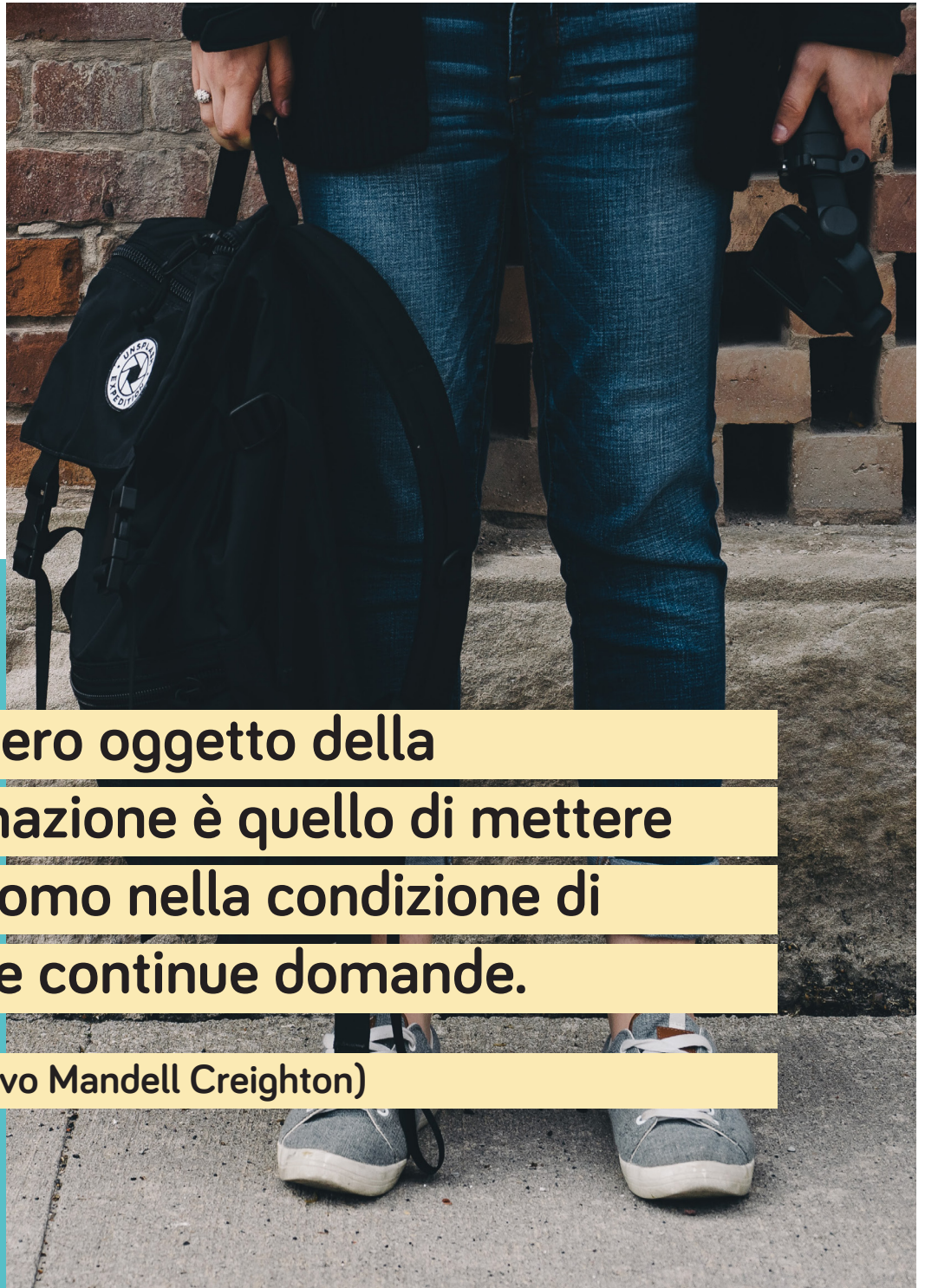


IL CAMBIAMENTO È NELL'ARIA

CHE ARIA TIRA NELLE SCUOLE?

RIPENSARE E TRASFORMARE I LUOGHI DELLA FORMAZIONE

www.vogliamoinvertirelarotta.it



**- Il vero oggetto della
formazione è quello di mettere
un uomo nella condizione di
porre continue domande.**

(Vescovo Mandell Creighton)

INDICE DELLA RICERCA

IL PROGETTO



parte I
INTRODUZIONE AL PROGETTO

Il progetto «Il cambiamento è nell'aria» e l'IIS Margherita Hack



parte II
QUADRO DI SINTESI DEI DATI RACCOLTI

Soddisfazione e preferenze



parte III
IL QUESTIONARIO: VALUTAZIONE SOGGETTIVA

La soddisfazione, le preferenze e le azioni messe in pratica dagli studenti



parte IV
IL MONITORAGGIO: VALUTAZIONE OGGETTIVA

I dati ambientali misurati



parte V
CONCLUSIONI

Azioni concrete per l'edilizia scolastica del futuro

- IL PROGETTO

L'aumentare nei paesi industrializzati delle patologie croniche a carattere respiratorio (asma, bronchite acuta) anche nei più giovani ha determinato l'esigenza di uno studio scientifico che indagasse la correlazione diretta tra la cattiva qualità dell'aria all'interno degli edifici scolastici e l'incidenza sempre più significativa nella popolazione giovanile di tali patologie, con le inevitabili ripercussioni in termini di difficoltà di concentrazione e di apprendimento.



Siamo una generazione indoor.

Trascuriamo il 90% del nostro tempo in spazi chiusi, rinunciando alla luce naturale e all'aria aperta, respirando aria fino a cinque volte più inquinata di quella esterna. La scienza ha dimostrato che vivere così ha conseguenze per la nostra salute e il nostro benessere. Ma se la cattiva qualità dell'aria negli ambienti chiusi (indoor) è un fattore determinante per la salute della popolazione in generale, per **bambini e adolescenti**, che trascorrono la maggior parte del loro tempo in ambienti confinati (casa, scuola), questo diventa un elemento dalle conseguenze allarmanti, poiché in tali contesti i livelli di anidride carbonica, polveri sottili PM2.5, biossido di azoto ed altri inquinanti irritanti superano – spesso abbondantemente – i valori stabiliti dalle autorità sanitarie in materia di inquinamento indoor.

Oltre 8 milioni di studenti siederanno il prossimo anno tra i banchi delle circa 41.000 sedi scolastiche italiane statali e paritarie (tenendo conto del fatto che ogni istituto può avere più plessi), e con loro oltre 800 mila insegnanti.

Gli **ambienti scolastici**, come noto, sono **luoghi ad alta densità di popolazione**, in cui si concentrano pericolosi allergeni che, tra le altre fonti di inquinamento, costituiscono una delle principali cause di **sensibilizzazione**, di **attacchi acuti di asma ed altre patologie**.

Ora, se tutto ciò costituiva di per sé un elemento di preoccupazione fino a "ieri", prima cioè dell'emergenza socio-sanitaria determinata dal Covid-19, quanto più lo sarà adesso che abbiamo un'esigenza di distanziamento sociale e di sanificazione ambientale straordinaria?

È imprescindibile riportare al centro delle nostre vite l'idea di **comfort abitativo e benessere della persona**, e dobbiamo farlo proprio cominciando dalle **giovani generazioni**, che più di tutte hanno subito e stanno subendo le conseguenze di questa difficile emergenza, e verso le quali abbiamo dei precisi **doveri etici**.

È da queste considerazioni – dall'**urgenza di invertire la rotta** – che è nato il progetto di ricerca **"Il cambiamento è nell'aria"**, presentato a Brindisi a settembre 2019, promosso dalla **Libera università di Bolzano** (con la collaborazione di ricercatori dell'Università IUAV di Venezia e delle Università di Trento e Padova) e da **Agorà** (una realtà che da tempo promuove eventi di formazione collegati al tema della sostenibilità applicata all'edilizia), con il coinvolgimento attivo, in un percorso di P.C.T.O., degli studenti del triennio di un Istituto d'Istruzione Superiore in provincia di Roma, l'**I.I.S. Margherita Hack** di Morlupo.

L'idea iniziale era nata già a luglio dello scorso anno, molto prima dell'emergenza Covid-19, con l'obiettivo di indagare a fondo la qualità dell'aria negli edifici scolastici italiani, sviluppando parallelamente un percorso di sensibilizzazione e formazione che consentisse agli studenti di acquisire conoscenze scientifiche, competenze tecniche e consapevolezza rispetto alla valutazione e alla diagnosi di uno specifico problema, nonché alle azioni possibili per la sua soluzione e alle forme di sensibilizzazione utili a rendere efficaci le misure proposte.

Nelle aule della scuola media superiore coinvolta nel progetto sono stati installati numerosi sensori in grado di monitorare la qualità dell'aria indoor rispetto a una pluralità di fattori (tra i quali temperatura dell'aria, umidità relativa, concentrazione di CO₂, illuminamento). Dai dati rilevati – analizzati in stretta comparazione con le condizioni climatiche interne ed esterne, l'occupazione delle aule nelle diverse ore del giorno, i comportamenti quotidiani degli studenti e dei docenti (sistematicamente registrati dagli alunni coinvolti nel progetto) – è emerso questo **documento di sintesi**, che riteniamo possa essere un primo importante step di uno studio più ampio, da proseguire e da estendere anche ad altre realtà scolastiche. Si tratta in ogni caso di un primo step molto significativo, in quanto già consente di evidenziare una situazione di allarme che, se non affrontata con correttivi adeguati, farà degli ambienti scolastici una minaccia concreta per la salute degli studenti e per i loro livelli di apprendimento.

L'analisi dei risultati emersi porta di fatto con sé un'ineludibile domanda: **cosa avverrà a settembre 2020, alla riapertura delle scuole, quando oltre a questi inquinanti dovremo fronteggiare anche il rischio di contagio Covid-19?**

Sul concetto che **una buona scuola parte da una scuola sana** (uno dei payoff del progetto) convergono ora più che mai gli intenti e gli sforzi dei promotori di questa iniziativa che, partita da una scuola della provincia di Roma, si vorrebbe estendere a tutto il territorio nazionale, nella convinzione che i dati raccolti possono davvero aiutare a trovare le **possibili soluzioni** di prodotto, metodologico, di processo o riorganizzazione in diversi settori dei tradizionali modelli della nostra società.



parte I

INTRODUZIONE AL PROGETTO

Il progetto «Il cambiamento è nell'aria» e l'IIS Margherita Hack



- IIS MARGHERITA HACK

L'istituzione scolastica "Margherita Hack" è un Istituto d'Istruzione Superiore costituito da due plessi: il Liceo Scientifico e Linguistico "Giuseppe Piazzi", con sede a Morlupo (Roma), e l'I.T.C.G. "Pier Luigi Nervi", con sede a Rignano Flaminio (Roma). Nella sede di Morlupo sono stati installati strumenti di misura delle variabili ambientali.



Altezza
292 m slm

Coordinate geografiche
42°08'46" N
12°28'46" E

Anno di costruzione
1992
(ampliamento)
2002

Superficie complessiva
5.716 m²

Numero di classi
30

Numero di studenti
698

PROGETTO IN NUMERI

Classi monitorate

5

Ambienti totali monitorati

25

Superficie totale delle aree monitorate

1.469 m²

Numero di sensori installati

90

Università coinvolte nel progetto

4

Docenti coinvolti nel progetto

6

Studenti coinvolti nel progetto

109

Giorni monitorati analizzati nel report

16

- SENSORI INSTALLATI

Presso la sede di Morlupo sono stati installati strumenti di misura delle variabili ambientali che permettono di valutare la qualità dello spazio interno e di metterla in relazione con il consumo energetico e con il comportamento degli utenti.

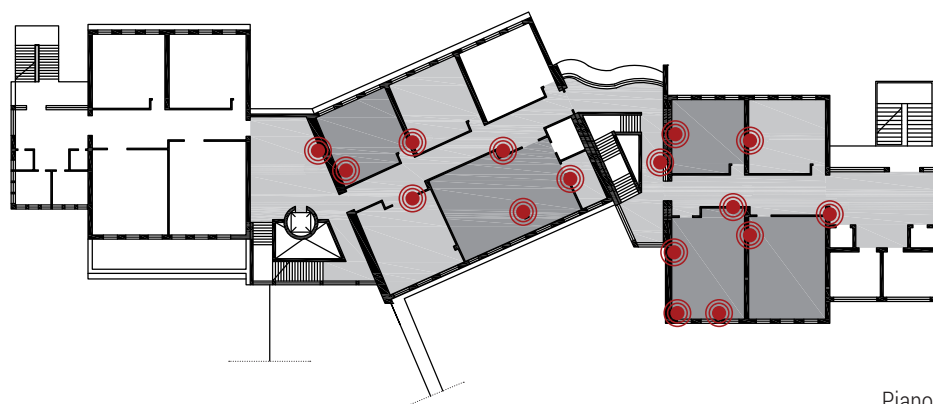


LEGENDA

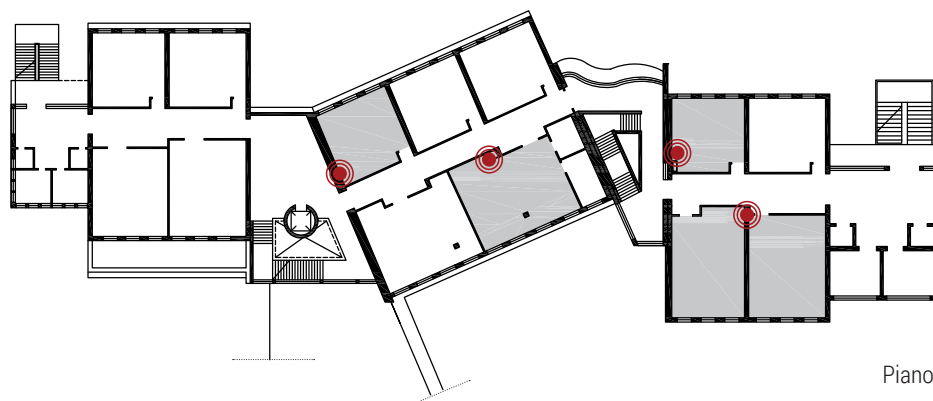
- Sensori
- Zona di controllo
- Aula monitorata

0 1 5 10 20 m

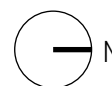
Piano terreno



Piano primo



Piano secondo

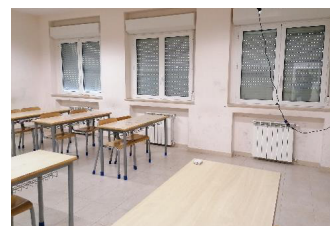


- CLASSI MONITORATE

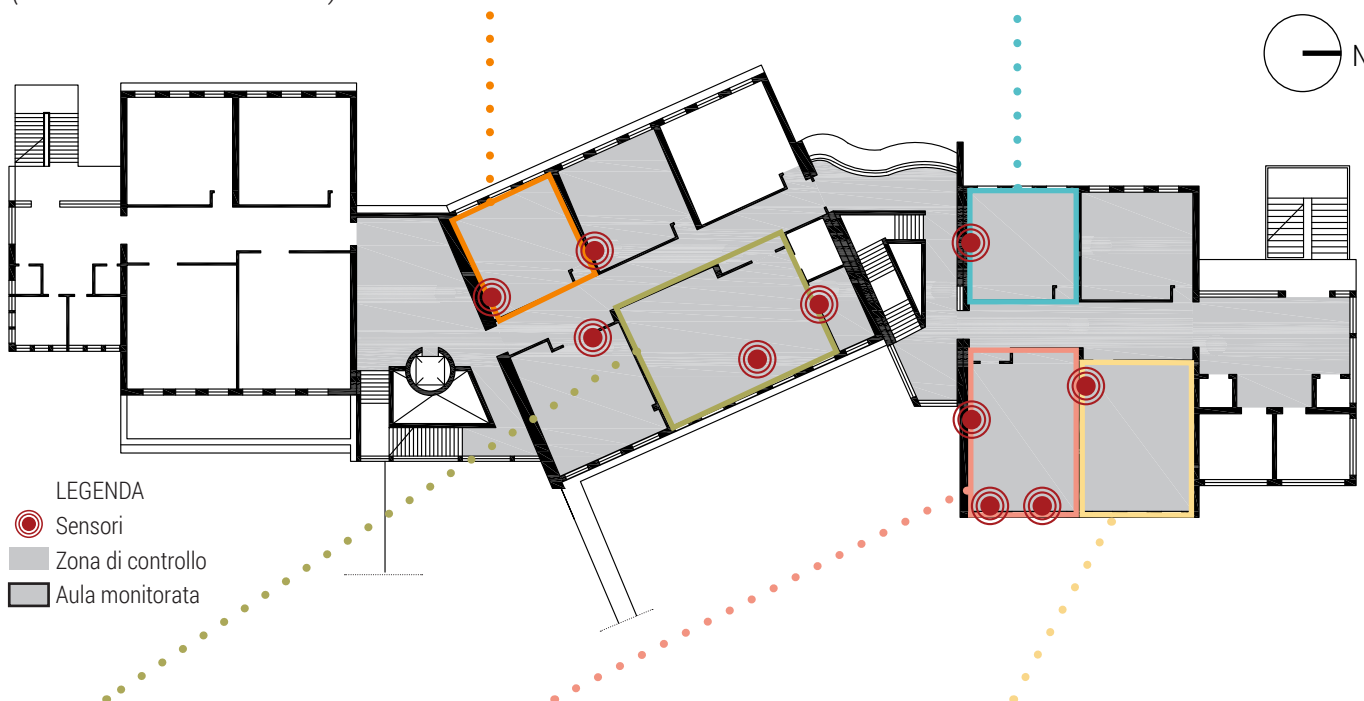
L'elevato numero di sensori installati consente di svolgere un monitoraggio approfondito delle 5 classi dell'Istituto che sono coinvolte nel progetto. Le classi individuate sono collocate al piano primo e sono state scelte in quanto rappresentative dei diversi orientamenti delle finestre, di diverse superfici e volumetrie, di diversi indici di affollamento e delle due parti della scuola (zona vecchia e zona nuova).



Classe 3A	N. studenti:	19
	Superficie:	49.6 m ²
	Volume:	148.8 m ³
	Orientamento:	S-O



Classe 4B	N. studenti:	19
	Superficie:	48.2 m ²
	Volume:	144.6 m ³
	Orientamento:	O

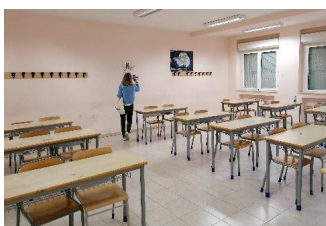


- LEGENDA
- Sensori
 - Zona di controllo
 - Aula monitorata

Classe 3B	N. studenti:	29
	Superficie:	100.1 m ²
	Volume:	300.3 m ³
	Orientamento:	N-E

Classe 3C	N. studenti:	21
	Superficie:	61.3 m ²
	Volume:	183.9 m ³
	Orientamento:	E

Classe 4C	N. studenti:	21
	Superficie:	57.4 m ²
	Volume:	172.2 m ³
	Orientamento:	E



- FASI DEL PROGETTO

1. Fase preparatoria

Incontro di formazione

Installazione degli strumenti di misura:

- Installazione della strumentazione di monitoraggio nelle 5 classi
- Installazione negli ambienti confinanti di sensori di temperatura, umidità, illuminamento e anidride carbonica
- Installazione di sensori di temperatura sulle mandate e ritorno della centrale termica
- Installazione di sensori di temperatura e umidità per la registrazione delle condizioni esterne

2. Fase di monitoraggio continuo

Raccolta delle misure ambientali per la caratterizzazione delle condizioni interne di medio termine

Registrazione del comportamento degli studenti da parte di un gruppo incaricato di rilevare quotidianamente tutte le azioni di gestione svolte dagli occupanti (apertura e chiusura di porte e finestre, utilizzo di sistemi oscuranti, accensione e spegnimento delle luci e registrandone la motivazione in termini di elementi di disturbo (troppo caldo, aria viziata, abbagliamento, ecc.))

3. Somministrazione dei questionari

Somministrazione dei questionari sulla valutazione soggettiva del comfort (per l'ambiente termico, la qualità dell'aria, l'ambiente visivo e acustico) del comportamento degli studenti delle 5 classi e contestuale raccolta di misure ambientali di dettaglio temperatura e umidità dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria, concentrazione di inquinanti (CO, CO₂, VOC, SO₂, NO, NO₂, NO₃), illuminamento in più punti dell'aula, livello di pressione sonora

4. Misurazione centrale termica

Misurazione delle portate di acqua calda distribuite dalla centrale termica per la caratterizzazione dei consumi

5. Analisi dei risultati

Analisi dei risultati del monitoraggio continuo, delle risposte al questionario e delle misure ambientali di dettaglio per la definizione di azioni migliorative a livello di comportamento e gestione delle aule da parte degli occupanti

6. Restituzione

Restituzione dei risultati con adozione delle azioni individuate e successivo avvio del monitoraggio per la valutazione della loro efficacia



Ambiente termico

Rappresenta l'insieme delle condizioni ambientali che influiscono sul bilancio termoisolometrico del corpo e che incidono sulla sensazione e sul comfort degli occupanti.

Le grandezze di riferimento sono:

- la temperatura dell'aria
- l'umidità dell'aria
- la velocità dell'aria
- la temperatura media radiante (una opportuna media delle temperature superficiali interne).

Queste oltre al livello di attività e di vestiario determinano la sensazione e la valutazione da parte degli occupanti.



Qualità dell'aria

L'aria che gli occupanti respirano contiene inquinanti e odori che possono essere nocivi o sgradevoli, molti dei quali sono prodotti internamente all'ambiente abitato. La concentrazione delle sostanze nocive e la presenza di odori può quindi essere ridotta attraverso una corretta ventilazione, naturale o meccanica. La rilevazione della concentrazione di alcune sostanze come ad esempio la CO₂ possono fornire utili indicazioni sul ricambio dell'aria e quindi sulla sua qualità in generale.



Ambiente visivo

Rappresenta ciò che interagisce con l'occupante attraverso la vista. Condiziona quanto è legato alla percezione visiva, dalla corretta esecuzione di un compito visivo alla soddisfazione per l'ambiente. Questa risente di fattori come la visione dell'esterno e la disponibilità di luce naturale.

Dipende da numerose grandezze (illuminamento naturale e artificiale, distribuzione di luminanza, ecc.) con interazioni complesse.



Ambiente acustico

La percezione auditiva dell'ambiente dipende da numerosi fattori, che definiscono la sua dimensione acustica.

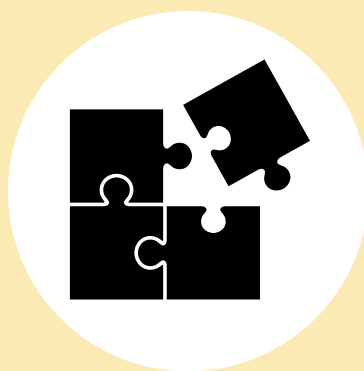
L'impatto sulla prestazione acustica, come l'ascolto di una comunicazione orale, è solo uno degli aspetti condizionati dalle condizioni acustiche dell'ambiente, che possono contribuire alla sua gradevolezza.

Diversi aspetti determinano il risultato complessivo. Tra questi la riverberazione, l'isolamento acustico, la presenza di sorgenti rumorose all'interno o all'esterno.

parte II

QUADRO DI SINTESI DEI DATI RACCOLTI

Soddisfazione e preferenze



SODDISFAZIONE

Soddisfazione degli studenti per l'ambiente interno durante l'ultima ora di lezione.

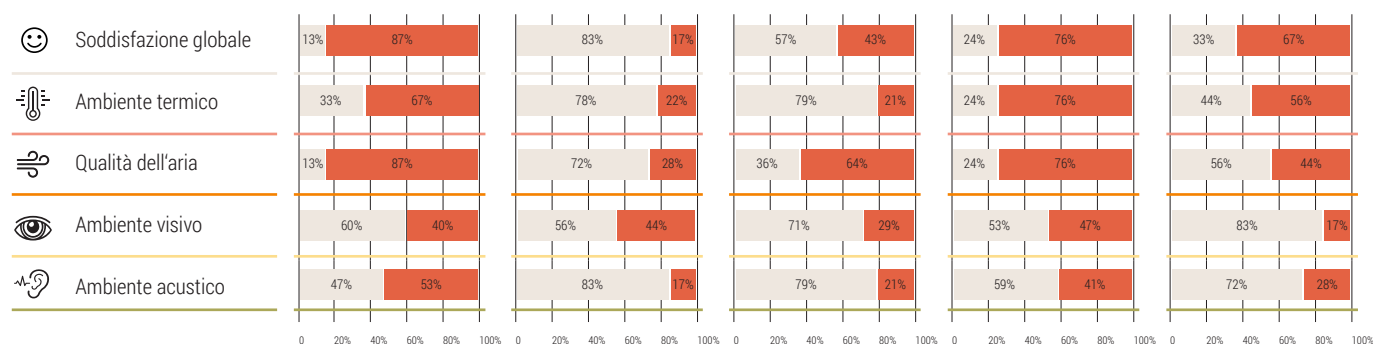
- Facendo riferimento all'ultima ora, ti ritieni soddisfatto/a delle condizioni dell'aula?



CONDIZIONI	Classe	3A	3B	3C	4B	4C
	Studenti intervistati	15	18	14	17	18
	Genere	8 maschi 7 femmine	6 maschi 12 femmine	11 maschi 3 femmine	7 maschi 10 femmine	9 maschi 9 femmine
	Affollamento	0,30 studenti/m ²	0,19 studenti/m ²	0,23 studenti/m ²	0,35 studenti/m ²	0,31 studenti/m ²
	Finestre	2 chiuse 1 aperta	tutte chiuse	2 chiuse 1 parz. aperta	chiuse 1 anta parz. aperta	chiuse 1 anta aperta
	Schermature	abbassate	parz. abbassate	parz. abbassate	sollevate	abbassate
	Porta	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa
	Luci	accese	accese	accese	accese	metà accese
	Temperatura aria [°C]	23,8	23,0	20,8	21,9	20,7
	Temperatura media radiante [°C]	23,8	23,1	21,1	22,0	20,7
	Umidità Relativa [%]	42,2	43,2	46,2	45,2	48,6
CO ₂ [ppm]	1.274	1.322	1.121	1.329	1.436	
Rumore [dB (A)]	66,1	64,0	70,1	65,0	59,9	

Soddisfatto

Insoddisfatto



NOTE

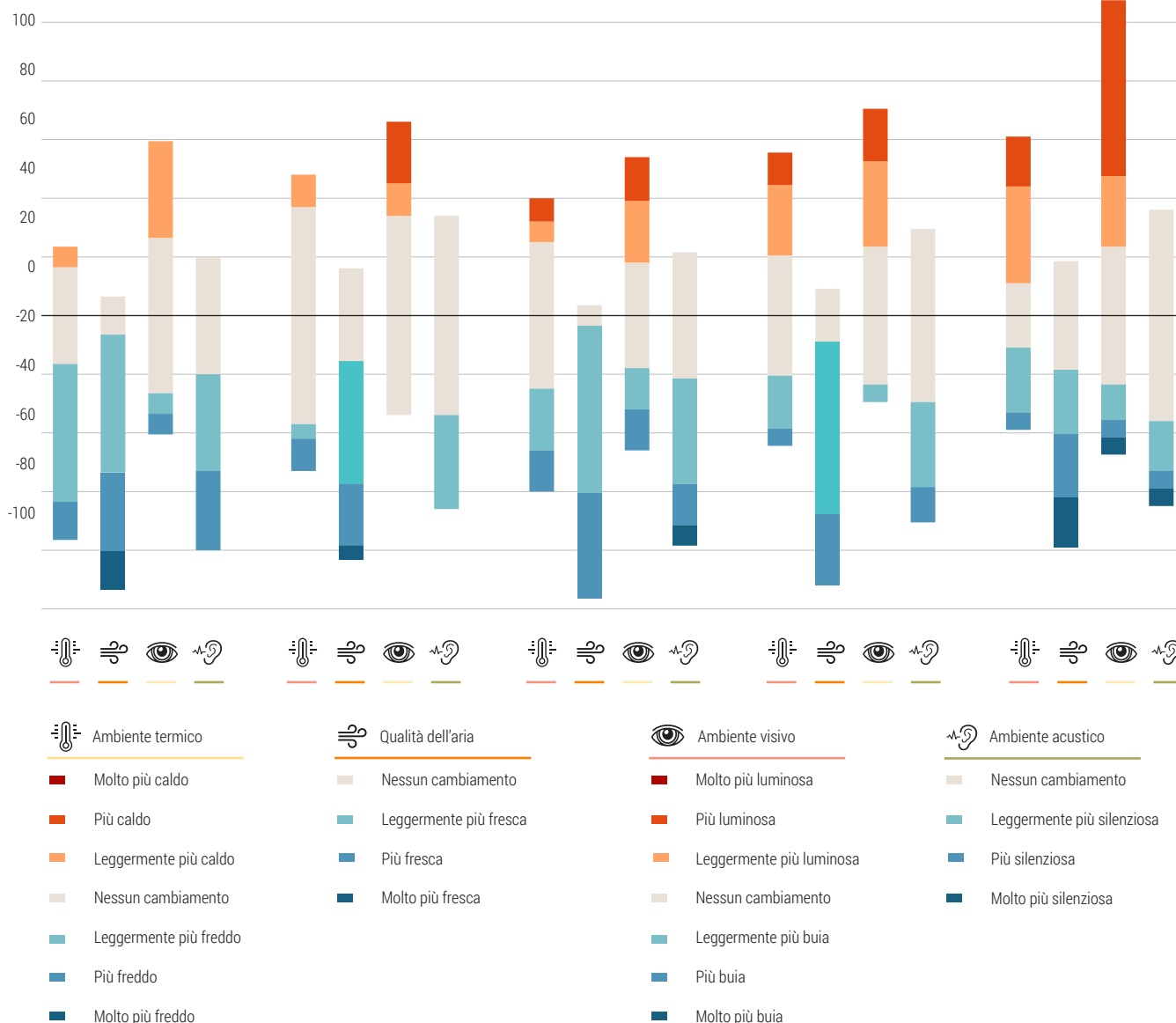
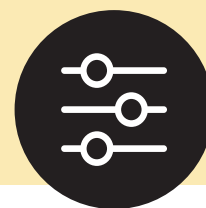
Considerando tutti gli studenti intervistati, il 43% è globalmente soddisfatto delle condizioni ambientali dell'aula, si può notare che:

- gli ambiti nei quali prevale il numero di soddisfatti sono ambiente visivo ed acustico;
- l'ambiente termico soddisfa poco più della metà degli studenti;
- quasi il 60% degli studenti si è dichiarato insoddisfatto per la qualità dell'aria.

PREFERENZA NEL MOMENTO

Preferenza espressa dagli studenti sulle condizioni ambientali durante la somministrazione del questionario.

- Come vorresti l'aula in questo momento?



NOTE

La classe 3B rimane quella con un più alto numero di soddisfatti: molto alta la soddisfazione per l'ambiente termico seguito da ambiente visivo e acustico. Il 68% degli studenti invece chiede aria più fresca. In termini di soddisfazione per l'ultima ora emergeva una maggiore insoddisfazione per l'ambiente visivo. La seconda classe come percentuali di soddisfazione è la 4C: qui l'ambito migliore è quello acustico (coerentemente con la soddisfazione per l'ultima ora); l'ambiente termico risulta essere il più sgradito tra tutte le classi. Rispetto all'ambiente termico si vede che la classe con la maggiore percentuale di soddisfatti è la 3B, così come evidenziato dalla domanda di soddisfazione per l'ultima ora di lezione. Segue la 3C in cui si vorrebbe soprattutto più fresco. In 3A, la maggior parte degli studenti vorrebbe leggermente più freddo, mentre in 4B la maggior parte degli studenti vorrebbe più caldo.

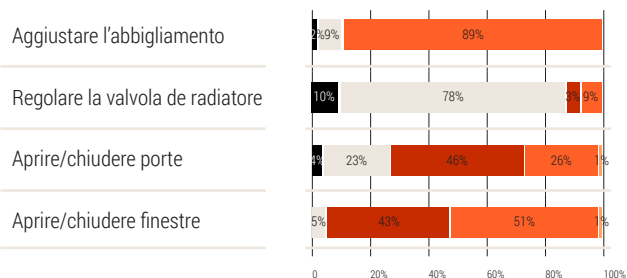
AZIONI MESSE IN PRATICA

Azioni messe in pratica dagli studenti per migliorare il proprio comfort.

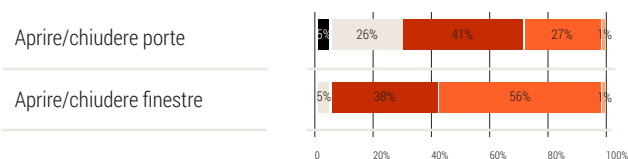
- In generale, quando percepisci discomfort termico, quali azioni metti in pratica?



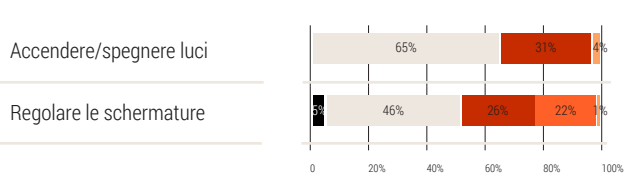
Ambiente termico



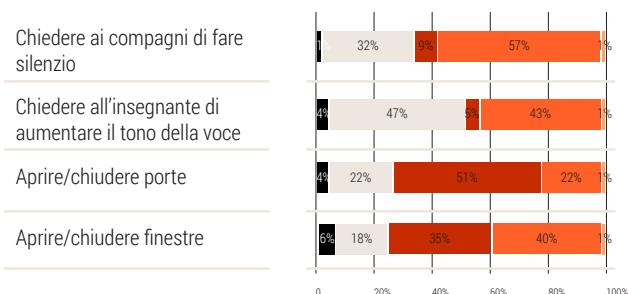
Qualità dell'aria



Ambiente visivo



Ambiente acustico



non dichiarato
 non agisco
 chiedo a qualcuno
 agisco in prima persona
 chiedo e agisco

NOTE

Gli studenti sono attivi nel tentare di migliorare le condizioni termiche, acustiche e di qualità dell'aria nell'aula, mentre sono meno attivi nell'agire sull'ambiente visivo. Per ripristinare le condizioni di benessere termico gli studenti agiscono principalmente aprendo e chiudendo le finestre e aggiustando l'abbigliamento, mentre agiscono poco sul sistema di regolazione dell'impianto. Per ripristinare le condizioni di qualità dell'aria gli studenti intervengono aprendo le finestre e in misura minore aprendo la porta dell'aula. Per migliorare la qualità dell'ambiente visivo gli studenti intervengono poco sull'illuminazione artificiale, dimostrando una tendenza alla passività nei confronti di accensioni e spegnimenti durante l'orario scolastico. Si agisce molto di più per regolare l'ingresso della radiazione solare aggiustando le schermature. Le azioni compensative più usate per migliorare l'ambiente acustico delle aule sono la gestione di porte e finestre e la richiesta di fare silenzio ai compagni.

MISURE AMBIENTALI



Distribuzione delle grandezze ambientali nel periodo di monitoraggio e confronto con le condizioni registrate durante il questionario.

- Condizioni rilevate nelle aule

NOTE

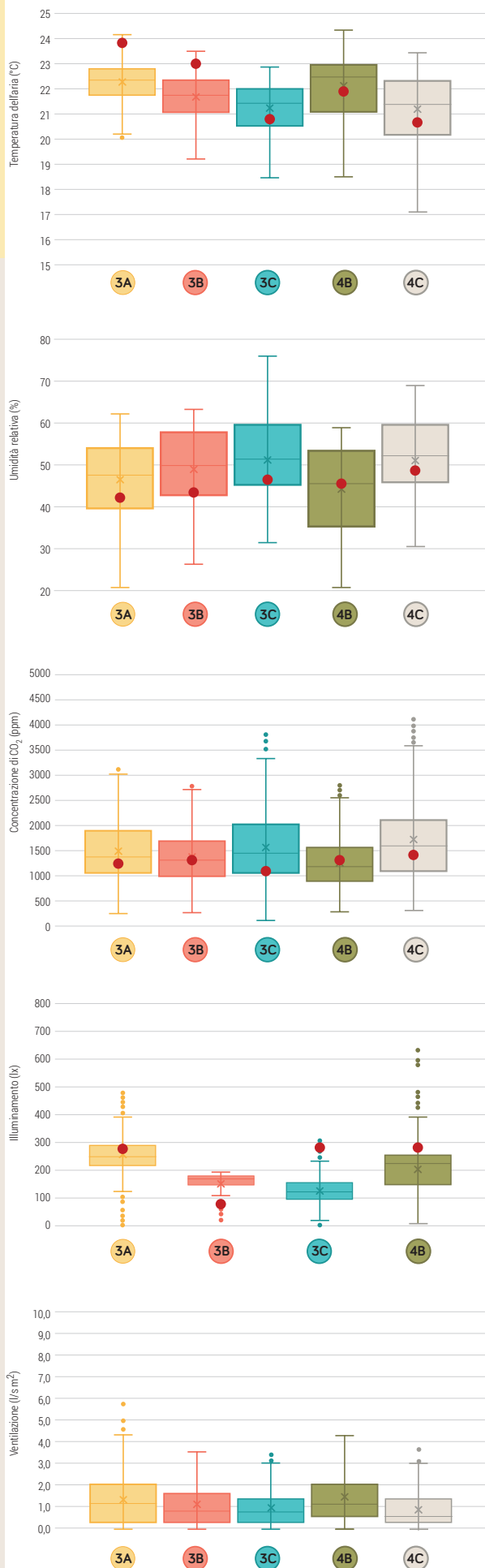
I "boxplot" rappresentano in forma sintetica la distribuzione delle misure di temperatura, umidità, concentrazione di CO₂, ventilazione, illuminamento a cui gli studenti sono stati esposti durante le due settimane di monitoraggio continuo. In particolare l'intervallo rappresentato dal box (il range interquartile) individua la distribuzione del 50% delle misure più vicine alla mediana, mentre i "baffi" individuano il range in cui sono contenute le misure più lontane. Sopra il lato basso (primo quartile) o sotto quello alto (terzo quartile) del range interquartile si collocano i ¼ delle misure.

- Per quanto riguarda la temperatura, gli interquartili sono relativamente stretti e a cavallo delle temperature indicate per il comfort in tutte le classi. Evidentemente più bassi i minimi per le classi dell'ala nuova, mentre gli estremi superiori non sono generalmente lontani dalla mediana.
- Anche per l'umidità, gli interquartili sono compresi tra 35 e 60%, con valori estremi abbastanza diversi tra un'aula e l'altra: molto più bassi i minimi per 3A e 4B e più alti i massimi per 3C e in parte 4C.
- Significativa la distribuzione delle misure di CO₂, per le quali il primo quartile è abbastanza uniforme, superando sempre 900 ppm e i 1000 ppm per 4 aule su 5.
- Molto lontani dai parametri di riferimento i livelli di illuminamento (non disponibili per la 4C) e di ventilazione, con un terzo quartile inferiore a 300 lx e a 2 l/(s m²) e interquartili piuttosto stretti. Le aule 3A e 4B, entrambe esposte ad ovest, hanno valori di illuminamento mediamente più alti rispetto alle due aule esposte ad Est.

Le condizioni rilevate durante il questionario (punti in rosso) rientrano generalmente nel range interquartile dei giorni di monitoraggio, permettendo di generalizzare le valutazioni soggettive raccolte con il questionario:

- Per quanto riguarda la temperatura dell'aria, i dati registrati nelle aule 3A e 3B si collocano oltre il terzo quartile, giustificando la maggiore preferenza espressa per temperature più basse. In ogni caso le due classi sono risultate mediamente più calde delle altre.
- Per la concentrazione di CO₂, il valore misurato durante la somministrazione del questionario rimane vicino alla mediana per tutte le classi esclusa la 3C, per la quale in ogni caso rimane all'interno del range interquartile. La scarsa soddisfazione e la preferenza per aria più fresca possono quindi essere considerati abbastanza generalizzati.
- Per quanto riguarda l'illuminamento sul piano, l'interquartile molto stretto ha portato a valori misurati durante il questionario ad essere meno rappresentativi. La maggiore preferenza per un ambiente più luminoso espressa in 3B appare in linea con le misure effettuate.

● Condizioni rilevate durante la somministrazione del questionario



REQUISITI



Percentuale di tempo in cui, gli studenti sono stati esposti condizioni che rispettano i requisiti.

- Rispetto dei requisiti ambientali

NOTE

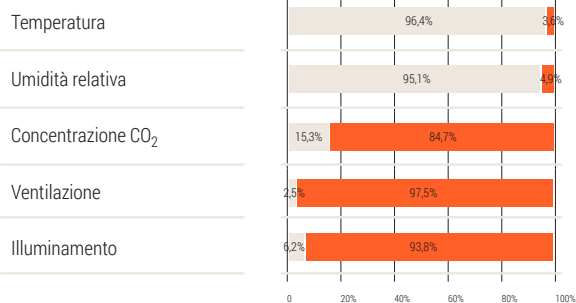
Gli istogrammi riportano la percentuale di tempo in cui le aule rientrano (grigio) o non rientrano (rosso) negli intervalli indicati nella EN 16798.

- Per quanto riguarda la temperatura, le condizioni sono verificate per oltre $\frac{3}{4}$ del tempo, con un minimo del 78,7% (4C) ed un massimo del 96,4% (3A)
- Per i valori di umidità relativa, le condizioni sono verificate globalmente per oltre il 70% del tempo, con un minimo del 72,7% (3C) ed un massimo del 98,2% (4B)
- Per quanto riguarda la concentrazione di CO₂, le condizioni sono verificate per meno di $\frac{1}{4}$ del tempo, con un minimo del 10,9% (3C) ed un massimo del 21,4% (4B)
- Per la ventilazione, le condizioni sono verificate per meno del 5% del tempo, con un minimo dello 0% stimato per le classi 3B, 3C e 4C, ed un massimo del 3,5% per la 4B.
- Per quanto riguarda l'illuminamento, le condizioni sono verificate complessivamente per meno del 10% del tempo, con un minimo corrispondente allo 0% per 3B e 3C, ed un massimo del 6,2% per la 3A.

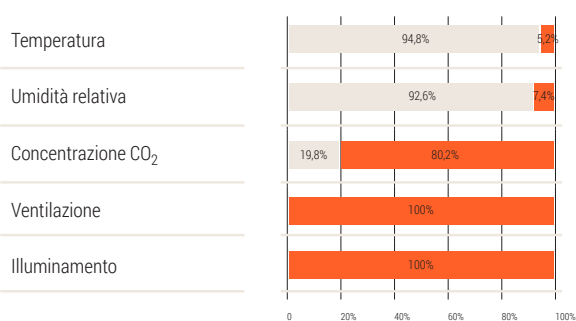
□ Percentuale di tempo in cui le aule NON rientrano negli intervalli indicati nella EN 16798

■ Percentuale di tempo in cui le aule rientrano negli intervalli indicati nella EN 16798

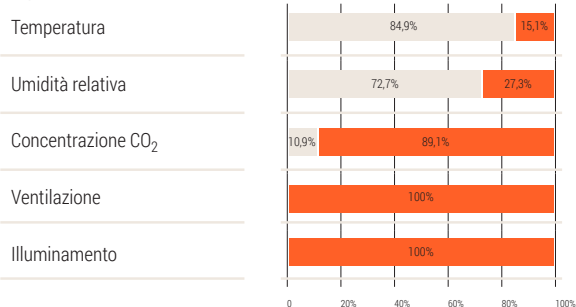
3A



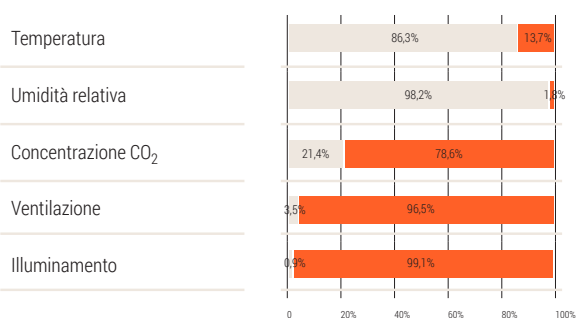
3B



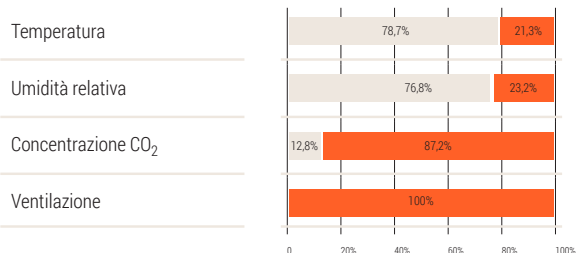
3C



4B



4C



parte III

IL QUESTIONARIO: VALUTAZIONE SOGGETTIVA

La soddisfazione, le preferenze e le azioni messe in pratica dagli studenti



SODDISFAZIONE



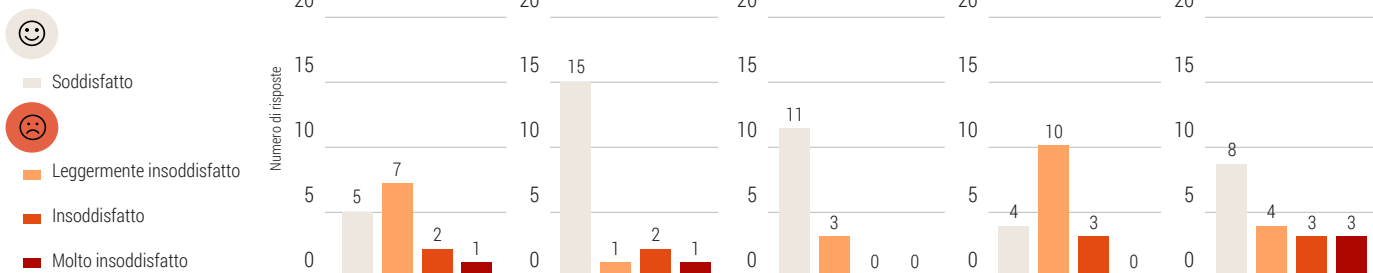
Soddisfazione degli studenti per l'ambiente interno durante l'ultima ora di lezione.

- Facendo riferimento all'ultima ora, ti ritieni soddisfatto/a delle condizioni termiche dell'aula?



CONDIZIONI

Classe	3A	3B	3C	4B	4C
Studenti intervistati	15	18	14	17	18
Genere	8 maschi 7 femmine	6 maschi 12 femmine	11 maschi 3 femmine	7 maschi 10 femmine	9 maschi 9 femmine
Affollamento	0,30 studenti/m ²	0,19 studenti/m ²	0,23 studenti/m ²	0,35 studenti/m ²	0,31 studenti/m ²
Finestre	2 chiuse 1 aperta	tutte chiuse	2 chiuse 1 parz. aperta	chiuse 1 anta parz. aperta	chiuse 1 anta aperta
Schermature	abbassate	parz. abbassate	parz. abbassate	sollevate	abbassate
Porta	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa
Luci	accese	accese	accese	accese	metà accese
Temperatura aria [°C]	23,8	23,0	20,8	21,9	20,7
Temperatura media radiante [°C]	23,8	23,1	21,1	22,0	20,7
Umidità Relativa [%]	42,2	43,2	46,2	45,2	48,6
CO ₂ [ppm]	1.274	1.322	1.121	1.329	1.436
Rumore [dB (A)]	66,1	64,0	70,1	65,0	59,9



NOTE

Classi con più soddisfatti (in grigio) che insoddisfatti: 3B e 3C.
Classi con più insoddisfatti (in rosso) che soddisfatti: 3A, 4B e 4C.

Le classi con percentuale maggiore di soddisfatti sono le classi più grandi, esposte a Est e con indice di affollamento minore compreso tra 0,19 e 0,22 studenti/m².

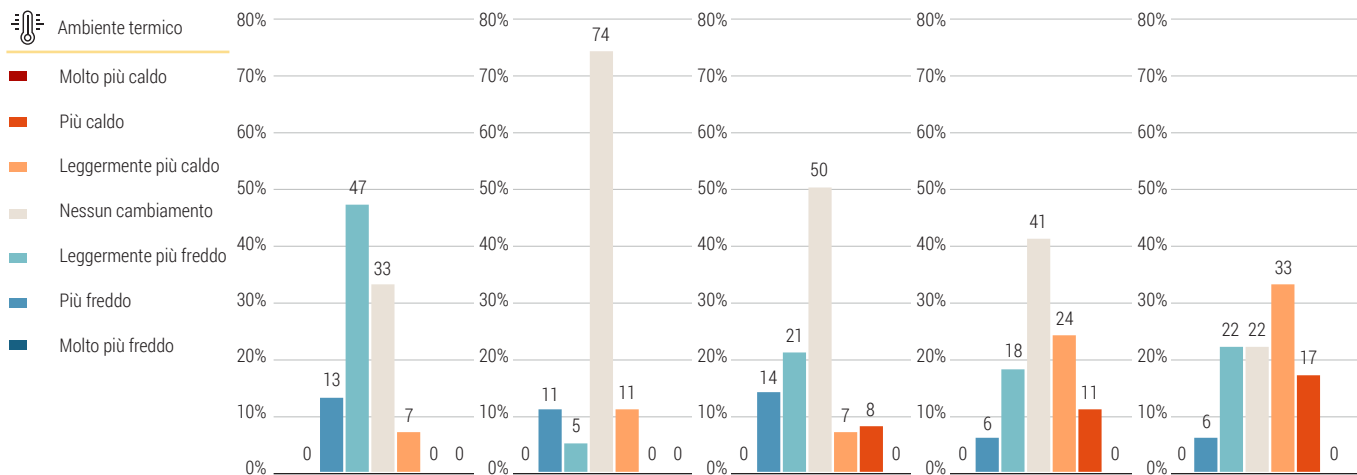
Le classi con percentuale maggiore di insoddisfatti hanno indice di affollamento più grande compreso tra 0,3 e 0,35 studenti/m².

PREFERENZA NEL MOMENTO

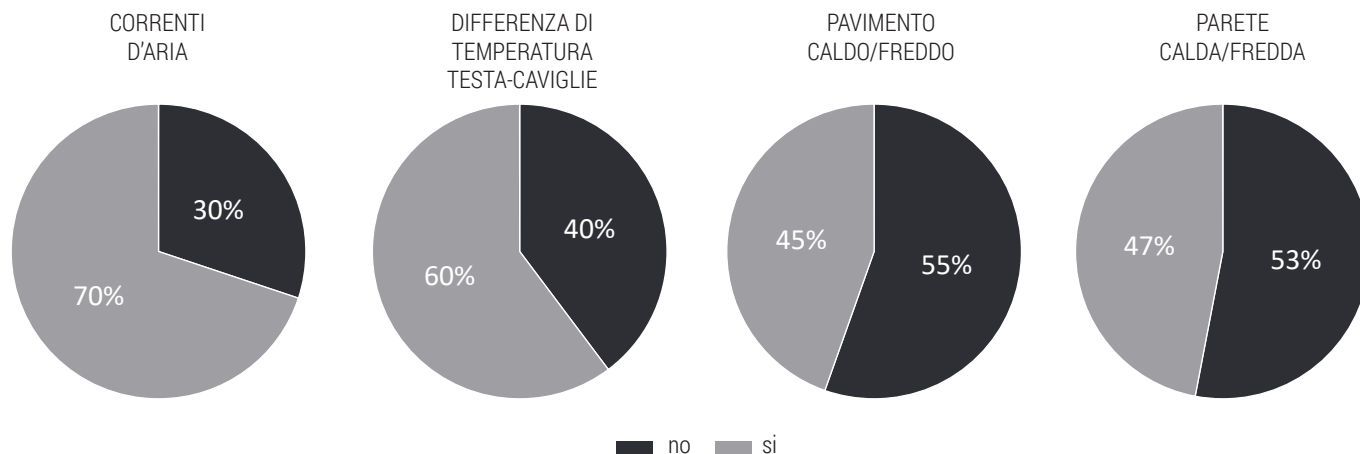


In riferimento alle condizioni ambientali medie durante la somministrazione del questionario.

- Come ti vorresti sentire in questo momento?



- Percepisci ulteriori elementi di disturbo?



Studenti intervistati: 82

NOTE

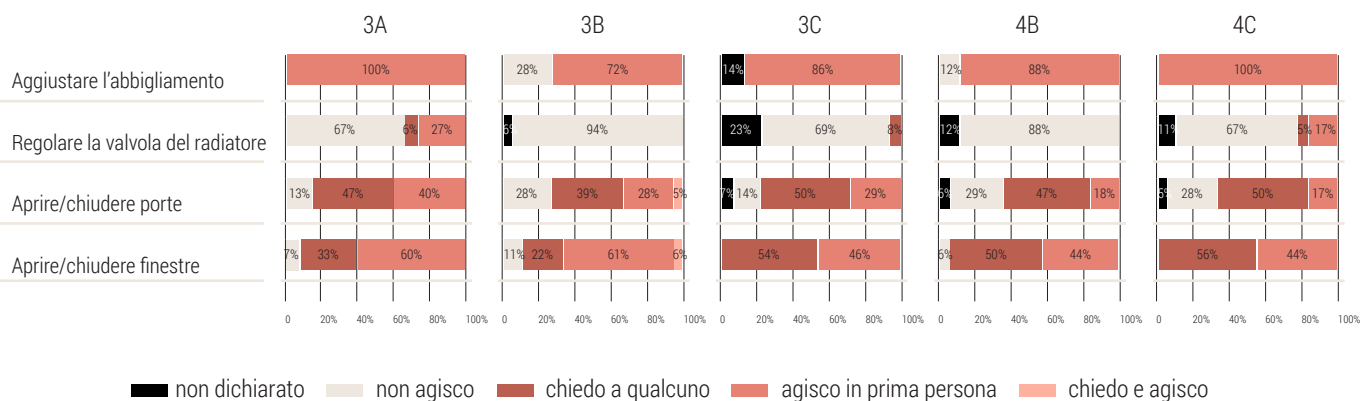
Le classi con la maggiore percentuale di studenti che non chiedono cambiamenti sono le classi più grandi, cioè 3B e 3C.

In 3A, la maggior parte degli studenti vorrebbe leggermente più freddo, mentre in 4B e in 4C (aule dell'ala nuova), la maggior parte di coloro che chiedono un cambiamento vorrebbero più caldo. 3A e 4C sono le classi con la percentuale maggiore di studenti che esprimono una preferenza di cambiamento: in 3A hanno caldo e in 4C hanno freddo.



Quali azioni mettono in pratica gli studenti per migliorare il loro comfort?

- In generale, quando percepisci discomfort, quali azioni metti in pratica?



NOTE

Per ripristinare le condizioni di benessere termico la maggioranza degli studenti interviene aggustando il proprio abbigliamento e agendo sulle finestre sia di propria iniziativa, sia chiedendo l'aiuto dei compagni. I più attivi nell'intervenire sulle finestre sono i ragazzi della 3C e 4C.

Anche l'apertura della porta è una pratica utilizzata soprattutto in 3A, seguita dalla 3C e 3B. In quasi tutte le classi non si interviene sul sistema di regolazione dell'impianto.

NOTE DI LETTURA SULLA VALUTAZIONE SOGGETTIVA DELL'AMBIENTE TERMICO

La soddisfazione per la parte termica viene espressa su una scala a 4 valori (soddisfatto, leggermente insoddisfatto, insoddisfatto, molto insoddisfatto). La domanda indaga la condizione di soddisfazione globale per l'ambiente termico nell'ultima ora di lezione per evidenziare la risposta soggettiva durante le condizioni tipiche di utilizzo della classe. La soddisfazione termica è influenzata da molti fattori quali adeguate temperatura, umidità e velocità dell'aria, così come una adeguata temperatura delle superfici che racchiudono l'ambiente.

La preferenza viene invece espressa su una scala bipolare a 7 valori (da molto più freddo a molto più caldo). Diversamente dalla soddisfazione, rivela l'origine del disagio esplicitando la direzione del cambiamento in relazione alla percezione globale della condizione termica nel momento in cui il soggetto risponde.

Gli elementi di disturbo non influiscono sul comfort globale (cioè sulla sensazione termica determinata dal bilancio termico del corpo umano) ma determinano un disagio termico localizzato.

L'insoddisfazione o il disagio legati alla sensazione termica inducono gli occupanti ad intervenire per ripristinare le condizioni di benessere. È stato chiesto agli studenti di indicare le azioni che normalmente mettono in atto, elencando gli interventi più accessibili per uno studente, come l'aggiustamento dell'abbigliamento (indossare o togliere una felpa), l'apertura di finestre e porte per favorire l'ingresso di aria a temperatura migliore rispetto a quella interna o per aumentare la velocità dell'aria, o infine l'intervento sull'impianto di riscaldamento attraverso la chiusura delle valvole dei radiatori. Con questa domanda è stato possibile non solo verificare che le azioni fossero messe in pratica ma anche valutare l'autonomia degli studenti stessi nell'agire, nella prospettiva di proporre modifiche comportamentali che richiedono un coinvolgimento diretto e consapevole.

SODDISFAZIONE



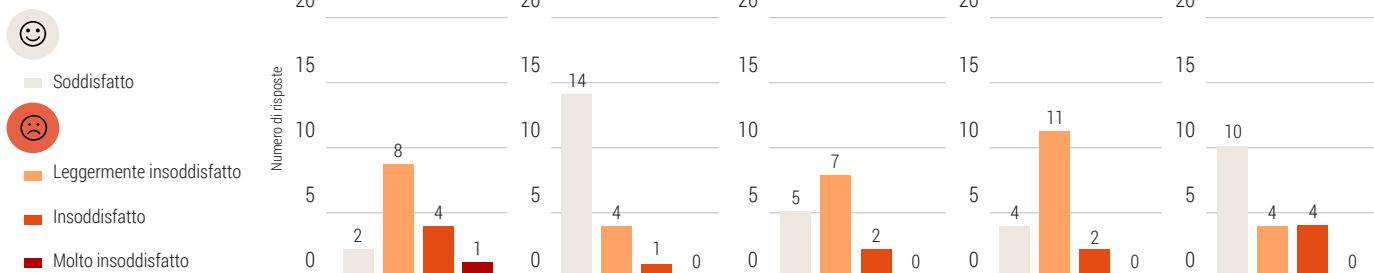
Soddisfazione degli studenti per l'ambiente interno durante l'ultima ora di lezione.

- **Facendo riferimento all'ultima ora, ti ritieni soddisfatto/a della qualità dell'aria dell'aula?**



CONDIZIONI

Classe	3A	3B	3C	4B	4C
Studenti intervistati	15	18	14	17	18
Genere	8 maschi 7 femmine	6 maschi 12 femmine	11 maschi 3 femmine	7 maschi 10 femmine	9 maschi 9 femmine
Affollamento	0,30 studenti/m ²	0,19 studenti/m ²	0,23 studenti/m ²	0,35 studenti/m ²	0,31 studenti/m ²
Finestre	2 chiuse 1 aperta	tutte chiuse	2 chiuse 1 parz. aperta	chiuse 1 anta parz. aperta	chiuse 1 anta aperta
Schermature	abbassate	parz. abbassate	parz. abbassate	sollevate	abbassate
Porta	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa
Luci	accese	accese	accese	accese	metà accese
Temperatura aria [°C]	23,8	23,0	20,8	21,9	20,7
Temperatura media radiante [°C]	23,8	23,1	21,1	22,0	20,7
Umidità Relativa [%]	42,2	43,2	46,2	45,2	48,6
CO ₂ [ppm]	1.274	1.322	1.121	1.329	1.436
Rumore [dB (A)]	66,1	64,0	70,1	65,0	59,9



NOTE

Classi con più soddisfatti (in grigio) che insoddisfatti: 3B e 4C.
Classi con più insoddisfatti (in rosso) che soddisfatti: 3A, 4B e 3C.

La classe con la percentuale maggiore di soddisfatti (3B) ha l'indice di affollamento più basso tra le cinque classi (0,19 studenti/m²).

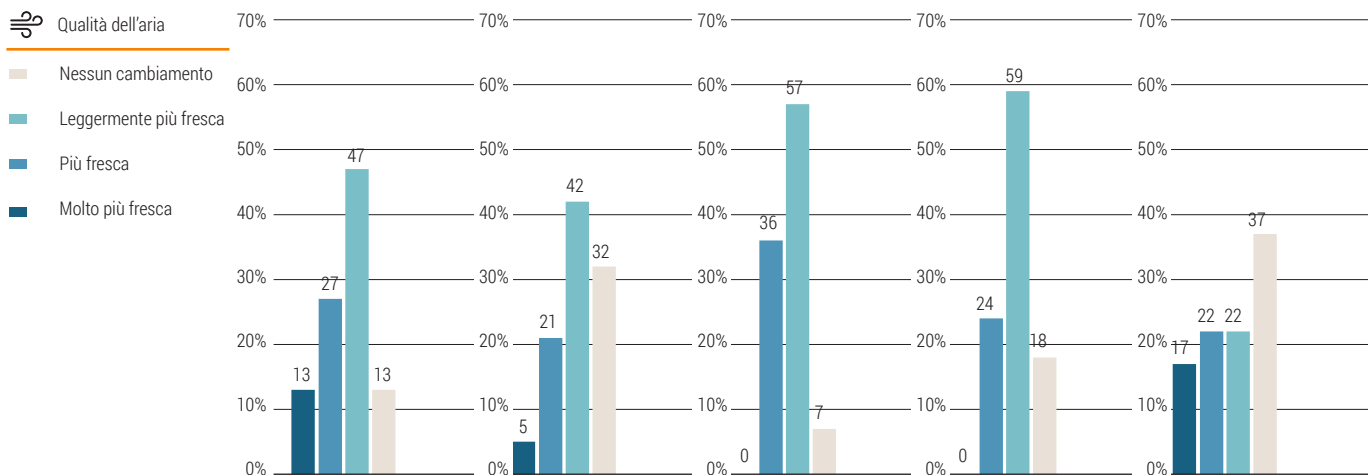
Due delle classi con percentuale maggiore di insoddisfatti (3A e 4B) presentano l'indice di affollamento più alto (tra 0,3 e 0,35 studenti/m²). Gli studenti di queste classi dichiarano di essere insoddisfatti anche dell'ambiente termico.

PREFERENZA NEL MOMENTO

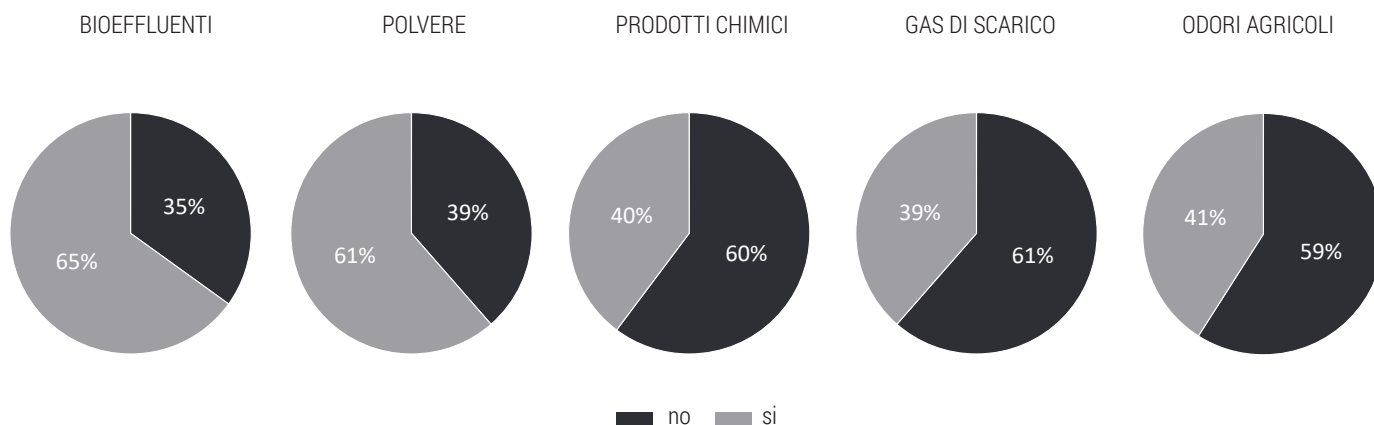


In riferimento alle condizioni ambientali medie durante la somministrazione del questionario.

- Come vorresti l'aria in questo momento?



- Percepisci ulteriori elementi di disturbo?



Studenti intervistati: 82

NOTE

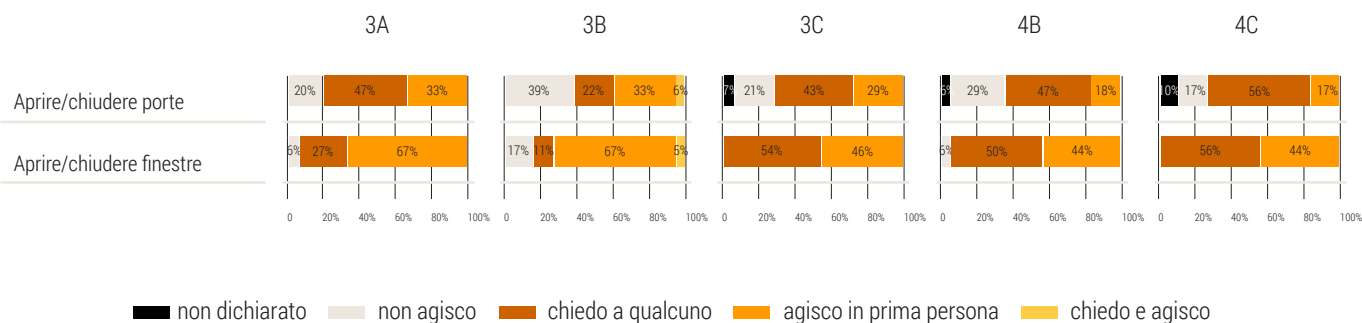
In tutte le classi emerge l'esigenza di avere aria più fresca.

Le classi che lo richiedono di più sono 3C, 3A e 4B, ma anche in 3B e 4C chi esprime una preferenza di aria più fresca rappresenta più del 50% degli studenti.



Quali azioni mettono in pratica gli studenti per migliorare il loro comfort?

- In generale, quando percepisci discomfort, quali azioni metti in pratica?



NOTE

Per migliorare la qualità dell'aria, in tutte le classi, gli studenti dichiarano di intervenire anzitutto sull'apertura delle finestre: in 3C e 4C il 100% degli studenti dichiara di agire in prima persona o chiedendo ai compagni, ma anche nelle altre classi la percentuale dei ragazzi che si fanno promotori del ricambio dell'aria raggiunge o sfiora il 95%.

Anche l'apertura della porta, seppur in modo minore, è un'azione praticata per migliorare la qualità dell'aria nell'aula.

NOTE DI LETTURA SULLA VALUTAZIONE SOGGETTIVA DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

La soddisfazione per la qualità dell'aria viene espressa su una scala a 4 valori (soddisfatto, leggermente insoddisfatto, insoddisfatto, molto insoddisfatto). La domanda indaga la condizione di soddisfazione globale per la qualità dell'aria nell'ultima ora di lezione per evidenziare la risposta soggettiva durante le condizioni tipiche di utilizzo della classe. L'insoddisfazione per la qualità dell'aria può essere causata dalla sensazione di aria viziata o dalla presenza di odori sgraditi.

La preferenza viene espressa su una scala unipolare a 4 valori (da nessun cambiamento a molto più fresca) e rivela l'entità del disagio esplicitando la preferenza di cambiamento della condizione interna nel momento in cui il soggetto risponde.

Infine si è chiesto agli studenti di elencare elementi più specifici di disturbo intesi come odori o particolato percepiti come fastidiosi, alcuni legati ad inquinanti interni (bioeffluenti, polveri, prodotti chimici) ed altri causati da inquinanti esterni (gas di scarico, odori agricoli).

Le interazioni causate dall'insoddisfazione per la qualità dell'aria che gli studenti normalmente mettono in atto possono essere solamente l'apertura di finestre e porte per favorire l'ingresso di aria esterna. Con questa domanda si è voluto anche valutare l'autonomia degli studenti stessi nell'agire, nella prospettiva di proporre modifiche comportamentali che richiedono un coinvolgimento diretto e consapevole.

SODDISFAZIONE



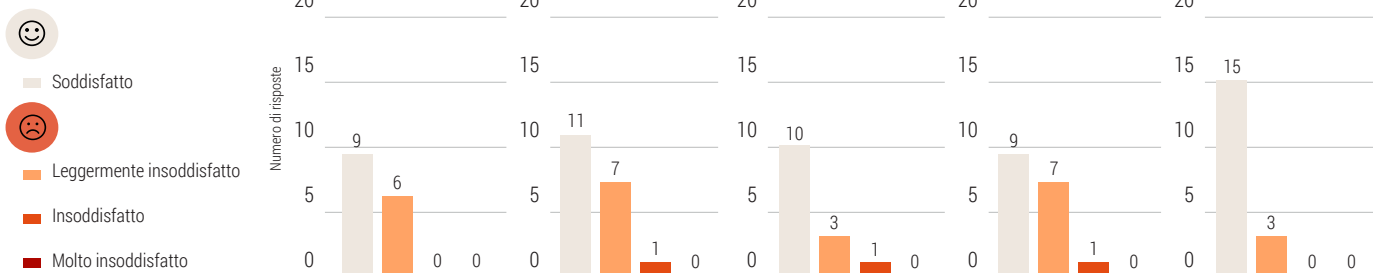
Soddisfazione degli studenti per l'ambiente interno durante l'ultima ora di lezione.

- Facendo riferimento all'ultima ora, ti ritieni soddisfatto/a delle condizioni visive dell'aula?



CONDIZIONI

Classe	3A	3B	3C	4B	4C
Studenti intervistati	15	18	14	17	18
Genere	8 maschi 7 femmine	6 maschi 12 femmine	11 maschi 3 femmine	7 maschi 10 femmine	9 maschi 9 femmine
Affollamento	0,30 studenti/m ²	0,19 studenti/m ²	0,23 studenti/m ²	0,35 studenti/m ²	0,31 studenti/m ²
Finestre	2 chiuse 1 aperta	tutte chiuse	2 chiuse 1 parz. aperta	chiuse 1 anta parz. aperta	chiuse 1 anta aperta
Schermature	abbassate	parz. abbassate	parz. abbassate	sollevate	abbassate
Porta	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa
Luci	accese	accese	accese	accese	metà accese
Temperatura aria [°C]	23,8	23,0	20,8	21,9	20,7
Temperatura media radiante [°C]	23,8	23,1	21,1	22,0	20,7
Umidità Relativa [%]	42,2	43,2	46,2	45,2	48,6
CO ₂ [ppm]	1.274	1.322	1.121	1.329	1.436
Rumore [dB (A)]	66,1	64,0	70,1	65,0	59,9



NOTE

Classi con maggiore percentuale di soddisfatti (grigio): 4C e 3C.
Classi con minore percentuale di soddisfatti: 4B, 3B e 3A.

In tutte le classi la percentuale di soddisfatti è maggiore rispetto a quella degli insoddisfatti.

Le classi con percentuale più alta di soddisfatti sono 4C e 3C che sono entrambe esposte a est.

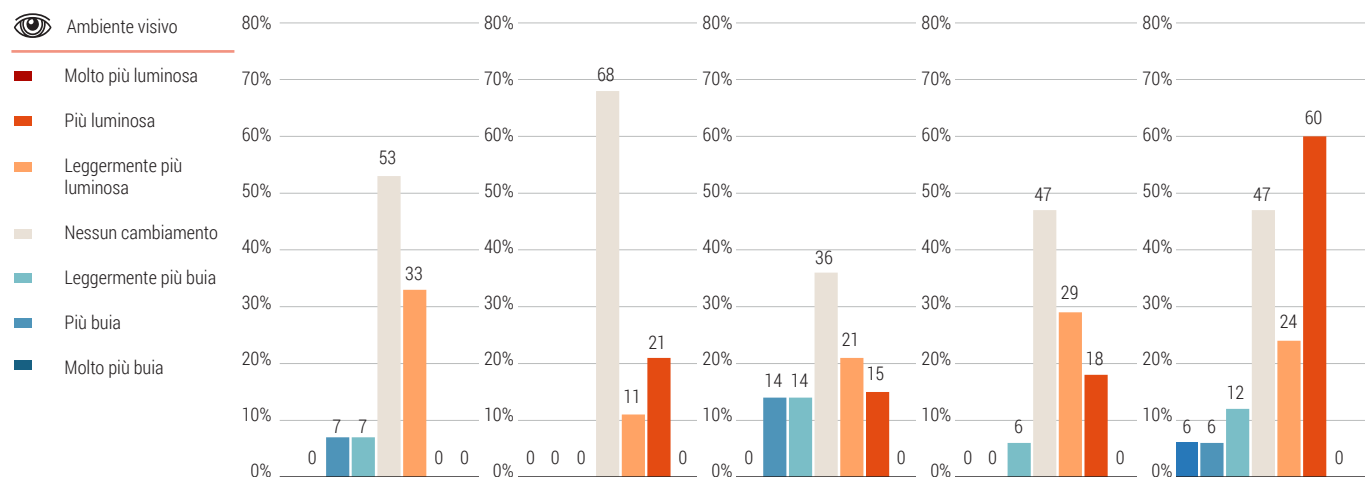
La classe meno soddisfatta è la 4B, seguita da 3B: la prima è esposta a ovest, mentre nella seconda gli studenti volgono le spalle alle finestre.

PREFERENZA NEL MOMENTO

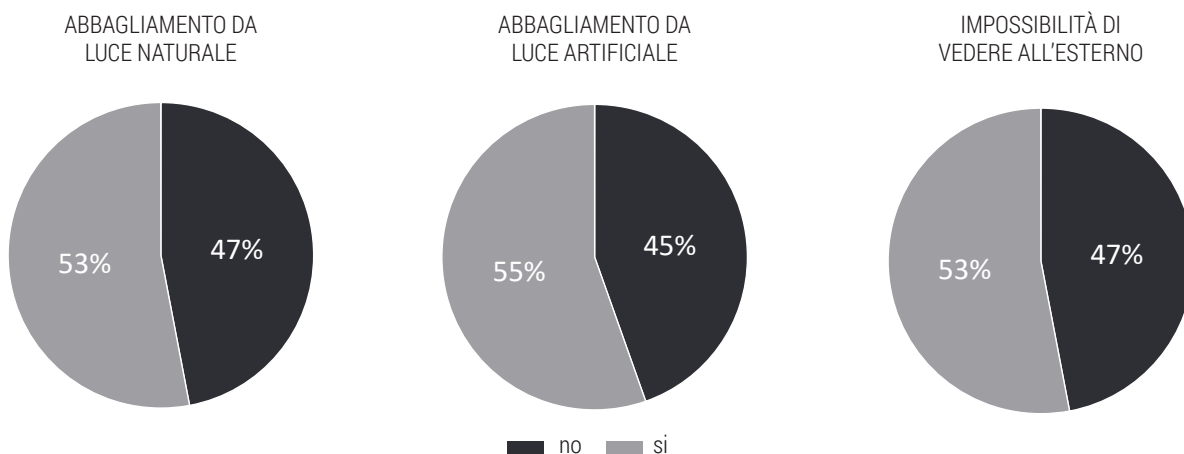


In riferimento alle condizioni ambientali medie durante la somministrazione del questionario.

- Come vorresti l'aula in questo momento?



- Percepisci ulteriori elementi di disturbo?



Studenti intervistati: 82

NOTE

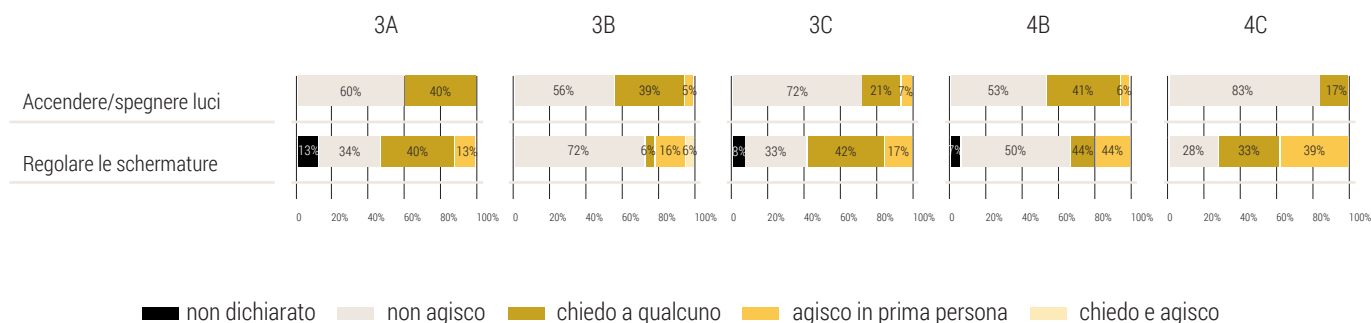
Le classi 3B e 3A riportano la maggior percentuale di studenti che sono contenti per l'ambiente visivo e non vorrebbero cambiamenti nella luminosità.

In 4B, nonostante le schermature fossero alzate, più del 50% degli studenti vorrebbe un ambiente più luminoso; in 4C e in 3C la maggior parte di chi esprime una preferenza vorrebbe un ambiente più luminoso.



Quali azioni mettono in pratica gli studenti per migliorare il loro comfort?

- In generale, quando percepisci discomfort, quali azioni metti in pratica?



NOTE

Gli studenti agiscono principalmente regolando l'ingresso della luce per mezzo delle schermature soprattutto in 4C, in 3C e in 3A.

In tutte le classi meno del 50% degli studenti dichiara di intervenire sull'illuminazione artificiale e di questi la maggior parte dichiara di chiedere aiuto ai compagni.

NOTE DI LETTURA SULLA VALUTAZIONE SOGGETTIVA DELL'AMBIENTE VISIVO

La soddisfazione per l'ambiente visivo viene espressa su una scala a 4 valori (soddisfatto, leggermente insoddisfatto, insoddisfatto, molto insoddisfatto). La domanda indaga la soddisfazione globale per l'ambiente visivo nell'ultima ora di lezione per evidenziare la risposta soggettiva nelle condizioni tipiche di utilizzo della classe. La soddisfazione visiva è influenzata da fattori quali il corretto illuminamento e l'assenza di abbagliamento.

La preferenza viene espressa su una scala bipolare a 7 valori (da molto più buia a molto più luminosa). Rispetto alla domanda di soddisfazione, la preferenza permette di stabilire l'origine del discomfort e valuta più specificamente la situazione del momento in cui il soggetto risponde.

Si è dunque chiesto agli studenti di elencare gli elementi di disturbo che non dipendono dalla luminosità generale dell'ambiente ma che determinano un disagio specifico, quale l'abbagliamento diretto o riflesso dovuto alla luce del sole o alla luce artificiale, e come il fastidio che può provocare l'ostruzione della vista verso l'esterno, cosa che accade nelle classi dove gli studenti volgono le spalle alle finestre.

È stato infine chiesto di riportare le azioni normalmente adottate per ripristinare le condizioni di confort visivi, come la chiusura e l'apertura delle schermature, oppure l'accensione o lo spegnimento delle luci. Con questa domanda è stato possibile non solo verificare che le azioni fossero messe in pratica ma anche valutare l'autonomia degli studenti stessi nell'agire, nella prospettiva di proporre modifiche comportamentali che richiedono un coinvolgimento diretto e consapevole.

SODDISFAZIONE



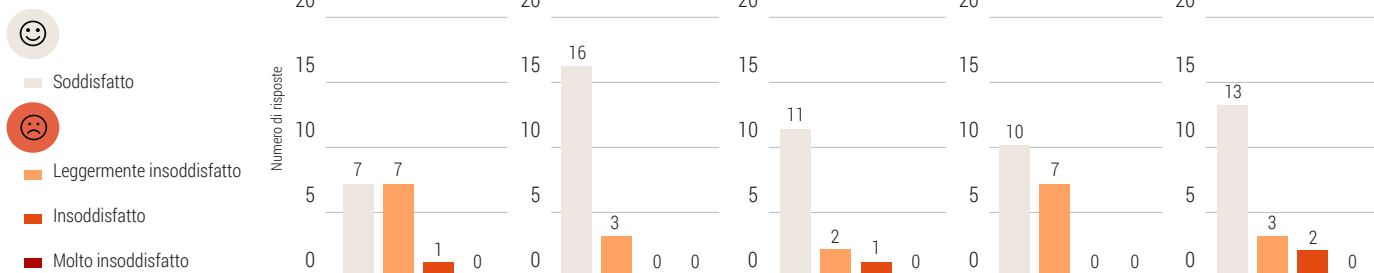
Soddisfazione degli studenti per l'ambiente interno durante l'ultima ora di lezione.

- Facendo riferimento all'ultima ora, ti ritieni soddisfatto/a delle condizioni acustiche dell'aula?



CONDIZIONI

Classe	3A	3B	3C	4B	4C
Studenti intervistati	15	18	14	17	18
Genere	8 maschi 7 femmine	6 maschi 12 femmine	11 maschi 3 femmine	7 maschi 10 femmine	9 maschi 9 femmine
Affollamento	0,30 studenti/m ²	0,19 studenti/m ²	0,23 studenti/m ²	0,35 studenti/m ²	0,31 studenti/m ²
Finestre	2 chiuse 1 aperta	tutte chiuse	2 chiuse 1 parz. aperta	chiuse 1 anta parz. aperta	chiuse 1 anta aperta
Schermature	abbassate	parz. abbassate	parz. abbassate	sollevate	abbassate
Porta	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa	chiusa
Luci	accese	accese	accese	accese	metà accese
Temperatura aria [°C]	23,8	23,0	20,8	21,9	20,7
Temperatura media radiante [°C]	23,8	23,1	21,1	22,0	20,7
Umidità Relativa [%]	42,2	43,2	46,2	45,2	48,6
CO ₂ [ppm]	1.274	1.322	1.121	1.329	1.436
Rumore [dB (A)]	66,1	64,0	70,1	65,0	59,9



NOTE

Classi con più soddisfatti (in grigio): 3B e 3C.

Classi con più insoddisfatti (in rosso): 3A, 4B e 4C.

La percentuale di soddisfatti è maggiore rispetto a quella degli insoddisfatti in tutte le classi ad eccezione della 3A in cui i soddisfatti sono il 47%.

3B, 3C e 4C hanno l'affaccio sul piazzale della scuola, (orientamento est, nord-est), mentre 3A e 4B si affacciano a ovest.

3B e 3C hanno indice di affollamento minore (0,19 studenti/m²).

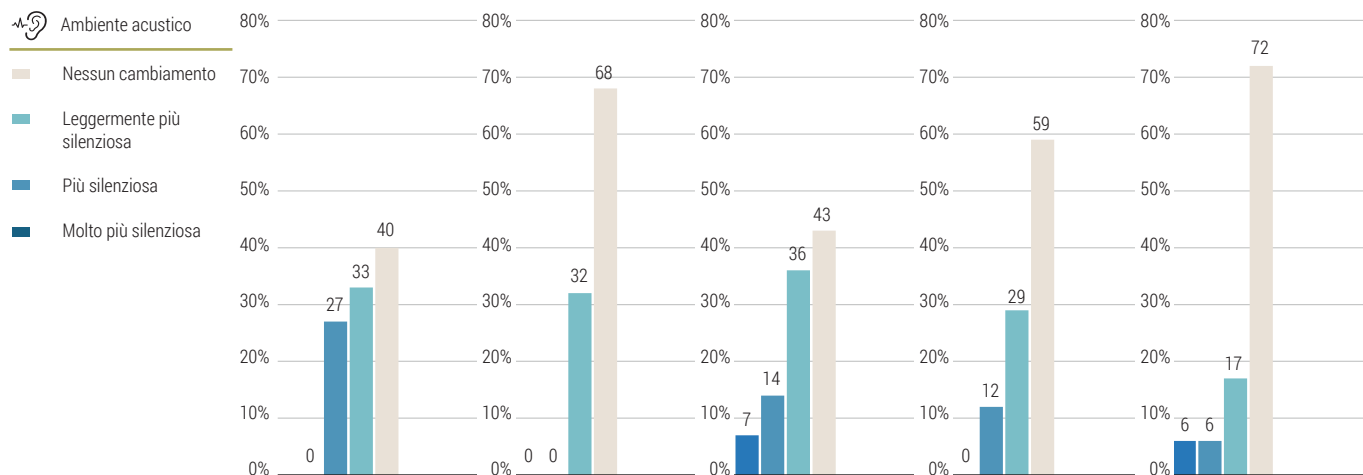
La 3B è la classe con il maggiore volume.

PREFERENZA NEL MOMENTO

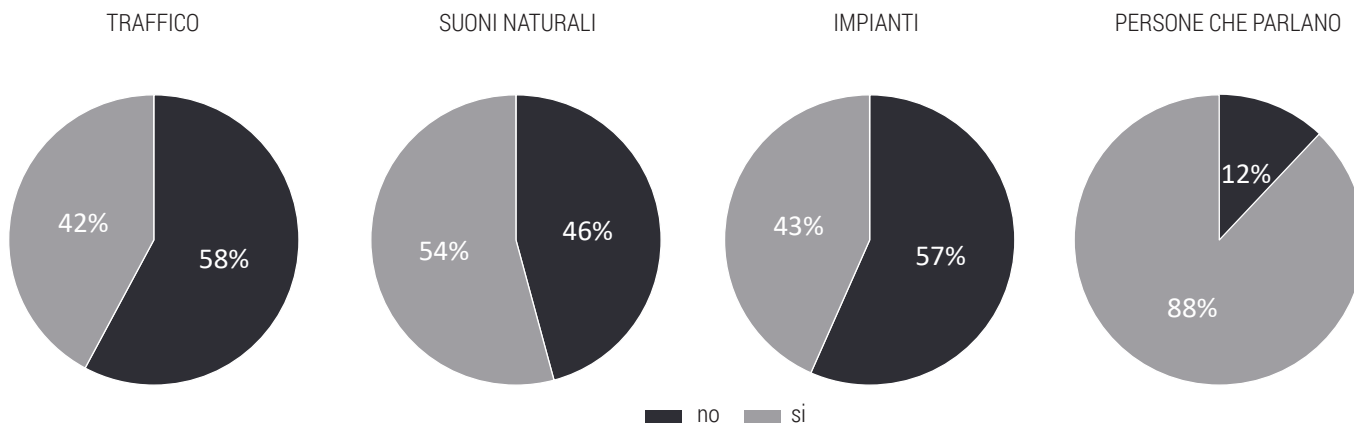


In riferimento alle condizioni ambientali medie durante la somministrazione del questionario.

- Come vorresti l'aula in questo momento?



- Percepisci ulteriori elementi di disturbo?



Studenti intervistati: 82

NOTE

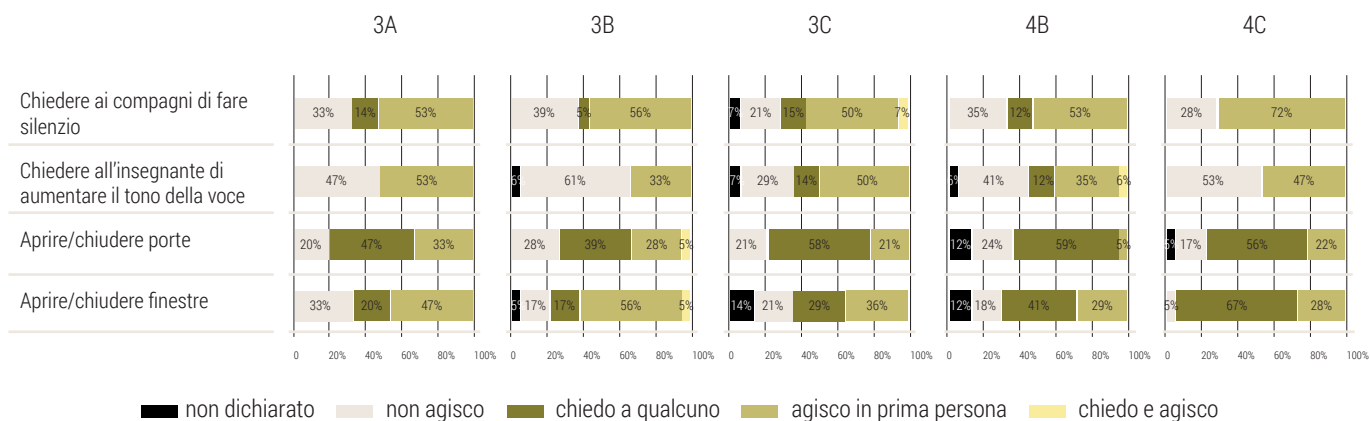
Le classi con la maggior percentuale di studenti contenti per l'ambiente acustico sono 4C e 3B dove chi vorrebbe un ambiente meno rumoroso è rispettivamente poco meno e poco più del 30%.

La percentuale aumenta in 4B dove poco più del 40% degli studenti preferirebbe un ambiente meno rumoroso. Le classi con più studenti scontenti per l'ambiente acustico sono 3A e 3C.



Quali azioni mettono in pratica gli studenti per migliorare il loro comfort?

- In generale, quando percepisci discomfort, quali azioni metti in pratica?



non dichiarato
 non agisco
 chiedo a qualcuno
 agisco in prima persona
 chiedo e agisco

NOTE

Gli studenti intervengono soprattutto su finestre e porte. In 4C è il 95% degli studenti a farsi promotore della regolazione delle finestre per migliorare l'ambiente acustico. Mentre in 3A si agisce di più sulla chiusura della porta.

Una terza azione compiuta è la richiesta di fare silenzio ai compagni perseguita da più del 70% degli studenti in 4C, mentre la richiesta all'insegnante di alzare il tono di voce è una pratica perseguita approssimativamente dalla metà degli studenti.

NOTE DI LETTURA SULLA VALUTAZIONE SOGGETTIVA DELL'AMBIENTE ACUSTICO

La soddisfazione viene espressa su una scala a 4 valori (soddisfatto, leggermente insoddisfatto, insoddisfatto, molto insoddisfatto). La domanda indaga la condizione di soddisfazione globale per l'ambiente acustico nell'ultima ora di lezione in modo da considerare le condizioni tipiche di utilizzo della classe non limitandole alla situazione del momento in cui si risponde. L'insoddisfazione per l'ambiente acustico può insorgere quando si ha difficoltà nel distinguere le parole dell'insegnante, a comunicare o ad eseguire un compito a causa della presenza di rumori.

La preferenza viene espressa su una scala unipolare a 4 valori (da nessun cambiamento a molto più silenziosa) e rileva l'entità del disagio rispetto alla condizione nel momento in cui il soggetto risponde.

Infine si è chiesto agli studenti di elencare elementi specifici di disturbo intesi come cause del rumore, come possono essere le voci di persone che parlano in classe, nel corridoio, o all'esterno della scuola, oppure il rumore causato dal traffico stradale o da suoni naturali che provengono dall'esterno o infine il rumore legato al funzionamento degli impianti, tipico dei sistemi di climatizzazione ad aria che implicano la movimentazione dell'aria con l'uso di ventilatori.

Il discomfort acustico può originare azioni da parte degli occupanti. Quelle che possono essere fatte per migliorare la qualità acustica dell'ambiente sono la chiusura di finestre e porte per evitare l'ingresso dei rumori dall'esterno, oppure l'eliminazione della sorgente di rumore attraverso la richiesta di fare silenzio ai compagni, oppure ancora la richiesta all'insegnante di alzare il tono della voce. La domanda ha cercato anche di evidenziare l'autonomia degli studenti stessi nell'agire, nella prospettiva di proporre modifiche comportamentali che richiedono un coinvolgimento diretto e consapevole.

parte IV

IL MONITORAGGIO: VALUTAZIONE OGGETTIVA

I dati ambientali misurati



MONITORAGGIO AULE



La valutazione oggettiva.

- Temperatura

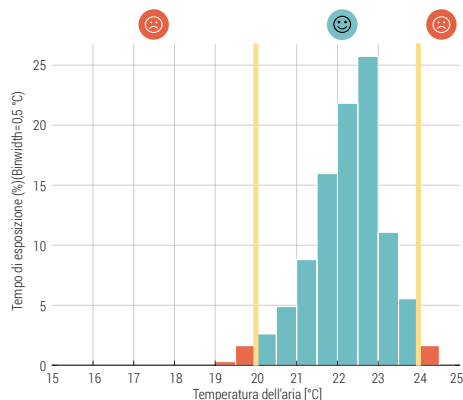
NOTE

Per il periodo invernale, i valori di temperatura prescritti per le aule scolastiche, considerando attività sedentarie ed un livello medio di aspettativa, sono compresi fra 20 e 24°C.

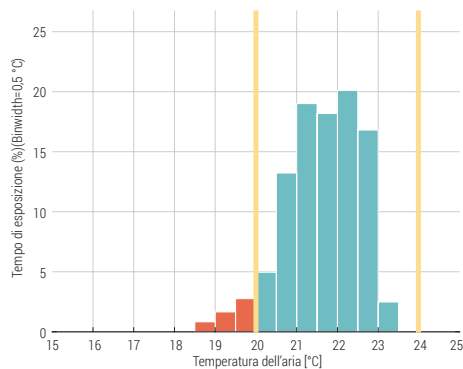
I valori misurati rientrano nel range suggerito per oltre l'80% circa del tempo di esposizione.

Le classi più fredde sono la 3C, la 4B e la 4C, tutte collocate nell'ala nuova. Nei giorni di monitoraggio si è verificato un guasto alla caldaia di questa porzione di edificio che giustifica per alcuni giorni le temperature più basse registrate nelle tre aule.

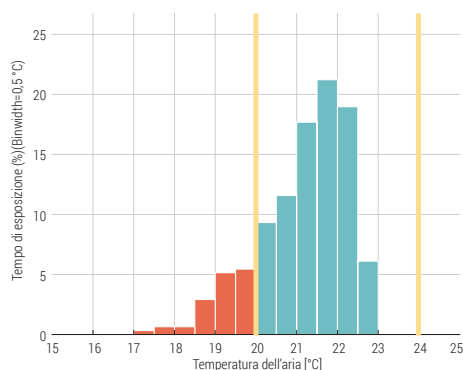
3A



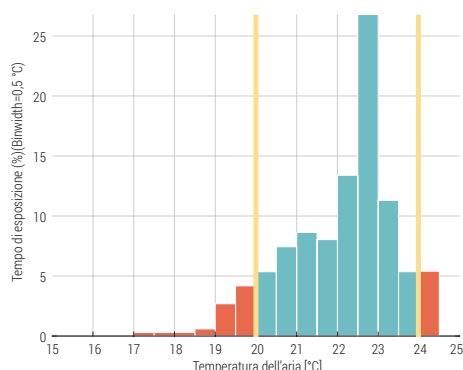
3B



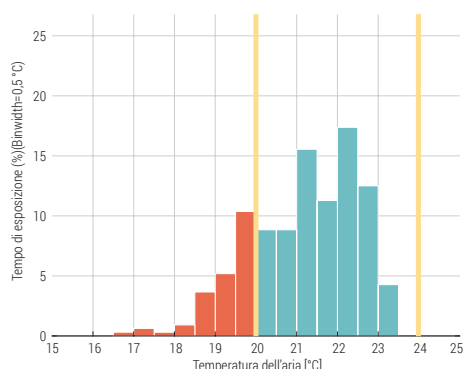
3C



4B



4C



MONITORAGGIO AULE



La valutazione oggettiva.

- Umidità relativa

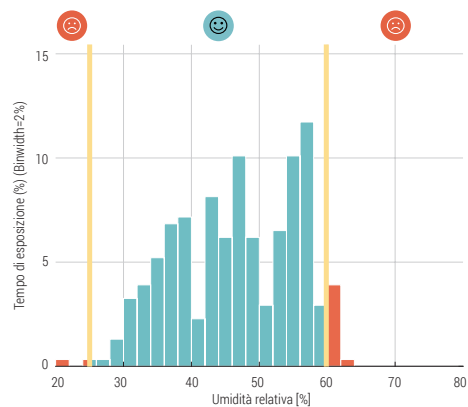
NOTE

L'intervallo di accettabilità dell'umidità relativa è compreso fra il 25% ed il 60%.

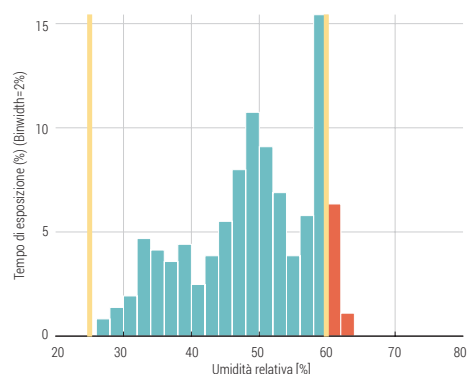
La distribuzione delle umidità relative misurate mostra che, per tutte le classi, per oltre il 70% del tempo di esposizione l'umidità relativa è inclusa in questo intervallo.

Le aule che hanno manifestato più spesso valori sopra alla soglia del 60% sono la 3C e la 4C. L'unica strategia disponibile per evitare livelli di umidità eccessivi è la ventilazione naturale degli ambienti. Qualora per ragioni climatiche o contingenti, come nel caso di guasto dell'impianto di riscaldamento, non vi si faccia ricorso o quando il ricambio d'aria ottenuto non sia sufficiente, l'umidità può superare i valori indicati.

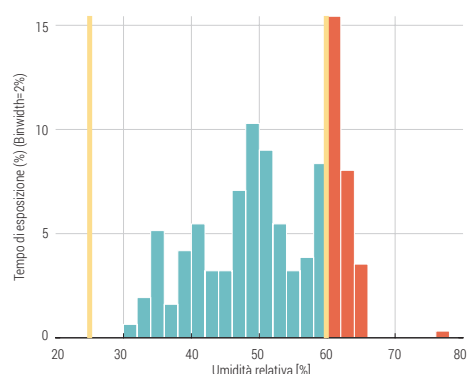
3A



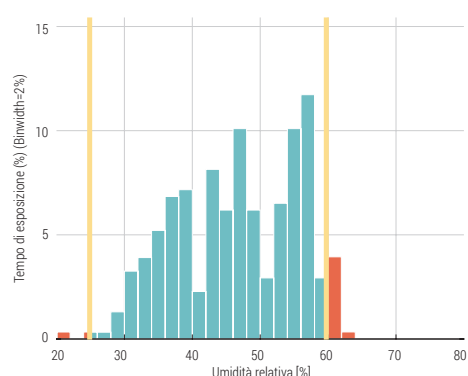
3B



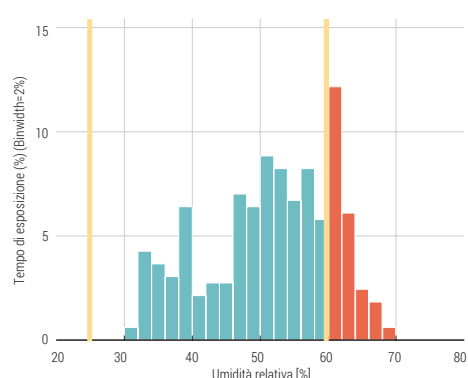
3C



4B



4C





La valutazione oggettiva.

- Concentrazione di CO₂

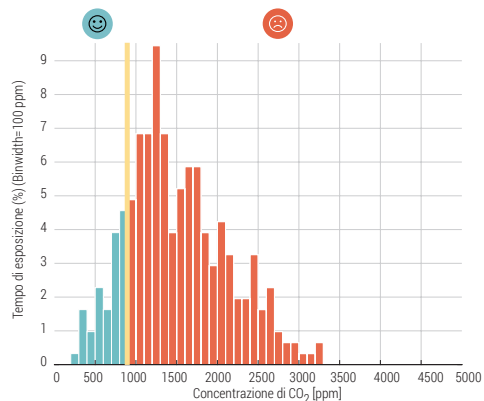
NOTE

Per quanto riguarda la concentrazione di CO₂, si può assumere un valore di riferimento massimo suggerito attorno ai 900 ppm (500 ppm sopra la concentrazione di CO₂ misurata in esterno).

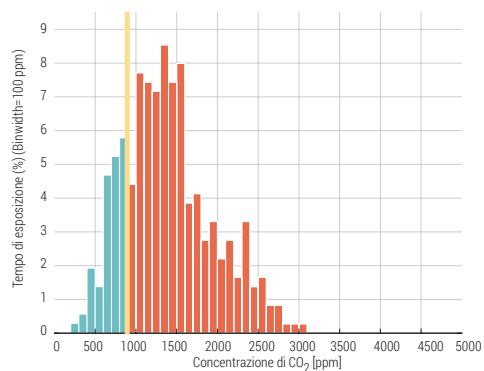
In tutte le 5 classi monitorate, tale soglia massima è superata per oltre l'80% del tempo.

Nelle classi 3A, 3B e 4B non si supera mai il valore di 3200 ppm, mentre nelle altre aule in qualche caso si arriva a superare anche valori di 4000 ppm. Anche in questo caso condizioni climatiche che disincentivano un adeguato ricorso alla ventilazione naturale, o nella fattispecie il fuori servizio del sistema di riscaldamento possono accentuare la problematica.

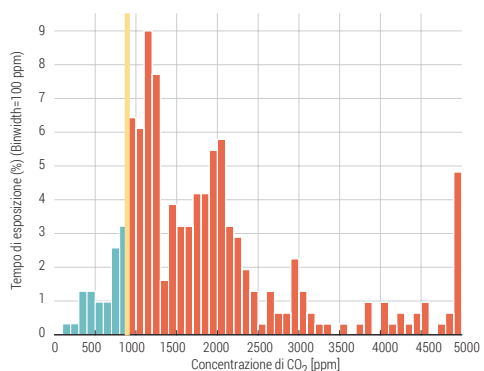
3A



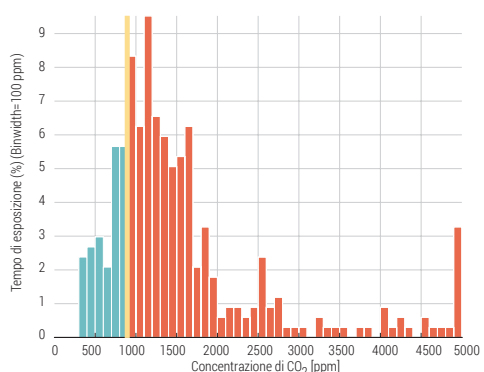
3B



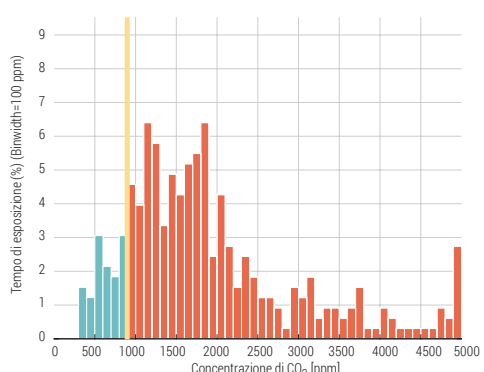
3C



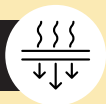
4B



4C



MONITORAGGIO AULE



La valutazione oggettiva.

- Ventilazione

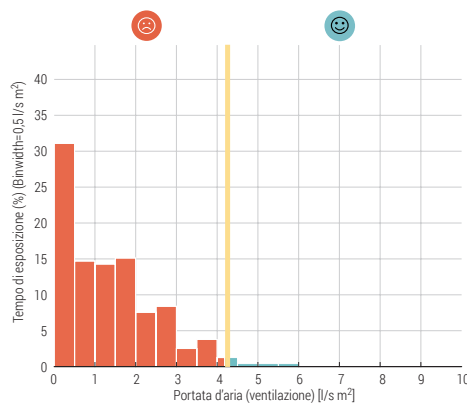
NOTE

Per aule scolastiche con un indice di affollamento di 2 m²/ persona, il valore di riferimento minimo per la ventilazione è 4,2 l/s m², nel caso di ambienti a basso carico inquinante.

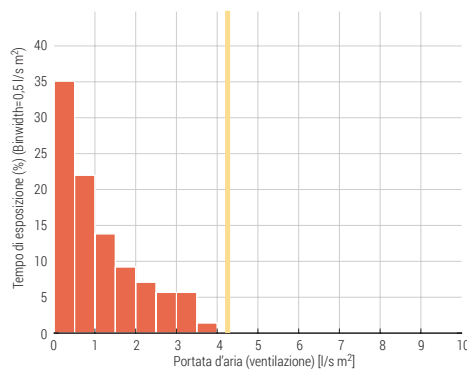
A partire dalla concentrazione di CO₂ misurata e dal numero di persone presenti in aula durante il periodo di monitoraggio, si sono potute stimare le portate di ventilazione, che risultano pertanto misurazioni indirette.

Per tutte le aule la portata di ventilazione registrata è sotto la soglia minima prescritta per oltre il 95% del tempo di esposizione, nonostante una frequente apertura delle finestre.

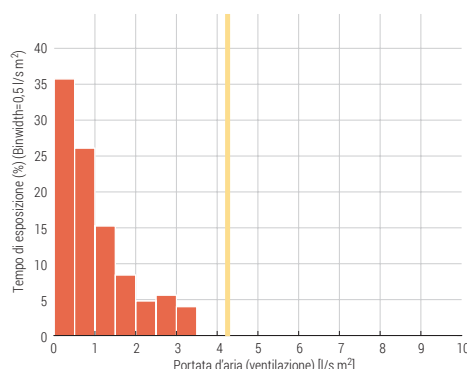
3A



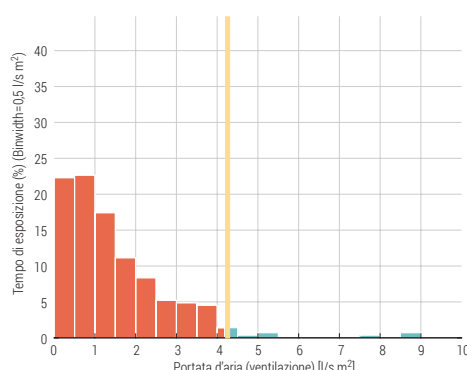
3B



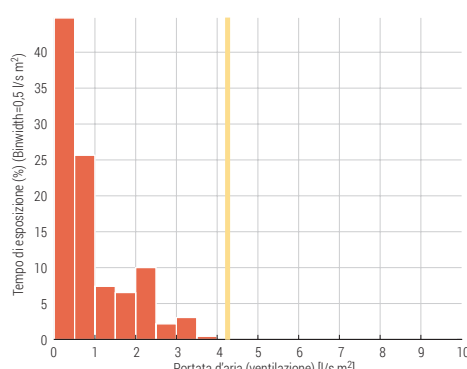
3C



4B



4C



MONITORAGGIO AULE



La valutazione oggettiva.

- Illuminamento

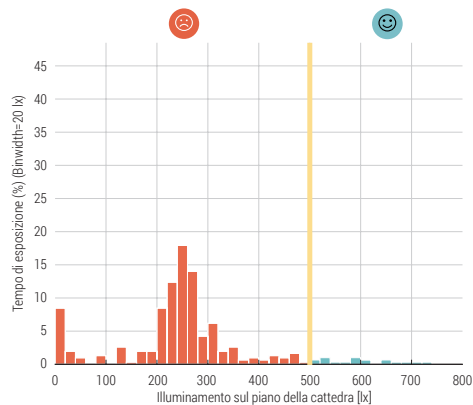
NOTE

Il valore di illuminamento minimo sul piano di lavoro per le aule scolastiche è fissato a 500 lx.

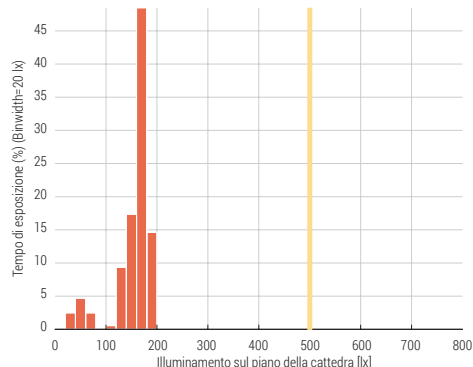
I valori misurati sono inferiori rispetto alla soglia minima per la quasi totalità del periodo monitorato, con una grande maggioranza di valori che si collocano sotto i 300 lx.

Le classi 3A e 4B, entrambe orientate a Ovest, mostrano valori più alti rispetto alle altre due aule.

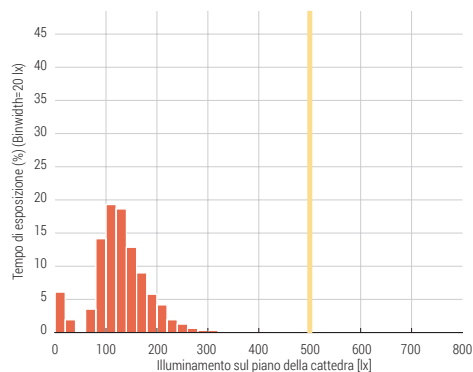
3A



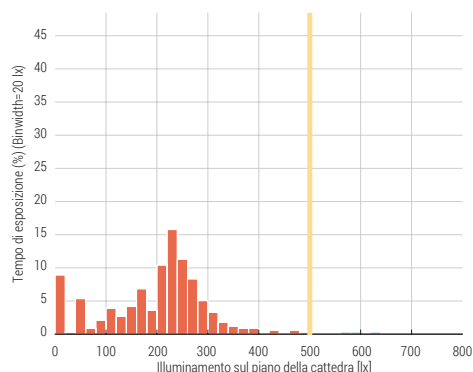
3B



3C



4B





Le azioni di gestione dell'aula.

- Frequenza delle azioni

NOTE

Apertura e chiusura delle finestre

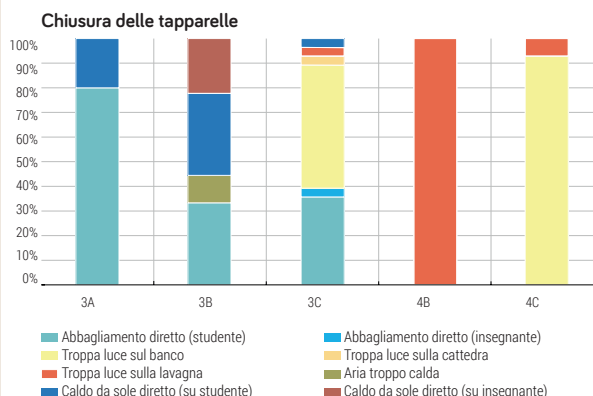
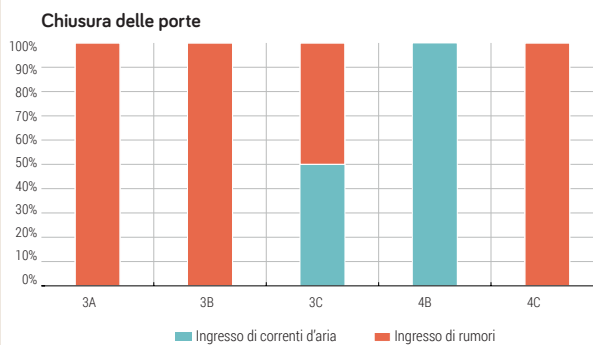
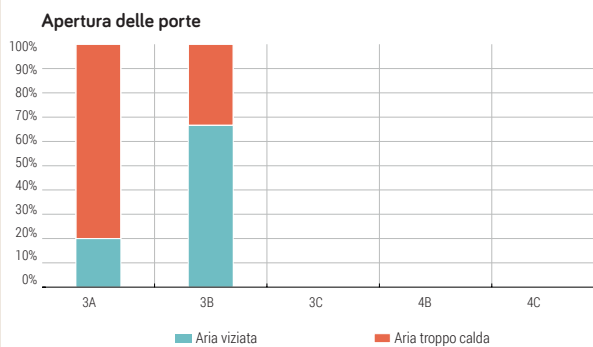
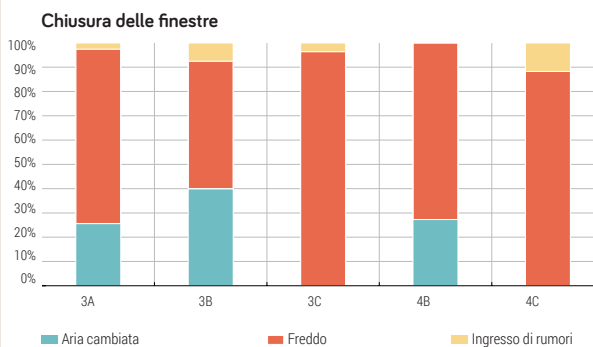
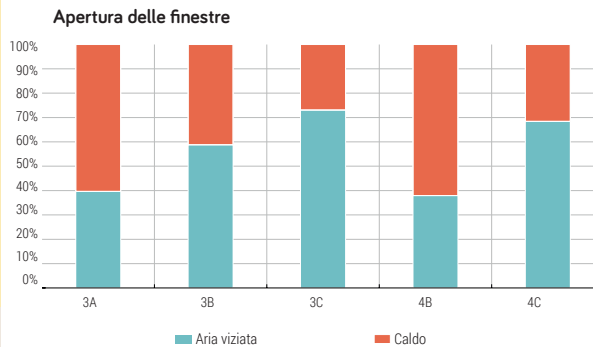
- In 3B, 3C e 4C aprono le finestre più frequentemente perchè l'aria è viziata; in 3A e in 4B perchè fa caldo. La finestra viene chiusa prevalentemente quando gli studenti avvertono freddo. Questo probabilmente è dovuto al fatto che se non subentrasse il freddo, non ci sarebbero motivi per chiudere le finestre; il rumore infatti non è una motivazione frequente per la chiusura delle finestre. La scuola in effetti si trova in una posizione tranquilla lontana dalle vie di traffico intenso.

Apertura e chiusura delle porte

- Sull'aperture delle porte, sembra che solo in 3A e 3B si ricorra all'aperture della porta al di fuori dei cambi dell'ora: in 3A si apre la porta soprattutto perchè fa troppo caldo, in 3B soprattutto per ricambiare l'aria.

La chiusura delle tapparelle

- in 3A il problema più frequente è l'abbagliamento diretto degli studenti;
- in 4B, la troppa luce sulla lavagna;
- in 3C, l'abbagliamento diretto degli studenti e la troppa luce sul banco;
- in 4C la troppa luce sul banco;
- in 3B il problema riportato è soprattutto il caldo (da sole diretto o per aria troppo calda).





Le azioni di gestione dell'aula.

- Cause ed effetti

NOTE

La CO₂ generata dagli studenti viene diluita tramite ventilazione naturale ovvero attraverso l'apertura delle finestre.

In caso di apertura della porta dell'aula, le condizioni ambientali dell'aula vengono mitigate dalle condizioni ambientali degli spazi adiacenti (corridoi).

In caso di apertura delle finestre, le condizioni ambientali dell'aula vengono mitigate dalle condizioni ambientali esterne.

A porte e finestre chiuse, esiste un tasso di ventilazione minimo legato alle infiltrazioni che è stato stimato pari a circa 0,2 ricambi orari.

Caso 1 | 3C day 6

Occupazione quasi costante, finestre chiuse:

- la concentrazione di CO₂ aumenta con forte pendenza fino all'intervallo;
- Il tasso di ventilazione è minimo;
- la temperatura cresce senza soluzione di continuità.

Caso 2 | 3A day 4

Occupazione costante, finestre aperte e chiuse:

- la concentrazione di CO₂ cala in corrispondenza dell'apertura delle finestre;
- nei medesimi intervalli temporali, la temperatura interna non cresce linearmente nel tempo e l'umidità specifica decresce.

Caso 3 | 3B day 5

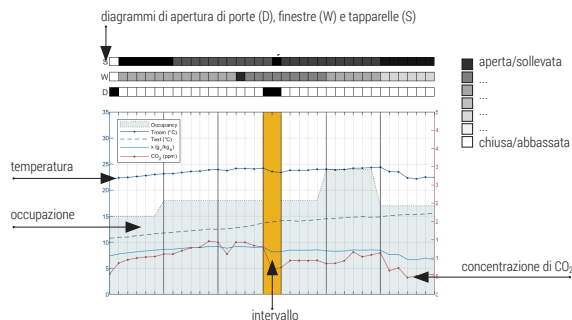
Occupazione costante, finestre aperte e chiuse:

- la concentrazione di CO₂ cala in corrispondenza dell'apertura delle finestre;
- la temperatura interna rimane costante durante l'apertura delle finestre, mentre aumenta in corrispondenza della chiusura.

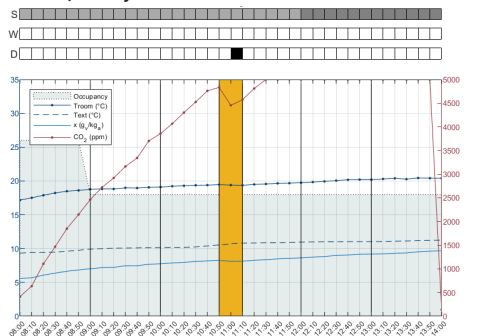
Caso 4 | 4C day 2

Occupazione variabile, finestre aperte e chiuse:

- la concentrazione di CO₂ cala per assenza della sorgente (studenti) o per l'apertura delle finestre;
- nei periodi di apertura moderata delle finestre, la temperatura interna rimane costante: ad una maggiore apertura delle finestre, la temperatura nell'aula cala.

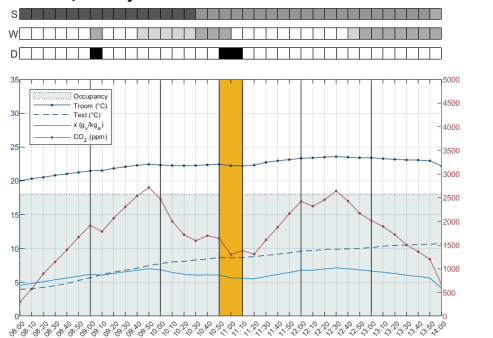


Caso 1 | 3C day 6



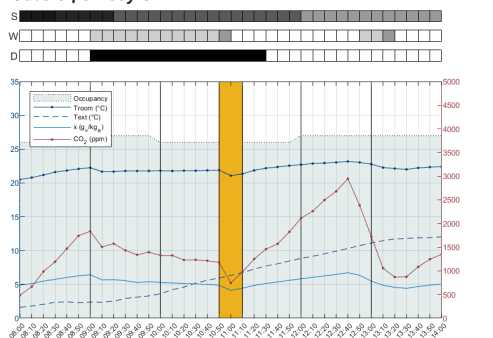
1.

Caso 2 | 3A day 4



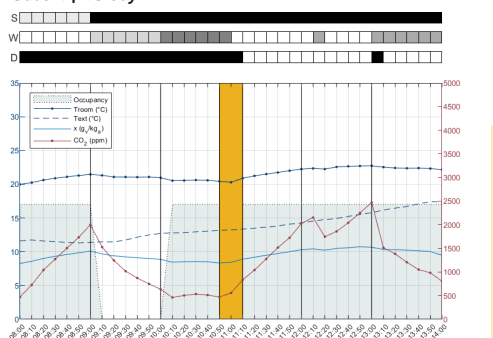
2.

Caso 3 | 3B day 5



3.

Caso 4 | 4C day 2

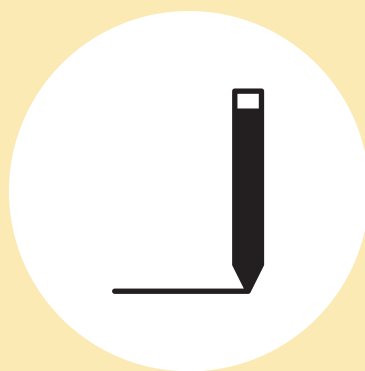


4.

parte V

CONCLUSIONI

Azioni concrete per l'edilizia scolastica del futuro



- CONCLUSIONI

L'aumentare nei paesi industrializzati delle patologie croniche a carattere respiratorio (asma, bronchite acuta) anche nei più giovani ha determinato l'esigenza di uno studio scientifico che indagasse la correlazione diretta tra la cattiva qualità dell'aria all'interno degli edifici scolastici e l'incidenza sempre più significativa nella popolazione giovanile di tali patologie, con le inevitabili ripercussioni in termini di difficoltà di concentrazione e di apprendimento.



La qualità dell'ambiente indoor e in particolare quella dell'aria sono da tempo considerati di particolare criticità specialmente negli spazi caratterizzati da una elevata densità di occupazione, come avviene nel caso delle scuole.

Nonostante le attività previste dal progetto abbiano dovuto subire una brusca interruzione a causa dell'emergenza socio-sanitaria legata al Covid-19, i dati raccolti rappresentano chiaramente una situazione che richiede attenzione. Per due settimane, nelle 5 aule analizzate sono stati monitorati continuamente i dati di temperatura, umidità, concentrazione di CO₂ ed illuminamento.

I parametri misurati hanno consentito di valutare l'esposizione media degli studenti in relazione ai valori di attenzione individuati dalla normativa di riferimento (in particolare dalla EN 16798):

- Per quanto riguarda gli **aspetti termoigrometrici**, le caratteristiche del sistema di riscaldamento, unitamente al comportamento degli studenti, hanno consentito di mantenere valori in linea con gli intervalli suggeriti dalla norma.
- Per quanto riguarda invece la **concentrazione di CO₂** e la **ventilazione**, l'indagine ha evidenziato come i valori di qualità richiesti non siano ottenuti per quasi la totalità del tempo di esposizione. I dati indicano anche come un ricorso alla ventilazione naturale, anche se fosse più

esteso di quanto già fatto nelle due settimane (le finestre sono risultate completamente chiuse per meno della metà del tempo), difficilmente possa garantire i tassi di ricambio richiesti.

- Per quanto riguarda gli **aspetti visivi**, l'illuminamento sul piano di lavoro è quasi sempre stato molto inferiore alle indicazioni previste dalla norma, a prescindere dal ricorso all'illuminazione artificiale. L'uso delle tapparelle necessario per limitare i fenomeni di abbagliamento riduce la disponibilità di luce naturale ma il ricorso alla luce artificiale (per la maggior parte del tempo e in tre aule per oltre l'80% del tempo) non ha garantito l'illuminamento minimo richiesto.

Le **valutazioni soggettive** espresse con il questionario mostrano un quadro ancora più complesso:

- La **soddisfazione globale** per l'ambiente è espressa in termini positivi solo dal 43% degli studenti intervistati.
- L'**ambiente termico**, nonostante le misure ambientali fossero risultate confortanti, raccoglie una percentuale di soddisfazione che varia dal 24% al 79% a seconda dell'aula, ma che in generale risulta critica in almeno tre delle cinque classi. La preferenza differisce a seconda dell'orientazione dell'aula, con classi che richiederebbero temperature inferiori e altre che preferirebbero temperature maggiori, dimostrando una inefficace regolazione termica dell'impianto di riscaldamento.

- Coerentemente con le indicazioni delle misure, la situazione è particolarmente critica per quanto attiene alla **qualità dell'aria**. Solo nell'aula con minore densità di occupazione si ottiene un valore di soddisfazione superiore al 70%. In tre delle cinque aule la soddisfazione è inferiore al 40% con un minimo del 13%. L'aria viziata e la polvere sono particolari elementi di disturbo segnalati.
- L'ambiente visivo e quello acustico sono gli ambiti in cui gli studenti si dichiarano quasi sempre più soddisfatti che insoddisfatti. Per quanto riguarda l'**ambiente visivo**, la preferenza espressa evidenzia comunque l'esigenza di ambienti più luminosi, in coerenza le misurazioni di medio termine. Non è stata individuata una causa di disagio prevalente tra fonti di abbagliamento e visione dell'esterno, anche se è stato espresso disturbo di entrambe le origini.
- Per quanto riguarda l'**ambiente acustico**, la principale fonte di disturbo segnalata è di origine interna (persone che parlano).

L'interazione tra gli utenti e l'edificio è evidentemente condizionata dalle condizioni di comfort, anche se le opzioni disponibili sono limitate e non tutte sono adottate o adottabili. L'indagine sul **comportamento degli utenti** ha portato alla luce interessanti pattern comportamentali:

- Per quanto riguarda l'**ambiente termico**, la prima strategia considerata riguarda l'aggiustamento dell'abbigliamento, un'azione che ha un'efficacia individuale, seguita dall'apertura/chiusura delle finestre, scelta che condiziona anche gli altri studenti e che quindi dev'essere spesso negoziata. Non sorprende che tra gli elementi di disturbo termico più segnalati ci siano le correnti d'aria e i gradienti termici. L'azione più efficiente nel caso di caldo eccessivo, ovvero la regolazione delle valvole dei radiatori, è particolarmente sottovalutata, con prevedibili conseguenze sui consumi energetici.
- L'azione più considerata per la **qualità dell'aria** è prevedibilmente la gestione delle finestre, ma va in competizione con le esigenze termiche e spesso ne viene condizionata per la sensazione di freddo. Anche le porte possono essere utilizzate allo scopo, evitando il possibile l'impatto sulla temperatura interna, ma compromettendo la qualità dell'ambiente acustico e l'attività didattica. Probabilmente per questa ragione è meno popolare (nel periodo di monitoraggio le porte sono risultate in effetti chiuse per più dell'80 % del tempo).
- Riguardo all'**ambiente visivo**, si è notata una generale passività rispetto alle azioni migliorative: la maggior parte delle persone non considera alcun intervento

diretto. Probabilmente il tipo di impatto sulla prestazione visiva collettiva in un ambiente come quello scolastico disincentiva l'adozione di azioni individuali e le riserva al docente. Coerentemente con le forme di disagio riferite, le tapparelle sono spesso abbassate e le luci rimangono accese in quattro aule su cinque per più del 70-80% del tempo monitorato.

- Al contrario gli studenti sono molto più attivi per migliorare il **comfort acustico**. Le azioni sono varie e rispondono a diversi elementi di disturbo. La gestione dell'apertura di porte (e potenzialmente delle finestre) è legata alla necessità di isolarsi da rumori provenienti fuori dall'aula, mentre la richiesta di silenzio o di aumento del tono di voce del docente sono da imputarsi alle caratteristiche del campo sonoro dell'aula stessa.

L'analisi nel complesso conferma gli obiettivi originari del progetto, che prevedeva di intervenire con azioni di informazione e sensibilizzazione sul comportamento degli studenti, identificando e condividendo prassi che consentissero un miglioramento del comfort globale, salvaguardando o migliorando se possibile l'efficienza energetica.

Secondo le attese, **le principali criticità emerse sono legate alla qualità dell'aria e le azioni per garantirla sono risultate insufficienti e talvolta problematiche**, con interazioni e ricadute sul comfort termoigrometrico, sull'acustica e sui consumi dell'edificio.

Nell'attuale mutato contesto legato all'emergenza Covid-19, quanto evidenziato assume una nuova luce, in modo specifico nella prospettiva del rientro a scuola.

La prevenzione del contagio passa infatti attraverso un controllo della concentrazione e della distribuzione della carica virale che, sia pure con le proprie specificità, non è radicalmente diverso da quello di molti altri contaminanti indoor. **Il corretto ricambio d'aria può infatti limitare il livello di CO₂ e contenere la concentrazione della carica virale nell'ambiente confinato allo stesso tempo.**

Tuttavia **la sola ventilazione naturale può risultare insufficiente** per diverse ragioni:

- **Non riduce di per sé il contaminante alla fonte.** Nel caso della CO₂ la sua produzione aumenta con il numero di persone e con il livello di attività. Analogamente, la carica virale aumenta con il numero di persone infette e dipende dall'attività (parlare o alzare il tono di voce, così come svolgere attività fisica aumenta l'emissione di cariche virali).

- Come osservato, **la ventilazione naturale può non garantire l'elevato numero di ricambi orari richiesto** o non garantirlo in maniera costante.
- **Può favorire la ricircolazione dell'aria interna con il trasporto delle cariche virali a postazioni lontane** da quelle occupate dalle persone infette, potenzialmente anche in locali diversi, accentuando le problematiche di distanziamento.
- Ricorrendo all'immissione diretta di aria esterna, **può impattare notevolmente da un lato sul comfort termoisometrico, dall'altro sul consumo energetico dell'edificio**. Generando discomfort, può indurre comportamenti correttivi che risultano controproducenti per il controllo della qualità dell'aria.

Un ruolo importante è giocato dal volume dell'ambiente in relazione al numero di occupanti. **Volumi maggiori possono contribuire a mitigare il problema** riducendo, a parità di produzione di contaminanti, la concentrazione raggiunta nello stesso intervallo di tempo e con la stessa portata di ventilazione. Nel caso del virus, è evidente che volumi più grandi consentono anche un maggiore distanziamento. Questo può aiutare a prevenirne la propagazione, ma solo a condizione che la circolazione dell'aria sia controllata o almeno nota, in modo da poter scegliere una disposizione corretta delle postazioni di lavoro. Ciò non è banale nel caso della ventilazione naturale.

Un ultimo fattore è rappresentato dal tempo di esposizione che a parità di concentrazione aumenta il rischio di contagio. È quindi **importante sapere a quanto limitare la permanenza in locali in condizioni di possibile esposizione al contagio**, in relazione al volume dell'ambiente, al tasso di ventilazione e al numero di occupanti.

Per quanto evidenziato, il progetto potrà assumere nuove valenze per pianificare e gestire la riapertura delle scuole.

In particolare consentirà di:

- Sulla base delle misure già raccolte e della situazione di partenza, **stabilire sin d'ora:**
 - a. **quali livelli di qualità sono conseguibili con le nuove prescrizioni sul distanziamento**, o quali interventi sono richiesti per il soddisfacimento dei requisiti di qualità dell'aria (aumento delle aperture in termini di frequenza e/o durata, riduzione dell'occupazione, riduzione dell'orario di permanenza, installazione di sistemi di ventilazione meccanica);

- b. **quali parametri possono essere utilizzati per monitorare a basso costo la qualità dell'aria** anche negli altri ambienti della scuola, definendo correlazioni e algoritmi di previsione che possono attivare segnalazioni di allerta;
 - c. quale potrà essere **l'impatto energetico delle nuove pratiche operative**;
 - d. **la praticabilità di ulteriori misure correttive** e migliorative sui comportamenti, sulla gestione dell'edificio e degli impianti o sull'implementazione di ulteriori soluzioni impiantistiche.
- **Nella fase di rientro a scuola**, aggiornando il protocollo e integrando la strumentazione:
 - a. **supportare le valutazioni e le scelte operative**, contribuendo a controllare l'attuazione e l'efficacia delle misure adottate;
 - b. **evidenziare l'impatto delle misure adottate sulle condizioni ambientali locali per il singolo soggetto**, in funzione dei presidi (mascherine, barriere) e dei comportamenti (distanziamento, aperture, durata delle lezioni) adottati, monitorando le nuove concentrazioni di inquinanti direttamente in postazioni rappresentative;
 - c. **analizzare l'effetto delle misure adottate sul comfort e sulla performance degli studenti** e prevenire azioni di miglioramento scorrette o controproducenti;
 - d. **sperimentare sensori e sistemi**, per monitorare l'ambiente e gli occupanti e per comunicare con essi, o per aumentare e gestire la ventilazione, filtrare o purificare l'aria.

www.vogliamoinvertirelarotta.it

Per informazioni:
mail | info@agoraactivities.it
telefono | 06 42020605
whatsapp | 392 3206688

PROMOTORI

AGORÀ
UNIBZ
IIS MARGHERITA HACK

GRUPPO DI LAVORO

AGORÀ
Davide Michetti
Silvia Pinci
Carla De Meo

IIS MARGHERITA HACK
Gaetana Iacobone
Sonia Sgavicchia
Alessia Buggea
Giulia Bezzini
Nicolino Carbone
Silvia D'Isidoro
i 109 studenti delle classi 3A, 3B, 3C, 4B, 4C

UNIBZ
Andrea Gasparella
Federica Morandi

IUAV
Francesca Cappelletti

UNIPD
Ilaria Pittana

UNITN
Alessandro Prada