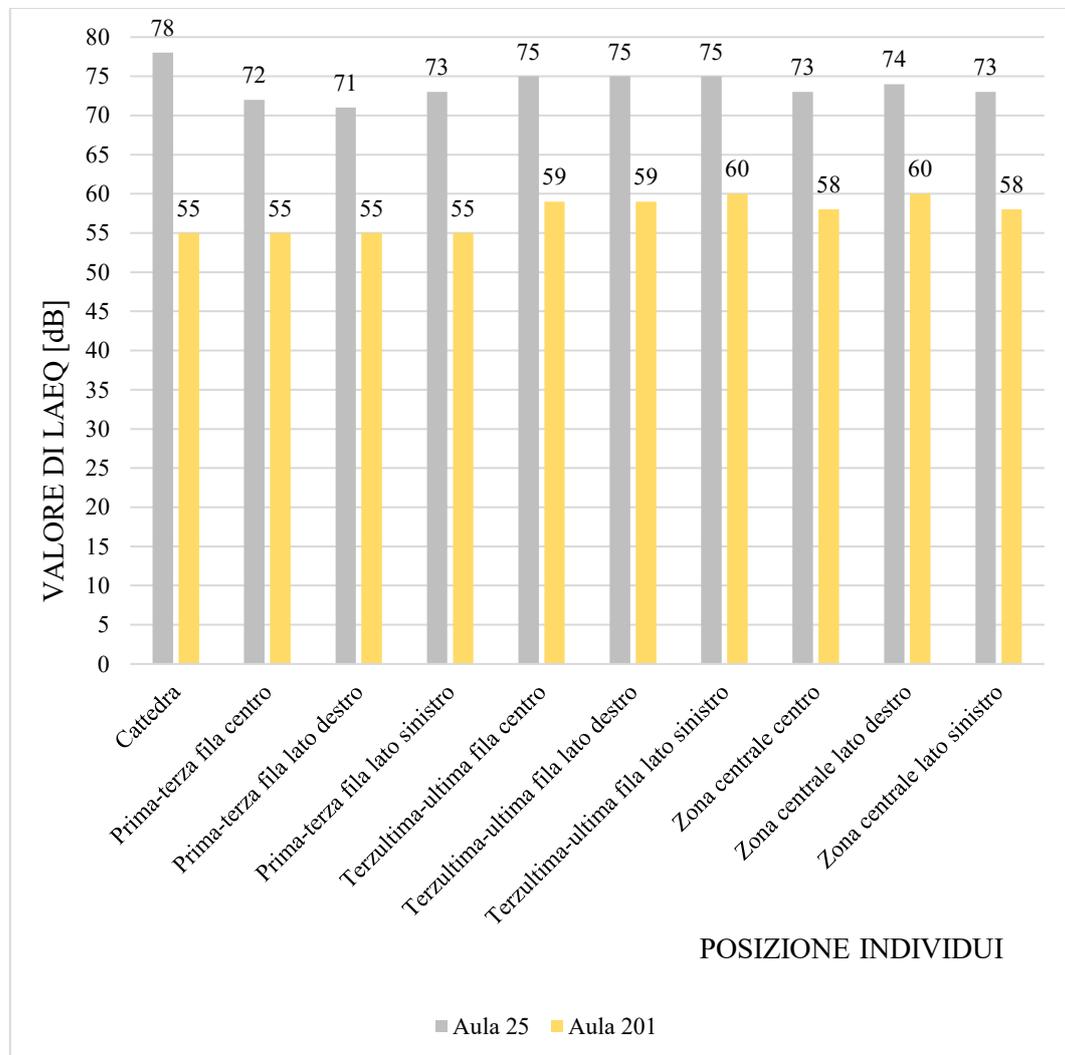


Fig. 298 Confronto tra aula 25 e aula 201, entrambe con una strada ad alto scorrimento nelle vicinanze.

Per quanto riguarda l'aula 25 e l'aula 201, invece, si nota che i valori sono molto più alti rispetto alle due aule precedenti (vedi fig. 298) in quanto oltre al rumore

presente all'interno dell'ambiente, si aggiunge anche il rumore di fondo esterno causato dai veicoli che circolano nelle vicinanze.

Infine, si sono confrontati tutte le quattro aule per avere una visione complessiva dei dati rilevati in ognuna di esse.

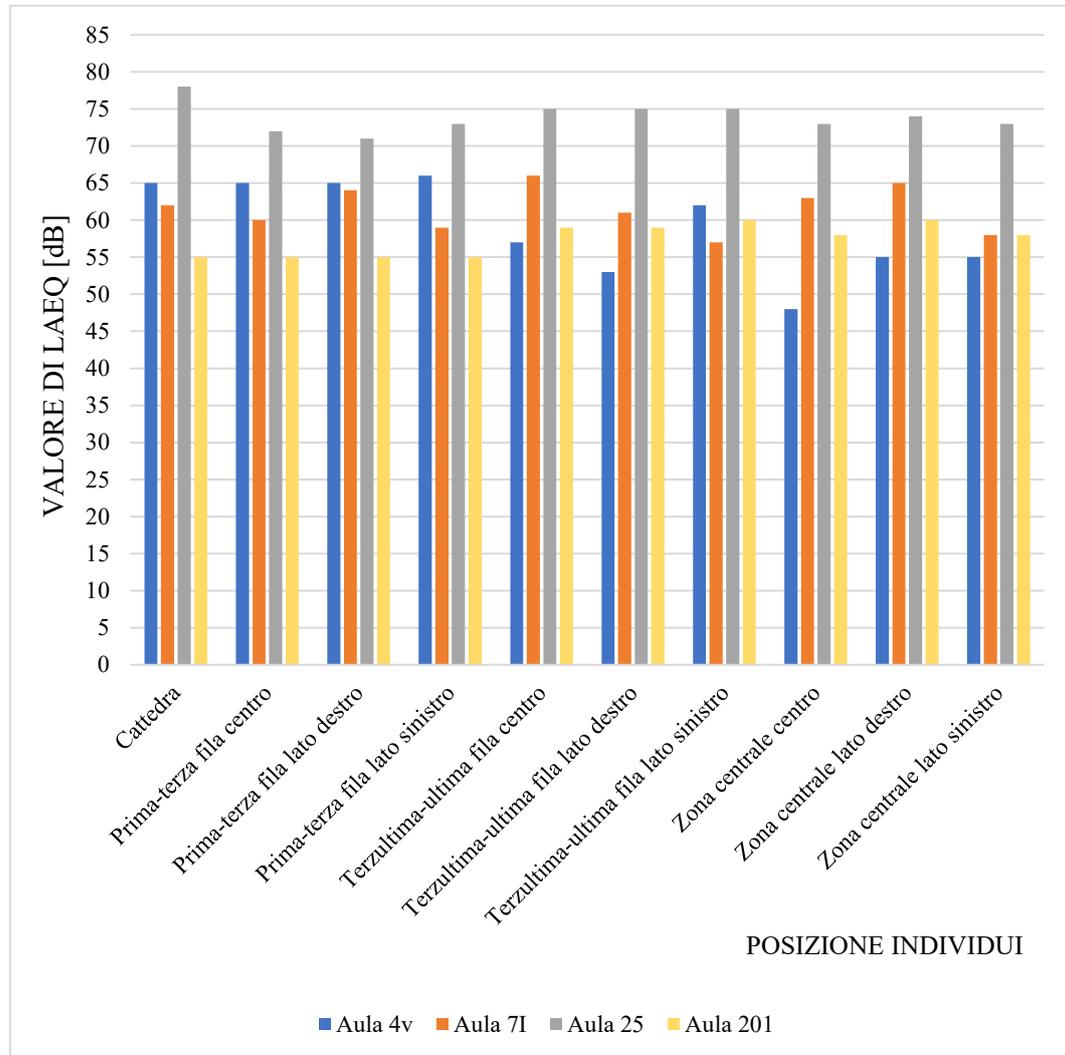


Fig. 299 Confronto del livello di rumore all'interno delle quattro aule.

In questo grafico finale si deduce che l'aula che maggiormente si discosta dalle altre per il livello di rumore presente all'interno è l'aula 25. Questo è dovuto principalmente alla vicinanza dell'aula con corso Luigi Einaudi distante pochi metri.

Bibliografia

Libri:

- Panetti Modesto, *Venticinque anni di attività del Laboratorio di Aeronautica al Politecnico di Torino*, Torino, Rassegna Mensile Municipale, n. 9, settembre 1937-XV, 1937.
- Pugno Giuseppe Maria, *Storia del Politecnico di Torino. Dalle origini alla vigilia della seconda guerra mondiale*, Torino, Stamperia Artistica Nazionale, 1959.
- Moncada Lo Giudice G., *Principi di illuminazione*, Milano, PEG, 1975.
- Università degli studi, Napoli. Gruppo d' energia solare, *Il clima come elemento di progetto nell'edilizia*, Napoli, Liguori editore, 1977.
- Serra M., Calderaro V., *Fondamenti di fotometria e tecnica di illuminazione*, Ed, Scientifiche Associate, Roma, 1978.
- Seminari sui sistemi passivi Bari, *La progettazione dell'architettura bioclimatica: atti del seminario sui sistemi passivi, Bari 1979*, Padova, Franco Muzzio & c. editore, 1980.
- Pierluigi Cerri e Pierluigi Nicolin (a cura di) *Verso un'architettura*, Milano, Longanesi, 1984, p. 242.
- Rocco L., *Fondamenti di acustica ambientale*, Firenze, Alinea, 1984.
- *Il Valentino. Sintesi storica e metodologia per il progetto*, a cura di C. Roggero Bardelli, F. Barrera, V. Defabiani, M. Grosso, A. Magnaghi, L. Re, A. Sistri, M.G. Vinardi, Torino, Celid, 1986.
- Giriodi Sisto, Mamino Lorenzo, *Castello del Valentino, facoltà di architettura, progetti a confronto*, Torino, Celid, Luglio 1988.
- Cagliaris, Giovanni. Sacchi Alfredo, *Fisica tecnica: il benessere ambientale negli aspetti illuminotecnico, acustico, microclimatico*, Torino, Utet, 1990.
- Aghemo C., Azzolino C., *Illuminazione naturale – Metodi di esempi di calcolo*, Celid, Torino, 1995.
- Cagliaris Giovanni, Sacchi Alfredo, *Climatizzazione*, Torino, UTET, 1996.

- Cagliaris, Giovanni. Sacchi Alfredo, *Fisica tecnica: il benessere ambientale negli aspetti illuminotecnico, acustico, microclimatico*, Torino, Utet, 1996.
- G. Moncada Lo giudice, M. coppi, *Benessere termico e qualità dell'aria interna*, Milano, Masson, 1997.
- Marocco Marcello, Orlandi Fabrizio, *Qualità del comfort ambientale, elementi per la progettazione*, Roma, Librerie Dedalo, 2000.
- Stefanutti Luca, *Impianti di climatizzazione*, Settimo Milanese, Tecniche nuove, 2001.
- Franco Amadori, *Fiat e Finsider 1920-1960*, Edizioni VP, 2002.
- Moncada Lo Giudice G., De Lieto Vollaro A., *Illuminotecnica*, CEA, 2007.
- Astolfi, F. Pellerey, *Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms*, J. Acoust, Soc. Am, 2008, pp. 163-173.
- Spinelli, Carlo, *Spina 2. Cittadella Politecnica*, in Bonino, Michele [et al.] (a cura di), Torino 1984-2008. Atlante dell'architettura, Torino, 2008, U. Allemandi, scheda n. 25.
- Martini, Alessandro, *Cittadella Politecnica*, in Giusti, Maria Adriana - Tamborrino, Rosa, Guida all'architettura del Novecento in Piemonte (1902-2006), Torino, U. Allemandi, 2008.
- Astolfi A., Corrado V., *Applicazioni di illuminazione e acustica*, Torino, Celid, 2012.
- Aghemo C., d'Ambrosio Alfano F. R., Piterà L. A., *Comfort visivo*, Torino, Delfino, 2014.
- *Il Politecnico di Torino e la costruzione della città del Novecento*, AGIT, ottobre 2018.

Articoli:

- G. Mutani, L. Cazzetta, Un modello adattativo per la valutazione del comfort termico, in *“La termodinamica”*, Gennaio-febbraio 2011, pp. 59-63.

- G. Mutani, L. Cazzetta, Verifica del comfort termico negli uffici del Politecnico di Torino, in “il progetto sostenibile”, in *“Il progetto sostenibile”*, 2011.

Tesi:

- A. Amicosante, E. Deandrea, Tesi di Laurea “Le Officine Grandi Riparazioni. L'architettura in ferro tra tradizione e innovazione”, Torino, 2001.
- A. M. Cossu, Tesi di Laurea “Illuminazione artificiale negli edifici scolastici: esigenze di comfort visivo e soluzioni tecnologiche specifiche”, Torino, 2004.
- S. Delogu, Tesi di Laurea “Qualità microclimatica e consumi energetici nei musei”, Torino, 2010.
- E. Zirio, Tesi di Laurea “Retrofit acustico e illuminotecnico per l’ottimizzazione del comfort di quattro aule universitarie del Politecnico di Torino”, Torino, 2012.
- F. Messina, Tesi di Laurea “Degenza ospedaliera e comfort visivo: analisi sperimentale di un caso studio e proposte di intervento”, Torino, 2013.
- F. Napoleone, Tesi di Laurea “L’analisi del comfort termico nell’ambiente esterno”, Torino, 2013.
- C. Pesce, Tesi di Laurea “Progetto Green School. Analisi termica e di qualità dell’aria in edifici scolastici. Valutazione soggettiva ed oggettiva”, Torino, 2014.
- S. Farabi, Tesi di Laurea “Progetto Green School. Valutazione del comfort visivo negli edifici scolastici attraverso un’analisi oggettiva e soggettiva”, Torino, 2015.
- A. Raco, Tesi di Laurea “Investigation on perceived environmental quality in existing high school buildings. Focus on thermal comfort measurements and survey”, Torino, 2015.

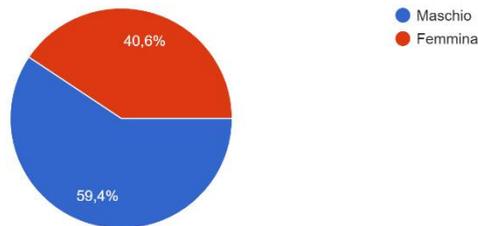
Appendici

In questa sezione sono riportati tutti i grafici acquisiti dalle risposte dei questionari somministrati agli studenti durante i rilievi.

Aula 4V Stagione estiva

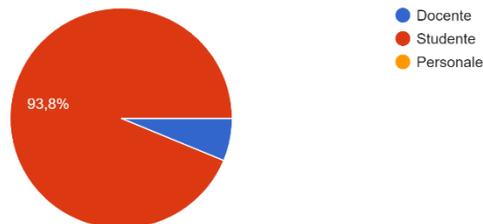
A quale sesso appartieni?

32 risposte



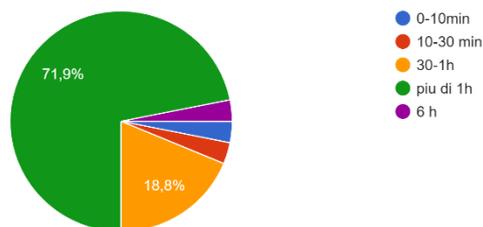
Che professione svolgi all'interno dell'Ateneo?

32 risposte



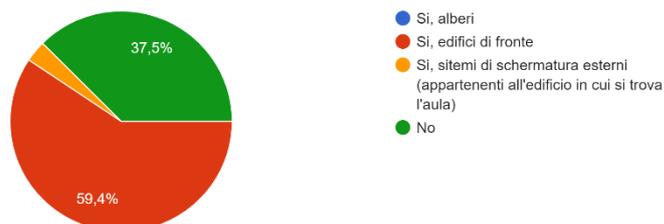
Da quanto tempo ti trovi in aula?

32 risposte



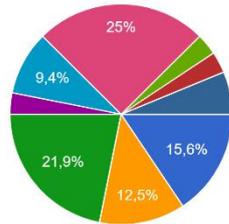
Sono presenti ostruzioni o oggetti esterni che limitano l'illuminazione naturale?

32 risposte



In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

32 risposte

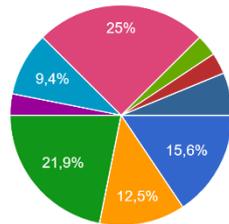


- Prima-terza fila lato destro
- Prima-terza fila centro
- Prima-terza fila lato sinistro
- Zona centrale lato destro
- Zona centrale centro
- Zona centrale lato sinistro
- Terzultima-ultima fila lato destro
- Terzultima-ultima fila centro

▲ 1/2 ▼

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

32 risposte

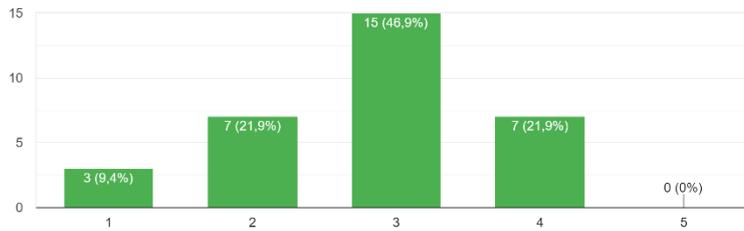


- Terzultima-ultima fila lato sinistro
- Cattedra

▲ 2/2 ▼

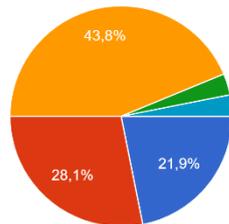
Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?

32 risposte



Quale attività stai svolgendo in questo momento?

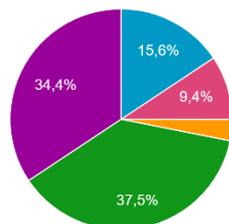
32 risposte



- Sto studiando
- Sono seduto, rilassato
- Sto svolgendo attività di ufficio, laboratorio, scuola
- Sto insegnando
- Sono in piedi rilassato
- Esame

Qual' è la sensazione termica all'interno dell'aula?

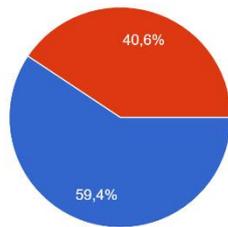
32 risposte



- Molto freddo
- Freddo
- Poco freddo
- Neutra
- Poco caldo
- Caldo
- Molto caldo

Come preferiresti la condizione termica dell'ambiente?

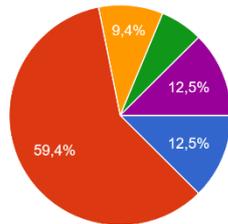
32 risposte



- Più fredda
- Nessun cambiamento
- Più calda

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

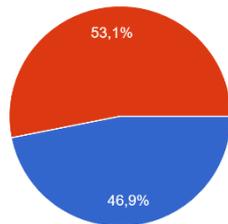
32 risposte



- 1 T-shirt - Pantaloncino / T-shirt - Gonna o Pantaloncino
- 2 T-shirt - Pantalone
- 3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito
- 4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglionicino - Pantalone
- 5 Maglionicino - Pantalone / Camicia-pantalone
- 6 Camicia - Giacca - Pantalone / T-shi...
- 7 Camicia - Maglionicino - Pantalone

Trovi differenze termiche all'interno dell'aula?

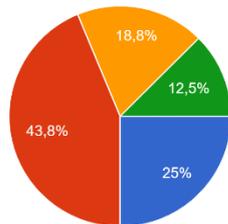
32 risposte



- Si
- No

Come percepisci i movimenti d'aria?

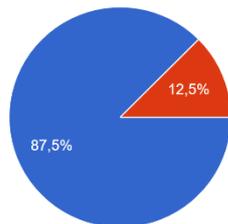
32 risposte



- Molto deboli
- Deboli
- Neutri
- Forti
- Molto forti

Nell'aula ti è possibile controllare le condizioni ambientali termiche?

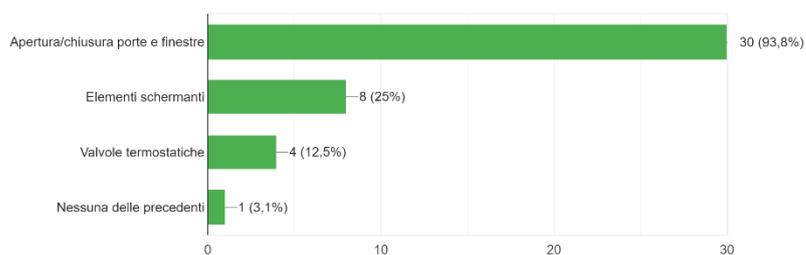
32 risposte



- Si
- No

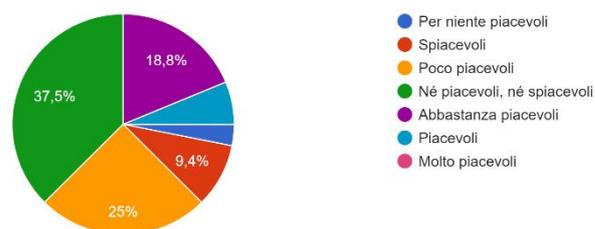
In riferimento alla domanda precedente, in che modo puoi controllarle?

32 risposte



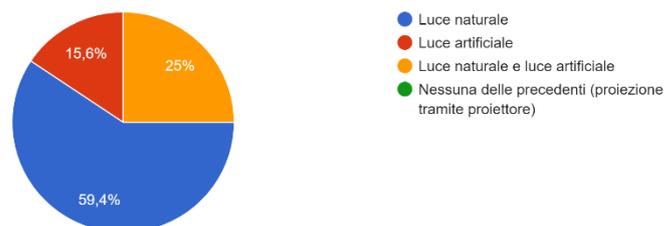
Come reputi le condizioni ambientali complessive di comfort termico, in questo istante?

32 risposte



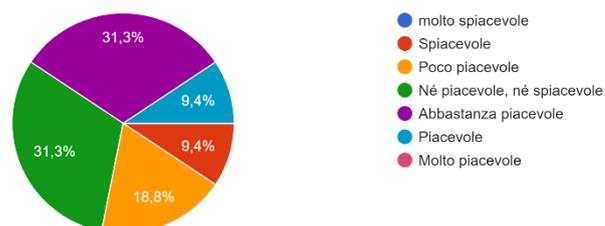
All'interno dell'aula quale fonte luminosa si percepisce?

32 risposte



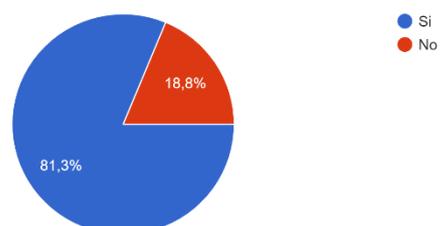
Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?

32 risposte



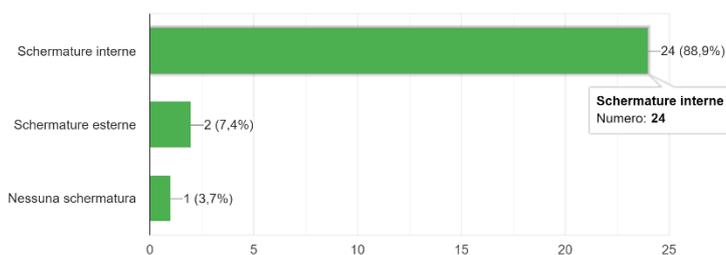
Puoi controllare l'abbagliamento da luce naturale all'interno dell'aula?

32 risposte



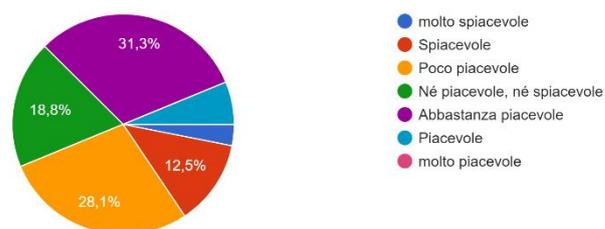
Se si, in che modo puoi controllare la variazione di illuminazione naturale interna all'aula?

27 risposte



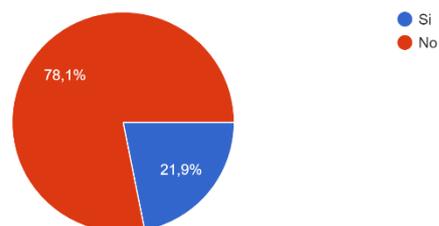
Come ritieni la qualità dell'illuminazione artificiale all'interno dell'aula?

32 risposte



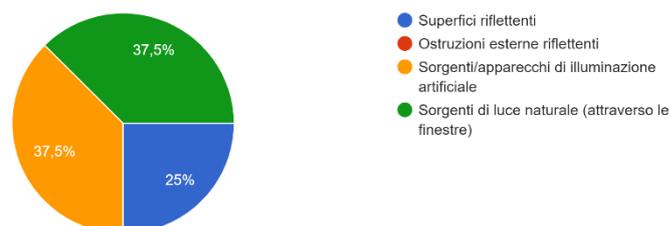
Percepisci elementi di abbagliamento nel tuo campo visivo?

32 risposte

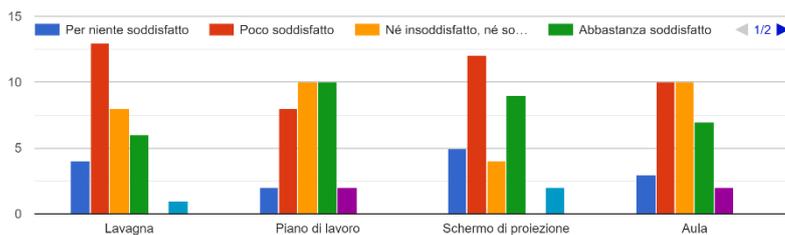


Se si, quali?

8 risposte

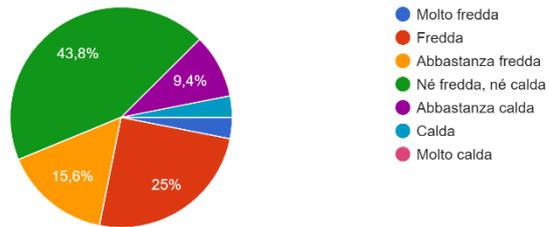


Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione dei seguenti elementi?



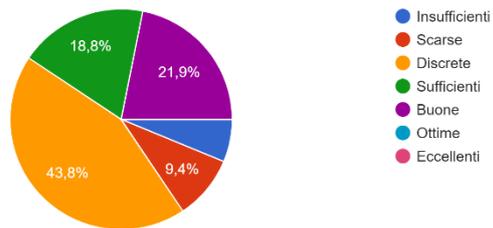
Come percepisci il colore della luce?

32 risposte



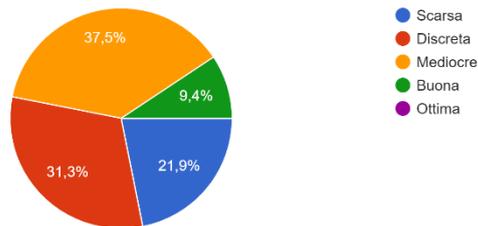
Come descrivi le condizioni ambientali complessive di illuminazione, in questo istante?

32 risposte



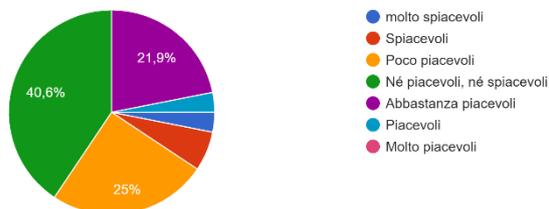
Come percepisci la qualità delle condizioni sonora?

32 risposte



Come reputi le condizioni ambientali complessive (Comfort termico, illuminazione e acustica), in questo istante?

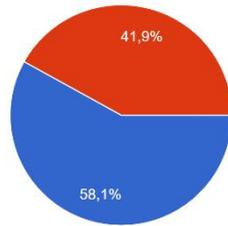
32 risposte



Aula 4V Stagione invernale

A quale sesso appartieni?

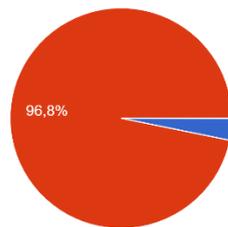
31 risposte



● Maschio
● Femmina

Che professione svolgi all'interno dell'Ateneo?

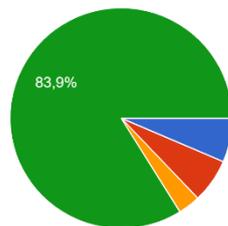
31 risposte



● Docente
● Studente
● Personale

Da quanto tempo ti trovi in aula?

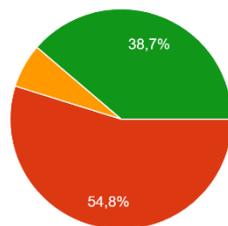
31 risposte



● 0-10min
● 10-30 min
● 30-1h
● piu di 1h

Sono presenti ostruzioni o oggetti esterni che limitano l'illuminazione naturale?

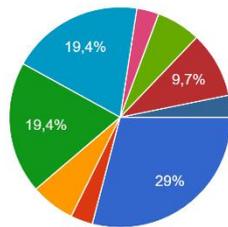
31 risposte



● Si, alberi
● Si, edifici di fronte
● Si, sistemi di schermatura esterni (appartenenti all'edificio in cui si trova l'aula)
● No

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

31 risposte

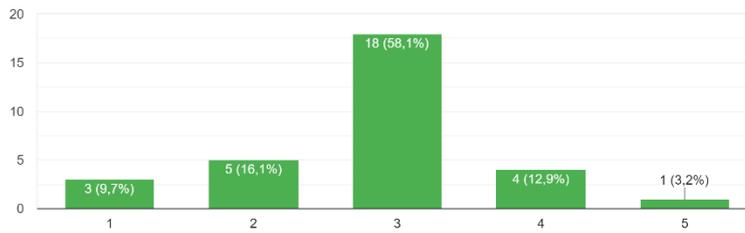


- Prima-terza fila lato destro
- Prima-terza fila centro
- Prima-terza fila lato sinistro
- Zona centrale lato destro
- Zona centrale centro
- Zona centrale lato sinistro
- Terzultima-ultima fila lato destro
- Terzultima-ultima fila centro

▲ 1/2 ▼

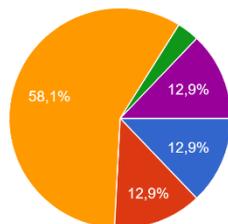
Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?

31 risposte



Quale attività stai svolgendo in questo momento?

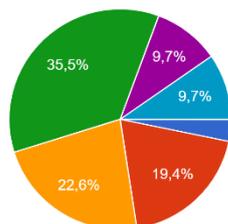
31 risposte



- Sto studiando
- Sono seduto, rilassato
- Sto svolgendo attività di ufficio, laboratorio, scuola
- Sto insegnando
- Sono in piedi rilassato

Qual'è la sensazione termica all'interno dell'aula?

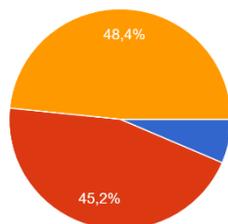
31 risposte



- Molto freddo
- Freddo
- Poco freddo
- Neutra
- Poco caldo
- Caldo
- Molto caldo

Come preferiresti la condizione termica dell'ambiente?

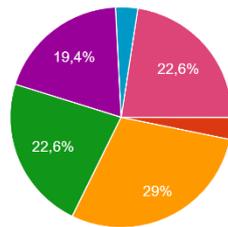
31 risposte



- Più fredda
- Nessun cambiamento
- Più calda

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

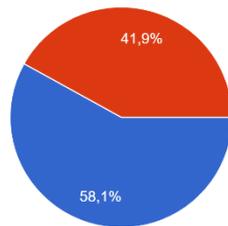
31 risposte



- 1 T-shirt - Pantaloncino / T-shirt - Gonna o Pantaloncino
- 2 T-shirt - Pantalone
- 3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito
- 4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglionicino - Pantalone
- 5 Maglionicino - Pantalone / Camicia-pantalone
- 6 Camicia - Giacca - Pantalone / T-shi...
- 7 Camicia - Maglionicino - Pantalone

Trovi differenze termiche all'interno dell'aula?

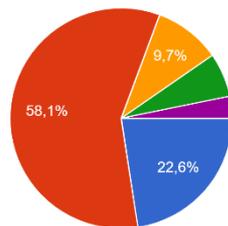
31 risposte



- Si
- No

Come percepisci i movimenti d'aria?

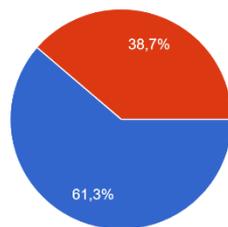
31 risposte



- Molto deboli
- Deboli
- Neutri
- Forti
- Molto forti

Percepisci una differenza di temperatura tra caviglie e testa?

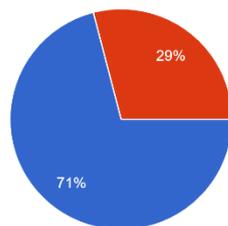
31 risposte



- Si
- No

Nell'aula ti è possibile controllare le condizioni ambientali termiche?

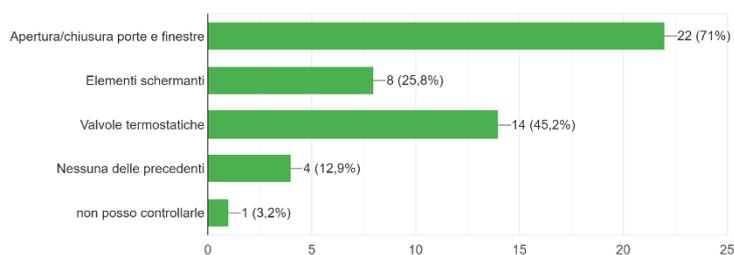
31 risposte



- Si
- No

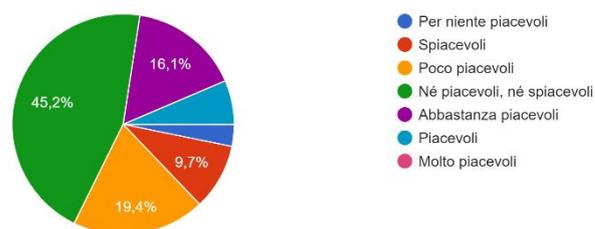
In riferimento alla domanda precedente, in che modo puoi controllarle?

31 risposte



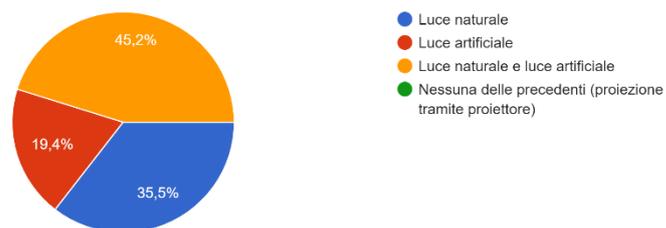
Come reputi le condizioni ambientali complessive di comfort termico, in questo istante?

31 risposte



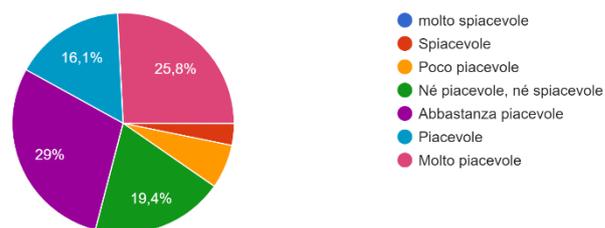
All'interno dell'aula quale fonte luminosa si percepisce?

31 risposte



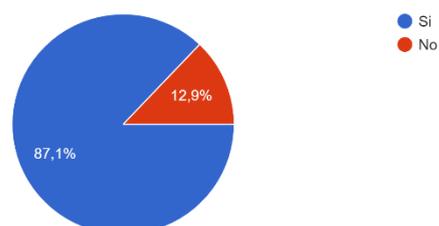
Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?

31 risposte

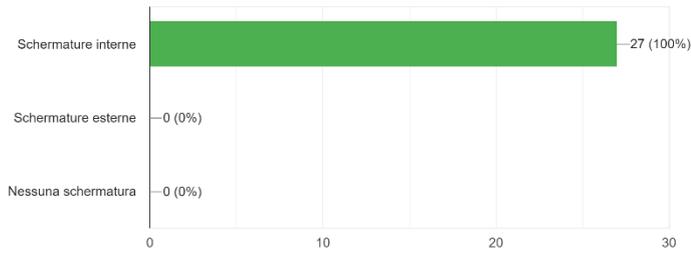


Puoi controllare l'abbagliamento da luce naturale all'interno dell'aula?

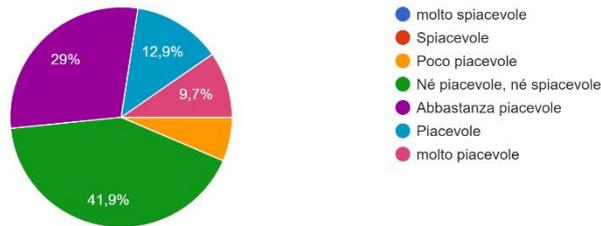
31 risposte



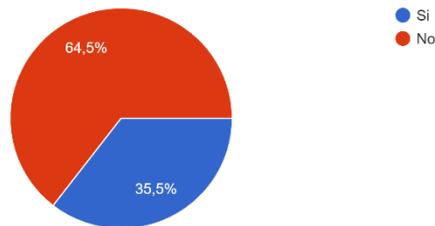
Se si, in che modo puoi controllare la variazione di illuminazione naturale interna all'aula?
27 risposte



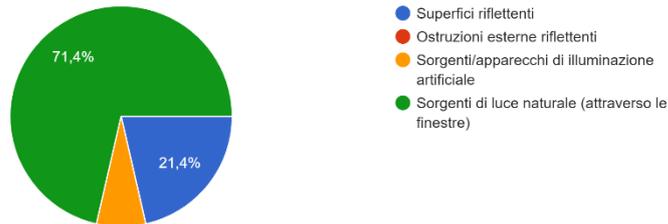
Come ritieni la qualità dell'illuminazione artificiale all'interno dell'aula?
31 risposte



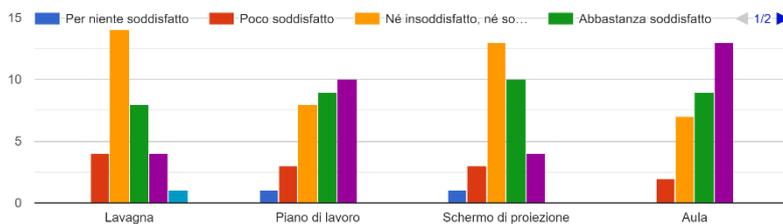
Percepisci elementi di abbagliamento nel tuo campo visivo?
31 risposte



Se si, quali?
14 risposte

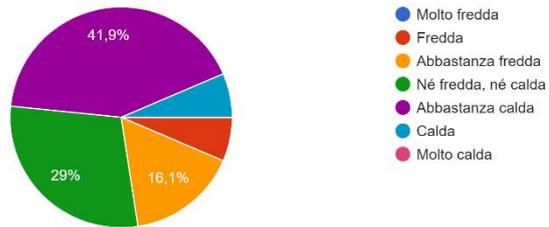


Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione dei seguenti elementi?



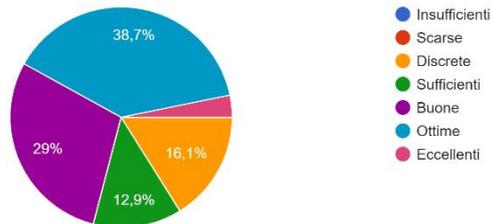
Come percepisci il colore della luce?

31 risposte



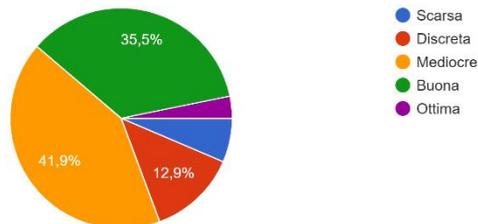
Come descrivi le condizioni ambientali complessive di illuminazione, in questo istante?

31 risposte



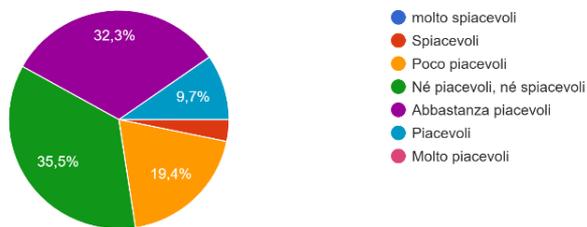
Come percepisci la qualità delle condizioni sonora?

31 risposte



Come reputi le condizioni ambientali complessive (Comfort termico, illuminazione e acustica), in questo istante?

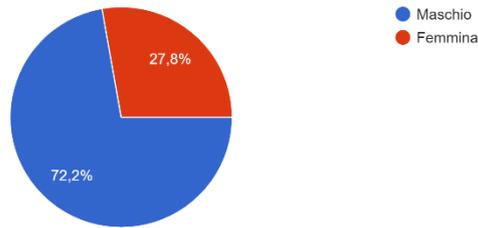
31 risposte



Aula 25 Stagione estiva

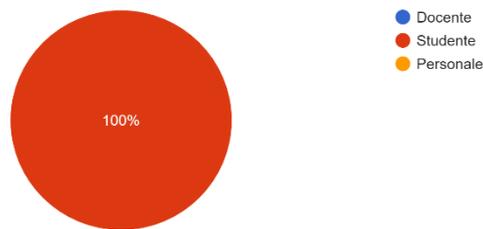
A quale sesso appartieni?

18 risposte



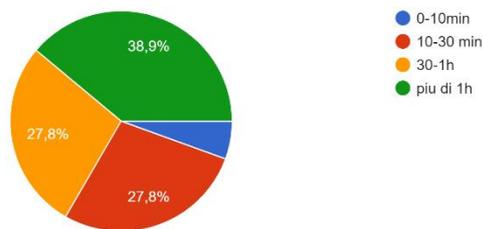
Che professione svolgi all'interno dell'Ateneo?

18 risposte



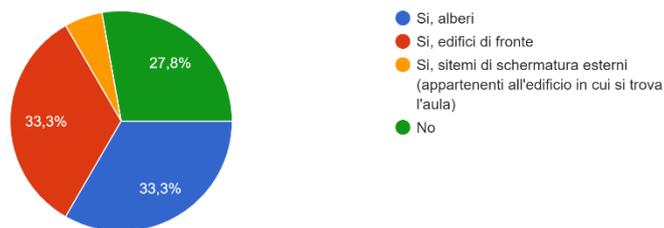
Da quanto tempo ti trovi in aula?

18 risposte



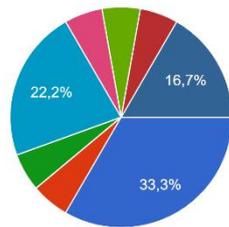
Sono presenti ostruzioni o oggetti esterni che limitano l'illuminazione naturale?

18 risposte



In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

18 risposte

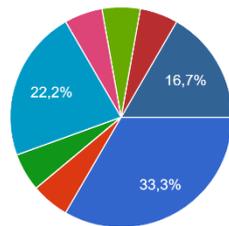


- Prima-terza fila lato destro
- Prima-terza fila centro
- Prima-terza fila lato sinistro
- Zona centrale lato destro
- Zona centrale centro
- Zona centrale lato sinistro
- Terzultima-ultima fila lato destro
- Terzultima-ultima fila centro

▲ 1/2 ▼

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

18 risposte

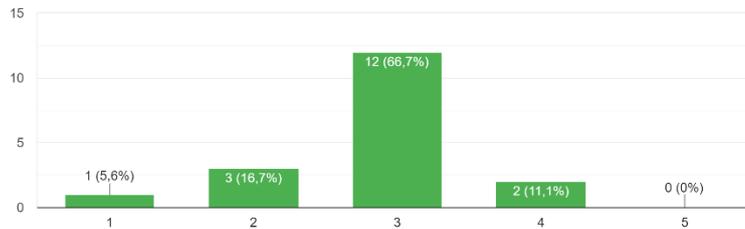


- Terzultima-ultima fila lato sinistro
- Cattedra

▲ 2/2 ▼

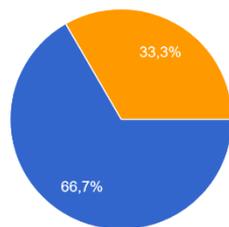
Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?

18 risposte



Quale attività stai svolgendo in questo momento?

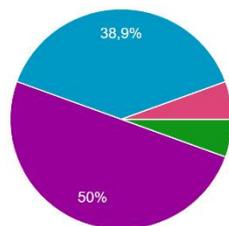
18 risposte



- Sto studiando
- Sono seduto, rilassato
- Sto svolgendo attività di ufficio, laboratorio, scuola
- Sto insegnando
- Sono in piedi rilassato

Qual' è la sensazione termica all'interno dell'aula?

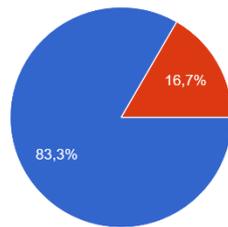
18 risposte



- Molto freddo
- Freddo
- Poco freddo
- Neutra
- Poco caldo
- Caldo
- Molto caldo

Come preferiresti la condizione termica dell'ambiente?

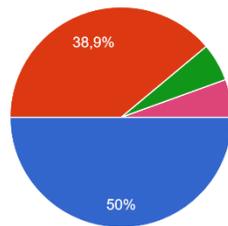
18 risposte



- Più fredda
- Nessun cambiamento
- Più calda

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

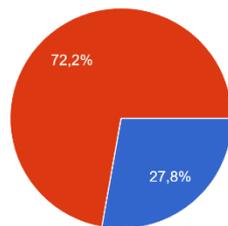
18 risposte



- 1 T-shirt - Pantaloncino / T-shirt - Gonna o Pantaloncino
- 2 T-shirt - Pantalone
- 3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito
- 4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglioncino - Pantalone
- 5 Maglioncino - Pantalone / Camicia-pantalone
- 6 Camicia - Giacca - Pantalone / T-shi...
- 7 Camicia - Maglioncino - Pantalone

Trovi differenze termiche all'interno dell'aula?

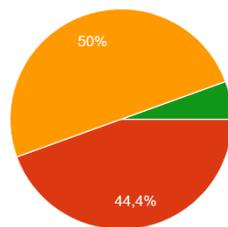
18 risposte



- Si
- No

Come percepisci i movimenti d'aria?

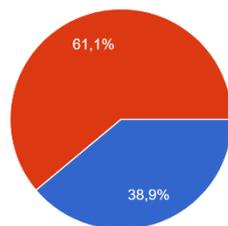
18 risposte



- Molto deboli
- Deboli
- Neutri
- Forti
- Molto forti

Percepisci una differenza di temperatura tra caviglie e testa?

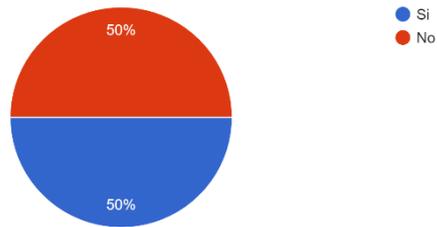
18 risposte



- Si
- No

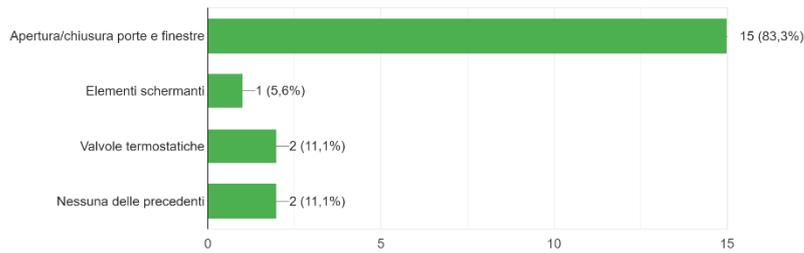
Nell'aula ti è possibile controllare le condizioni ambientali termiche?

18 risposte



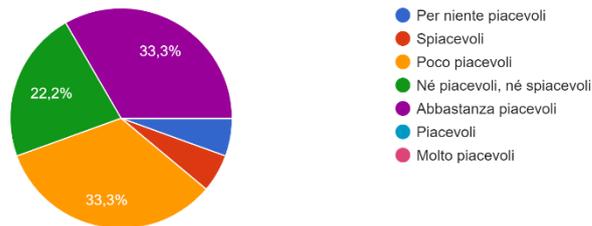
In riferimento alla domanda precedente, in che modo puoi controllarle?

18 risposte



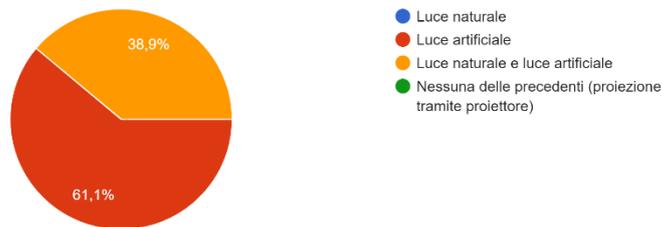
Come reputi le condizioni ambientali complessive di comfort termico, in questo istante?

18 risposte



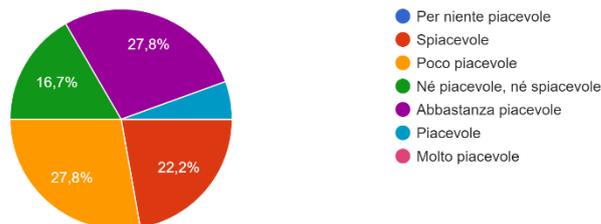
All'interno dell'aula quale fonte luminosa si percepisce?

18 risposte



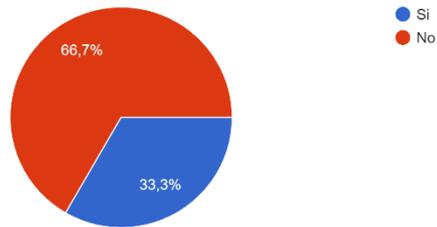
Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?

18 risposte



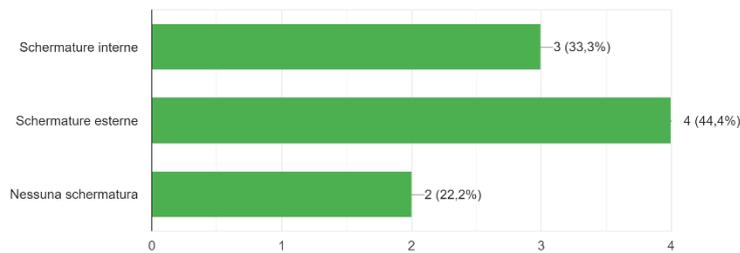
Puoi controllare l'abbagliamento da luce naturale all'interno dell'aula?

18 risposte



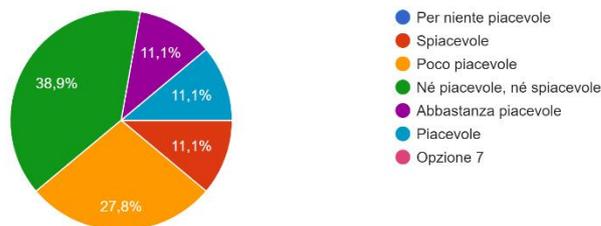
Se si, in che modo puoi controllare la variazione di illuminazione naturale interna all'aula?

9 risposte



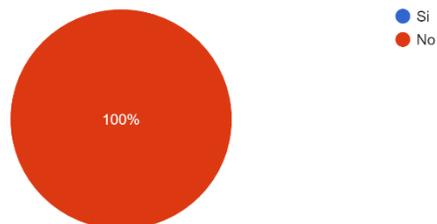
Come ritieni la qualità dell'illuminazione artificiale all'interno dell'aula?

18 risposte

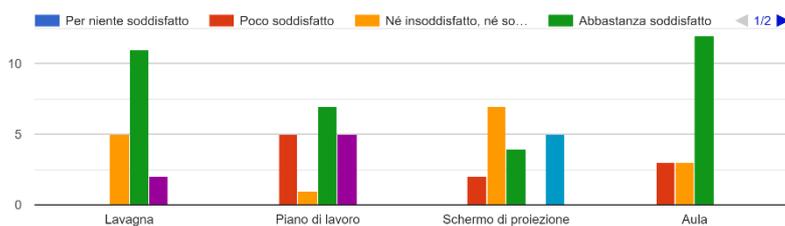


Percepisci elementi di abbagliamento nel tuo campo visivo?

18 risposte

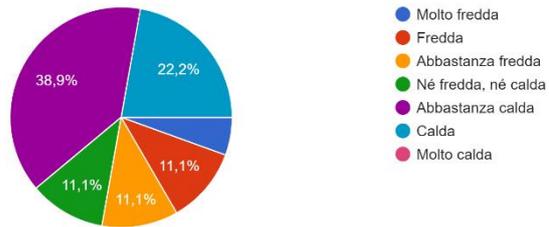


Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione dei seguenti elementi?



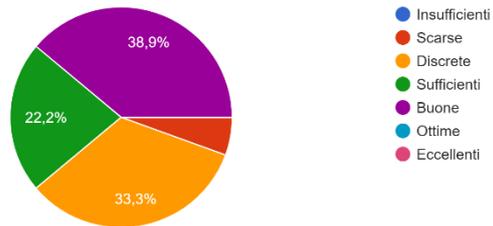
Come percepisci il colore della luce?

18 risposte



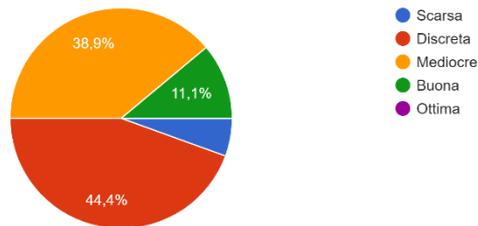
Come descrivi le condizioni ambientali complessive di illuminazione, in questo istante?

18 risposte



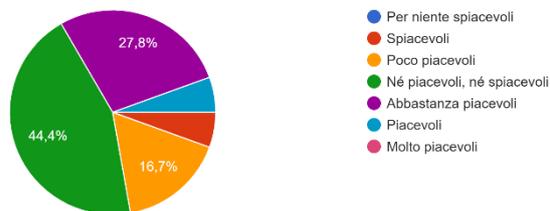
Come percepisci la qualità delle condizioni sonora?

18 risposte



Come reputi le condizioni ambientali complessive (Comfort termico, illuminazione e acustica), in questo istante?

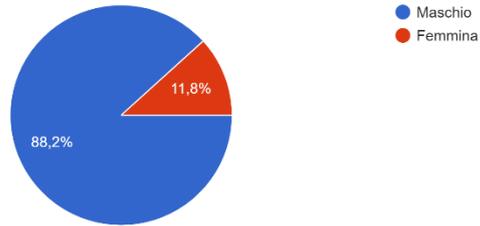
18 risposte



Aula 25 Stagione invernale

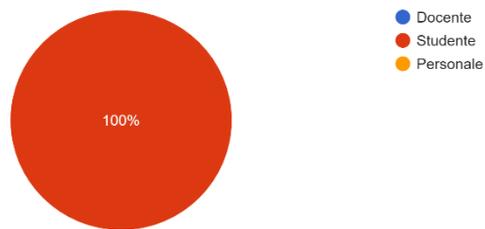
A quale sesso appartieni?

17 risposte



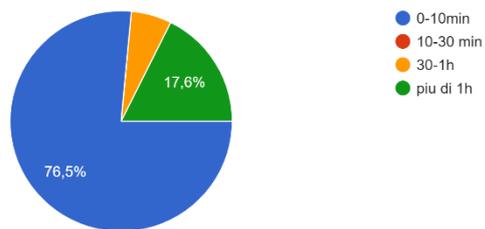
Che professione svolgi all'interno dell'Ateneo?

17 risposte



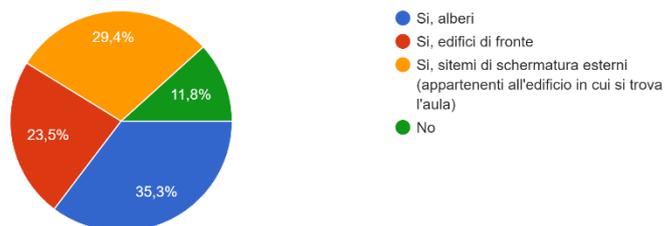
Da quanto tempo ti trovi in aula?

17 risposte



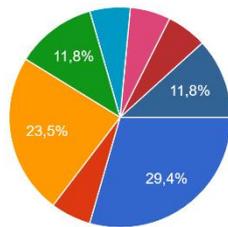
Sono presenti ostruzioni o oggetti esterni che limitano l'illuminazione naturale?

17 risposte



In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

17 risposte

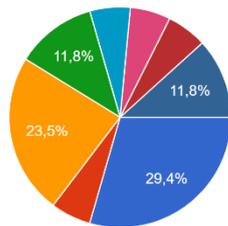


- Prima-terza fila lato destro
- Prima-terza fila centro
- Prima-terza fila lato sinistro
- Zona centrale lato destro
- Zona centrale centro
- Zona centrale lato sinistro
- Terzultima-ultima fila lato destro
- Terzultima-ultima fila centro

▲ 1/2 ▼

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

17 risposte

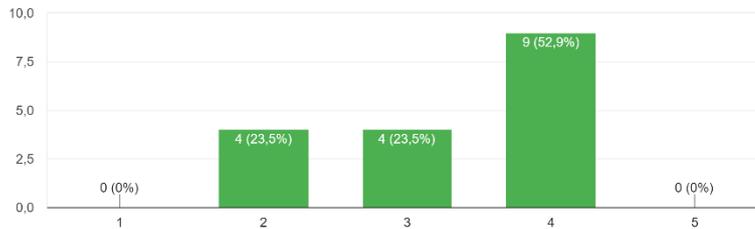


- Terzultima-ultima fila lato sinistro
- Cattedra

▲ 2/2 ▼

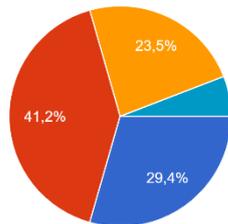
Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?

17 risposte



Quale attività stai svolgendo in questo momento?

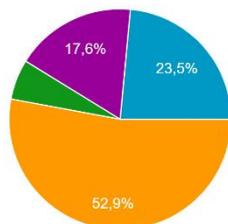
17 risposte



- Sto studiando
- Sono seduto, rilassato
- Sto svolgendo attività di ufficio, laboratorio, scuola
- Sto insegnando
- Sono in piedi rilassato
- Sto seguendo una lezione

Qual'è la sensazione termica all'interno dell'aula?

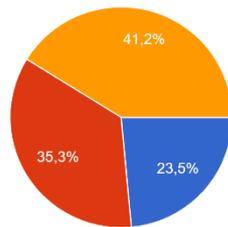
17 risposte



- Molto freddo
- Freddo
- Poco freddo
- Neutra
- Poco caldo
- Caldo
- Molto caldo

Come preferiresti la condizione termica dell'ambiente?

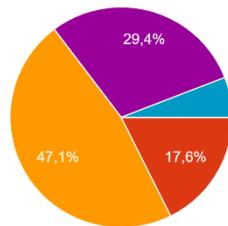
17 risposte



- Più fredda
- Nessun cambiamento
- Più calda

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

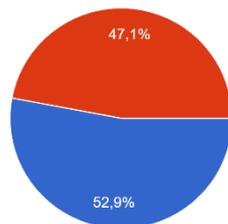
17 risposte



- 1 T-shirt - Pantalone / T-shirt - Gonna o Pantalone
- 2 T-shirt - Pantalone
- 3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito
- 4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglione - Pantalone
- 5 Maglione - Pantalone / Camicia-pantalone
- 6 Camicia - Giacca - Pantalone / T-shirt...
- 7 Camicia - Maglione - Pantalone

Trovi differenze termiche all'interno dell'aula?

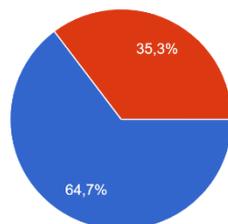
17 risposte



- Si
- No

Come percepisci i movimenti d'aria?

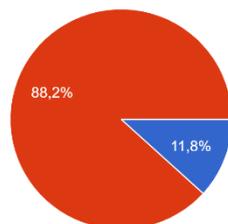
17 risposte



- Molto deboli
- Deboli
- Neutri
- Forti
- Molto forti

Percepisci una differenza di temperatura tra caviglie e testa?

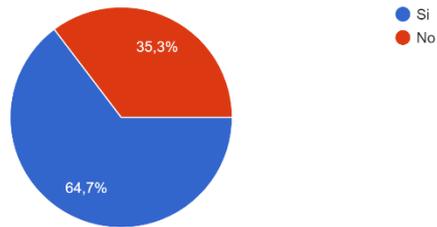
17 risposte



- Si
- No

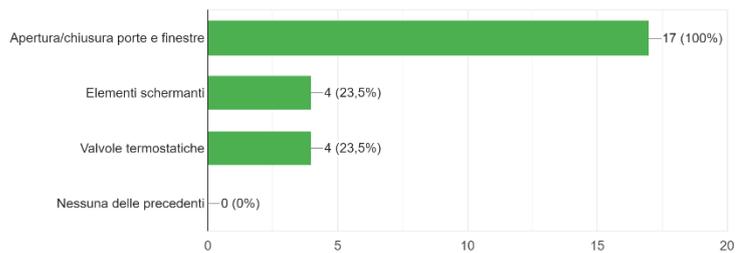
Nell'aula ti è possibile controllare le condizioni ambientali termiche?

17 risposte



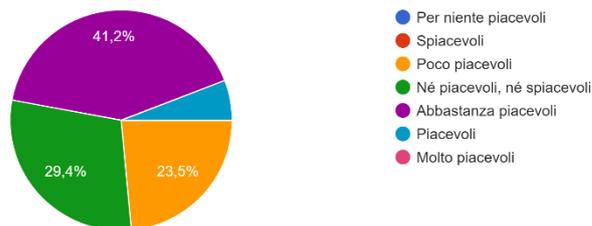
In riferimento alla domanda precedente, in che modo puoi controllarle?

17 risposte



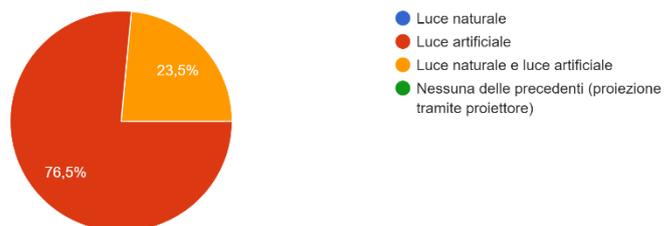
Come reputi le condizioni ambientali complessive di comfort termico, in questo istante?

17 risposte



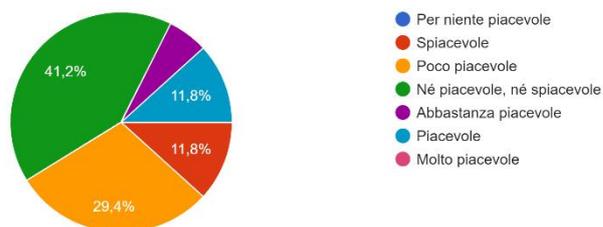
All'interno dell'aula quale fonte luminosa si percepisce?

17 risposte



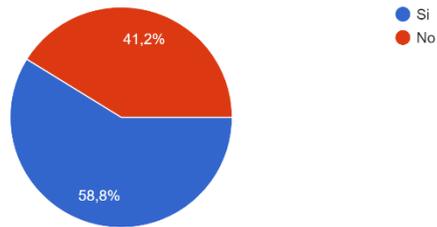
Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?

17 risposte



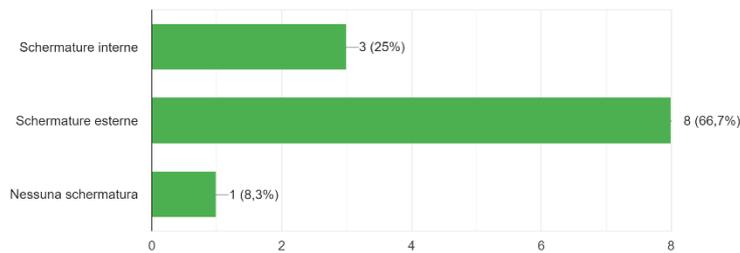
Puoi controllare l'abbagliamento da luce naturale all'interno dell'aula?

17 risposte



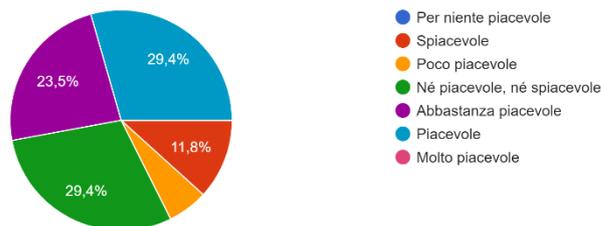
Se si, in che modo puoi controllare la variazione di illuminazione naturale interna all'aula?

12 risposte



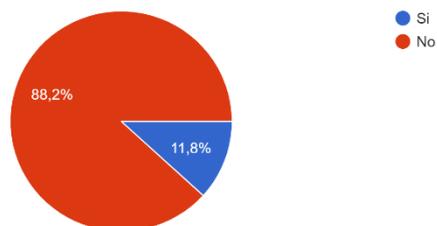
Come ritieni la qualità dell'illuminazione artificiale all'interno dell'aula?

17 risposte



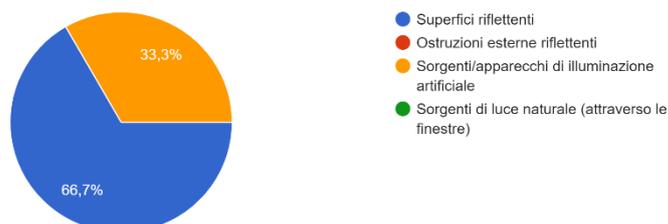
Percepisci elementi di abbagliamento nel tuo campo visivo?

17 risposte

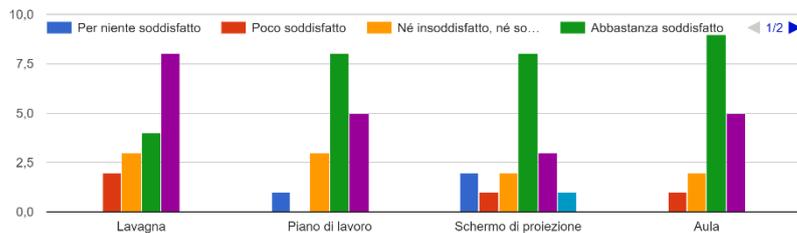


Se si, quali?

3 risposte

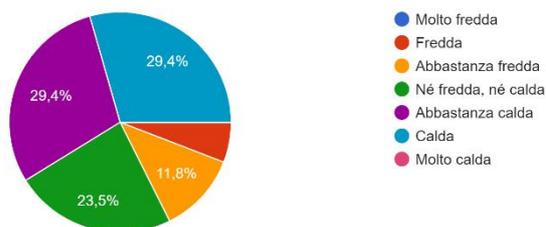


Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione dei seguenti elementi?



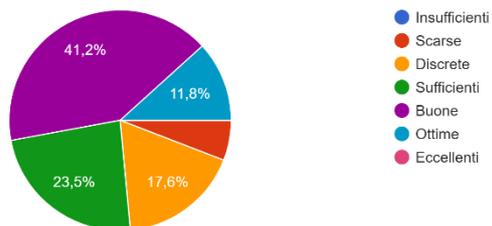
Come percepisci il colore della luce?

17 risposte



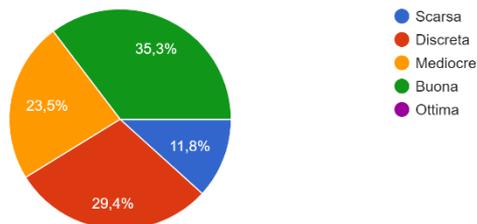
Come descrivi le condizioni ambientali complessive di illuminazione, in questo istante?

17 risposte



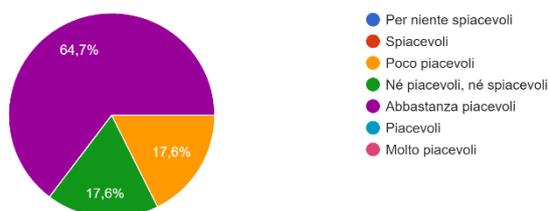
Come percepisci la qualità delle condizioni sonora?

17 risposte



Come reputi le condizioni ambientali complessive (Comfort termico, illuminazione e acustica), in questo istante?

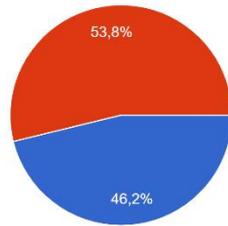
17 risposte



Aula 201 Stagione estiva

A quale sesso appartieni?

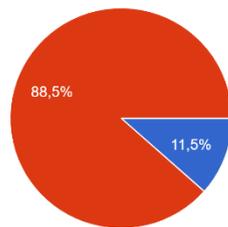
26 risposte



Maschio
Femmina

Che professione svolgi all'interno dell'Ateneo?

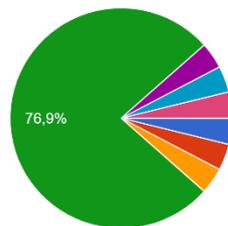
26 risposte



Docente
Studente
Personale

Da quanto tempo ti trovi in aula?

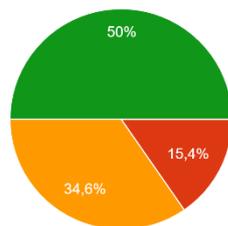
26 risposte



0-10min
10-30 min
30-1h
piu di 1h
Dalle 8:30
4 ore
4 h

Sono presenti ostruzioni o oggetti esterni che limitano l'illuminazione naturale?

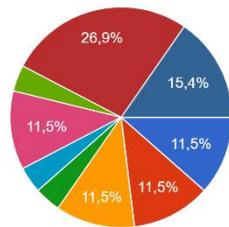
26 risposte



Si, alberi
Si, edifici di fronte
Si, sistemi di schermatura esterni (appartenenti all'edificio in cui si trova l'aula)
No

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

26 risposte

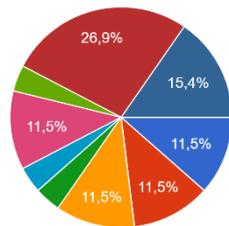


- Prima-terza fila lato destro
- Prima-terza fila centro
- Prima-terza fila lato sinistro
- Zona centrale lato destro
- Zona centrale centro
- Zona centrale lato sinistro
- Terzultima-ultima fila lato destro
- Terzultima-ultima fila centro

▲ 1/2 ▼

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

26 risposte

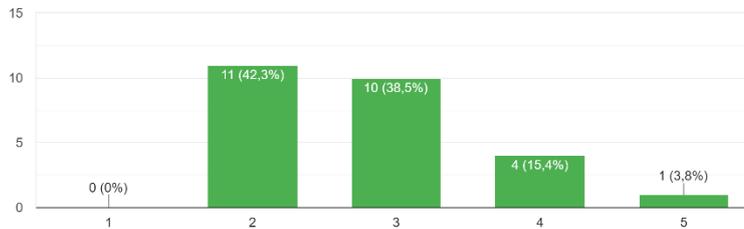


- Terzultima-ultima fila lato sinistro
- Cattedra

▲ 2/2 ▼

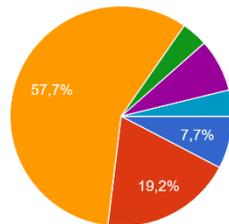
Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?

26 risposte



Quale attività stai svolgendo in questo momento?

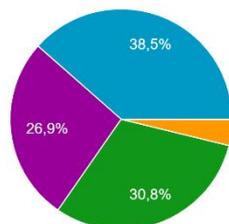
26 risposte



- Sto studiando
- Sono seduto, rilassato
- Sto svolgendo attività di ufficio, laboratorio, scuola
- Sto insegnando
- Sono in piedi rilassato
- cad

Qual' è la sensazione termica all'interno dell'aula?

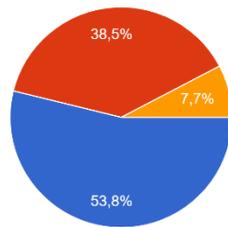
26 risposte



- Molto freddo
- Freddo
- Poco freddo
- Neutra
- Poco caldo
- Caldo
- Molto caldo

Come preferiresti la condizione termica dell'ambiente?

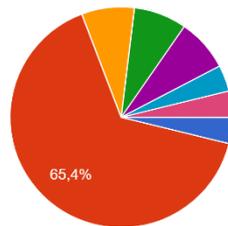
26 risposte



- Più fredda
- Nessun cambiamento
- Più calda

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

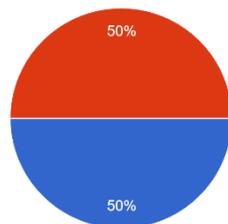
26 risposte



- 1 T-shirt - Pantaloncino / T-shirt - Gonna o Pantaloncino
- 2 T-shirt - Pantalone
- 3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito
- 4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglioncino - Pantalone
- 5 Maglioncino - Pantalone / Camicia-pantalone
- 6 Camicia - Giacca - Pantalone / T-shi...
- 7 Camicia - Maglioncino - Pantalone

Trovi differenze termiche all'interno dell'aula?

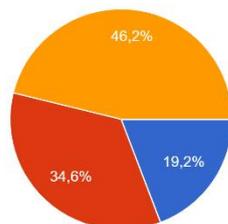
26 risposte



- Si
- No

Come percepisci i movimenti d'aria?

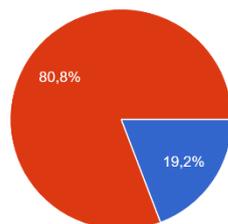
26 risposte



- Molto deboli
- Deboli
- Neutri
- Forti
- Molto forti

Percepisci una differenza di temperatura tra caviglie e testa?

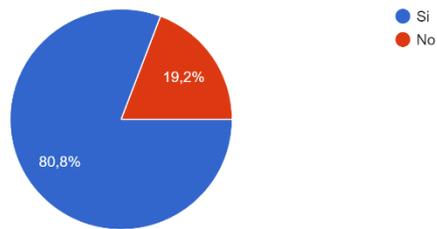
26 risposte



- Si
- No

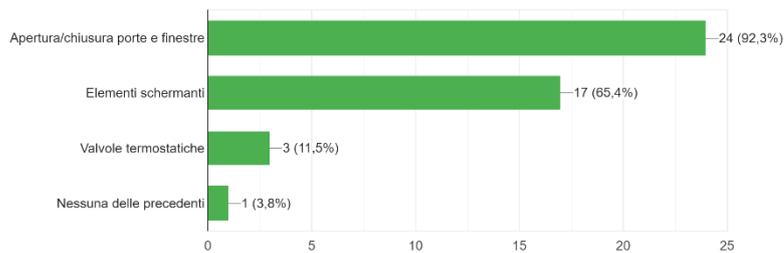
Nell'aula ti è possibile controllare le condizioni ambientali termiche?

26 risposte



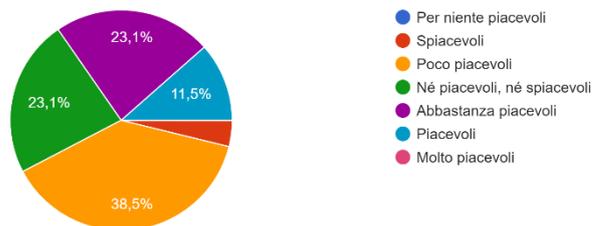
In riferimento alla domanda precedente, in che modo puoi controllarle?

26 risposte



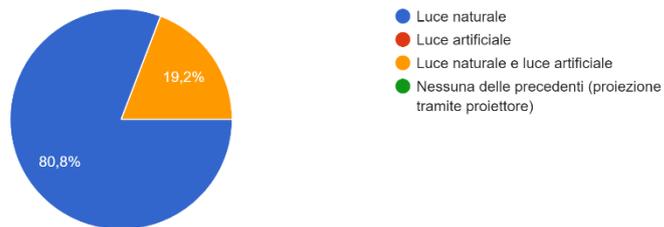
Come reputi le condizioni ambientali complessive di comfort termico, in questo istante?

26 risposte



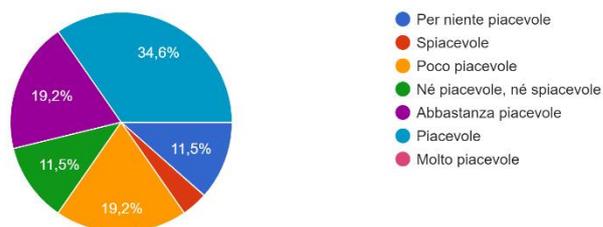
All'interno dell'aula quale fonte luminosa si percepisce?

26 risposte



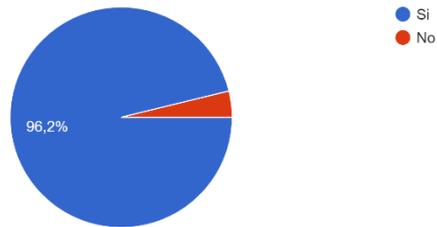
Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?

26 risposte



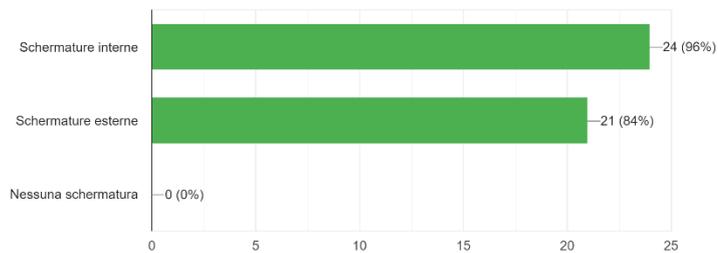
Puoi controllare l'abbagliamento da luce naturale all'interno dell'aula?

26 risposte



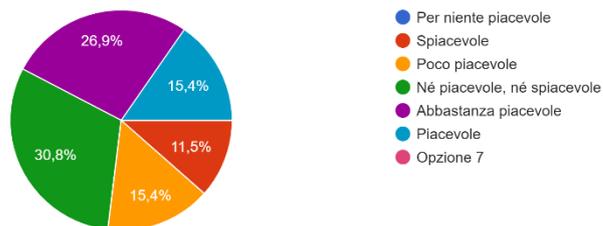
Se si, in che modo puoi controllare la variazione di illuminazione naturale interna all'aula?

25 risposte



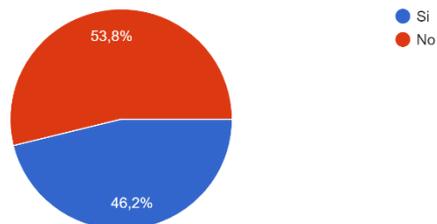
Come ritieni la qualità dell'illuminazione artificiale all'interno dell'aula?

26 risposte



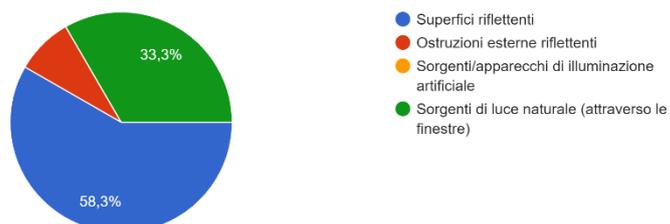
Percepisci elementi di abbagliamento nel tuo campo visivo?

26 risposte

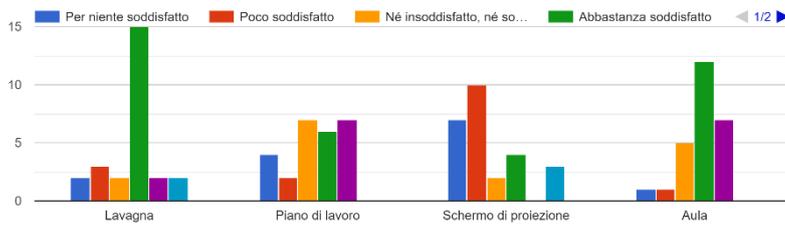


Se si, quali?

12 risposte

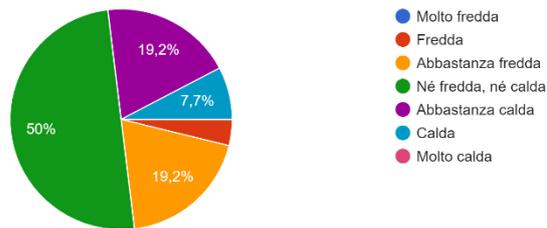


Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione dei seguenti elementi?



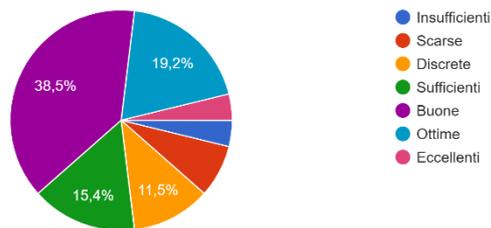
Come percepisci il colore della luce?

26 risposte



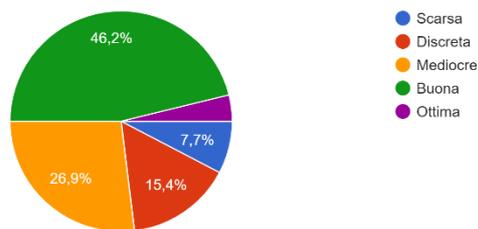
Come descrivi le condizioni ambientali complessive di illuminazione, in questo istante?

26 risposte



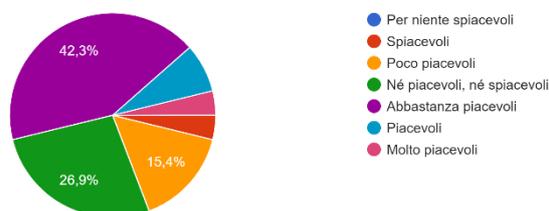
Come percepisci la qualità delle condizioni sonora?

26 risposte



Come reputi le condizioni ambientali complessive (Comfort termico, illuminazione e acustica), in questo istante?

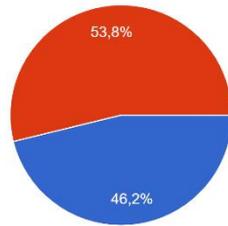
26 risposte



Aula 201 Stagione invernale

A quale sesso appartieni?

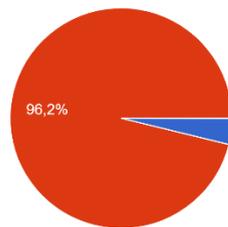
26 risposte



● Maschio
● Femmina

Che professione svolgi all'interno dell'Ateneo?

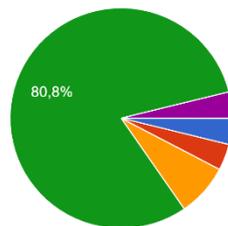
26 risposte



● Docente
● Studente
● Personale

Da quanto tempo ti trovi in aula?

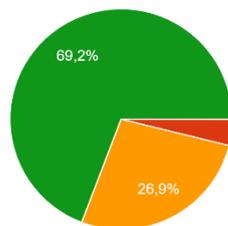
26 risposte



● 0-10min
● 10-30 min
● 30-1h
● piu di 1h
● 3h

Sono presenti ostruzioni o oggetti esterni che limitano l'illuminazione naturale?

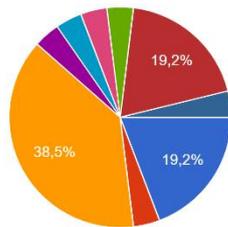
26 risposte



● Si, alberi
● Si, edifici di fronte
● Si, sistemi di schermatura esterni (appartenenti all'edificio in cui si trova l'aula)
● No

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

26 risposte

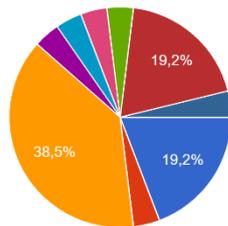


- Prima-terza fila lato destro
- Prima-terza fila centro
- Prima-terza fila lato sinistro
- Zona centrale lato destro
- Zona centrale centro
- Zona centrale lato sinistro
- Terzultima-ultima fila lato destro
- Terzultima-ultima fila centro

▲ 1/2 ▼

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

26 risposte

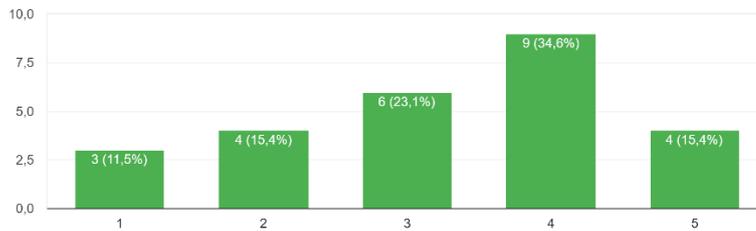


- Terzultima-ultima fila lato sinistro
- Cattedra

▲ 2/2 ▼

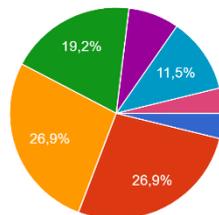
Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?

26 risposte



Qual' è la sensazione termica all'interno dell'aula?

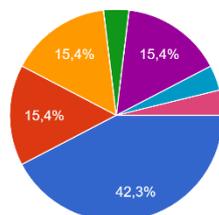
26 risposte



- Molto freddo
- Freddo
- Poco freddo
- Neutra
- Poco caldo
- Caldo
- Molto caldo

Quale attività stai svolgendo in questo momento?

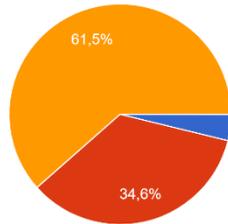
26 risposte



- Sto studiando
- Sono seduto, rilassato
- Sto svolgendo attività di ufficio, laboratorio, scuola
- Sto insegnando
- Sono in piedi rilassato
- Sono stressato
- Ansia

Come preferiresti la condizione termica dell'ambiente?

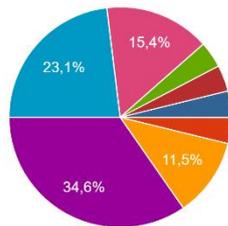
26 risposte



- Più fredda
- Nessun cambiamento
- Più calda

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

26 risposte

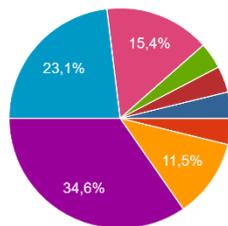


- 1 T-shirt - Pantaloncino / T-shirt - Gon...
- 2 T-shirt - Pantalone
- 3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito
- 4 Camicia - Pantalone / T-shirt - magli...
- 5 Maglionicino - Pantalone / Camicia-...
- 6 Camicia - Giacca - Pantalone / T-shi...
- 7 Camicia - Maglionicino - Pantalone
- Giacca, maglione, jeans

▲ 1/2 ▼

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

26 risposte

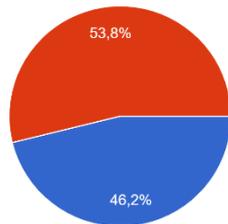


- Pantaloni maglia felpa giubbotto
- Jeans maglia felpa

▲ 2/2 ▼

Trovi differenze termiche all'interno dell'aula?

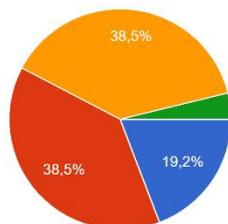
26 risposte



- Si
- No

Come percepisci i movimenti d'aria?

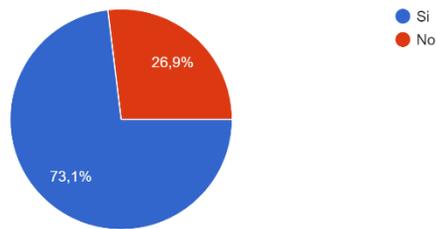
26 risposte



- Molto deboli
- Deboli
- Neutri
- Forti
- Molto forti

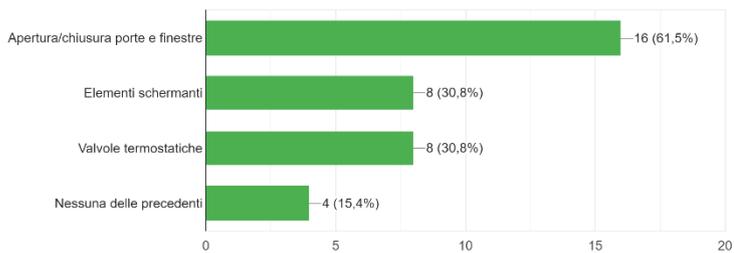
Nell'aula ti è possibile controllare le condizioni ambientali termiche?

26 risposte



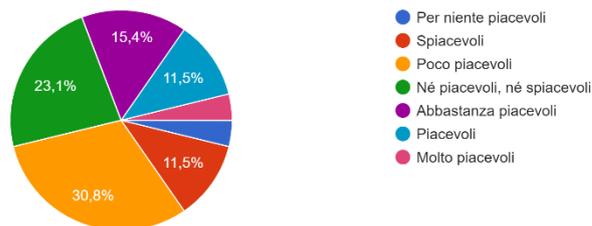
In riferimento alla domanda precedente, in che modo puoi controllarle?

26 risposte



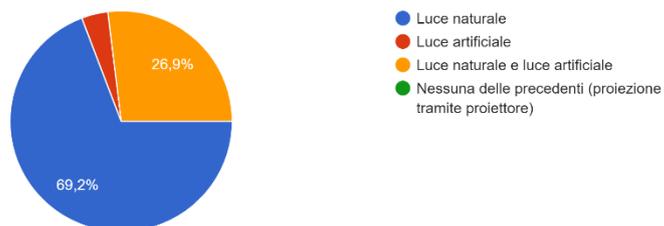
Come reputi le condizioni ambientali complessive di comfort termico, in questo istante?

26 risposte



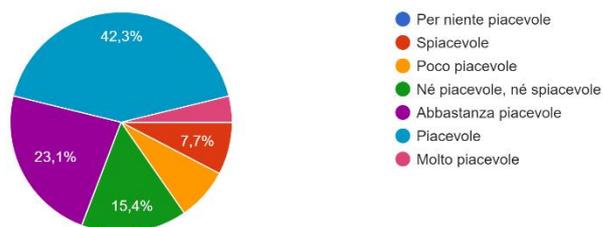
All'interno dell'aula quale fonte luminosa si percepisce?

26 risposte



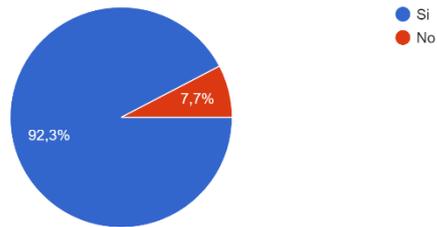
Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?

26 risposte



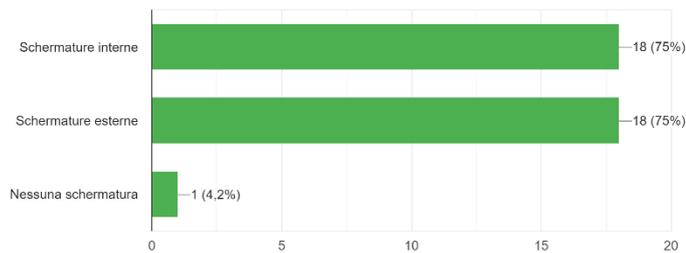
Puoi controllare l'abbagliamento da luce naturale all'interno dell'aula?

26 risposte



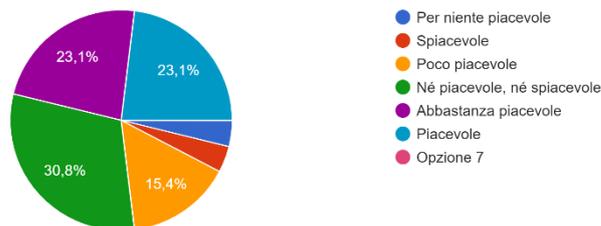
Se si, in che modo puoi controllare la variazione di illuminazione naturale interna all'aula?

24 risposte



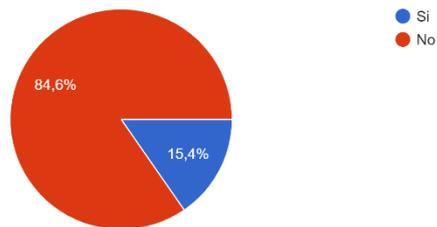
Come ritieni la qualità dell'illuminazione artificiale all'interno dell'aula?

26 risposte



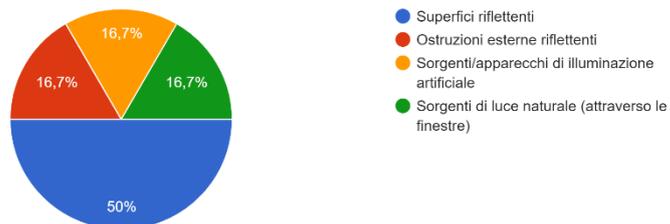
Percepisci elementi di abbagliamento nel tuo campo visivo?

26 risposte

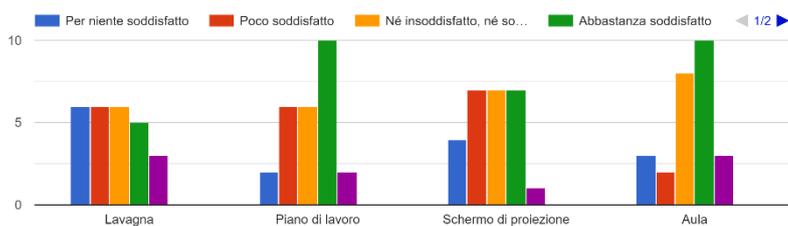


Se si, quali?

6 risposte

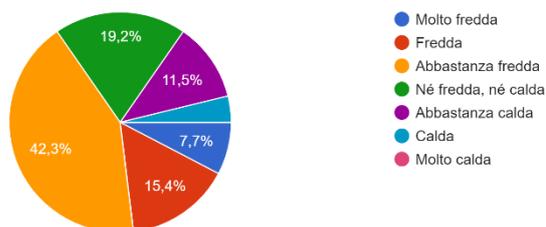


Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione dei seguenti elementi?



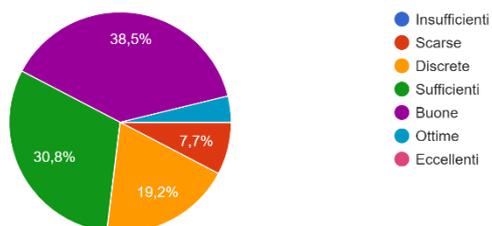
Come percepisci il colore della luce?

26 risposte



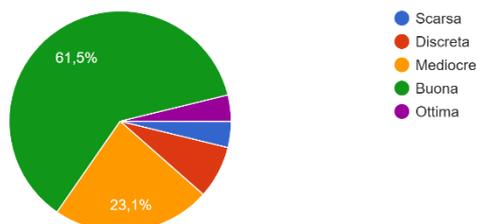
Come descrivi le condizioni ambientali complessive di illuminazione, in questo istante?

26 risposte



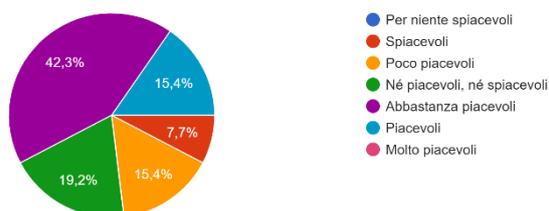
Come percepisci la qualità delle condizioni sonora?

26 risposte



Come reputi le condizioni ambientali complessive (Comfort termico, illuminazione e acustica), in questo istante?

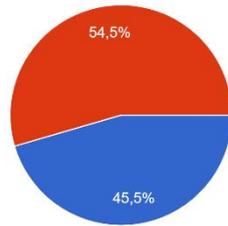
26 risposte



Aula 7I Stagione estiva

A quale sesso appartieni?

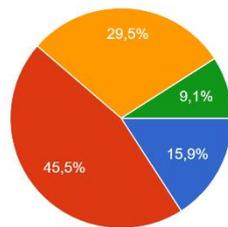
44 risposte



● Maschio
● Femmina

A quale fascia di età appartieni?

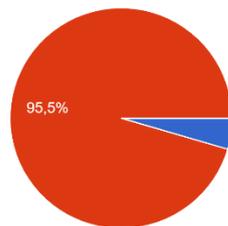
44 risposte



● 18-20
● 21-23
● 24-26
● 27-altro

Che professione svolgi all'interno dell'Ateneo?

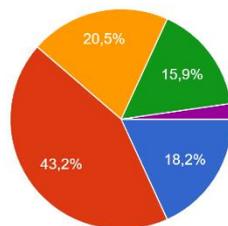
44 risposte



● Docente
● Studente
● Personale

Da quanto tempo ti trovi in aula?

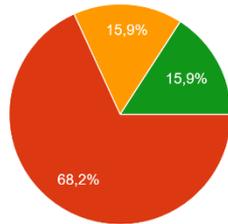
44 risposte



● 0-10min
● 10-30 min
● 30-1h
● piu di 1h
● 2h e 30 m

Sono presenti ostruzioni o oggetti esterni che limitano l'illuminazione naturale?

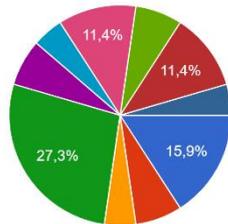
44 risposte



- Si, alberi
- Si, edifici di fronte
- Si, sistemi di schermatura esterni (appartenenti all'edificio in cui si trova l'aula)
- No

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

44 risposte

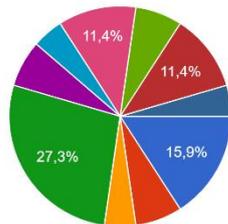


- Prima-terza fila lato destro
- Prima-terza fila centro
- Prima-terza fila lato sinistro
- Zona centrale lato destro
- Zona centrale centro
- Zona centrale lato sinistro
- Terzultima-ultima fila lato destro
- Terzultima-ultima fila centro

▲ 1/2 ▼

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

44 risposte

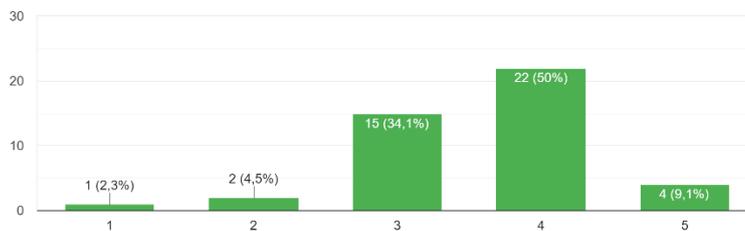


- Terzultima-ultima fila lato sinistro
- Cattedra

▲ 2/2 ▼

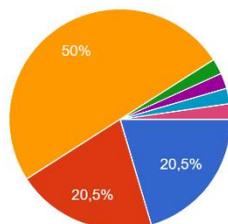
Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?

44 risposte



Quale attività stai svolgendo in questo momento?

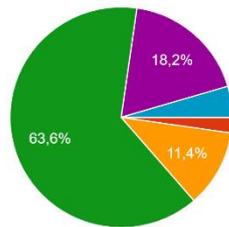
44 risposte



- Sto studiando
- Sono seduto, rilassato
- Sto svolgendo attività di ufficio, laboratorio, scuola
- Sto insegnando
- Sono in piedi rilassato
- Faccio il test
- Sto facendo un test di fisica

Qual' è la sensazione termica all'interno dell'aula?

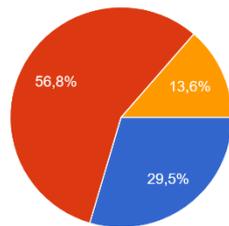
44 risposte



- Molto freddo
- Freddo
- Poco freddo
- Neutra
- Poco caldo
- Caldo
- Molto caldo

Come preferiresti la condizione termica dell'ambiente?

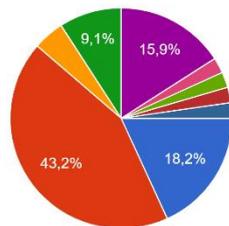
44 risposte



- Più fredda
- Nessun cambiamento
- Più calda

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

44 risposte

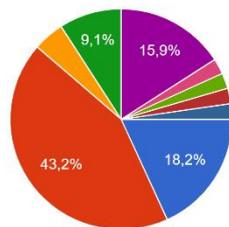


- 1 T-shirt - Pantaloncino / T-shirt - Gon...
- 2 T-shirt - Pantalone
- 3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito
- 4 Camicia - Pantalone / T-shirt - magli...
- 5 Maglione - Pantalone / Camicia...
- 6 Camicia - Giacca - Pantalone / T-shi...
- 7 Camicia - Maglione - Pantalone
- Felpe e pantaloncino

▲ 1/2 ▼

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

44 risposte

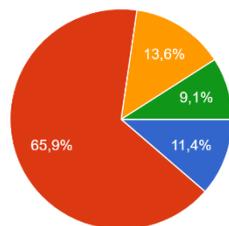


- Pantaloni - maglietta - giacca
- Camicia pantalone

▲ 2/2 ▼

Come percepisci i movimenti d'aria?

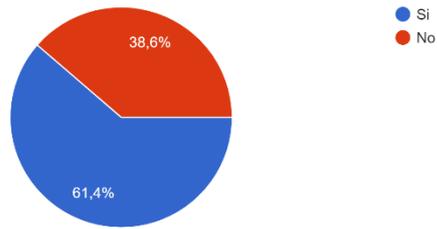
44 risposte



- Molto deboli
- Deboli
- Neutri
- Forti
- Molto forti

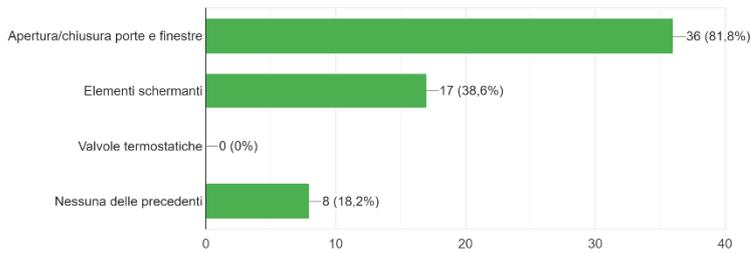
Nell'aula ti è possibile controllare le condizioni ambientali termiche?

44 risposte



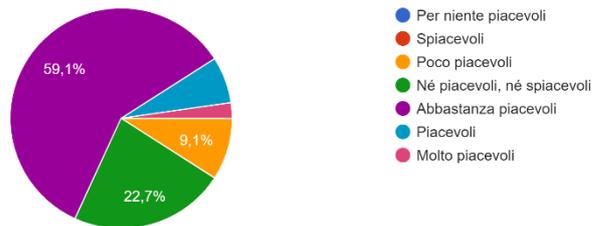
In riferimento alla domanda precedente, in che modo puoi controllarle?

44 risposte



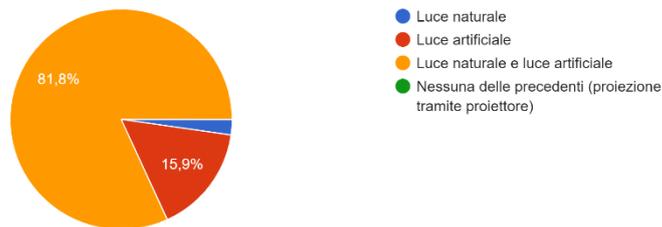
Come reputi le condizioni ambientali complessive di comfort termico, in questo istante?

44 risposte



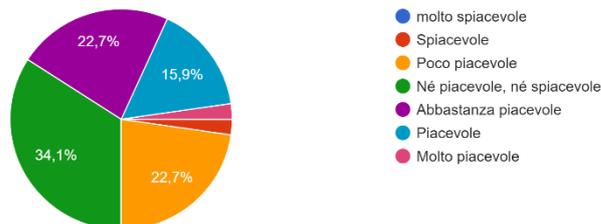
All'interno dell'aula quale fonte luminosa si percepisce?

44 risposte



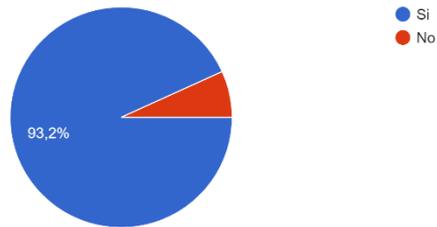
Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?

44 risposte



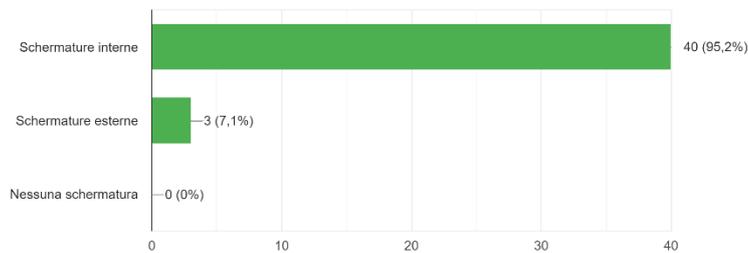
Puoi controllare l'abbagliamento da luce naturale all'interno dell'aula?

44 risposte



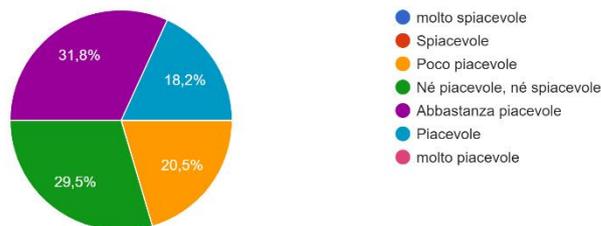
Se si, in che modo puoi controllare la variazione di illuminazione naturale interna all'aula?

42 risposte



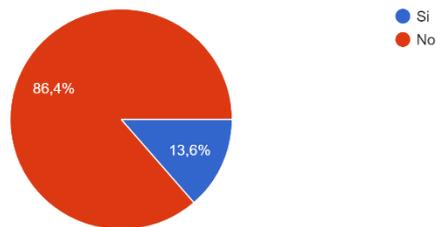
Come ritieni la qualità dell'illuminazione artificiale all'interno dell'aula?

44 risposte



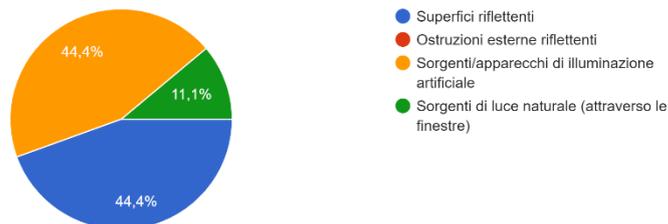
Percepisci elementi di abbagliamento nel tuo campo visivo?

44 risposte

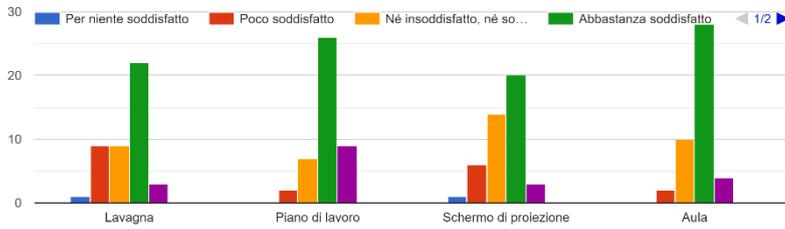


Se si, quali?

9 risposte

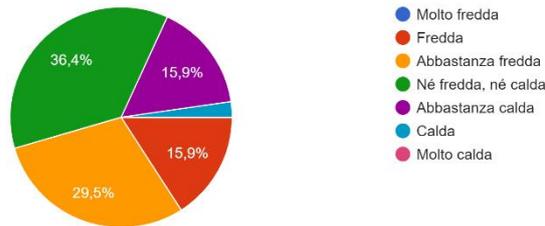


Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione dei seguenti elementi?



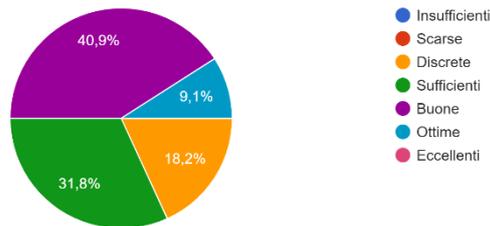
Come percepisci il colore della luce?

44 risposte



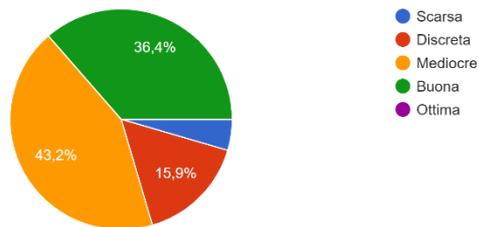
Come descrivi le condizioni ambientali complessive di illuminazione, in questo istante?

44 risposte



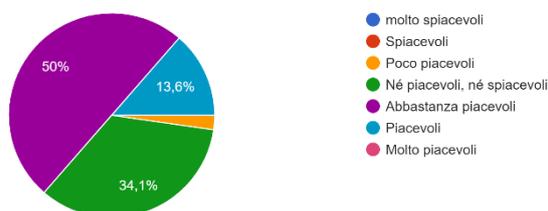
Come percepisci la qualità delle condizioni sonora?

44 risposte



Come reputi le condizioni ambientali complessive (Comfort termico, illuminazione e acustica), in questo istante?

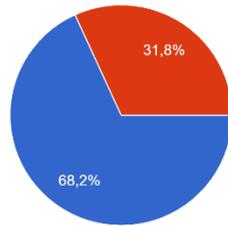
44 risposte



Aula 7I Stagione invernale

A quale sesso appartieni?

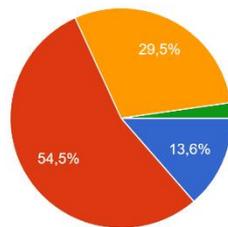
44 risposte



● Maschio
● Femmina

A quale fascia di età appartieni?

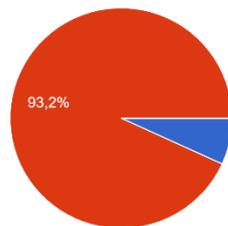
44 risposte



● 18-20
● 21-23
● 24-26
● 27-altro

Che professione svolgi all'interno dell'Ateneo?

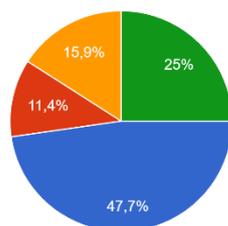
44 risposte



● Docente
● Studente
● Personale

Da quanto tempo ti trovi in aula?

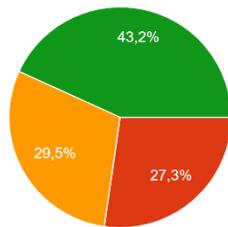
44 risposte



● 0-10min
● 10-30 min
● 30-1h
● piu di 1h

Sono presenti ostruzioni o aggetti esterni che limitano l'illuminazione naturale?

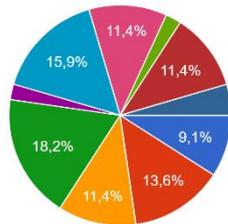
44 risposte



- Si, alberi
- Si, edifici di fronte
- Si, sistemi di schermatura esterni (appartenenti all'edificio in cui si trova l'aula)
- No

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

44 risposte

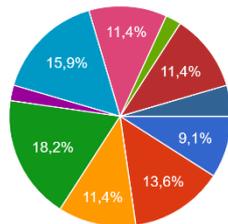


- Prima-terza fila lato destro
- Prima-terza fila centro
- Prima-terza fila lato sinistro
- Zona centrale lato destro
- Zona centrale centro
- Zona centrale lato sinistro
- Terzultima-ultima fila lato destro
- Terzultima-ultima fila centro

▲ 1/2 ▼

In che zona dell'aula ti trovi in questo momento?

44 risposte

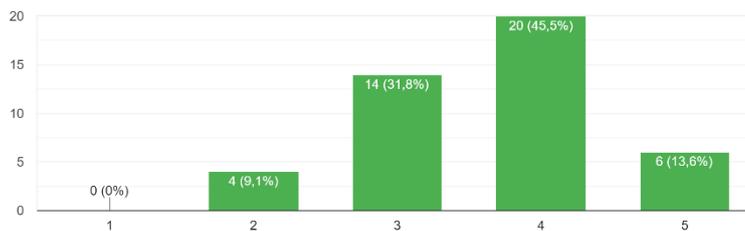


- Terzultima-ultima fila lato sinistro
- Cattedra

▲ 2/2 ▼

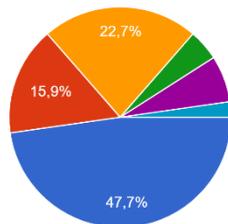
Quanto sei soddisfatto delle condizioni di comfort termico?

44 risposte



Quale attività stai svolgendo in questo momento?

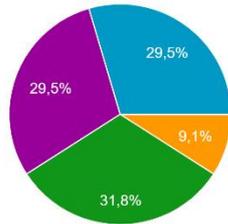
44 risposte



- Sto studiando
- Sono seduto, rilassato
- Sto svolgendo attività di ufficio, laboratorio, scuola
- Sto insegnando
- Sono in piedi rilassato
- Sto Mangiando

Qual' è la sensazione termica all'interno dell'aula?

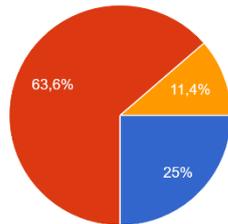
44 risposte



- Molto freddo
- Freddo
- Poco freddo
- Neutra
- Poco caldo
- Caldo
- Molto caldo

Come preferiresti la condizione termica dell'ambiente?

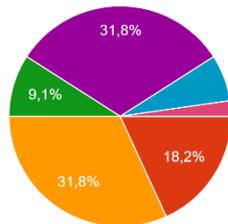
44 risposte



- Più fredda
- Nessun cambiamento
- Più calda

In quale abbigliamento sotto indicato ti rappresenti?

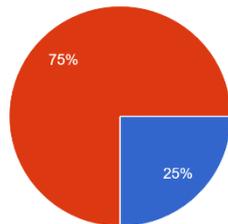
44 risposte



- 1 T-shirt - Pantaloncino / T-shirt - Gonna o Pantaloncino
- 2 T-shirt - Pantalone
- 3 T-shirt - Felpa - Pantalone / Vestito
- 4 Camicia - Pantalone / T-shirt - maglionicino - Pantalone
- 5 Maglionicino - Pantalone / Camicia-pantalone
- 6 Camicia - Giacca - Pantalone / T-shi...
- 7 Camicia - Maglionicino - Pantalone

Trovi differenze termiche all'interno dell'aula?

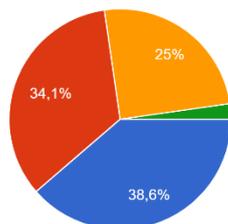
44 risposte



- Si
- No

Come percepisci i movimenti d'aria?

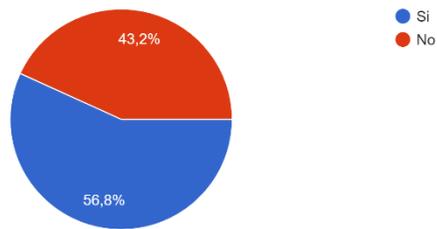
44 risposte



- Molto deboli
- Deboli
- Neutri
- Forti
- Molto forti

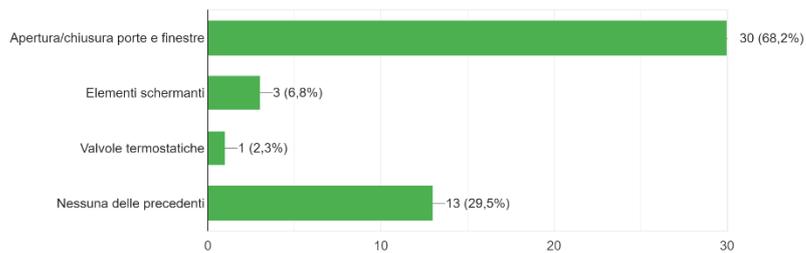
Nell'aula ti è possibile controllare le condizioni ambientali termiche?

44 risposte



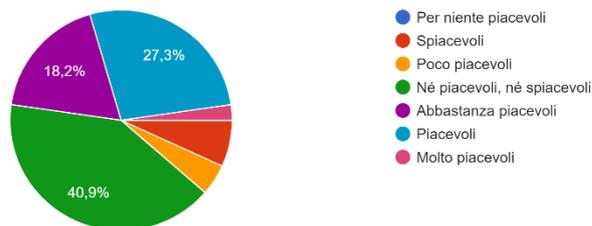
In riferimento alla domanda precedente, in che modo puoi controllarle?

44 risposte



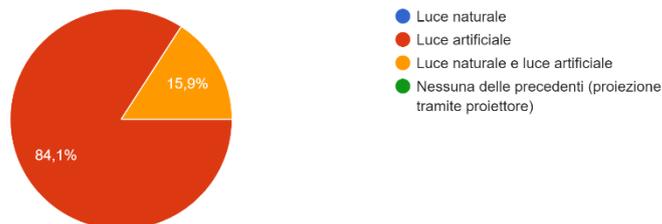
Come reputi le condizioni ambientali complessive di comfort termico, in questo istante?

44 risposte



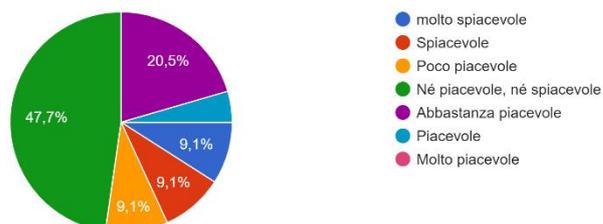
All'interno dell'aula quale fonte luminosa si percepisce?

44 risposte



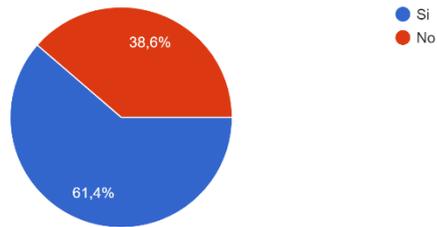
Come ritieni la qualità dell'illuminazione naturale all'interno dell'aula?

44 risposte



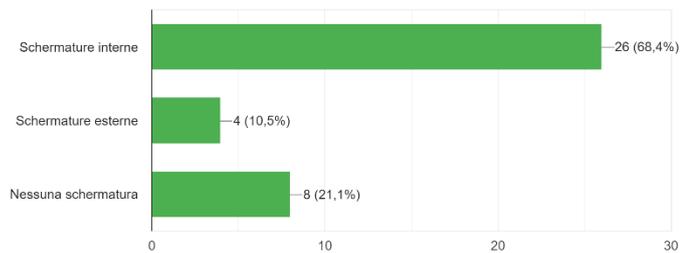
Puoi controllare l'abbagliamento da luce naturale all'interno dell'aula?

44 risposte



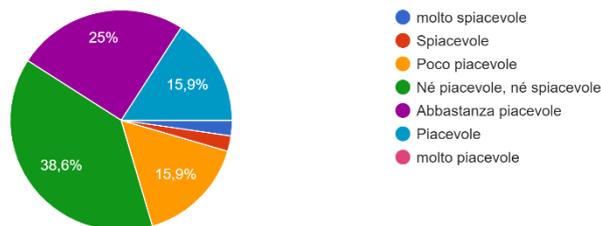
Se si, in che modo puoi controllare la variazione di illuminazione naturale interna all'aula?

38 risposte



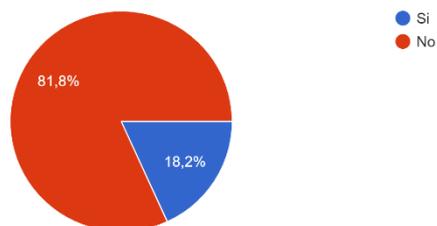
Come ritieni la qualità dell'illuminazione artificiale all'interno dell'aula?

44 risposte



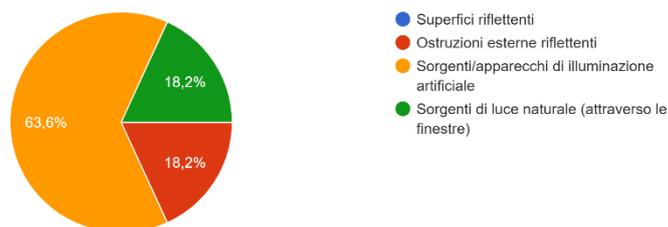
Percepisci elementi di abbagliamento nel tuo campo visivo?

44 risposte

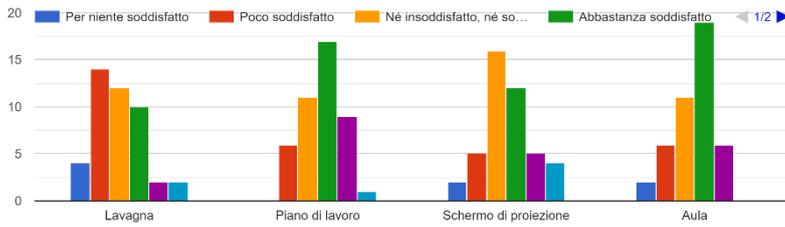


Se si, quali?

11 risposte

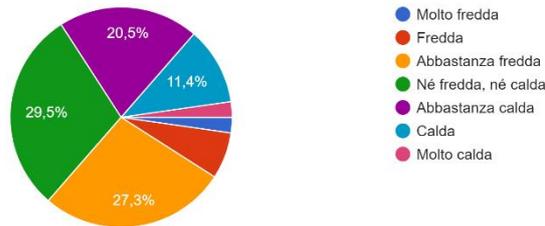


Quanto sei soddisfatto della quantità di illuminazione dei seguenti elementi?



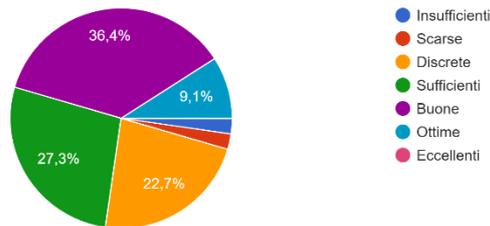
Come percepisci il colore della luce?

44 risposte



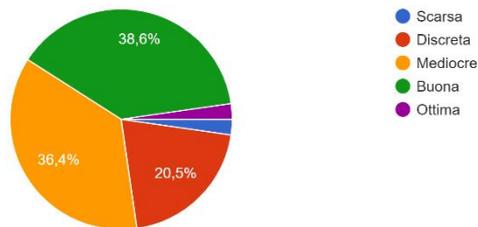
Come descrivi le condizioni ambientali complessive di illuminazione, in questo istante?

44 risposte



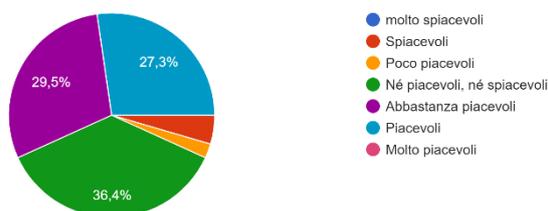
Come percepisci la qualità delle condizioni sonora?

44 risposte



Come reputi le condizioni ambientali complessive (Comfort termico, illuminazione e acustica), in questo istante?

44 risposte



Indice delle figure

Fig. 1 Foto interno aula 4V, vista verso Sud.	19
Fig. 2 Foto interno aula 4V, vista verso Sud-Est.	19
Fig. 3 Foto interno aula 4V, vista verso Est.	20
Fig. 4 Foto interno aula 4V, vista verso Nord.	20
Fig. 5 Foto interno aula 4V, vista verso Nord-Est.	21
Fig. 6 Foto interno aula 4V, vista verso Sud-Ovest.	21
Fig. 7 Foto interno aula 4V, vista verso Ovest.	22
Fig. 8 Foto interno aula 4V, dettaglio corpi illuminanti.	22
Fig. 9 Foto interno aula 4V, dettaglio terminale di emissione: radiatore in ghisa.	23
Fig. 10 Foto interno aula 4V, dettaglio 1: finestra verso Nord.	25
Fig. 11 Foto interno aula 4V, dettaglio 1: finestra verso Nord.	25
Fig. 12 Foto interna aula 4V, dettaglio 2: finestra verso Sud.	27
Fig. 13 Foto interno aula 4V, dettaglio 3: porta verso Ovest.	28
Fig. 14 Foto interno aula 4V, dettaglio 4: porta verso Est.	28
Fig. 15 Foto interno aula 25, vista verso Sud.	32
Fig. 16 Foto interno aula 25, vista verso Est.	32
Fig. 17 Foto interno aula 25, vista verso Nord.	33
Fig. 18 Foto interno aula 25, vista verso Ovest.	33
Fig. 19 Foto interno aula 25, dettaglio corpi illuminanti.	34
Fig. 20 Foto interno aula 25, dettaglio terminale di emissione: radiatore in ghisa.	34
Fig. 21 Foto interno aula 25, dettaglio 1: porta su corridoio.	36
Fig. 22 Foto interno aula 25, dettaglio 2: finestra.	37
Fig. 23 Foto interno aula 201, vista verso Sud.	39
Fig. 24 Foto interno aula 201, vista verso Est.	39
Fig. 25 Foto interno aula 201, vista verso Nord.	40
Fig. 26 Foto interno aula 201, vista verso Ovest.	40
Fig. 27 Foto interno aula 201, dettaglio corpo illuminante.	41
Fig. 28 Foto interno aula 201, dettaglio terminale di emissione: radiatore in alluminio.	41
Fig. 29 Foto interno aula 7I, vista verso Sud.	45
Fig. 30 Foto interno aula 7I, vista verso Nord.	46
Fig. 31 Foto interno aula 7I, vista verso Ovest.	46
Fig. 32 Foto interno aula 7I, vista verso Sud-Ovest.	46
Fig. 33 Foto interno aula 7I, dettaglio corpo illuminante e griglia in alluminio per ventilazione meccanica.	47
Fig. 34 Foto esterno aula 7I, dettaglio 1: porta su corridoio verso Nord.	49
Fig. 35 Foto esterno aula 7I, dettaglio 2: porta su cortile verso Sud.	49
Fig. 36 Microprocessore analizzatore climatico.	53
Fig. 37 Retro microprocessore analizzatore climatico.	53
Fig. 38 Anemometro digitale portatile.	55
Fig. 39 Luxmetro HD2302.0, da Manuale Luxmetro Delta Ohm HD2302.0 Geass.	57

Fig. 40 Luxmetro HD2302.0, vista frontale, da Manuale Luxmetro Delta Ohm HD2302.0 Geass.	58
Fig. 41 Sonda di misura dell'illuminamento LP 471 PHOT, da Manuale Luxmetro Delta Ohm HD2302.0 Geass.	59
Fig. 42 Caratteristiche tecniche della sonda LP 471 PHOT, da Manuale Luxmetro Delta Ohm HD2302.0 Geass.	60
Fig. 43 Passaggio del display da autotest a misurazione istantanea appena dopo l'accensione.	61
Fig. 44 Foto dello spettrofotometro acceso.	64
Fig. 45 Componenti dello spettrofotometro utilizzato GL OPTIS 1.0 touch FL...64	64
Fig. 46 Componenti del sensore di immagine con tecnologia CMOS.....	65
Fig. 47 Dettaglio della sorgente sonora del fonometro.....	68
Fig. 48 Dettaglio della centralina del fonometro.	68
Fig. 49 Esempio di grafico "Globali" da OpeNoise.	70
Fig. 50 Esempio di grafico "1/3 Ottava" da OpeNoise.....	70
Fig. 51 Esempio di grafico "Sonogramma" da OpeNoise.	71
Fig. 52 Esempio di grafico "FFT" da OpeNoise.	71
Fig. 53 Scambio di calore tra corpo e ambiente.	84
Fig. 54 Diagramma psicrometrico, utilizzato per descrivere le proprietà dell'aria umida.	91
Fig. 55 Relazione attività svolta - MET.....	96
Fig. 56 Diagramma esplicativo del PPD.....	102
Fig. 57 Grafico scannerizzato da "Benessere termico e qualità dell'aria interna".	104
Fig. 58 Grafico scannerizzato da "Benessere termico e qualità dell'aria interna".	105
Fig. 59 Grafico scannerizzato da "Benessere termico e qualità dell'aria interna".	107
Fig. 60 Grafico scannerizzato da "Benessere termico e qualità dell'aria interna".	108
Fig. 61 Rappresentazione dello spettro visibile.	109
Fig. 62 Rappresentazione dello spettro elettromagnetico.	110
Fig. 63 Rappresentazione dell'organo sensoriale umano.	111
Fig. 64 Rappresentazione del sistema di messa a fuoco dell'occhio umano.	112
Fig. 65 "Coni" e "Bastoncelli".	113
Fig. 66 Rappresentazione in sezione orizzontale del campo visivo dell'occhio umano.....	113
Fig. 67 Rappresentazione in sezione verticale del campo visivo dell'occhio umano.	114
Fig. 68 Schema della sensibilità spettrale dell'occhio umano.	114
Fig. 69 Angolo solido.	116
Fig. 70 Indicatrice di emissione.	117
Fig. 71 Rappresentazione grafica del concetto di luminanza.	119
Fig. 72 Radianza spettrale del corpo nero a diverse temperature.	119
Fig. 73 Interazione luce su una superficie.	120
Fig. 74 Rappresentazione di un ambiente confinato con un singolo infisso, dove vengono illustrate le posizioni di calcolo degli illuminamenti E_e , h , E_e , f , rispetto ad un flusso luminoso entrante Φ_{en}	125

Fig. 75 Rappresentazione di un ambiente confinato con un singolo infisso: concetto di illuminamento medio $E_{i, med}$	125
Fig. 76 Grafico per il calcolo del fattore finestra ϵ	127
Fig. 77 Grafico per il calcolo del fattore di riduzione del fattore finestra Ψ	128
Fig. 78 Abbagliamento diretto.....	133
Fig. 79 Abbagliamento riflesso.....	133
Fig. 80 Curva di Kruithof.	135
Fig. 81 Variazione della TCC durante l'arco della giornata.....	136
Fig. 82 Pianta aula 4V con in rosso i punti di rilievo termico.	143
Fig. 83 Comfort adattativo: correlazione tra la temperatura operativa e l'orario di rilievo.....	152
Fig. 84 Grafico istogramma: condizioni complessive della qualità del comfort termico.	153
Fig. 85 Qualità del comfort termico: terzultima-ultima fila lato destro.....	153
Fig. 86 Grafico istogramma: condizioni complessive della sensazione termica percepita.....	154
Fig. 87 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.	155
Fig. 88 Terzultima-ultima fila lato destro: correnti d'aria percepite.	155
Fig. 89 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.	156
Fig. 90 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.....	157
Fig. 91 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.	166
Fig. 92 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.	167
Fig. 93 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.	168
Fig. 94 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata.	169
Fig. 95 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.....	170
Fig. 96 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.....	171
Fig. 97 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.	171
Fig. 98 Pianta aula 25 con in rosso i punti del rilievo termico.	173
Fig. 99 Comfort adattativo: correlazione tra la temperatura operativa e l'orario di rilievo.....	182
Fig. 100 Grafico istogramma: condizioni complessive della qualità del comfort termico.	183
Fig. 101 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.....	183
Fig. 102 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.....	184
Fig. 103 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata. ..	186
Fig. 104 Correlazione tra le correnti d'aria percepite e il draft risk calcolato.....	187
Fig. 105 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.	196
Fig. 106 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.	197

Fig. 107 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.	198
Fig. 108 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata. ..	199
Fig. 109 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.....	200
Fig. 110 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.....	201
Fig. 111 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.....	202
Fig. 112 Pianta aula 201 con in rosso i punti del rilievo termico.	204
Fig. 113 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.	213
Fig. 114 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.	214
Fig. 115 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.	215
Fig. 116 Grafico istogramma: qualità del comfort termico terzultima-ultima fila lato sinistro.....	216
Fig. 117 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata. ..	217
Fig. 118 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.....	218
Fig. 119 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.....	219
Fig. 120 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.....	219
Fig. 121 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.	227
Fig. 122 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.	228
Fig. 123 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.	229
Fig. 124 Grafico istogramma: qualità del comfort termico prima-terza fila lato sinistro.....	230
Fig. 125 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata. ..	231
Fig. 126 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.....	232
Fig. 127 Grafico istogramma, condizioni complessive della qualità del comfort termico percepita.....	233
Fig. 128 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.....	233
Fig. 129 Grafico istogramma: sensazione termica percepita terzultima-ultima fila lato sinistro.....	234
Fig. 130 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.....	235
Fig. 131 Pianta aula 7I con in rosso i punti del rilievo termico.	237
Fig. 132 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.	246
Fig. 133 Prima-terza fila lato destro: sensazione termica percepita.	247
Fig. 134 Zona centrale lato destro: sensazione termica percepita.	247
Fig. 135 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.	248

Fig. 136 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.	249
Fig. 137 Grafico istogramma: qualità del comfort termico zona centrale lato destro.	250
Fig. 138 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata. ..	251
Fig. 139 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.....	251
Fig. 140 Grafico istogramma, condizioni complessive della qualità del comfort termico.	252
Fig. 141 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.....	253
Fig. 142 Grafico istogramma, condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.....	253
Fig. 143 Correlazione tra l'indice PMV calcolato e la sensazione termica percepita.	262
Fig. 144 Correlazione tra la sensazione termica media percepita e l'indice PMV medio calcolato.	263
Fig. 145 Correlazione tra la qualità del comfort termico percepita e l'indice PPD.	264
Fig. 146 Grafico istogramma: qualità del comfort termico fila centrale lato destro.	265
Fig. 147 Correlazione tra correnti d'aria percepite e velocità dell'aria rilevata. ..	266
Fig. 148 Correlazione tra correnti d'aria percepite e draft risk calcolato.....	267
Fig. 149 Grafico istogramma, condizioni complessive della qualità del comfort termico percepita.....	268
Fig. 150 Grafico istogramma, condizioni complessive della sensazione termica percepita.....	268
Fig. 151 Grafico istogramma: condizioni complessive delle correnti d'aria percepite.....	269
Fig. 152 Pianta aula 4V con punti di rilievo illuminotecnico.	271
Fig. 153 Pianta aula 4V con punti di rilievo acustico.....	272
Fig. 154 Temperatura di colore correlata percepita.	276
Fig. 155 Qualità illuminazione naturale rilevata.	278
Fig. 156 Qualità illuminazione naturale percepita aula 4V, prima - terza fila lato destro.....	279
Fig. 157 Qualità illuminazione naturale percepita, prima - terza fila lato sinistro.	280
Fig. 158 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.....	280
Fig. 159 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.	281
Fig. 160 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.	282
Fig. 161 Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna, terzultima - ultima fila lato destro.	283
Fig. 162 Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna, zona centrale lato destro.....	283
Fig. 163 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce sulla lavagna e la distanza di ogni individuo dalla lavagna stessa.	284

Fig. 164 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.	285
Fig. 165 Temperatura di colore correlata percepita.	289
Fig. 166 Qualità illuminazione naturale rilevata.	291
Fig. 167 Qualità illuminazione naturale percepita aula 4V, fila centrale lato destro.	292
Fig. 168 Qualità illuminazione naturale percepita, fila centrale lato sinistro.	293
Fig. 169 Qualità illuminazione naturale percepita, prima-terza fila lato destro.	293
Fig. 170 Grafico istogramma complessivo sulla temperatura di colore correlata percepita.	294
Fig. 171 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.	295
Fig. 172 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.	296
Fig. 173 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.	297
Fig. 174 Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna, zona centrale lato destro.	298
Fig. 175 Grado soddisfazione quantità di luce sul piano lavagna, zona centrale lato sinistro.	298
Fig. 176 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce sulla lavagna e la distanza di ogni individuo dalla lavagna stessa.	299
Fig. 177 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.	300
Fig. 178 Pianta aula 25 con punti di rilievo illuminotecnico.	301
Fig. 179 Pianta aula 25 con punti di rilievo acustico.	302
Fig. 180 Foto dettaglio finestra (con schermatura rotta), aula 25.	304
Fig. 181 Temperatura di colore correlata percepita.	306
Fig. 182 Qualità illuminazione naturale rilevata.	308
Fig. 183 Qualità illuminazione naturale percepita aula 25, prima - terza fila lato destro.	309
Fig. 184 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.	310
Fig. 185 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.	311
Fig. 186 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.	312
Fig. 187 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.	312
Fig. 188 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro (banco).	313
Fig. 189 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce all'interno dell'aula.	313
Fig. 190 Temperatura di colore correlata percepita.	317
Fig. 191 Qualità illuminazione naturale rilevata.	319
Fig. 192 Qualità illuminazione naturale percepita aula 25, prima - terza fila lato destro.	320

Fig. 193 Qualità illuminazione naturale percepita aula 25, prima - terza fila lato sinistro.....	321
Fig. 194 Temperatura di colore percepita aula 25, grafico complessivo.....	321
Fig. 195 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.....	322
Fig. 196 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.	323
Fig. 197 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.	324
Fig. 198 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.....	324
Fig. 199 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro (banco).	325
Fig. 200 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce all'interno dell'aula.	325
Fig. 201 Pianta aula 201 con punti di rilievo illuminotecnico.....	327
Fig. 202 Pianta aula 201 con punti di rilievo acustico.....	328
Fig. 203 Temperatura di colore correlata percepita.....	332
Fig. 204 Qualità illuminazione naturale rilevata.	334
Fig. 205 Grafico istogramma complessivo sulla qualità dell'illuminazione naturale.	335
Fig. 206 Qualità illuminazione naturale percepita aula 201, prima - terza fila lato sinistro.....	336
Fig. 207 Qualità illuminazione naturale percepita aula 201, terzultima - ultima fila lato sinistro.....	336
Fig. 208 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.....	337
Fig. 209 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.	338
Fig. 210 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.	339
Fig. 211 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro (banco).	339
Fig. 212 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.	340
Fig. 213 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.....	341
Fig. 214 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce all'interno dell'aula.....	341
Fig. 215 Temperatura di colore correlata percepita.....	345
Fig. 216 Qualità illuminazione naturale rilevata.	347
Fig. 217 Grafico istogramma complessivo sulla qualità dell'illuminazione naturale.	348
Fig. 218 Qualità illuminazione naturale percepita aula 201, prima - terza fila lato sinistro.....	349
Fig. 219 Qualità illuminazione naturale percepita aula 201, terzultima - ultima fila lato sinistro.....	349

Fig. 220 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.....	350
Fig. 221 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.	351
Fig. 222 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.	352
Fig. 223 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro (banco).	352
Fig. 224 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.	353
Fig. 225 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.	354
Fig. 226 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce all'interno dell'aula.	354
Fig. 227 Pianta aula 7I con punti di rilievo illuminotecnico.	355
Fig. 228 Pianta aula 7I con punti di rilievo acustico.	356
Fig. 229 Temperatura di colore correlata percepita.	360
Fig. 230 Qualità illuminazione naturale rilevata.	362
Fig. 231 Grafico istogramma complessivo sulla qualità dell'illuminazione naturale.	363
Fig. 232 Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, prima - terza fila lato destro.....	364
Fig. 233 Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, fila centrale lato destro.	364
Fig. 234 Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, prima - terza fila lato sinistro.....	365
Fig. 235 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.	366
Fig. 236 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.....	367
Fig. 237 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna, prima-terza fila lato destro.....	368
Fig. 238 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna, fila centrale lato destro.	368
Fig. 239 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.	369
Fig. 240 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.	369
Fig. 241 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce nell'aula.	370
Fig. 242 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro.	370
Fig. 243 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.	371
Fig. 244 Temperatura di colore correlata percepita.	375
Fig. 245 Qualità illuminazione naturale rilevata.	377
Fig. 246 Grafico istogramma complessivo sulla qualità dell'illuminazione naturale.	378

Fig. 247 Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, Fila centrale lato destro.	379
Fig. 248 Qualità illuminazione naturale percepita aula 7I, fila centrale lato sinistro.	379
Fig. 249 Correlazione tra la sensazione luminosa percepita e l'illuminamento medio rilevato.	380
Fig. 250 Correlazione tra la temperatura di colore rilevata e il colore della luce percepito.....	381
Fig. 251 Grafico istogramma sulla percezione del colore della luce nell'ambiente da parte degli studenti.	381
Fig. 252 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna, fila centrale lato sinistro.	382
Fig. 253 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna, fila centrale lato destro.	382
Fig. 254 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavagna.	383
Fig. 255 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sullo schermo di proiezione.....	383
Fig. 256 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce nell'aula.	384
Fig. 257 Grafico istogramma sul grado di soddisfazione della quantità di luce sul piano lavoro.	384
Fig. 258 Correlazione tra il grado di soddisfazione della quantità di luce incidente sui banchi e l'illuminamento medio rilevato sugli stessi banchi.....	385
Fig. 259 Interfaccia del software Rhinoceros con aggiunta dei comandi del plug-in DIVA.	388
Fig. 260 File di locazione utilizzato.....	388
Fig. 261 Visualizzazione della griglia di analisi con nodi.....	389
Fig. 262 File editor dei materiali di DIVA.	390
Fig. 263 Visualizzazione dei materiali all'interno del software Rhinoceros.....	391
Fig. 264 Visualizzazione dei risultati ottenuti post analisi.	391
Fig. 265 Vista assonometrica dei risultati ottenuti, aula 4V.....	394
Fig. 266 Vista dall'alto dei risultati ottenuti, aula 4V.	394
Fig. 267 Vista assonometrica dei risultati ottenuti, aula 25.....	396
Fig. 268 Vista dall'alto dei risultati ottenuti, aula 25.....	396
Fig. 269 Vista assonometrica dei risultati ottenuti, aula 201.....	398
Fig. 270 Vista dall'alto dei risultati ottenuti, aula 201.	398
Fig. 271 Vista assonometrica dei risultati ottenuti, aula 7I.	400
Fig. 272 Vista dall'alto dei risultati ottenuti, aula 7I.....	401
Fig. 273 Comfort adattativo: correlazione tra la temperatura operativa e l'orario di rilievo, aula 4V.	404
Fig. 274 Comfort stazionario: risultati PMV, aula 4V.	404
Fig. 275 Confronto valori velocità dell'aria a pari posizione degli individui, aula 4V.....	405
Fig. 276 Confronto valori draft risk a pari posizione degli individui, aula 4V. ..	406
Fig. 277 Comfort adattativo: correlazione tra la temperatura operativa e l'orario di rilievo, aula 25.	407
Fig. 278 Comfort stazionario: risultati PMV, aula 25.	407

Fig. 279 Confronto valori velocità dell'aria a pari posizione degli individui, aula 25.	409
Fig. 280 Confronto valori draft risk a pari posizione degli individui, aula 25. ...	410
Fig. 281 Comfort stazionario: risultati PMV estivi, aula 201.....	411
Fig. 282 Comfort stazionario: risultati PMV invernali, aula 201.	411
Fig. 283 Confronto valori velocità dell'aria a pari posizione degli individui, aula 201.	413
Fig. 284 Confronto valori draft risk a pari posizione degli individui, aula 201. .	414
Fig. 285 Comfort stazionario: risultati PMV estivi, aula 7I.	415
Fig. 286 Comfort stazionario: risultati PMV invernali, aula 7I.....	416
Fig. 287 Confronto valori velocità dell'aria a pari posizione degli individui, aula 7I.	417
Fig. 288 Confronto valori draft risk a pari posizione degli individui, aula 7I.	418
Fig. 289 Grafico a barre dell'illuminamento medio disaggregato per zone nell'aula 4V, confronto tra stagione invernale ed estiva.	420
Fig. 290 Grafico a barre della temperatura di colore correlata media disaggregato per zone nell'aula 4V, confronto tra stagione invernale ed estiva.....	421
Fig. 291 Grafico a barre dell'illuminamento medio disaggregato per zone nell'aula 7I, confronto tra stagione invernale ed estiva.	422
Fig. 292 Grafico a barre della temperatura di colore correlata media disaggregato per zone nell'aula 7I, confronto tra stagione invernale ed estiva.	423
Fig. 293 Grafico a barre dell'illuminamento medio disaggregato per zone nell'aula 25, confronto tra stagione invernale ed estiva.	424
Fig. 294 Grafico a barre della temperatura di colore correlata media disaggregato per zone nell'aula 25, confronto tra stagione invernale ed estiva.....	425
Fig. 295 Grafico a barre dell'illuminamento medio disaggregato per zone nell'aula 201, confronto tra stagione invernale ed estiva.	426
Fig. 296 Grafico a barre della temperatura di colore correlata media disaggregato per zone nell'aula 201, confronto tra stagione invernale ed estiva.....	427
Fig. 297 Confronto tra aula 4V e aula 7I, entrambe senza una strada ad alto scorrimento nelle vicinanze.	429
Fig. 298 Confronto tra aula 25 e aula 201, entrambe con una strada ad alto scorrimento nelle vicinanze.	430
Fig. 299 Confronto del livello di rumore all'interno delle quattro aule.	431

Ringraziamenti

Ed eccoci giunti alla fine di questo percorso. Desidero riservare questo spazio ad alcune persone che, in maniera diversa, hanno contribuito alla realizzazione di questo elaborato.

Per iniziare vorrei ringraziare i miei genitori, Mauro e Irene, per non aver dubitato nemmeno per un secondo delle mie potenzialità, appoggiando ogni mia decisione, e per non avermi mai fatto dimenticare che anche dopo una giornata storta, esiste un posto sicuro chiamato “casa” dove rifugiarsi.

Il secondo sincero e profondo “grazie” va alle persone con cui ho condiviso questo percorso, Mattia e Antonio, per lo spirito di squadra dimostrato in questi mesi di collaborazione.

Ringrazio i relatori, Enrico Fabrizio e Valerio Lo Verso, per aver guidato me e i miei compagni, con professionalità, verso il traguardo.

Un ringraziamento speciale va ai membri della chat “MADM”, ovvero lo storico gruppo di amici che ho, per tutte le avventure passate insieme e per quelle che ci saranno; senza di queste, affrontare questo percorso sarebbe stato sicuramente più complicato.

Un altro doveroso “grazie”, va ai compagni di corso con cui ho passato veramente tanto tempo in questi 5 lunghi anni. Con voi ho condiviso momenti di gioia e di tristezza, ma non c'è stato alcun momento in cui mi sia sentito solo, di questo ve ne sarò sempre grato.

Ringrazio anche i miei zii, nonna Ida e nonno Werther (che tanto avrei voluto conoscere), per avermi trasmesso il significato e l'importanza della famiglia.

Ed infine, dal profondo del mio cuore, dedico le ultime righe di questo elaborato, a mia nonna Maria, per avermi sempre posizionato al primo posto nella lista di persone da rendere felici, e a mio nonno Raffaele, che veglia silenzioso su di me, e sarebbe desideroso di presenziare in momenti come questo.

