

Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici

WP5. Sviluppo e implementazione soluzioni
Task 5.5 - Implementazione delle soluzioni individuate sugli edifici campione



Data: 24.02.2022
Task Leader: EURAC Research
Autore: Francesca Avella, Akshit Gupta
Co-autori: Partner

Tabella of Contents

Executive summary	3
Metodo sperimentale	3
Le soluzioni analizzate.....	5
Conclusioni generali.....	7

Executive summary

Il seguente Report Task 5.5 - Implementazione delle soluzioni individuate sugli edifici campione, è presentato in versione ridotta rispetto ad una completa che approfondisce nel dettaglio i seguenti temi:

- le **soluzioni tecnologiche** finalizzate al miglioramento della qualità dell'aria emerse dall'indagine di mercato svolta nell'ambito del progetto Interreg ITA-CH QAES;
- i **risultati della campagna di misurazione** svolta prima e dopo gli interventi dimostrativi di installazione delle soluzioni tecnologiche nei casi studio selezionati e dello stesso periodo tra aule con e senza soluzione installata;
- i **feedback** ricevuti dai docenti/gestori;
- ulteriori **approfondimenti** dei temi sopra citati.

Allo scopo di tutelare le esigenze dei dirigenti delle scuole selezionate come caso studio del progetto e delle aziende coinvolte nel Progetto, suddetta versione è trattata in maniera confidenziale. Ciononostante, è possibile fare richiesta di consultazione tramite e-mail a info@qaes.it.

Il processo che ha condotto all'implementazione delle soluzioni tramite interventi dimostrativi nelle scuole caso studio è il risultato della collaborazione tra tutti i partner di progetto ed in particolare tra il Laboratorio analisi aria e radioprotezione dell'Agenzia provinciale per l'ambiente e la tutela del clima della Provincia autonoma di Bolzano (APPA-BZ) ed Eurac Research, Istituto per le Energie Rinnovabili.

Nel dettaglio le attività legate alle campagne di misurazione pre e post-intervento sono state così ripartite: Eurac Research ha condotto una campagna di monitoraggio su lungo periodo allo scopo di validare la rappresentatività della settimana scelta per le analisi su breve periodo condotte dal Laboratorio analisi aria e radioprotezione.

Le campagne di misura sono state accuratamente pianificate seguendo protocolli specifici per la preparazione e calibrazione degli strumenti di misura, la raccolta e il salvataggio dei dati misurati, la post-elaborazione dei dati al fine di assicurare la qualità finale del dato e dei risultati delle analisi svolte.

Tali procedure hanno considerato anche la registrazione di alcune condizioni al contorno specifiche quali numero di alunni, stato di apertura e chiusura di finestre, condizioni climatiche esterne, la gestione delle interazioni con insegnanti, alunni e dirigenti scolastici, presentando le soluzioni e il loro funzionamento alle classi coinvolte negli interventi dimostrativi ove possibile.

Ulteriori informazioni sono riportate nei report del WP4:

- [Task 4.1 – Definizione di un protocollo di misurazione](#)
- Task 4.2 - Campagna misure - Invernale / Estiva
- Task 4.3 - Analisi e interpretazione dei dati

Metodo sperimentale

Una prima **campagna di monitoraggio** condotta nelle scuole nell'inverno 2019 – 2020, e nell'estate 2020 ha permesso di analizzare e individuare i principali inquinanti nonché le loro concentrazioni allo scopo di valutare la qualità dell'aria interna nelle classi.

A seguito della prima campagna di monitoraggio nell'estate 2020, sono state installate le soluzioni e gli interventi dimostrativi all'interno delle aule selezionate.

Durante l'inverno e l'estate 2021, una seconda campagna di monitoraggio è stata condotta allo scopo di testare l'efficacia delle soluzioni installate, le quali sono state rimosse a fine estate 2021. A seguito della loro disinstallazione, i risultati delle campagne di misurazione relativi a ciascun intervento dimostrativo sono stati analizzati in maniera indipendente.

Per il campionamento e la misurazione di diversi parametri di qualità dell'aria interna e inquinanti effettuati dall'APPA-BZ, sono stati seguiti i riferimenti normativi UNI ISO, EPA e VDI riportati nella Tabella 1.

Tabella 1 Riferimenti normativi per il campionamento

Parametro	Riferimenti normativi per il campionamento
Anidride carbonica CO ₂	UNI EN ISO 16000-26: Aria in ambienti confinati - Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO ₂) UNI EN 16798-1:2019-Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici
Formaldeide HCHO	UNI EN ISO 16000-2: 2006: Aria in ambienti confinati -Strategia di campionamento per la formaldeide ISO 16000-3: misura formaldeide VDI 3484 Blatt 2:2001-11: Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Formaldehydkonzentration nach der Acetylaceton-Methode
VOC TVOC	EPA TO-15: determinazione dei composti organici volatili in aria-ambiente, campionati mediante Canister ed analizzati in gascromatografia con rivelatore di massa EPA method 21: (photoionization detector)
Radon Rn	UNI ISO 11655: 1-4-5-6
Polveri PM 10-5-1	VDI 3867 Blatt 1:2009-09: Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration und Anzahlgrößenverteilung von Aerosolen
Misure biologiche	UNI EN ISO 16000-19:2014: Strategie di campionamento di muffe UNI EN ISO 14698-1:2004: Controllo della biocontaminazione

La Tabella 2 riporta la strumentazione impiegata da APPA-BZ per effettuare misurazioni e valutazioni in termini di qualità dell'aria interna sul breve periodo.

Tabella 2 Strumenti utilizzati dall'APPA-BZ

Strumento	Parametro
TSI – IAQ - Calc Indoor Air Quality Meters 7525	CO ₂ -temperatura-umidità relativa
Delta Ohm - HD21ABE17 – Indoor Air Quality Monitor	CO ₂ -CO-temperatura-umidità relativa-pressione atmosferica
Honeywell – ppbRAE 3000	TVOC
Ionscience – ION Tiger	TVOC
Grimm 11-d	Polveri PM

Aquaria microflow alpha	Agenti biologici
Aero Laser - 4021	Formaldeide
Flir – E6 xt	Termocamera

Nella Tabella 3 sono riportate le caratteristiche della strumentazione utilizzata da Eurac Research per effettuare misurazioni complementari in continuo su lungo periodo allo scopo di integrare le valutazioni in termini di qualità dell'aria interna condotte sul breve periodo. Questa strumentazione aggiuntiva è stata oggetto di controlli e verifiche preliminari (al fine di fare una prima verifica sulla qualità del dato misurato prima dell'utilizzo nelle scuole) e successivamente confrontata con i dati misurati dai sensori professionali (livello da laboratorio) di APPA-BZ nei periodi di misurazione in contemporanea durante le campagne di monitoraggio, allo scopo di valutarne la precisione anche in campo. Il confronto è stato effettuato a partire dai dati misurati nelle diverse campagne di monitoraggio del progetto. Il modello di regressione lineare è stato utilizzato per confrontare la variabile misurata da diversi sensori.

La strumentazione utilizzata per i monitoraggi di lungo periodo è risultata essere affidabile, anche nei valori assoluti e non solo negli andamenti, per temperatura dell'aria e CO₂, mentre sono necessari studi più approfonditi per altri inquinanti aerei quali i VOC.

Tabella 3 Strumenti aggiuntivi

Strumento	Parametro	Tipo di sensore	Range	Accuratezza
EQ-OX (Environmental Quality box)	CO ₂	Infrarossi non dispersiva (NDIR)	0 – 5000 ppm	±30 ppm + 3% del dato
	Temperature dell'aria	Sonda termistore 10K	-55°C – 150 °C	±0,2 °C per l'intervallo: 0–70 °C
	TVOC (gas target: VOC con potenziali di ionizzazione <10,6 eV)	Rivelatore a fotoionizzazione	Range lineare: 50 ppm isobutilene	3% della lettura
	Umidità relativa	CMOS chip	0 – 100 RH%	±2 RH%
TSI Dustrak (DRX Aerosol Monitor 8533)	PM1, PM2.5, PM10 (particelle di dimensioni comprese tra 0,1 e 15 µm)	light scattering a 90°	0,001 – 150 mg/m ³	
Sensori per finestre	Apertura/chiusura finestra	interruttore magnetico	0=chiusura, 1=apertura	Non applicabile

Le soluzioni analizzate

Le **soluzioni tecnologiche** sono state scelte a seguito di un'indagine di mercato condotta nel febbraio 2020 da IDM Südtirol-Alto Adige per la fornitura di consulenza tecnica e soluzioni (provvisorie) finalizzate al **miglioramento della qualità dell'aria interna (IAQ)**. Poiché il progetto incoraggia la competitività delle aziende dei territori altoatesini e ticinesi, l'indagine di mercato è stata riservata alle sole aziende dell'Alto Adige con l'obiettivo di trasferire le competenze sul territorio e/o sviluppare localmente la propria attività in futuro.

All'indagine hanno risposto in totale 9 aziende le cui soluzioni sono state scelte in base ai seguenti requisiti in conformità agli obiettivi del progetto:

- Basso impatto estetico;
- Tempi di installazione e invasività di installazione ridotti;
- Replicabilità in altri edifici scolastici;
- Garanzia delle portate di ventilazione necessarie alla diluizione degli inquinanti rilevati nelle aule;
- Costi di fornitura e installazione contenuti;
- Costi di manutenzione ridotti;
- Alte prestazioni energetiche;
- Basso impatto acustico.

La valutazione tecnica delle soluzioni proposte (efficacia, grado di innovazione, facilità di montaggio, uso, manutenzione e smontaggio) è stata effettuata da tutti i partner di progetto rispetto ai requisiti sopra elencati e a quelli della problematica di qualità dell'aria specifica dell'aula oggetto della proposta di soluzione. Il peso della valutazione tecnica sul punteggio finale di ciascuna soluzione era del 50%. Il restante 50% della valutazione ha tenuto in considerazione la valutazione del curriculum specifico, delle motivazioni per il progetto e interesse alla tematica da parte dell'azienda, della modalità di esecuzione del servizio, dell'importo complessivo dell'offerta.

Le soluzioni sono state installate e testate in 12 edifici scolastici (6 in Alto Adige e 6 in Canton Ticino) per la durata di un anno accademico e vengono raggruppate come segue:

- **Sistemi attivi:** hanno l'obiettivo di garantire una buona qualità dell'aria in maniera autonoma, senza richiedere il contributo attivo da parte dell'utente (persone in classe). Rientrano in questa categoria una macchina di ventilazione decentralizzata, la sostituzione dei serramenti esistenti nuovi serramenti con apertura automatizzata, e un sistema BMS (Building Management System) in grado di comunicare con entrambi i precedenti.
- **Sistemi passivi:** a differenza dei precedenti, hanno l'obiettivo di migliorare l'IAQ in maniera passiva, ossia senza bisogno di energia elettrica per funzionare. Tra queste soluzioni rientra un materiale tessile adsorbente e una pittura fotocatalitica.
- **Sistemi di purificazione:** trattano l'aria facendola ricircolare attraverso un sistema di filtri ma senza ricambiarla con aria esterna .
- **Sistemi di monitoraggio con notifica:** rientrano in questa categoria sistemi di monitoraggio di alcune sostanze presenti nell'aria interna, che notificano all'utente (esempio: indicatori di tipo "semaforico") in tempo reale eventuali problematiche legate alla scarsa qualità dell'aria interna. Suggestiscono quindi di attuare specifiche azioni volte al miglioramento della qualità dell'aria (ad esempio: aprire le finestre). Sono inoltre collegati a una piattaforma online che permette la visualizzazione dell'andamento dei parametri misurati.
- **Sistemi di monitoraggio senza notifica:** a differenza dei precedenti, monitorano la qualità dell'aria interna senza l'invio di alcuna notifica in tempo reale dell'andamento dei parametri o quantomeno senza fornire alcuna indicazione sulle azioni da intraprendere. La soluzione individuata è collegata a una piattaforma online che permette la visualizzazione dell'andamento dei parametri misurati.

Conclusioni generali

Per **ogni soluzione installata** valgono le seguenti conclusioni generali:

- La scelta di ogni soluzione è stata ponderata in base allo **specifico caso studio, all'effettiva problematica** riscontrata nelle campagne di monitoraggio, alle esigenze dei docenti e degli alunni, agli spazi disponibili. L'installazione di ogni soluzione è quindi il **risultato della sinergia di questi parametri**;
- Tutte le soluzioni sono state **indagate in modo critico** allo scopo di evidenziarne i punti di forza e i limiti;
- L'efficacia di ogni soluzione è stata valutata sulla base dei **risultati dei monitoraggi pre e post installazione** dei dispositivi, **dati dello stesso periodo di misurazione** tra aule con e senza soluzione installata, **feedback** ricevuti dai docenti/gestori.
- Solo le soluzioni che prevedono un **ricambio dell'aria** (automatico o manuale) hanno restituito risultati apprezzabili in termini di miglioramento della qualità dell'aria.
- La pandemia da COVID-19 ha influenzato i risultati attesi in quanto ha inciso sulle abitudini degli occupanti (ad esempio sulle attività svolte in classe e sulla maggior apertura delle finestre), nonché sul loro numero all'interno dell'aula; tuttavia, il team QAES ha proseguito nelle proprie analisi, riparametrando i risultati su alcuni indicatori, in relazione al ridotto livello di occupazione degli ambienti.
- È necessario un programma di **formazione/informazione** sul tema IAQ e sul corretto utilizzo/funzionamento delle soluzioni al personale scolastico/studenti;
- **Manutenzione/controllo del funzionamento** periodico/a della soluzione.

Si può quindi concludere che a seguito delle analisi effettuate, il ricambio dell'aria è una misura necessaria per migliorare la qualità dell'aria nelle scuole.

	Soluzione	Strategia di analisi dei risultati	Osservazioni/proposte	Conclusioni
sistemi attivi	Macchina di ventilazione decentralizzata con sistema BMS	<p>Logiche di controllo: verifica del funzionamento delle logiche di controllo in base ad orario e concentrazione di CO₂.</p>	<p>Analisi effettuata sia su aula a capienza dimezzata (ca 13 alunni) che su aula completamente occupata (22 alunni).</p> <p><u>Proposte:</u> Maggiore attenzione alle logiche di controllo basate sia sulle condizioni interne che esterne.</p>	<p>L'integrazione architettonica è funzionale e sono state raccolte osservazioni positive dagli utenti soprattutto per quel che concerne le impressioni sulla qualità dell'aria e sull'impatto acustico.</p> <p>I risultati delle campagne di monitoraggio hanno registrato buoni risultati in termini di diminuzione delle concentrazioni di CO₂</p>
	Applicazione di serramenti con apertura automatizzata a vasistas e manuale a bilico, con sistema BMS	<p>Picchi e concentrazioni: verifica delle concentrazioni e dei valori di picco di: CO₂, temperatura dell'aria interna e TVOC.</p>	<p>Analisi effettuata ad aula completamente occupata (22 alunni).</p> <p>Alcuni serramenti hanno apertura di tipo manuale di cui non è stato registrato lo stato di apertura/chiusura.</p> <p><u>Proposte:</u> Possibilità di implementazione di logiche predittive sugli inquinanti e sui parametri di qualità dell'aria interna misurati.</p>	<p>I sistemi attivi devono essere correttamente dimensionati e/o progettati (requisito fondamentale è la corretta definizione delle portate di aria necessarie ad una buona qualità dell'aria interna).</p> <p>La loro efficacia esiste se è correlata a una corretta gestione dell'edificio, che tenga anche conto dei pattern di occupazione delle aule e della interazione con altre misure per il contenimento dei consumi energetici e per il comfort degli occupanti.</p>

	Soluzione	Strategia di analisi dei risultati	Osservazioni/proposte	Conclusioni
Sistemi passivi	Materiale tessile adsorbente	Picchi e concentrazioni: verifica e confronto delle concentrazioni e dei valori di picco di: PM2.5, PM10, TVOC prima e dopo l'installazione/applificazione.	L'occupazione è rimasta invariata da una campagna di monitoraggio all'altra (aule completamente occupate). Possibilità di integrazione del materiale in componenti d'arredo della classe (es. quadri, totem..) <u>Proposte:</u> Si consiglia di ponderare la scelta del sistema in cui verrà integrato in quanto deve rispondere alle esigenze dell'utente in termini di disponibilità degli spazi.	Non è stata evidenziata una differenza sostanziale in termini di qualità dell'aria interna.
	Pittura fotocatalitica		Possibilità di scelta del colore	

	Soluzione	Strategia di analisi dei risultati	Osservazioni/proposte	Conclusioni
Purificatori d'aria	Dispositivo di decontaminazione dell'aria	<p>Picchi e concentrazioni: verifica delle concentrazioni e dei valori di picco di: PM2.5, PM10, TVOC (nella stessa aula prima e dopo l'installazione/utilizzo del dispositivo).</p> <p>Picchi e concentrazioni: verifica delle concentrazioni e dei valori di picco di: PM2.5, PM10, TVOC (confronto delle aule).</p>	<p>Analisi effettuata ad aule completamente occupate (ca 22 alunni).</p> <p>La velocità di emissione del flusso d'aria è stata impostata a 2/10 della velocità massima. L'aumento di tale impostazione è direttamente proporzionale al rumore emesso dal dispositivo</p> <p>Possibilità di personalizzazione dell'estetica</p> <p>Semplice e veloce da installare e spostare.</p> <p><u>Proposte:</u> Necessaria progettazione dello spazio circostante considerando l'ingombro del dispositivo e l'area di azione in quanto non è sempre possibile seguire le indicazioni dei fornitori oppure le esigenze degli utenti.</p> <p>Impostare la velocità di flusso d'aria in maniera proporzionale al volume effettivo dell'aula.</p>	Non è stata evidenziata una differenza sostanziale in termini di qualità dell'aria interna.

	<p>Aspirapolvere e purificatore d'aria con filtro ad acqua</p>		<p>Poco utilizzato a causa della difficoltà di spostamento all'interno dell'aula.</p> <p>Il dispositivo è stato utilizzato dal personale addetto alle pulizie della scuola dopo le ore di lezione (circa ore 15:00 – 17:00) nella settimana di riferimento.</p> <p><u>Proposte:</u> Necessaria progettazione della distribuzione degli arredi interni in funzione dell'ingombro del dispositivo in quanto non è sempre possibile seguire le indicazioni dei fornitori oppure le esigenze degli utenti.</p> <p>Si consiglia, come eseguito da Progetto, un momento di preparazione all'utilizzo per personale scolastico.</p>	
--	--	--	--	--

	Soluzione	Strategia di analisi dei risultati	Osservazioni/proposte	Conclusioni
<p>sistemi di monitoraggio con notifica</p>	<p>Sistema di monitoraggio con dispositivo di allerta</p>	<p>Logiche di controllo: verifica del funzionamento delle logiche di controllo in base alla concentrazione di CO₂ nell'aula, della temperatura interna e dello stato finestre</p> <p>Picchi e concentrazioni: verifica delle concentrazioni e dei valori di picco di: CO₂ e temperatura dell'aria interna.</p> <p>Correlazioni: verifica dell'accuratezza dei sensori attraverso il confronto con i nostri sensori</p>	<p>Le due aule confrontate sono simili in termini di numero di occupanti, età, attività svolte, dimensione delle aule, numero e dimensioni delle finestre.</p> <p>Il dispositivo di allerta è stato installato nei pressi della lavagna ad un'altezza di ca. 2m o più o comunque in posizione visibile dall'utente.</p> <p><u>Proposte:</u> Possibilità di implementazione di logiche predittive sugli inquinanti e sui parametri di qualità dell'aria interna misurati.</p> <p>Visualizzazione periodica sulla piattaforma "online" dell'andamento dei parametri misurati dal dispositivo</p> <p>Verifica del potenziale di ventilazione naturale considerando caratteristiche dell'aula, contesto esterno e area finestrata per garantire sufficiente ricambio d'aria.</p>	<p>Riduzione significativa delle concentrazioni di CO₂ sul breve periodo per alcune installazioni in aule con modalità didattica a "lezione frontale" e occupazione piena, quando gli utenti si sono fatti parte attiva e dove le aperture (finestre) erano idonee a garantire un sufficiente ricambio dell'aria.</p>

	<p>Sistema di monitoraggio con dispositivo di allerta, con sistema BMS</p>		<p>Possibilità di implementazione di diverse logiche di controllo</p> <p>Capacità di dialogo e controllo con più sistemi dell'edificio (es. sistema di ventilazione meccanica, sistema di automazione apertura serramenti, sistema di gestione schermature solari etc..).</p> <p>Il dispositivo di allerta è stato installato nei pressi della lavagna ad un'altezza di ca. 2m o più o comunque in posizione visibile dall'utente.</p> <p><u>Proposte:</u> Possibilità di implementazione di logiche predittive sugli inquinanti e sui parametri di qualità dell'aria interna misurati.</p> <p>Visualizzazione periodica sulla piattaforma "online" dell'andamento dei parametri misurati dal dispositivo</p> <p>Verifica del potenziale di ventilazione naturale considerando caratteristiche dell'aula, contesto esterno e area finestrata per garantire sufficiente ricambio d'aria.</p>	
--	--	--	---	--

	Soluzione	Strategia di analisi dei risultati	Osservazioni/proposte	Conclusioni
<p>sistemi di monitoraggio senza notifica</p>	<p>Sistema di monitoraggio</p>	<p>Correlazioni: verifica dell'accuratezza dei sensori attraverso il confronto con i nostri sensori</p>	<p>Nei casi studio considerati è stato riscontrato poco interesse verso la consultazione di piattaforme online per la visualizzazione dell'andamento delle concentrazioni di inquinanti all'interno delle aule.</p> <p><u>Proposte:</u> attività di training per gestori dell'edificio e integrazione di chiare chiavi di interpretazione dei dati nelle visualizzazioni grafiche</p>	<p>Non è possibile conoscere nell'immediato il momento esatto per effettuare un ricambio d'aria. Ciononostante, la consultazione periodica della piattaforma online permette di avere un quadro generale dell'andamento della qualità dell'aria consentendo comportamenti volti al suo ripristino.</p> <p>Per i parametri interni (CO₂, temperatura interna, umidità relativa, pressione, illuminamento) sono state riscontrate buone correlazioni. In alcuni casi è stato però osservato un calo della qualità del valore assoluto nel tempo. Per altri parametri come PM, TVOC è necessario uno studio più approfondito.</p>