

Maria Teresa Lucarelli, Deborah Pennestri,  
Dipartimento di Architettura e Territorio diArTe, Università Mediterranea degli Studi di Reggio Calabria, Italia

mtlucarelli@unirc.it  
deborah.pennestri@unirc.it

**Abstract.** La ricerca, di cui al presente report, parte da una tesi dottorale dal titolo *Il controllo della qualità dell'aria negli ambienti confinati. Criteri di intervento per la riqualificazione ambientale e tecnologica dell'edilizia scolastica*<sup>1</sup>; ricerca che ha evidenziato l'effettiva relazione tra il degrado degli edifici scolastici, i livelli di inquinamento interno e gli effetti sulla salute degli occupanti. Tale percorso di studio si è successivamente indirizzato verso l'analisi delle ineludibili dipendenze che intercorrono tra gli aspetti della salubrità dell'aria interna e le prestazioni energetiche degli edifici al fine di fornire, attraverso l'utilizzo di un protocollo diagnostico, informazioni utili alla definizione di interventi di riqualificazione.

**Parole chiave:** Edilizia scolastica, Qualità dell'aria indoor, Riqualificazione ambientale, Prestazioni energetiche

## **Introduzione: il comfort ambientale nelle scuole e la vulnerabilità dell'utenza**

L'edilizia scolastica è da tempo in condizioni di elevata criticità; per farvi fronte il Piano governativo del 2014 prevede

interventi straordinari su 21.230 edifici scolastici, autorizzando le Regioni a stipulare mutui trentennali, con oneri di ammortamento a carico dello Stato, per messa in sicurezza, adeguamento sismico, efficientamento energetico.

Data la problematicità della situazione il MIUR ha avviato, a partire dal Luglio del 2014, l'aggiornamento dell'Anagrafe dell'edilizia scolastica per raccogliere informazioni utili ad individuare le priorità di intervento e direzionare al meglio i fondi disponibili. Per rendere le «scuole sicure e belle», come riporta il Piano, non andrebbe tuttavia trascurato il problema della qualità dell'aria interna (IAQ) che rappresenta uno dei maggiori rischi legati all'insorgenza di malattie respiratorie e allergiche, anche gravi, di cui i ragazzi in età scolare soffrono. Nello specifico, circa il 13% dei casi di asma dei bambini europei è correlabile ad un eccesso di umidità negli edifici (WHO-World Health Organization, 2009).

## School buildings and indoor air quality: diagnostic procedures and criteria for intervention

**Abstract.** The research - referred in this report - comes from a doctoral thesis entitled *Indoor air quality control. Intervention criteria for environmental and technological restoration of school buildings*<sup>1</sup>; research that has shown the actual relationship between the degradation of school buildings, the levels of indoor air pollution and the effects on the health of the occupants. This study path is subsequently directed to the analysis of unavoidable dependencies that exist between the aspects of the healthiness of the indoor air and the energy performance of buildings in order to provide, through the use of a diagnostic protocol, useful information for the definition of re-development interventions.

**Keywords:** School construction, Indoor air quality, Environmental rehabilitation, Energy performance

Per ciò che concerne la prevenzione, la tutela e la salvaguardia della salute dei bambini, sono stati compiuti notevoli passi in avanti a partire dalla Quarta Conferenza Ministeriale su Ambiente e Salute (WHO, Budapest 2004) le cui priorità sono state confermate nel 2010, durante la Quinta Conferenza, tenutasi a Parma, con la stesura della *Dichiarazione su Ambiente e Salute* in cui si sottolinea la necessità di realizzare ambienti scolastici salubri e confortevoli (WHO, 2010).

Tra gli studi più recenti e significativi, si segnalano i progetti: AIRMEX<sup>2</sup>, SEARCH I e II<sup>3</sup> e SINPHONIE<sup>4</sup> i cui risultati, ottenuti anche attraverso il monitoraggio dei contaminati indoor in diverse scuole europee, evidenziano nelle aule concentrazioni di inquinanti superiori a quelle esterne.

## **Strumenti e azioni strategiche per implementare il comfort ambientale nell'edilizia scolastica**

Oltre alle ricerche scientifiche, anche le azioni di prevenzione dei rischi, rivestono un'importanza strategica nell'elaborazione di documenti e linee programmatiche. In ambito

nazionale si ricorda che nel 2014 la Conferenza Stato-Regioni e Province autonome ha approvato il Piano Nazionale della Prevenzione 2014-2018: in linea con il documento *Preventing disease through healthy environments: Towards an estimate of the environmental burden of disease*, elaborato dall'*European Centre for Environment and Health* (WHO, 2006) il PNP evidenzia per il settore scolastico, la necessità di attuare strategie che, accanto alla sensibilizzazione e formazione sull'IAQ del personale scolastico, dei tecnici e professionisti, prevedano buone pratiche in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nell'acquisizione di

## **Introduction: environmental comfort in schools and vulnerability of the user**

The school construction has been for so long time in conditions of high criticality; for dealing with it the Government Plan of 2014 provides extraordinary interventions on 21.230 school buildings, allowing the regions to enter into thirty-year mortgages with amortization charges paid by the State, for safety measures, seismic retrofitting, energy efficiency. Given the problematic nature of the situation, the Ministry of Education has launched, from July 2014, the update of the Registry of school construction in order to gather useful information to identify priorities for action and to direct available funds at the best.

In order to make schools «safe and beautiful», as reported by the Plan, should not be overlooked, however,

the problem of indoor air quality (IAQ), which represents one of the biggest risks related to the onset of allergic and respiratory diseases, even serious, of which the school-age children suffer. Specifically, about 13% of asthma cases of European children can be correlated to an excess of moisture in buildings (WHO-World Health Organization, 2009).

As for prevention, protection and preservation of children's health, a good progress has been made since the Fourth Ministerial Conference on Environment and Health (WHO, Budapest 2004) whose priorities were confirmed in 2010, during the Fifth Conference, held in Parma, with the drafting of the *Declaration on Environment and Health* which emphasizes the need to create healthy and comfortable school environments (WHO, 2010).

beni e servizi e nella costruzione/ristrutturazione degli edifici. Inoltre, con l'Accordo in Conferenza Unificata del 2010, recante *Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie ed asma* è stata richiamata l'attenzione delle Istituzioni sull'importanza di assicurare, nelle aule scolastiche, aria sana a tutti i minori. Per garantire l'attuazione dell'accordo, la GARD Italia, componente italiana dell'Alleanza Globale contro le Malattie Respiratorie croniche, promossa dalla WHO, ha istituito presso il Ministero della Salute un gruppo di lavoro che ha elaborato il documento tecnico pubblicato nel 2013 che fornisce informazioni sulla qualità dell'aria nelle scuole oltre a una serie di raccomandazioni e proposte operative.

Infine, tra gli strumenti attivati è importante menzionare anche l'avviso congiunto MIUR – MATTM, del 2010, rivolto alle Regioni Obiettivo Convergenza (Calabria, Campania, Puglia e Sicilia), per la presentazione di piani di intervento finalizzati alla riqualificazione degli edifici scolastici pubblici in relazione all'efficienza energetica, alla messa a norma degli impianti, all'abbattimento delle barriere architettoniche, alla dotazione di impianti sportivi e al miglioramento dell'attrattività degli spazi scolastici per il triennio 2010-2013<sup>5</sup>.

### Le relazioni tra qualità dell'aria interna e prestazioni energetiche negli edifici scolastici

Il problema dello 'stato di salute' degli edifici scolastici nel nostro Paese rimane, dunque, un'emergenza che riguarda diversi aspetti: in primo luogo la necessità di rispondere ai dettami normativi relativi alla sicurezza sismica, alla prevenzione incendi, senza trascurare le questioni relative all'abbattimento delle barriere architettoniche, alla pre-

stazione energetica ed alla qualità dell'aria indoor; queste ultime due questioni, tra loro strettamente correlate.

I problemi legati all'inquinamento degli ambienti confinati sono andati delineandosi negli anni '70 quando, attraverso azioni normative, la necessità di ridurre i consumi energetici ha portato all'aumento delle prestazioni di isolamento termico degli elementi di involucro e all'aumento della tenuta d'aria di porte e finestre. La conseguenza immediata di tali interventi è stata una notevole riduzione del ricambio naturale dell'aria negli ambienti, da cui derivano il confinamento e l'aumento delle concentrazioni del vapore e degli inquinanti. Tale relazione viene evidenziata dalla Direttiva europea 2002/91/CE sul rendimento energetico dell'edificio che sottolinea la necessità di considerare «[...] i vari bisogni connessi all'uso dell'edificio [...] compresa la ventilazione e che pertanto, i requisiti di rendimento energetico devono tener conto delle condizioni generali del clima degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi quali una ventilazione inadeguata [...]». Il prErN 15251, *Criteria for the Indoor Environment including thermal, indoor air quality, light and noise*, norma di supporto alla Direttiva, propone un approccio per la certificazione dell'ambiente interno sottolineando come la qualificazione energetica di un edificio non avrebbe senso senza la contemporanea valutazione degli aspetti indoor.

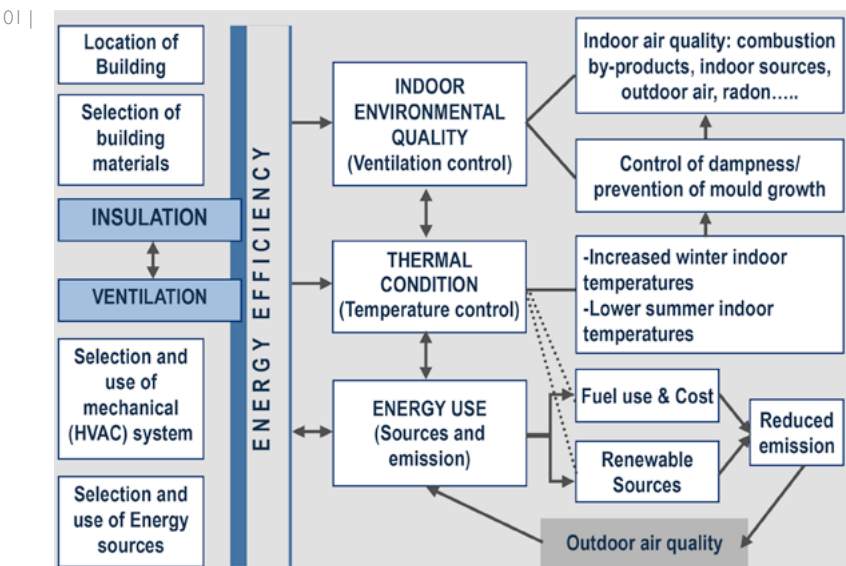
In senso più ampio, però, si può dedurre che le relazioni tra qualità dell'aria interna e le prestazioni energetiche debbano riguardare la scelta dell'isolamento termico dell'involucro edilizio – attraverso l'uso di materiali che siano a bassa o nulla emissione di contaminanti indoor ed il controllo dei fenomeni di condensa – nonché i sistemi impiantistici per la climatizzazione e la ventilazione interna naturale o meccanica (Fig. 1).

Il problema dello 'stato di salute' degli edifici scolastici nel nostro Paese rimane, dunque, un'emergenza che riguarda diversi aspetti: in primo luogo la necessità di rispondere ai dettami normativi relativi alla sicurezza sismica, alla prevenzione incendi, senza trascurare le questioni relative all'abbattimento delle barriere architettoniche, alla pre-

stazione energetica ed alla qualità dell'aria indoor; queste ultime due questioni, tra loro strettamente correlate.

I problemi legati all'inquinamento degli ambienti confinati sono andati delineandosi negli anni '70 quando, attraverso azioni normative, la necessità di ridurre i consumi energetici ha portato all'aumento delle prestazioni di isolamento termico degli elementi di involucro e all'aumento della tenuta d'aria di porte e finestre. La conseguenza immediata di tali interventi è stata una notevole riduzione del ricambio naturale dell'aria negli ambienti, da cui derivano il confinamento e l'aumento delle concentrazioni del vapore e degli inquinanti. Tale relazione viene evidenziata dalla Direttiva europea 2002/91/CE sul rendimento energetico dell'edificio che sottolinea la necessità di considerare «[...] i vari bisogni connessi all'uso dell'edificio [...] compresa la ventilazione e che pertanto, i requisiti di rendimento energetico devono tener conto delle condizioni generali del clima degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi quali una ventilazione inadeguata [...]». Il prErN 15251, *Criteria for the Indoor Environment including thermal, indoor air quality, light and noise*, norma di supporto alla Direttiva, propone un approccio per la certificazione dell'ambiente interno sottolineando come la qualificazione energetica di un edificio non avrebbe senso senza la contemporanea valutazione degli aspetti indoor.

In senso più ampio, però, si può dedurre che le relazioni tra qualità dell'aria interna e le prestazioni energetiche debbano riguardare la scelta dell'isolamento termico dell'involucro edilizio – attraverso l'uso di materiali che siano a bassa o nulla emissione di contaminanti indoor ed il controllo dei fenomeni di condensa – nonché i sistemi impiantistici per la climatizzazione e la ventilazione interna naturale o meccanica (Fig. 1).



01 | Relazioni tra le prestazioni energetiche e l'Indoor Air Quality  
Relations between energy performance and Indoor Air Quality

Among the most recent and significant studies, we highlight the following projects: AIRMEX<sup>2</sup>, SEARCH I and II<sup>3</sup> and SINPHONIE<sup>4</sup>, whose results obtained through the monitoring of contaminated indoor in different European schools, in the classrooms show concentrations of pollutants higher than external ones.

### Tools and strategic actions to implement the environmental comfort in school building

In addition to scientific research, also measures to prevent risks are of strategic importance in the elaboration of documents and guidelines.

At the national field, we remember that in 2014 the Conference of State-Regions and Autonomous Provinces approved the National Prevention Plan 2014-2018: in line with the document *Preventing disease through*

Construction time	School buildings number	Percentage %
Before 1800	1.249	3
1800-1899	1.140	2
1900-1920	1.671	4
1921-1945	3.951	8
1946-1960	8.713	18
1961-1975	11.477	24
since 1976	13.119	28
Not available data	5.993	13

Pertanto in un'attività di riqualificazione dell'edilizia scolastica è necessario che gli interventi per implementare le prestazioni energetiche siano individuati tenendo in considerazione le ricadute che questi possono avere sulle condizioni di salubrità degli ambienti.

### I fattori di degrado igienico-ambientale dell'edilizia scolastica

È opportuno ricordare che nel nostro Paese i ragazzi trascorrono negli edifici scolastici da 4 a 8 ore al giorno, per almeno 10 anni. Si stima inoltre che il 15% della popolazione, pari a circa 10.000.000 persone, fra alunni e docenti, studi o lavori ogni giorno in circa 45.000 edifici pubblici su tutto il territorio nazionale (GARD, 2013).

Il decadimento della qualità dell'aria negli edifici scolastici è da attribuire a diversi tipi di contaminanti determinati dagli stessi occupanti, dall'edificio, da alcune particolari attività che vi si svolgono e dal contesto in cui sono inseriti: la presenza di un intenso traffico autoveicolare, ad esempio, può incidere significativamente sul microclima e sulla purezza dell'aria interna con sensibili aumenti della concentrazione di CO e di particolato.

Per ciò che riguarda l'edificio sono numerosi i casi in cui le scelte tecnologiche, i materiali utilizzati e le finiture rappresentano significative cause di inquinamento indoor sia per il rilascio di

*healthy environments: Towards an estimate of the environmental burden of disease*, developed by the European Centre for Environment and Health (WHO, 2006) and the NPP highlights, for the school sector, the need to implement strategies that, next to the school staff, technicians and professionals awareness and training about the IAQ, provide best practices in the field of sustainability and eco-friendliness in the acquisition of goods and services and in the construction / renovation of buildings.

Moreover, with the Agreement in the Joint Conference of 2010, entitled *Guidelines for school prevention of risk factors for indoor allergies and asthma* the attention of the institutions was drawn on the importance of ensuring, in classrooms, healthy air to all children. In order to ensure the implementation of the Agreement, the

GARD Italy, the Italian component of the Global Alliance against Chronic Respiratory Diseases, sponsored by WHO, established a working group at the Ministry of Health that drafted the technical paper published in 2013 that provides information on air quality in schools as well as a series of recommendations and proposals for action. Finally, among the set instruments is also important to mention the joint warning MIUR - MATTM, 2010, addressed to the Regions Convergence Objective (Calabria, Campania, Puglia and Sicily), for the presentation of action plans aimed at upgrading public school buildings in relation to energy efficiency, retrofitting of plants, removal of architectural barriers, equipment of sports facilities and improving of the attractiveness of school spaces for the years 2010-2013<sup>5</sup>.

02 | Età degli edifici scolastici al 2010 in Italia (MIUR 2012)  
*Age of school buildings in 2010 in Italy (Ministry of Education 2012)*

contaminanti chimici sia per la proliferazione di quelli biologici quali le muffe.

Non va trascurata inoltre la questione della presenza di amianto in molte strutture scolastiche, problema evidenziato anche dal citato Piano per l'edilizia scolastica del 2014.

Va ricordato che l'eccezionale incremento nella richiesta di strutture edilizie destinate all'istruzione ha determinato, nel secondo dopoguerra, la realizzazione di soluzioni per molti aspetti improprie – dettate da esigenze quantitative e non qualitative – che necessitano, allo stato attuale, di onerosi interventi di adeguamento (Fig. 2).

I plessi costruiti in tale periodo sono caratterizzati da tecniche edilizie di scarsa qualità che provocano considerevoli dispersioni di calore, ponti termici, umidità da condensa, muffe, infiltrazioni d'acqua dai rivestimenti di facciata e dalle coperture, infiltrazioni d'aria e d'acqua dai serramenti: tali carenze influiscono negativamente sia sulle questioni della salubrità dell'aria interna che sulle prestazioni energetiche.

Il decadimento della qualità dell'aria interna è attribuibile, altresì, alla modalità di uso degli edifici e, più specificamente, dei singoli ambienti didattici: in questi, infatti, non sempre viene garantita una corretta ventilazione e ricambi d'aria appropriati, indispensabili alla diluizione dei contaminanti indoor, quali la CO<sub>2</sub>, legati al metabolismo degli occupanti.

### The relationship between indoor air quality and energy performance in school buildings

The problem of the 'health' of school buildings in our Country is, therefore, an emergency that includes several aspects: first, the need to meet the regulatory requirements related to seismic safety, fire prevention, without ignoring issues related to the removal of architectural barriers, to the energy performance and indoor air quality; the latter two issues are closely related. The problems related to pollution of indoor environment took shape in the 70's when, through regulatory actions, the need to reduce energy consumption have led to the increased thermal insulation performance of the elements of housing and to the increased tightness air of doors and windows. The immediate consequence of these interventions has been a significant re-

duction in the natural turnover of indoor air, from which the confinement and the increased concentrations of vapor and pollutants come from.

This relation is highlighted by the European Directive 2002/91 / EC on the energy performance of the building that emphasizes the need to consider «[...] the various needs related to the use of the building [...] including ventilation and that therefore, the energy efficiency requirements must take into account the general conditions of the indoor climate in order to avoid possible negative effects such as inadequate ventilation [...]».

The prErN 15251, *Criteria for the Indoor Environment include thermal, indoor air quality, light and noise*, rule of support to the Directive, proposes an approach for the certification of the indoor environment emphasizing how the energy qualification of a building

### **Indoor air quality negli edifici scolastici: procedure diagnostiche per il comfort ambientale**

portato alla definizione di un 'protocollo diagnostico', strumento tecnico-operativo di indirizzo finalizzato al controllo dell'IAQ negli edifici scolastici, ritenuto di supporto agli interventi di riqualificazione ambientale e tecnologica sull'esistente.

Si tratta di uno strumento utilizzabile anche nel rilevare le prestazioni energetiche degli edifici ed è articolato in schede diagnostiche, come segue:

- Scheda di Analisi del Contesto: ha lo scopo di raccogliere informazione e valutare i valori dei parametri microclimatici outdoor e le possibili sorgenti di sostanze contaminanti outdoor (strade molto trafficate, presenza di presidi per la raccolta dei RSU, ecc.) che, attraverso la ventilazione, possono penetrare all'interno dell'edificio. Di tali fonti inquinanti outdoor vengono valutate le distanze dall'edificio nonché le posizioni rispetto alla direzione dei venti prevalenti, con l'obiettivo di stabilire l'effettiva necessità di un'azione di controllo.
- Scheda di Analisi dell'Edificio: si compone di *check-list* finalizzate alla verifica dei requisiti relativi agli elementi tecnologici come, ad esempio, il controllo della Temperatura Interna, dell'Inerzia Termica, dell'Umidità Relativa, della Ventilazione nonché il requisito dell'Assenza di emissioni nocive. L'analisi

Il percorso di ricerca, iniziato con una tesi dottorale sull'*Indoor Air Quality*, proseguita nel tempo con approfondimenti sulla questione energetica, ha

- comprende, inoltre, la verifica degli impianti di climatizzazione.
- Scheda di Analisi delle Attività e delle modalità gestionali: rivolta all'individuazione delle attività che comportano, talvolta, l'uso di sostanze e/o di attrezzature che possono determinare uno scadimento della qualità dell'aria negli ambienti di studio e di lavoro. Le operazioni di pulizia e di manutenzione, ad esempio, se svolte nei periodi in cui gli allievi sono presenti nella struttura scolastica, in condizioni di scarsa ventilazione e di ricambi d'aria insufficienti possono determinare gravi disagi agli occupanti. Tra le attività gestionali, la scheda pone particolare attenzione alla manutenzione degli impianti di climatizzazione per garantirne non solo il corretto funzionamento ma soprattutto l'adeguata pulizia, indispensabile per evitare affezioni anche gravi come la legionellosi.
- Scheda di Analisi degli ambienti confinati: questa fase di indagine si svolge in aule prese a campione nella struttura scolastica, individuandone i dati generali (Piano Fuori Terra, Esposizione, Superficie, Altezza, Volumetria, Superficie Finestrata, Numero Occupanti, Affollamento, Presenza di Impianto Termico). L'analisi comprende anche la misurazione strumentale dei parametri microclimatici e della qualità dell'aria interna.
- Scheda - Questionario per gli allievi: quest'ultima fase di indagine, svolta con l'ausilio di un questionario per gli utenti, è finalizzata alla raccolta di informazioni dagli allievi riguardanti la percezione delle condizioni ambientali, le cause del discomfort e le sintomatologie manifestate.

would be meaningless without the simultaneous evaluation of aspects indoor.

In a broader sense, however, it can be inferred that the relationship between indoor air quality and energy performance should be related to the choice of the thermal insulation of the building - through the use of materials that are at a low or zero emission of indoor contaminants and the control of condensation phenomena - and plant systems for air conditioning and inside natural or mechanical ventilation (Fig. 1).

Therefore in an upgrading of school is necessary that interventions to implement energy performance are identified taking into account the effects that these can have on the healthy conditions of an environment.

### **The factors of environmental health degradation of school building**

It should be noted that in our Country kids spend in school buildings from 4 to 8 hours a day, for at least 10 years. It is also estimated that 15% of the population, approximately 10 million people, including students and teachers, study or work every day in approximately 45,000 public buildings throughout the national territory (GARD, 2013).

The deterioration of air quality in school buildings can be attributed to different types of contaminants determined by the occupants of the building, from certain specific activities that take place there and the context in which they are inserted: the presence of a heavy car traffic, for example, can significantly affect the microclimate and purity of indoor air with significant increases in the con-

centration of CO and particulate. For what concerns the building there are numerous cases in which the technological choices, the materials used and the finishes represent significant causes of indoor air pollution both for the release of chemical contaminants and for the proliferation of the biological ones such as molds. Also the issue of the presence of asbestos in many schools should not be neglected, a problem that was highlighted by the aforementioned Plan for school construction in 2014.

It should be remembered that the exceptional increase in the demand for building structures for education has determined, after World War II, the realization of solutions for many aspects improper - dictated by quantitative and not qualitative needs - that require, at present, costly adjustment interventions (Fig. 2).

The complexes, built during this period, are characterized by construction techniques of poor quality that result in considerable heat loss, thermal bridges, moisture from condensation, mold, water leaks from the facade cladding and roofing, air and water infiltration from windows: these shortcomings affect negatively both issues of clean air internal and energy performance.

The decay of the indoor air quality can be attributed also to the mode of use of buildings and, more specifically, of the individual learning environments: in these ones, in fact, proper ventilation and appropriate air changes are not always guaranteed, that are essential to dilution of indoor contaminants, such as CO<sub>2</sub>, related to the metabolism of the occupants.





### Sperimentazione e risultati ottenuti

Si è scelto di applicare il protocollo diagnostico a due scuole elementari di Reggio Calabria: la G. Carducci e la S. Caterina, scelta dettata dalla necessità di applicare il metodo elaborato su plessi scolastici che fossero rappresentativi dei caratteri tipologici e tecnico-costruttivi adottati per tale tipologia di edifici. La scuola G. Carducci, infatti, è stata costruita tra la fine degli anni '20 e l'inizio degli anni '30, mentre la scuola S. Caterina (Fig. 3) è costituita da un corpo di fabbrica realizzato tra la fine degli anni '30 e l'inizio degli anni '40 e da un ampliamento risalente alla metà degli anni '60. Di quest'ultima si riportano gli esiti più rappresentativi dell'applicazione del protocollo diagnostico, effettuata anche con l'ausilio di strumentazioni appropriate<sup>6</sup>. In particolare, il monitoraggio effettuato ha consentito di rilevare concentrazioni di CO<sub>2</sub>, CO, NO, O<sub>3</sub>, che, pur rimandando un quadro non del tutto esaustivo, ha consentito una significativa valutazione della qualità dell'aria sia indoor che outdoor:

– analisi del contesto: i dati climatici riferiti alla città di Reggio Calabria desunti dalla stazione di rilievo meteorologico dell'I-

stituto Aeronautico Militare, hanno evidenziato, in particolare, una umidità relativa elevata che influisce anche sul comfort interno ed una esposizione prevalente al vento di tramontana che, nei periodi invernali, crea evidenti disagi. L'orientamento dell'edificio determina problemi relativi all'eccessivo soleggiamento di alcune aule nelle quali si verifica il fenomeno dell'abbagliamento e del surriscaldamento nei periodi più caldi dell'anno. Dalle misurazioni effettuate emerge che l'aria esterna presenta concentrazioni di NO e O<sub>3</sub> superiori a quelli previsti dalla normativa: ciò è dovuto alla presenza di strade altamente trafficate.

- Analisi dell'edificio: dall'analisi delle caratteristiche tecnico-costruttive dell'involucro edilizio si è evidenziata la mancanza di isolamento termico ed acustico nonché la presenza di umidità in corrispondenza dei ponti termici e sulla copertura a causa di infiltrazioni delle acque meteoriche. Le finiture interne in pittura sintetica ed i controsoffitti deteriorati costituiscono ulteriori fonti di polverosità e di contaminazione chimico-biologica. Si rileva, infine, la presenza di un impianto tradizionale, costituito da radiatori a parete, che causa disuniformità nella distribuzione della temperatura negli ambienti scolastici.
- Analisi delle attività e delle modalità gestionali: tra le tipologie di attività permanenti, è stata inserita anche quella relativa alla presenza di servizi igienici. Nel caso in esame, il cattivo funzionamento dell'impianto di allontanamento delle acque nere ha comportato la presenza di odori sgradevoli ed una condizione di disagio per gli allievi che occupano le aule site in prossimità di suddetti ambienti. Per ciò che riguarda le modalità d'uso si è rilevato, innanzitutto, che in molti casi il grado di affollamento risultava ampiamente superiore ai limiti imposti dalla norma-

### Indoor air quality in school buildings: diagnostic procedures for the environmental comfort

This search path, started with a doctoral thesis about the *Indoor Air Quality*, continued over time with insights on the energy issue, has led to the definition of a 'diagnostic protocol', a technical and operational guidance tool aimed at controlling the IAQ in school buildings, considered as a support of the environmental and technological redevelopment on the existing. It is a tool that can also be used to detect the energy performance of buildings and it is divided into some diagnostic sheets, as follows:

- Sheet of Context Analysis: it aims to gather information and assess the values of the microclimatic outdoor parameters and possible sources of outdoor contaminants (busy roads, the presence of devices for the collec-

tion of MSW (municipal solid waste), etc.) that, through the ventilation, can penetrate inside the building. Of these outdoor polluting sources are measured their distances from the building as well as the positions relative to the direction of the prevailing winds, with the goal of establishing the actual need of a control action.

- Sheet of Building Analysis: it consists of checklists aimed at the verification of the requirements relating to technological elements such as, for example, the control of the Internal Temperature, Thermal Inertia, Relative Humidity, Ventilation and the requirement of the Absence of harmful emissions. This analysis also includes the verification of air conditioning systems.

- Sheet of Analysis of Activities and management methods: it is devoted to the identification of activities in-

volving, sometimes, the use of substances and / or equipment that may cause a deterioration of air quality in places of study and work. Cleaning and maintenance operations, for example, if carried out during times when students are in school structure, in conditions of poor ventilation and inadequate air changes can cause serious inconvenience for the occupants. Among the management activities, the sheet pays particular attention to the maintenance of air conditioning systems in order to ensure not only the proper functioning but especially the proper cleaning, essential to prevent serious diseases, such as legionellosis.

- Sheet of Analysis of indoor environment: this phase of the investigation takes place in classrooms taken as a sample in the school structure, identifying their general data (Above

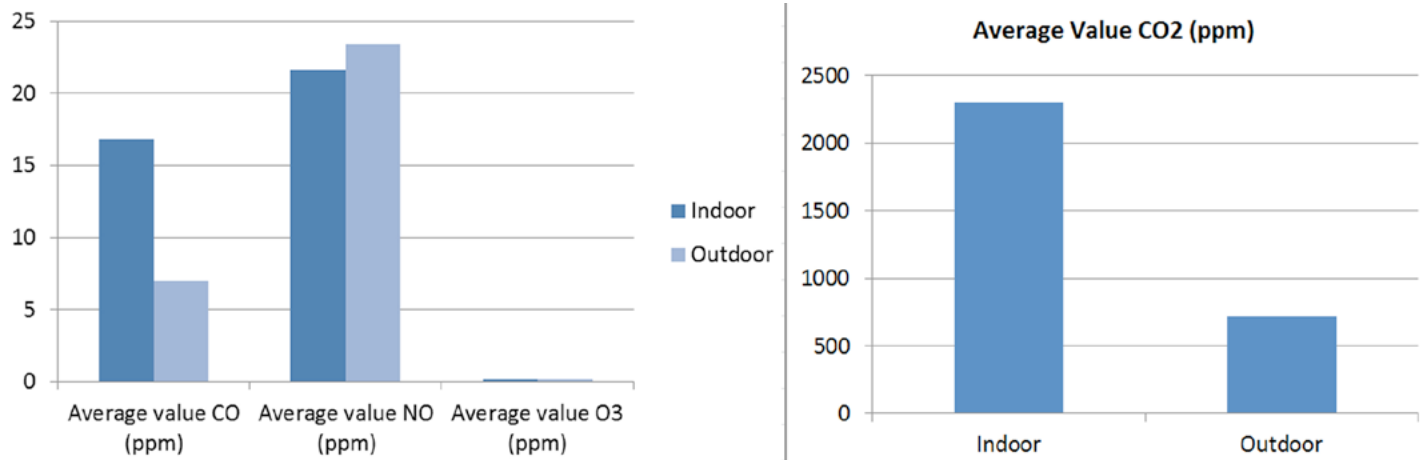
Ground Floor, Exposition, Size, Height, Massing, Windowed Surface, Occupants Number, Crowding, existence of a Thermal Plant). This analysis also includes instrumental measurement of microclimatic parameters and indoor air quality.

- Sheet/ Questionnaire for students: the latter phase of the investigation, carried out with the aid of a questionnaire for users, is aimed at gathering information from students regarding the perception of environmental conditions, the causes of the discomfort and any manifested symptoms.

### Experimentation and results

We have chosen to apply the diagnostic protocol in two primary schools of Reggio Calabria: the G. Carducci and the St. Catherine, a choice dictated by the need to apply the method developed on school buildings that were rep-

SUBSTANCES DETECTED (ppm)	Outdoor	Room 1	Room 2	Room 3	Room 4	Room 5	Room 6
CO (carbon monoxide)	7,0	6,2	6,0	5,6	5,6	16,8	6,2
NO (Nitric Oxide)	23,4	18,2	19,1	23,4	23,8	21,6	23,5
O <sub>3</sub> (Ozone)	0,21	0,17	0,20	0,16	0,20	0,18	0,21
CO <sub>2</sub> (Carbon Dioxide)	718	1032	2210	908	1713	2305	815



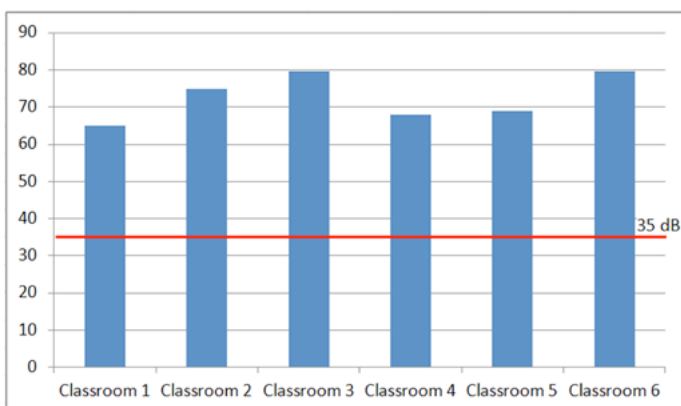
05 | Confronto valori outdoor-indoor (Aula 5)  
Comparison between indoor-outdoor values (Classroom 5)

tiva sull'edilizia scolastica<sup>7</sup>. Si è constatata, inoltre, la scarsità dei ricambi d'aria che incide, oltre che sulla salubrità, anche sull'umidità relativa che, dai monitoraggi effettuati nelle aule, è risultata elevata.

- Analisi degli ambienti confinati: dal rilievo strumentale, effettuato su sei aule dell'edificio, è emersa una elevata, ed in alcuni casi preoccupante, concentrazione di CO<sub>2</sub> dovuta sia al sovrappollamento delle aule che alla mancanza di ventilazione. In rari casi la concentrazione di CO indoor supera quella outdoor ed i limiti imposti dalla normativa (Figg.4-5); invece l'umidità relativa è sempre superiore al 55% superando in alcuni casi il 65%

e favorendo in tal modo lo sviluppo dei contaminanti biologici, quali muffe. Inoltre si è riscontrato un elevato inquinamento acustico: il livello di rumorosità, infatti, presentava valori dai 65 dB fino a quasi 80 dB, superando di gran lunga il limite di 35 dBA<sup>8</sup> (Fig. 6).

- Questionario per gli allievi: le risposte degli alunni delle aule analizzate hanno confermato la relazione tra l'IAQ e le sintomatologie manifestate; in particolare, laddove le concentrazioni di CO<sub>2</sub> e l'inquinamento acustico sono risultate elevate, buona parte degli occupanti ha manifestato difficoltà di concentrazione (oltre il 70%) e mal di testa (oltre il 65%).



06 | Monitoraggio livelli di inquinamento acustico indoor  
Monitoring of indoor noise pollution levels

representative of the typological and technical-constructive features adopted for this type of buildings. The G. Carducci school, in fact, was built in the late 20's and early 30's, while the St. Catherine school (Fig. 3) consists of a main building built in the late 30's and early 40's and an extending from the mid 60's. Of the latter is given the most tangible evidence of the application of the diagnostic protocol, carried out with the aid of appropriate instruments<sup>6</sup>. In particular, the carried out monitoring made it possible to detect concentrations of CO<sub>2</sub>, CO, NO, O<sub>3</sub>, which, while postponing a not totally exhaustive framework, has allowed a significant assessment of air quality both indoor and outdoor:

- analysis of the context: some climate data referred to the city of Reggio Calabria taken from the weather forecast station of the Aeronautical

Military Institute, have shown, in particular, a high relative humidity that also affects the interior comfort and a prevailing exposure to the north wind that, during the winter, creates obvious discomfort. The building orientation determines problems related to excessive sunshine of some classrooms in which occur the glare and overheating phenomena in the hottest periods of the year. From the realized measurements is shown that the outside air presents concentrations of NO e O<sub>3</sub> higher than those required by law: this is due to the presence of highly congested roads.

- Analysis of the building: from the analysis of the technical and structural characteristics of the building, we have been highlighted the lack of thermal and acoustic insulation as well as the presence of moisture in the heat bridges and on the coverage

### **Definizione di strategie per la riqualificazione ambientale ed energetica degli edifici scolastici: considerazioni conclusive**

Il percorso di ricerca, seppur focalizzato sulla definizione di un protocollo per l'analisi diagnostica degli edifici scolastici, può fornire utili input all'individuazione di strategie per l'implementazione della qualità ambientale ed energetica. Partendo dalla sperimentazione effettuata, a livello di contesto, è necessario effettuare azioni di controllo e mitigazione degli inquinanti outdoor intervenendo, in particolar modo, sulla viabilità, in modo da decongestionare le aree interessate rispetto al traffico veicolare, ed inserendo, dove possibile, barriere naturali con funzione di schermatura alle sostanze inquinanti ed al rumore.

Per ciò che riguarda l'edificio, va evidenziato che gli interventi sull'edilizia scolastica, oggi finalizzati soprattutto al retrofit energetico, non possono trascurare gli aspetti relativi all'indoor air quality, attraverso l'eliminazione dei fattori di degrado – legati, ad esempio, alla formazione di condensa e muffe – e l'utilizzo di materiali e soluzioni tecniche in grado di garantire ambienti sani. È possibile comunque ricondurre gli interventi a due tipologie ovvero: sull'involucro edilizio, per ridurre il fabbisogno energetico necessario a garantire condizioni di comfort termo-igrometrico negli ambienti confinati; sulle componenti impiantistiche, per migliorarne le prestazioni. La maggior parte delle soluzioni di involucro applicabili all'edilizia scolastica esistente riguardano

l'adozione di soluzioni additive, con l'aggiunta di strati funzionali: l'isolamento 'a cappotto', con la giustapposizione sullo strato esterno delle pareti perimetrali di pannelli coibenti realizzati con materiali di origine naturale, preferibili in un'ottica di ecosostenibilità, oppure la facciata ventilata per isolare termicamente e proteggere dal surriscaldamento estivo, garantendo un'efficace implementazione delle prestazioni dell'involucro. La scelta delle strategie per rispondere alle istanze di carattere energetico deve, dunque, soddisfare necessariamente quelle di salubrità indoor poiché tale scelta è determinante nel controllo dell'umidità in eccesso e della conseguente crescita microbica: si devono evitare, infatti, i ponti termici e l'infiltrazione di acqua sia allo stato liquido che in forma di vapore acqueo (WHO, 2009). Implementando inoltre le prestazioni di isolamento termico delle superfici esterne sia opache trasparenti, si ottengono risultati anche sull'isolamento acustico dell'involucro, migliorando complessivamente le condizioni di *comfort indoor*.

Infine, in relazione alle modalità gestionali degli ambienti scolastici, si è rilevato quanto sia emergente il problema del sovraccollamento delle aule che influisce negativamente sulla salubrità dell'aria interna; problema che deve essere risolto non solo con l'aggiornamento delle specifiche norme tecniche ma ponendo attenzione alla rimodulazione degli spazi che per il futuro dovranno tener conto dei nuovi modelli didattici tecnologicamente avanzati.

due to infiltration of rainwater. The interior fittings in synthetic paint and the deteriorated countertops constitute additional sources of dust and chemical-biological contamination. It is noted, finally, the presence of a traditional system, consisting of wall mounted radiator, which causes non-uniformity in the temperature distribution in school environments.

- Analysis of the activities and management methods: between the types of ongoing activities, has also been included that one related to the presence of toilets. In the present case, the bad operation of the removal of waste water has resulted in the presence of unpleasant odors and an uncomfortable condition for students who occupy the classrooms located in the vicinity of the above-mentioned environments. As for the conditions of use, we found, firstly, that

in many cases the degree of crowding appeared well above the limits of the law on school construction<sup>7</sup>. We discovered, in addition, the lack of air changes that affects not only the health, but also the relative humidity that, by monitoring it in classrooms, was high.

- Analysis of indoor environment: from instrumental survey, performed on six building classrooms, a high and in some cases worrying concentration of CO<sub>2</sub> was revealed, due to the overcrowding of classrooms and to the lack of ventilation. In rare cases, the indoor concentration of carbon monoxide (CO) overcomes the outdoor one and exceeds the limits of the law (Fig.4-5); whereas the relative humidity is always higher than 55%, exceeding in some cases for the 65% and thus promoting the development of biological contaminants, such as

molds. Moreover, we spotted a high level of noise pollution: this noise level, in fact, showed values from 65 dB up to almost 80 dB, far exceeding the limit of 35 dBA<sup>8</sup> (Fig.6).

- Questionnaire for students: the responses of pupils in the analyzed classrooms confirmed the relationship between IAQ and symptoms manifested; in particular, where the concentrations of CO<sub>2</sub> and noise levels were high, a good part of the occupants has shown difficulty in concentration (over 70%) and headache (over 65%).

#### **Defining strategies for environmental restoration and energy efficiency of school buildings: concluding remarks**

The search path, albeit focused on the definition of a protocol for diagnostic analysis of school buildings, can provide useful inputs to the identification

of strategies for the implementation of environmental and energy quality. Starting from the experiment carried out at the level of context, it is necessary to perform actions of control and mitigation of outdoor pollutants, intervening, in particular, on the road, in order to relieve congestion in the affected areas in relation to vehicle traffic, and inserting, where possible, natural barriers with a shielding function to pollutants and noise. For what concerns the building, it should be noted that the interventions on school construction, now aimed primarily at an energy retrofit, cannot neglect the aspects related to indoor air quality, by eliminating degradation factors - linked, for example, to the formation of condensation and mold - and the use of materials and technical solutions capable of ensuring healthy environments. You can still bring the actions

## NOTE

<sup>1</sup> Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'architettura di Reggio Calabria: dottoranda Deborah Pennestri, tutor scientifico la Prof.ssa Maria Teresa Lucarelli e referente esterno la Dott.ssa Josefa Barrero-Moreno del JRC (Joint Research Centre) di Ispra (Varese) - "Institute for Health and Consumer Protection" - Physical and Chemical Exposure Unit.

<sup>2</sup> Exposure to Multiple Air Contaminants in Public Buildings, Schools and Kindergartens - The European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment (AIRMEX) Study, 2003-2008, <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC51812>

<sup>3</sup> School Environment and Respiratory Health of Children, ISPRA, 2007-2010 e 2010-2013, <http://search.rec.org/search1/index.html>.

<sup>4</sup> Schools Indoor Pollution and Health: Observatory Network in Europe, Commissione Europea DG SANCO, 2010-2013, <http://www.sinphonie.eu/>.

<sup>5</sup> Tali interventi sono finanziati nell'ambito del PON - "Ambienti per l'Apprendimento" - FESR 2007-2013 Asse II - "Qualità degli ambienti scolastici", e del POI - "Energie rinnovabili e risparmio energetico" FESR 2007-2013.

<sup>6</sup> Strumentazione utilizzata: GAS LSI BABUC, luxmetro LSI Climalux e fonometro integratore Bruel & Kjaer 2231.

<sup>7</sup> D.M. 18 Dicembre 1975 "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica".

<sup>8</sup> D.M. 18 Dicembre 1975 indica il limite di rumore di fondo ad aula vuota  $\leq 35$  dBA.

of two types that are: on the building envelope, in order to reduce the energy need required to guarantee conditions of thermal-hygrometric comfort in confined environments; on plant components to improve performance. Most of the envelope solutions applicable to existing school buildings concern the adoption of additive solutions, with the addition of functional layers: the insulating coating, with the juxtaposition on the outer layer of the perimeter walls of insulating panels made with materials of natural origins, preferable in view of environmental sustainability, or the ventilated façade to insulate and protect from overheating in summer, ensuring effective implementation of the performance of the envelope.

The choice of strategies to respond to instances of energy character must, therefore, necessarily satisfy those of healthy indoor since such a choice is

crucial in the control of moisture in excess and of the resulting microbial growth: we must avoid, in fact, thermal bridges and the infiltration of water both in the liquid state and in the form of water vapor (WHO, 2009).

Also implementing the performance of thermal insulation of the external surfaces both opaque and transparent, we can obtain results even on sound insulation of the envelope, improving overall conditions of indoor comfort.

Finally, in relation to the management methods of school environments, we stressed the emerging problem of overcrowded classrooms that affects healthy indoor air; a problem that must be solved not only with the latest updating of specific technical standards but paying attention to the remodeling of the spaces that in the future will have to take account of new educational technologically advanced models.

## REFERENCES

Fenn, B., Chalabi, Z., Foss, A.M. and Wilkinson, P. (2008), "Housing and health: health risk modelling in the INTARESE project. Integrated Assessment of Health Risks of Environmental Stressors in Europe", available at: <http://researchonline.lshtm.ac.uk/19320/>

GARD (2013), "La qualità dell'aria nelle scuole e i rischi per malattie respiratorie e allergiche. Quadro conoscitivo sulla situazione italiana e strategie di prevenzione", available at: [www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_publicazioni\\_1892\\_allegato.pdf](http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_publicazioni_1892_allegato.pdf)

WHO (2009), "Guidelines for indoor air quality: dampness and mould", available at: [www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43325/E92645.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf)

WHO (2010), "Parma Declaration on Environment and Health", available at: [www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0011/78608/E93618.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0011/78608/E93618.pdf)

## NOTES

<sup>1</sup> PhD in Technology of Architecture of Reggio Calabria: Postgraduate Deborah Pennestri, scientific tutor Professor Maria Teresa Lucarelli and external referent Dr. Josefa Barrero Moreno-JRC (Joint Research Centre) in Ispra (Varese) - "Institute for Health and Consumer Protection" - Physical and Chemical Exposure Unit.

<sup>2</sup> Exposure to Multiple Air Contaminants in Public Buildings, Schools and Kindergartens - The European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment (AIRMEX) Study, 2003-2008, <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC51812>

<sup>3</sup> School Environment and Respiratory Health of Children, ISPRA, 2007-2010 and 2010-2013. <http://search.rec.org/search1/index.html>

<sup>4</sup> Schools Indoor Pollution and Health: Observatory Network in Europe, the

European Commission DG SANCO, 2010-2013. <http://www.sinphonie.eu/>

<sup>5</sup> These interventions have been financed by the PON - "Learning Environments" - FESR 2007-2013 Asse II - "Quality of the School Environment", and BY the POI - "Renewable Energy and Energy Efficiency" FESR 2007-2013.

<sup>6</sup> Equipment used: GAS LSI BABUC, LSI Climalux lux meter and sound level meter Bruel & Kjaer 2231.

<sup>7</sup> D.M. December 18<sup>th</sup>, 1975 "Technical standards up to date on school construction, including minimum indexes of educational function, construction and urban planning to be observed in the execution of works of school buildings".

<sup>8</sup> D.M. December 18<sup>th</sup>, 1975 indicates the limit of background noise in an empty classroom  $\leq 35$  dBA.