

# INDICAZIONI PRELIMINARI PER L'INTEGRAZIONE DI SISTEMI DI VENTILAZIONE NATURALE PASSANTE ORIZZONTALE NEGLI EDIFICI SCOLASTICI ESISTENTI

**Luciana Milazzo**

Università Mediterranea di Reggio Calabria

**ABSTRACT:** The study consists of developing a methodology for the design of natural ventilation systems, based on information legislation, which has the scope of the school building. It configures as an instrument to support the renovation project, for the definition of integrated performance between the building envelope and natural ventilation systems through horizontal, structured in a set of sheets containing preliminary guidelines in terms of comfort, quality management and environmental compatibility.

Keyword: comfort, quality management, environmental compatibility

## Introduzione

La ventilazione naturale è una tecnica di ricambio dell'aria viziata, attuabile senza l'ausilio di dispositivi impiantistici (per mezzo di "motori naturali", quali il vento e l'effetto camino) che, durante il periodo estivo o in ambienti a forte carico termico interno (uffici, edifici commerciali e scolastici), associata a strategie per il controllo del surriscaldamento delle strutture, diventa anche un sistema di raffrescamento naturale.

L'impiego di sistemi di ventilazione naturale, in alternativa a quelli di ventilazione meccanica, riveste un'importanza strategica nella gestione della politica energetica e ambientale degli edifici. Tali sistemi, infatti, producono una serie di effetti positivi, quali la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti, incluse quelle dei gas serra; la riduzione dei rischi di inquinamento biologico indoor, dovuti anche ad errori nella scelta dei materiali e all'inefficienza di gestione degli impianti di condizionamento e ventilazione meccanica esistenti.

È necessario, pertanto, che gli obiettivi di controllo della qualità dell'aria e del comfort siano esaminati in modo congiunto, individuando e mantenendo le relative specificità, in quanto, le portate d'aria, richieste per garantire un risultato globale soddisfacente, possono risultare diverse, così come le conseguenti soluzioni tecniche. Tuttavia, mentre un impianto di climatizzazione di tipo meccanico, purché correttamente dimensionato e gestito, è quasi sempre in grado di garantire il controllo delle condizioni ambientali in qualunque circostanza, nel caso dei sistemi di ventilazione naturale è necessario accettare delle variazioni "importanti" delle sensazioni di benessere, che richiedono l'assunzione di un comportamento meno passivo, che può comportare una revisione del concetto di comfort. Un ulteriore aspetto del problema è rappresentato dall'esigenza di promuovere un'integrazione tecnologica forte a livello progettuale fra le caratteristiche del sistema di ventilazione e le peculiarità dell'edificio, sia dal punto di vista della distribuzione e del dimensionamento degli spazi interni, sia dal punto di vista della definizione degli elementi di involucro.

In tal senso, il presente lavoro illustra i risultati di un'esperienza di ricerca elaborata quale tesi finale del Master Edilman ("Management Ambientale con specializzazione in Edilizia Sostenibile", conseguito nel 2004 presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria), dal titolo "*Indicazioni progettuali preliminari per l'applicazione di sistemi di ventilazione naturale passante orizzontale nell'edilizia scolastica. Caso studio: il Liceo Scientifico Leonardo da Vinci di Reggio Calabria*", a compimento di un periodo di stage svolto, insieme all'arch. Cherubina Modaffari, presso l'ENEA di Casaccia (Roma), Unità di agenzia per lo sviluppo sostenibile uso efficiente dell'energia e città sostenibile, sotto la guida del tutor Arch. Gaetano Fasano.

Lo studio si collocava in un ambito tematico individuato dalla direttiva **91/2002/UE** sul rendimento energetico degli edifici, che aveva l'obiettivo di "(...) *promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici, considerando le condizioni locali e climatiche esterne, nonché le prescrizioni per quanto riguarda il clima degli ambienti interni e l'efficacia sotto il profilo dei costi. (...)*", attraverso l'adozione di una **metodologia** generale a livello nazionale e differenziabile a livello regionale, per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici ed esprimibile in maniera trasparente per indicare il valore delle emissioni di CO<sub>2</sub>. La metodologia doveva essere applicata agli edifici in funzione della loro tipologia, dimensione e uso (abitazione, uffici, scuola ecc.) e la misurazione del rendimento energetico doveva considerare diversi fattori, tra i quali anche **la ventilazione naturale**, nonché il controllo delle prestazioni dei sistemi impiantistici dell'edificio. Tale direttiva (recepita in Italia dai Decreti legislativi n. 192/2005, n. 311/2006, dal DM 59/09 *Linee Guida per la certificazione energetica degli edifici*), di recente è stata integrata dalla direttiva 31/2010/UE che prevede, dal 31 dicembre 2020, che gli edifici di nuova costruzione (2018 per gli edifici pubblici) abbiano un'altissima prestazione energetica ("*nearly zero energy buildings*"), in presenza di una significativa quota del fabbisogno energetico coperta da fonti rinnovabili. Per gli edifici esistenti, inoltre, riprende il requisito economico, introdotto dalla direttiva **91/2002/UE**, inserendo l'analisi dei Costi benefici, tra i parametri di valutazione per la riqualificazione energetica, prevedendo nuovi standard e nuove metodologie comparative, distinti per tipologie di edifici, con una definizione di limiti intermedi di efficienza energetica fino al 2015. Tutto questo richiede un'integrazione del quadro legislativo nazionale in merito a *raffrescamento, illuminazione e ventilazione, con il conseguente aggiornamento del DM 59/09 Linee Guida per la certificazione energetica negli edifici*.

L'attenzione all'incidenza della ventilazione sul rendimento energetico degli edifici trae origine da due osservazioni fondamentali. Innanzi tutto, l'influenza della ventilazione tende a divenire predominante sul fabbisogno energetico annuale di un edificio, che, per essere contenuto entro determinati limiti fissati per legge, richiede l'adozione di elevati livelli di isolamento termico dell'involucro edilizio (il ricambio d'aria è strettamente collegato al consumo di energia ed alla sua dispersione sotto forma di calore; è quindi necessario valutare attentamente il rapporto tra costi e benefici e favorire un utilizzo razionale dell'energia, salvaguardando sempre il principio della salubrità degli ambienti). Inoltre, una costante crescita della domanda di climatizzazione estiva, sia nel residenziale che nel settore terziario, si traduce in un consumo considerevole di energia elettrica (l'utilizzo razionale dell'energia costituisce un importante fattore di contenimento o riduzione dell'inquinamento atmosferico).

L'efficacia delle prestazioni dei sistemi naturali di ventilazione dipende molto dal progetto dell'edificio e dai fattori climatici tipici di ogni zona geografica, difficilmente controllabili. Emerge, pertanto, la necessità di fornire metodologie di supporto per la progettazione di sistemi di ventilazione naturale, che tendano il più possibile ad applicare le indicazioni normative rispetto ai diversi ambiti di fruizione, terziario e residenziale, in relazione alla complessità e alle esigenze dell'utenza.

Le novità apportate dalle direttive europee e i campi di applicazione, edifici di nuova costruzione ed edifici esistenti, indicano, nel caso di questi ultimi, delle problematiche da affrontare: l'integrazione dei sistemi di ventilazione, in funzione della destinazione d'uso, delle condizioni di partenza degli edifici e delle prestazioni attese di qualità dell'aria interna e di comfort termo - igrometrico. Per ottenere tale integrazione, è necessario poter disporre di studi preliminari alla progettazione in senso stretto dell'intervento di riqualificazione energetica, poiché, per valutare la sostenibilità ambientale, è necessario definire "prestazioni ottimali" ambientali ed energetiche, garantite dall'intervento stesso. Da qui la necessità di chiarire fin nella fase di progetto preliminare i relativi requisiti prestazionali.

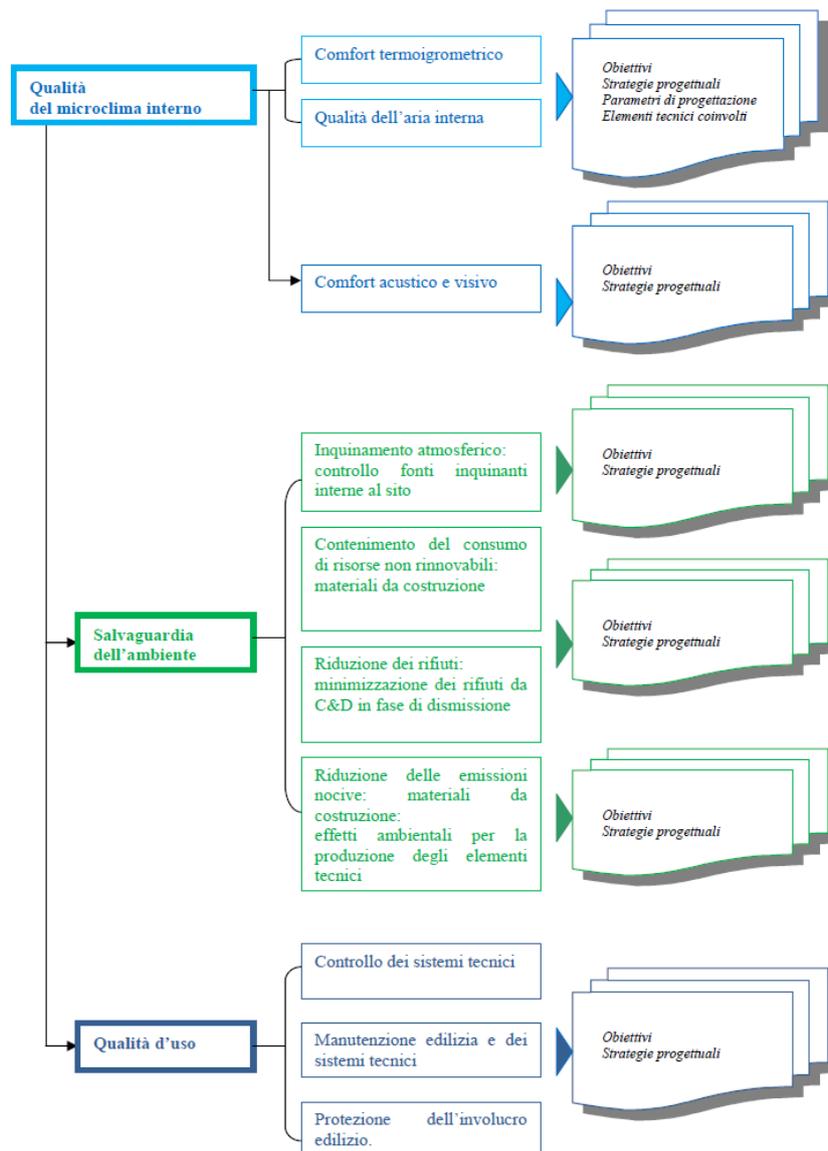


Fig. 1 – Articolazione della metodologia

**Gli obiettivi della ricerca**

Lo studio consiste nell'elaborazione di una metodologia per la progettazione di sistemi di ventilazione naturale, calibrati sulle indicazioni normative, che ha come campo di applicazione l'edilizia scolastica.

Si configura in uno strumento di supporto al progetto di riqualificazione, per la definizione di prestazioni integrate fra l'involucro edilizio e i sistemi di ventilazione naturale passante orizzontale, strutturato in un insieme di schede contenenti indicazioni progettuali preliminari, in termini di benessere, qualità d'uso e salvaguardia dell'ambiente (fig. 1).

Lo strumento proposto è finalizzato al progettista, come guida per l'individuazione di un quadro organico delle normative di settore, per coordinare eventuali consulenze specialistiche, per la determinazione dei costi in fase preliminare, per individuare le esigenze specifiche dell'utenza, anche in termini di gestione e di manutenzione (studi di fattibilità per gli interventi di retrofit energetico sull'edilizia scolastica), in linea con le disposizioni riportate nella recente direttiva 31/2010. Le numerose problematiche sono state organizzate principalmente con riferimento alla classe di esigenza della **Qualità del microclima interno**, all'interno della quale sono state identificate due classi di requisiti: il comfort termo – igrometrico (obiettivo raffrescamento estivo) e la qualità dell'aria interna (obiettivo ventilazione invernale ed estiva). Le schede contengono, quindi, le seguenti informazioni: l'**obiettivo**, che rappresenta il traguardo da raggiungere per rendere l'applicazione del sistema efficace dal punto di vista energetico ed efficiente dal punto di vista ambientale; le **strategie progettuali**, che sono quelle individuate come appropriate ai fini del raggiungimento dell'obiettivo dichiarato; i **parametri di progettazione**, che sono delle specifiche riferite alle strategie progettuali descritte precedentemente e sono rivolte al progettista, quali indicazioni progettuali di massima, ma, eventualmente, anche alla committenza, quali parametri di verifica del progetto preliminare; **altre classi di esigenze, classi di requisiti e requisiti coinvolti**, perchè correlate, in termini progettuali, con l'obiettivo da perseguire, *qualità del microclima interno*, (comfort acustico e visivo; salvaguardia dell'ambiente; qualità d'uso).

Le indicazioni progettuali sono accompagnate da **riferimenti normativi essenziali**, riguardanti i disposti legislativi e le normative tecniche nazionali.

### Il campo di applicazione

Tra le tipologie appartenenti al terziario, l'interesse per l'edilizia scolastica trova fondamento nella rilevanza numerica delle strutture obsolete presenti nel contesto italiano, che espone un consistente patrimonio edilizio in condizioni critiche (quasi il 40% degli edifici scolastici necessita di manutenzione urgente), dal punto di vista fisico, tecnologico, funzionale e normativo, poichè la maggior parte degli edifici scolastici è stata edificata tra il secondo dopoguerra e gli anni novanta del secolo scorso. Difatti, l'edilizia scolastica esistente presenta evidenti situazioni di degrado, dovuto ad obsolescenza e inadeguatezza strutturale e ad altissimi consumi energetici. I principali problemi dell'edilizia scolastica sono evidenziati dalla ricerca di Legambiente, effettuata su tutto il territorio nazionale, che fotografa annualmente con il dossier "Ecosistema Scuola" lo stato di fatto delle scuole in Italia, restituendo un quadro di orientamento sulla qualità delle strutture e dei servizi offerti. Quindi, considerata terminata la fase di realizzazione di nuovi edifici, appare evidente la necessità di doversi dedicare alla programmazione e all'attuazione di strategie di manutenzione e di riqualificazione, privilegiando il controllo e il miglioramento dei requisiti energetico – ambientali. Dal punto di vista quantitativo, circa il 70% delle scuole presenti sul territorio nazionale risale ad epoche precedenti gli anni 80. Con riferimento alla tipologia costruttiva, si ha una netta prevalenza di strutture miste in c. a. e muratura (67%), seguita dalla muratura portante in pietra e mattoni (15%) e dalla muratura portante in laterizio (14%). Negli ultimi 7 anni, la media di edifici di nuova realizzazione è stata di circa il 4% dell'esistente. Il 97% degli edifici ha un impianto di riscaldamento di tipo tradizionale e soltanto il 2,5% ha una Unità di Trattamento dell'Aria. Il combustibile maggiormente impiegato è il gas (73%) seguito dal gasolio e dall'olio combustibile (24%). I tubi del circuito di distribuzione sono prevalentemente in traccia (87%) (Fasano, 2011).

Difatti, di recente il MIUR ha deciso di stanziare 680 mln di euro, provenienti dalle risorse europee, per interventi di riqualificazione e messa in sicurezza degli immobili scolastici concentrati prevalentemente nelle Regioni appartenenti all'Obiettivo Convergenza (Calabria, Campania, Puglia, Sicilia), con la predisposizione di linee guida per gli interventi destinati anche alla riqualificazione energetica (fonte: [www.rinnovabili.it](http://www.rinnovabili.it), "Pubblicato dal Miur l'Anagrafe del patrimonio immobiliare scolastico italiano. Edilizia, emergenza scuola: dal Miur 680mln di euro", 14 settembre 2012). Nello specifico, nel panorama dell'edilizia scolastica, la scelta del campo di applicazione è ricaduta sul patrimonio edilizio gestito dell'amministrazione provinciale di Reggio Calabria, all'interno del quale è stato individuato quale caso studio il Liceo Scientifico Leonardo da Vinci, realizzato negli anni '50 (fig. 2).

**contesto urbano di riferimento:**  
l'edificio, costruito nel 1954, è situato in pieno centro storico e fa da testata a una stecca di edifici, destinati ad usi diversi, compresa tra due strade parallele al corso principale, che si sviluppano lungo l'asse nordest-sudovest;

**organismo edificio:**  
planimetricamente, l'edificio presenta una tipologia a corte, mentre in alzata è costituito da un piano seminterrato e da quattro piani fuori terra;  
gli ambienti destinati alle aule si affacciano prevalentemente a sudest e a nordovest e risentono, soprattutto in inverno, dell'influenza delle ombre portate del mattino e del primo pomeriggio, provocate dagli edifici dirimpettai;  
la ventilazione trasversale è ostacolata dalla profondità degli ambienti stessi e dalla presenza di un corridoio, su cui insistono gli ingressi delle aule;  
l'illuminazione naturale può essere utilizzata nelle prime ore del mattino nelle aule esposte a nordest e sudest, mentre, per quelle esposte a sudovest e a nordovest deve essere controllata;  
nel periodo estivo è necessario controllare il livello di surriscaldamento, causato dalla forte insolazione, presente anche durante le prime ore del mattino (latitudine 38° 15'), per gli ambienti esposti a sudest e, nell'ipotesi di utilizzo pomeridiano delle aule, per quelli esposti a sudovest;  
alcuni ambienti esposti a sudest non presentano problematiche particolari, in quanto risentono dell'ostruzione esercitata dalla sagoma degli edifici limitanti;  
il corpo di fabbrica esposto a nordest ospita gli ambienti della palestra;

**soluzioni costruttive:**  
le pareti perimetrali sono costituite da muratura in mattoni pieni intonacata con malta a base cementizia e rivestita con lastre di travertino, al piano seminterrato e al piano terra, e da muratura in blocchi di laterizi forati intonacata sempre con malta a base cementizia (soluzione tecnica esaminata); il modello funzionale può essere ricondotto a quello della "parete omogenea"; sono presenti vistose anomalie a carico del rivestimento esterno;  
gli infissi esterni sono costituiti da serramenti in legno e in alluminio e vetrate semplici;  
gli schermi sono rappresentati da tapparelle avvolgibili in legno e in materiale plastico, poco adatte a contrastare l'eccessiva insolazione e a mantenere, contemporaneamente, adeguati livelli di illuminamento;

**soluzioni impiantistiche:**  
esiste un impianto di riscaldamento centralizzato (caldia a gasolio e radiatori);  
inoltre, un impianto di condizionamento è posto a servizio esclusivo degli ambienti destinati alla presidenza e alla segreteria didattica;  
l'illuminazione artificiale è ottenuta mediante lampade a scarsa efficienza energetica;

**appropriatezza tecnica e compatibilità ambientale:**  
nell'edificio nel suo complesso non sono presenti tecnologie finalizzate alla riduzione dei consumi energetici e a garantire la qualità ambientale; anche l'aspetto formale non è determinato da elementi che esercitano il controllo ambientale;  
l'articolazione e il dimensionamento degli ambienti non favoriscono la ventilazione trasversale e buoni livelli di illuminamento naturali;  
i prospetti esposti a sudest e a sudovest presentano aperture che non consentono il controllo dei fenomeni di abbagliamento e di surriscaldamento (presenti anche in autunno e in primavera).

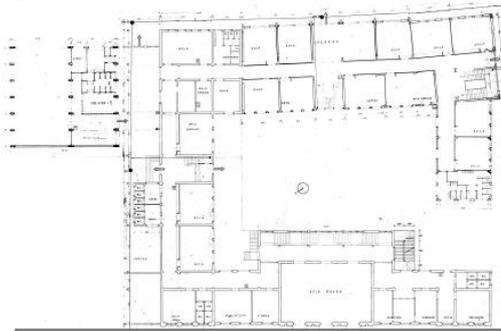
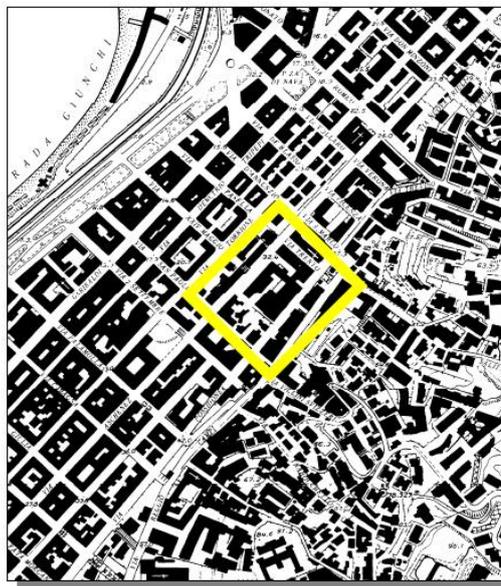


Fig. 2 – Caso studio

### L'applicazione della metodologia

Il sistema di ventilazione naturale passante orizzontale, applicato al caso studio in esame, potrebbe soddisfare esigenze legate al controllo del microclima interno. Pertanto gli obiettivi da perseguire sono relativi ai requisiti di comfort termoigrometrico, nel periodo estivo, e di controllo della qualità dell'aria interna, per il periodo invernale ed estivo. Nel primo caso è necessario mantenere la temperatura dell'aria nei principali spazi ad uso diurno (aule ed uffici), nel periodo maggio/ottobre, su valori di comfort (24- 28 °C), per un periodo di tempo di occupazione significativo, attraverso la messa in atto di strategie progettuali mirate all'ottimizzazione del comportamento passivo dell'edificio, in condizioni di temperatura dell'aria esterna inferiori ai limiti superiori della zona di comfort.

Nel secondo caso, è necessario garantire una qualità dell'aria interna accettabile, attraverso l'aerazione naturale degli ambienti, sfruttando le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi interni, senza gravare sui consumi energetici per la climatizzazione, assicurando anche valori accettabili dell'umidità relativa.

Con riferimento al primo obiettivo, nel caso specifico di Reggio Calabria, teoricamente questo dovrebbe essere possibile, sfruttando il raffrescamento ventilativo notturno, durante i mesi di maggio, giugno, luglio, agosto, settembre e ottobre, in cui i valori medi delle temperature esterne minime, variando dai 15°C ai 22°C, si mantengono al di sotto dei valori di comfort.

Il raffrescamento ventilativo notturno di un edificio è una tecnica di ventilazione che consiste nell'introduzione di aria esterna in un ambiente, durante la notte (quando la temperatura dell'aria esterna scende a valori tali che ne consentono un utilizzo per il raffrescamento delle spazi interni), tramite aperture posizionate in modo tale da ventilare superfici interne di strutture massive (solai, pavimenti, pareti).

È necessario, pertanto, verificare se le condizioni al contorno e le caratteristiche degli elementi dell'involucro edilizio sono tali da determinare una portata adeguata, per abbattere il carico termico estivo, prodotto durante le ore diurne (in particolare, il controllo degli effetti del surriscaldamento dell'involucro, durante i mesi maggio, giugno, luglio, agosto, settembre e ottobre). Tale tecnica può essere applicata in maniera efficace agli edifici scolastici, non essendo occupati durante la notte, anche per effettuare un ricambio più efficace dell'aria interna, per diminuire la concentrazione di eventuali sostanze inquinanti.

### Individuazione delle criticità

La collocazione dell'edificio (all'interno di un tessuto urbano a maglia ortogonale, distribuito lungo gli assi viari principali paralleli alla linea di costa, orientati secondo la direzione *sudovest-norddest*), permetterebbe in teoria di poter sfruttare il beneficio della costante ventilazione fornita dalle brezze di mare e di monte. Inoltre, la direzione *sudovest-norddest* della linea di costa e la direzione principale del vento, Nord, formano un angolo maggiore di 30°, che consentirebbe di poter sfruttare anche questo tipo di apporto. Pertanto, nel caso specifico, la *scia di ostacoli* posti sopravento, lungo la direzione prevalente del vento (nei mesi non invernali) potrebbe rappresentare una condizione di *criticità* (fig. 3, 4, 5, 6).

SISTEMA DI VENTILAZIONE NATURALE - VENTILAZIONE PASSANTE ORIZZONTALE	
CE	Qualità del microclima interno
CR	Qualità dell'aria interna - IAQ
Obiettivi	<p>Mantenere la temperatura dell'aria negli spazi ad uso diurno (nel periodo maggio/ottobre) su valori di comfort (24- 28 °C) per un periodo di tempo di occupazione giornaliero significativo, attraverso l'ottimizzazione del comportamento passivo dell'edificio, in condizioni di temperatura dell'aria esterna inferiori ai limiti superiori della zona di comfort.</p> <p>Garantire una qualità dell'aria interna accettabile attraverso l'aerazione naturale degli ambienti, sfruttando le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi.</p> <p>Garantire che l'umidità relativa sia contenuta entro i valori limite consentiti per le destinazioni d'uso degli ambienti.</p>
Strategie progettuali	<p>Utilizzare la ventilazione notturna, per raffrescare la massa termica interna degli edifici e per diluire la concentrazione di inquinanti prodotti durante le ore diurne.</p> <p>Ridurre l'apporto energetico della radiazione solare, durante i mesi non invernali, mediante l'uso di schermature, per evitare il surriscaldamento degli ambienti interni.</p> <p>Utilizzare la massa edilizia come volano termico per evitare condizioni di surriscaldamento all'interno dell'edificio.</p> <p>Installare serramenti apribili con infissi dotati di permeabilità all'aria adeguata.</p> <p>Inserire bocchette o griglie di ventilazione regolabili.</p> <p>Controllare la condensa superficiale.</p> <p>Controllare la condensa interstiziale.</p>
Parametri di progetto	<p>Parametri ambientali</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Velocità locale del vento, ricavabile da dati anemometrici registrati alla stazione meteorologica di riferimento; essa varia in funzione della rugosità del terreno e dell'altezza delle aperture collocate sull'involucro edilizio;</li> <li>variazione di pressione: dipende dalla pressione atmosferica riferita ad una certa altezza, dal coefficiente di pressione Cp, dalla densità dell'aria e dalla velocità del vento riferita all'altezza di gronda dell'edificio. Il coefficiente di pressione Cp (definito come il rapporto tra la pressione totale, statica + dinamica, esercitata su un punto dell'involucro e quella dinamica, misurata o calcolata ad un'altezza di riferimento, generalmente l'altezza dell'edificio, in flusso indisturbato) dipende da altri fattori: rugosità del terreno, densità urbana dell'area immediatamente circostante l'edificio, altezza dell'edificio stesso in rapporto agli edifici circostanti, rapporti di forma dell'edificio, angolo di incidenza del vento sulla facciata considerata, posizione dell'elemento in esame sulla facciata stessa. Il coefficiente di pressione positivo indica pressione esercitata verso l'interno dell'edificio, quello negativo indica la pressione esercitata verso l'esterno. Se la determinazione della pressione viene effettuata in corrispondenza di aperture, nel primo caso si avrà flusso di aria entrante, nel secondo caso un flusso d'aria uscente.</li> </ul>
Parametri di progetto	<p>Parametri relativi al rapporto tra l'edificio esaminato e il tessuto edilizio di riferimento</p> <p>La portata d'aria è influenzata in maniera indiretta da fattori relativi al rapporto tra l'edificio esaminato e il tessuto edilizio di riferimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>la localizzazione dell'edificio esaminato, per valutare l'influenza aerodinamica di un edificio rispetto all'altro, tenendo presente che le chiusure verticali, e i relativi infissi esterni verticali, siano poco o nulla coperti dalla scia di ostacoli posti sopravvento lungo la direzione prevalente del vento (nei mesi non invernali). La scia di ostacoli (intesa come la porzione del volume d'aria, a valle dell'ostacolo, in cui la velocità si riduce in modo consistente, a meno del 30% della velocità in flusso indisturbato) ha una profondità planimetrica variabile da 3 a 8 volte l'altezza dell'ostacolo stesso e dipende dalle caratteristiche di permeabilità (nulla nel caso delle pareti perimetrali e con valori fino al 70%, per le barriere vegetali senza foglie) e, nel caso di corpi solidi, dalla forma geometrica e dei rapporti dimensionali (altezza, lunghezza e larghezza);</li> <li>la configurazione geometrica, i relativi rapporti dimensionali e l'orientamento degli edifici, rispetto alla direzione del vento prevalente (media dei mesi non invernali), determinano variazioni relative (rispetto alla pressione dinamica di riferimento in flusso indisturbato), tra un punto e l'altro dell'involucro edilizio, della pressione esercitata dal vento sullo stesso, descritte dal coefficiente di pressione Cp. Tale differenza è massima per le aperture d'ingresso dell'aria, collocate sul lato sovrappressione, e per quelle d'uscita, collocate sul lato in depressione (generalmente, ciò accade quando le aperture sono collocate su pareti opposte), con angolo d'incidenza del vento compreso tra la perpendicolare e i 30°;</li> <li>le dimensioni degli spazi interni: l'efficacia della ventilazione passante orizzontale dipende, altresì, dalla profondità del vano libero in rapporto all'altezza del vano stesso e dalla eventuale presenza di partizioni, che aumentano la resistenza al flusso, riducendo la portata d'aria;</li> <li>la distribuzione degli spazi interni, tenendo conto della destinazione d'uso dei locali, dei periodi di occupazione degli stessi, dei requisiti di sicurezza; nella distribuzione planimetrica si deve considerare, principalmente, la potenzialità di ventilazione passante, limitando le partizioni perpendicolari al flusso d'aria prevalente e collocando gli arredi in modo da non ridurre eccessivamente la velocità dell'aria interna; negli edifici scolastici, le aule e gli uffici dovrebbero essere collocati sul lato sopravvento, mentre le aree di deposito e i servizi igienici andrebbero collocati su quello sottovento (affinché gli odori non si propagano prima di essere espulsi).</li> </ul>
Parametri di progetto	<p>Parametri relativi agli infissi esterni verticali</p> <p>Mentre i fattori tipici delle aperture, che influenzano direttamente la portata d'aria realizzabile con tale tecnica, riguardano la collocazione e le dimensioni delle aperture: l'effetto del vento è difatti proporzionale all'area netta di apertura, all'angolo di incidenza del vento sul piano dell'apertura; al rapporto tra le dimensioni perpendicolare e longitudinale dell'apertura, rispetto alla direzione di flusso, che determina il coefficiente di perdita di carico Cd, che assume generalmente un valore pari a 0,6 per aperture esterne e 0,9 per le aperture interne; al tipo e alla geometria degli infissi esterni verticali, che devono essere tali da garantire la possibilità di controllo dell'area netta di apertura e della direzione del flusso d'aria necessario; alla differenza di pressione tra le due aperture; alla densità dell'aria. Per il calcolo della portata d'aria potenziale da ventilazione passante orizzontale sono utilizzabili sia formule semplificate in regime stazionario (Grosso, 1997), per ambiente monozona (si definisce tale una zona di un edificio con due chiusure esterne permeabili di area netta di apertura A1 e A2, collocate su facciate opposte, e con coefficienti di pressione sulla superficie esterna delle chiusure stesse, rispettivamente Cp1 e Cp2) o multizona con vani in serie (si definisce tale una zona dell'edificio con chiusure permeabili, esterne e interne, collocate sulle pareti di vani adiacenti collocati in serie tra due facciate esterne opposte), sia modelli di simulazione multizona forniti da software dedicati. In entrambi i casi è necessario conoscere i relativi coefficienti di pressione Cp, desumibili da tabelle o calcolabili con appositi software.</p>

Fig.3 – Qualità del microclima interno: indicazioni progettuali

Il Liceo Scientifico Leonardo Da Vinci è un edificio a quattro piani fuori terra (sul lato della zona sopravvento). Per effetto della scia di ostacoli, si potrebbero avere condizioni migliori, per lo sfruttamento della ventilazione naturale passante, al secondo, al terzo e al quarto piano fuori terra dell'edificio esaminato. La configurazione geometrica, i relativi rapporti dimensionali, l'orientamento dell'edificio e l'angolo d'incidenza dei lati dell'edificio posti sopravvento, rispetto alla direzione del vento prevalente ( $30^\circ < \alpha < 90^\circ$ ) e alle brezze ( $\alpha = 90^\circ$ ), possono determinare variazioni relative (rispetto alla pressione dinamica di riferimento in flusso indisturbato) della pressione esercitata dal vento sull'involucro, tra un punto e l'altro dello stesso. Pertanto, per dimensionare le aperture di ingresso e di uscita dell'aria, bisogna valutare attentamente le variazioni di pressione relative agli infissi collocati sui prospetti posti in zona sopravvento e sottovento, oltre ai prospetti paralleli che si affacciano sulla corte interna (*punti critici*).

SISTEMA DI VENTILAZIONE NATURALE - VENTILAZIONE PASSANTE ORIZZONTALE	
CE	Qualità del microclima interno
CR	Qualità dell'aria interna - IAQ
Parametri di progetto	<p><b>Comfort termoisometrico - raffrescamento estivo</b></p> <p>Parametri relativi al controllo degli apporti termici solari estivi delle chiusure trasparenti</p> <p>Tale controllo si attua attraverso scelte progettuali appropriate relative a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• orientamento, inclinazione e area della superficie finestrata;</li> <li>• proprietà dei materiali trasparenti;</li> <li>• schermature.</li> </ul> <p>In generale, l'orientamento più appropriato è:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sud, per ambienti in cui un certo apporto termico solare è desiderabile solo in alcuni periodi dell'anno;</li> <li>• Nord, per ambienti in cui l'apporto di radiazione solare non è desiderabile.</li> </ul> <p>Determinata la superficie minima in funzione delle esigenze d'illuminazione naturale, l'area della chiusura trasparente, in base all'orientamento, ha un valore ottimale, oltre il quale ogni ulteriore incremento di superficie produrrebbe un aumento del fabbisogno termico, sia estivo, sia invernale, senza fornire benefici nella riduzione del consumo energetico prevedibile per l'illuminazione. Con riferimento all'inclinazione della chiusura trasparente, quella orizzontale favorisce l'incremento degli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente nel periodo estivo (altezza solare prossima ai 75°), che sono ridotti per le chiusure trasparenti verticali. Per quanto riguarda le proprietà degli elementi trasparenti, sono utili per il controllo della radiazione solare i vetri selettivi (campo di lunghezza d'onda dell'infrarosso).</p> <p>Le schermature orizzontali sono efficaci se collocate sulla facciata Sud dell'edificio; in tal caso impediscono la penetrazione della radiazione diretta nelle ore centrali delle giornate estive, consentendo l'apporto solare invernale. Le schermature verticali (a parete o a doghe) sono efficaci, invece, quando l'altezza solare è piuttosto bassa, nel periodo estivo (orientamento est - ovest). Alla latitudine di Reggio Calabria sono utili per schermare infissi orientati a W-SW e E-SE. Le schermature esterne sono molto più efficaci di quelle interne come strumento di controllo solare, in quanto respingono la radiazione solare prima che raggiunga la superficie del vetro, evitando che questo si riscaldi e si meschi a un micro effetto serra (nel caso dello schermo interno), con conseguente innalzamento della temperatura interna.</p>
Parametri progettuali	<p>Parametri legati al controllo dell'inerzia termica</p> <p>L'inerzia termica è una proprietà degli elementi tecnici che compongono un edificio, legata all'accumulo del calore e al tempo di rilascio (coefficiente di sfasamento, misurato in ore) nello stesso nell'ambiente interno. Maggiore è l'inerzia termica, minore sarà la velocità con cui la temperatura interna dell'aria sale, o scende, in risposta ad un incremento, o decremento, della temperatura esterna (fattore di attenuazione armonica, detto anche coefficiente di attenuazione o fattore di decremento). Nel caso di pareti isolate all'esterno, la capacità effettiva di accumulo della parete è rappresentata dalla capacità termica aerea, che coinvolge lo strato di muratura rivolto verso l'ambiente interno. Il controllo dell'inerzia termica è una strategia utilizzabile per la riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento, particolarmente negli edifici non residenziali, poiché determina un accumulo del calore, sia solare, sia endogeno, con conseguente attenuazione degli incrementi di temperatura interni durante il giorno.</p>
Parametri progettuali	<p>Parametri legati alla ventilazione notturna della massa</p> <p>Il raffrescamento ventilativo notturno della massa termica (RVM) di un edificio è una tecnica che consiste nell'introduzione di aria esterna in un ambiente, durante la notte (quando la temperatura dell'aria esterna scende a valori tali che ne consentono un utilizzo per il raffrescamento delle spazi interni), tramite aperture posizionate in modo tale da ventilare superfici interne di solai, pavimenti, pareti. Tale tecnica può essere applicata ad edifici non residenziali, con elevate portate d'aria richieste, non occupati durante la notte, come l'edilizia scolastica. L'efficacia della tecnica RVM è proporzionale al livello d'escursione termica giornaliera e dipende dalla quantità e posizione della massa esposta, in grado di assorbire il calore prodotto nell'ambiente durante il giorno, e dalla posizione delle aperture e dalla velocità dell'aria. In relazione alla diminuita ventosità nelle ore notturne ed alle condizioni climatiche specifiche del sito in esame, può essere ammesso l'utilizzo di ventilatori per la movimentazione dell'aria, ad integrazione della ventilazione naturale, al fine di ridurre l'area netta d'apertura. Tra gli elementi tecnici utilizzabili come accumulatori/dissipatori del calore generato all'interno di ambienti non residenziali, quello più idoneo è il solaio, in quanto, se l'intradosso è esposto, assorbe naturalmente, per convezione ascendente, il calore prodotto nel locale sottostante. Le caratteristiche tecnologiche principali di un ambiente e del relativo solaio, da progettarsi a tale scopo sono: la mancanza di controsoffitto e, quindi, la collocazione di cablaggi e condutture a livello di pavimento (pavimento flottante); uno spessore consistente (non meno di 10 cm) - dipendente dalle condizioni specifiche d'uso e climatiche dell'edificio in esame - di materiale ad alta capacità termica, nella parte d'intradosso del solaio; la mancanza di partizioni a tutt'altezza, nelle zone in cui si intende utilizzare la tecnica RVM, per l'intero spazio compreso tra due pareti esterne opposte. Per calcolare, a livello di progetto preliminare, la massa termica esposta necessaria per assorbire e dissipare il calore prodotto in un ambiente confinato non residenziale, nonché la portata d'aria richiesta per raffreddarlo, prima che s'innesci un nuovo ciclo diurno di riscaldamento endogeno, si può fare riferimento a metodologie semplificate (Grosso, 1997) o, in alternativa, a programmi di simulazione termica in regime transitorio. Gli infissi esterni specificamente previsti per il RVM devono essere caratterizzati per garantire la necessaria portata d'aria naturale, ai valori di temperatura esterna richiesti. In particolare, i principali requisiti sono: configurazione tale da permettere l'apertura a filo dell'intradosso del solaio; collocazione su due chiusure verticali opposte, al fine di consentire una ventilazione passante; area netta d'apertura idonea, da valutarsi in relazioni alle condizioni specifiche d'uso e climatiche dell'edificio in esame (indicativamente, un'area netta di riferimento può essere pari a 0,05 m<sup>2</sup> per ogni m<sup>2</sup> di superficie di pavimento).</p>

Fig. 4 – Qualità del microclima interno: indicazioni progettuali

Trattandosi di una **tipologia multizona**, affinché il sistema di ventilazione passante orizzontale sia efficace bisogna considerare, altresì, la profondità degli ambienti serviti, in rapporto all'altezza e alla presenza delle partizioni verticali interne (**punto critico**), che li separano dal corridoio, che potrebbero aumentare la resistenza al flusso. La distribuzione degli spazi interni dell'edificio esaminato deve essere attentamente valutata, tenendo conto dell'orientamento, della destinazione d'uso dei locali (considerazioni a parte vanno fatte per il piano seminterrato), dei periodi di occupazione degli stessi: negli edifici scolastici, le aule e gli uffici dovrebbero essere collocati sul lato sopravento, mentre le aree di deposito e i servizi igienici andrebbero collocati su quello sottovento (affinchè gli odori non si propaghino prima di essere espulsi). Nel caso in questione, la collocazione attuale dei servizi igienici, in funzione dello sfruttamento della ventilazione naturale, potrebbe costituire un **elemento di criticità**, sul quale lavorare per trovare soluzioni adeguate al problema. Nel caso in questione, un altro fattore di criticità è rappresentato dalla rugosità del terreno, che, corrispondendo a quella di **un'area urbana centrale ad alta densità edilizia**, è piuttosto elevata,; pertanto bisognerà valutare attentamente l'influenza che potrebbe produrre sul corretto dimensionamento delle aperture, in funzione del flusso d'aria entrante e di quello uscente.

Altri fattori, che influenzano direttamente la portata d'aria realizzabile con tale tecnica, riguardano la collocazione e le dimensioni delle aperture; pertanto, ulteriori elementi di criticità potrebbero essere rappresentati: dall'**area netta di apertura**, dal **tipo e dalla geometria degli infissi esterni verticali**, che devono essere tali da garantire la possibilità di controllo della direzione del flusso d'aria necessario, compatibilmente con le esigenze di comfort acustico e visivo (il prospetto posto sopravento si affaccia su un importante asse viario ad alta intensità di traffico veicolare), in modo da permettere anche la ventilazione notturna delle masse, nel rispetto delle esigenze di sicurezza; la **differenza di pressione tra le due aperture** (di ingresso e di uscita dell'aria), controllando l'efficacia delle aperture posizionate sui prospetti che si affacciano nel cortile interno.

L'edificio esaminato è orientato in maniera tale da essere soleggiato su tutti e quattro i lati, condizione che esprime un importante elemento di criticità da valutare attentamente.

Il **prospetto** esposto a **nord est** riceve un modesto soleggiamento durante le prime ore del mattino, ulteriormente attenuato, sia durante l'estate, sia durante l'inverno, dalle ombre portate dell'edificio prospiciente. Il **prospetto** esposto a **sud est** è soleggiato costantemente fino a mezzogiorno; durante il periodo invernale; a causa di una modesta altezza solare (inferiore ai 30°) e di una larghezza stradale inferiore all'altezza degli edifici circostanti, è favorito particolarmente l'ultimo piano fuori terra, perché il primo e il secondo piano risentono delle ombre portate degli edifici antistanti; invece, durante il periodo considerato (maggio, giugno, luglio, agosto, settembre e ottobre) il rischio di surriscaldamento dei locali scolastici è potenzialmente alto, perché si riduce notevolmente il contributo delle ombre portate (altezza solare maggiore di 60°) e gli infissi non sono dotati di schermi esterni efficaci per contrastare gli effetti termici della radiazione solare. Il **prospetto laterale esposto a sudovest** è soleggiato da mezzogiorno alle prime ore del pomeriggio (durante il periodo estivo le ore di maggiore insolazione vanno dalle undici alle sedici). Pertanto, durante il periodo invernale, potenzialmente, dovrebbe ricevere il contributo maggiore di soleggiamento, mentre, durante il periodo estivo, il rischio di surriscaldamento è altissimo, perché diminuisce notevolmente il contributo delle ombre portate dagli edifici circostanti e gli infissi esterni non sono attrezzati con schermi efficienti. Il **prospetto** esposto a **nord ovest** invece è soleggiato dalle sedici fino al tramonto; pertanto durante il periodo invernale, riceve un contributo modestissimo, poiché il sole tramonta intorno alle diciassette; mentre in estate, il rischio di surriscaldamento è comunque elevato, sempre perché non c'è una buona ombreggiatura, né gli infissi esterni sono dotati di schermi appropriati.

Nel caso specifico dell'edificio scolastico esaminato, l'area della chiusura esterna trasparente (funzionale per ottenere la portata d'aria di ventilazione richiesta dalla normativa) dipende, sostanzialmente, dal bilanciamento tra le esigenze di illuminazione naturale e quelle di riduzione del fabbisogno energetico annuale complessivo per riscaldamento, raffrescamento e illuminazione.

Considerato che le superfici trasparenti sono circa il 50 % dell'involucro edilizio, bisogna attentamente controllare gli effetti della radiazione solare sulle ampie superfici finestrate orientate a sudest, sudovest e nordovest durante il periodo estivo, mediante l'installazione di opportune schermature verticali (a parete o a doghe). Condizioni analoghe di surriscaldamento estivo, possono verificarsi per i prospetti interni, quando non è efficace l'effetto delle ombre portate.

Il controllo dell'umidità relativa costituisce un altro importante fattore di criticità. Nell'edificio esaminato sono evidenti segni di degrado dovuti anche a fenomeni di condensa superficiale e interstiziale sugli elementi tecnici dell'involucro, dovuti ai seguenti motivi: l'assenza di un adeguato isolamento termico dell'involucro; la presenza dei ponti termici.

L'inerzia termica è una proprietà degli elementi tecnici che compongono un edificio, legata all'accumulo del calore e al tempo di rilascio (coefficiente di sfasamento, misurato in ore) dello stesso nell'ambiente interno.

Nel caso specifico, il controllo dell'inerzia termica è fondamentale per evitare il surriscaldamento delle masse durante il periodo di maggiore insolazione in estate e per sfruttare i benefici della ventilazione notturna; pertanto, bisogna adottare misure adeguate per proteggere l'involucro e favorire lo sfruttamento di tale proprietà, con particolare attenzione per le superfici sovraesposte alla radiazione solare: le coperture e le chiusure verticali esposte a sudest e a sudovest.

SISTEMA DI VENTILAZIONE NATURALE - VENTILAZIONE PASSANTE ORIZZONTALE	
Altre classi di esigenza coinvolte	<b>Salvaguardia dell'ambiente - Inquinamento atmosferico - Controllo fonti inquinanti interne al sito</b> <b>Obiettivi</b> Garantire condizioni adeguate di qualità dell'aria esterna. <b>Strategie progettuali</b> Le strategie progettuali e le tecnologie che si possono adottare, per controllare gli effetti dovuti alla presenza di sostanze inquinanti dell'aria negli spazi esterni all'edificio esaminato, sono, principalmente, le seguenti: introdurre alberature stradali, con essenze compatibili al traffico veicolare; schermare i flussi d'aria, che si prevede possano trasportare sostanze inquinanti, con fasce vegetali composte da specie arboree e arbustive efficaci nell'assorbire le sostanze stesse (valutare la densità della chioma, i periodi di fogliatura e defogliazione, dimensioni e forma, accrescimento) o con barriere artificiali; definizione di procedure di cura e manutenzione periodica del verde.
	<b>Salvaguardia dell'ambiente - Contenimento del consumo di risorse non rinnovabili - Materiali da costruzione</b> <b>Obiettivi</b> Selezionare processi, elementi tecnici e materiali caratterizzati da un basso consumo energetico. <b>Strategie progettuali</b> Selezione materiali costituenti l'elemento tecnico La scelta dei materiali deve tendenzialmente privilegiare quelli provenienti da risorse rinnovabili, riciclabili, certificati o provenienti da processi produttivi dotati di sistemi di gestione ambientale. È necessario, inoltre, considerare che i materiali hanno ricadute sulle prestazioni energetiche complessive dell'edificio in termini di contenimento dei consumi energetici e in termini di condizioni di comfort. Un materiale, pertanto, dovrà essere scelto in funzione delle sue caratteristiche generali, tenendo conto della sua conduttività termica, resistenza al passaggio del vapore, massa volumica, senza prescindere dalla verifica della qualità dell'ambiente interno. Selezione materiali costituenti l'elemento tecnico in funzione del trasporto La scelta dei materiali può dipendere dalla distanza della fonte di approvvigionamento rispetto al cantiere di costruzione del manufatto edilizio. In tal senso è opportuno privilegiare materiali provenienti da siti di produzione limitrofi al luogo di costruzione, fermo restando che il consumo imputabile ai processi di trasporto è dipendente dalla tipologia dei mezzi che vengono impiegati. In particolare: privilegiare materiali estratti e prodotti localmente; privilegiare materiali il cui trasporto è avvenuto su ferrovia piuttosto che su strada; Quantità di materia del prodotto La quantità di componenti che costituiscono un prodotto edilizio dovrebbe essere relativamente contenuta, a parità di prestazioni in fase di esercizio e manutenzione, attraverso l'impiego di materiali in grado di svolgere delle funzioni integrate (ad esempio guaine in grado di svolgere un'azione sia impermeabilizzante che isolante). In particolare è opportuno privilegiare elementi tecnici che non siano costituiti da materiali eccessivamente eterogenei. Sistemi costruttivi Anche l'attività di cantiere può comportare dei consumi energetici che devono essere contenuti. In quest'ottica può essere utile privilegiare sistemi prefabbricati leggeri, già pronti per la posa in opera, piuttosto che sistemi costruttivi che prevedano, presso il sito di fabbricazione, operazioni di trasformazione di materiali in componenti edilizi.
	<b>Salvaguardia dell'ambiente - Riduzione dei rifiuti - Minimizzazione dei rifiuti da C&amp;D in fase di dismissione</b> <b>Obiettivi</b> Valorizzare i processi di riciclaggio e di riuso favorendo la rivalutazione degli elementi tecnici una volta dismessi. <b>Strategie progettuali</b> Selezione dei materiali che costituiscono l'elemento tecnico Gli elementi tecnici devono essere caratterizzati da un'alta percentuale di scarti riciclabili al termine della vita utile dell'edificio, minimizzando, in questo modo, i rifiuti destinati al conferimento in discarica. In particolare è opportuno privilegiare materiali in grado di recuperare le caratteristiche prestazionali d'origine; selezionare materiali che non comportino processi di trattamento particolarmente inquinanti o ad alto consumo energetico; evitare i materiali, contenuti all'interno dello stesso elemento tecnico, che possono risultare tra loro incompatibili in termini di riciclaggio. La scelta dei materiali deve tenere conto della loro potenziale smaltibilità in termini, ad esempio, di elevata inerzia chimica dei materiali o in termini di biodegradabilità. La smaltibilità è direttamente correlata al contenuto di sostanze chimiche nocive nel processo di produzione di un materiale ed alla loro emissività durante la fase di esercizio del manufatto edilizio. Ciò comporta che maggiore è la smaltibilità di un materiale, minore è il complesso di emissioni in aria, acqua e suolo durante l'intero ciclo di esistenza di un prodotto edilizio. In particolare è opportuno selezionare prodotti caratterizzati da un marchio ecologico, cioè, normalmente, è garanzia di una corretta valutazione dell'impatto del prodotto stesso sull'ambiente durante l'intero ciclo di vita, secondo metodologie consolidate e riconosciute da enti, organizzazioni, ecc. Tecniche costruttive Durante l'esecuzione è utile indicare le modalità tecniche esecutive necessarie per avviare materiali ed elementi tecnici alle operazioni di riutilizzo o recupero.
	<b>Salvaguardia dell'ambiente - Riduzione delle emissioni nocive - Materiali da costruzione: effetti ambientali per la produzione degli elementi tecnici</b> <b>Obiettivi</b> Selezionare risorse, processi e tecniche a basso impatto ambientale <b>Strategie progettuali</b> Selezione materiali costituenti l'elemento tecnico Nell'ambito dei processi produttivi è importante sottolineare che spesso l'impatto ambientale negativo arrecato da un sistema di produzione di un componente edilizio non è tanto legato alla scelta del materiale, quanto, piuttosto, agli additivi impiegati. In particolare è opportuno privilegiare materiali che comportino un ridotto impatto ambientale alle diverse scale d'azione (globale, regionale, locale); privilegiare materiali i cui sistemi di produzione siano certificati (es. ISO 14001). È necessario, inoltre, considerare che i materiali hanno ricadute sulle prestazioni complessive dell'edificio, in particolare, in termini di emissioni tossico-nocive che possono liberarsi nell'ambiente interno. È, pertanto, opportuno selezionare un materiale in relazione alla sua capacità, o meno, di provocare fenomeni di inquinamento indoor durante la fase di esercizio di un edificio. Quantità di materia del prodotto La quantità di componenti che costituiscono un prodotto edilizio dovrebbe essere relativamente contenuta, a parità di prestazioni in fase di esercizio e manutenzione, attraverso l'impiego di materiali in grado di svolgere delle funzioni integrate (ad esempio guaine in grado di svolgere un'azione sia impermeabilizzante che isolante). In particolare è opportuno privilegiare elementi tecnici che non siano costituiti da materiali eccessivamente eterogenei.

Fig. 5 – Altre classi di esigenza: indicazioni progettuali

L'efficacia della tecnica di raffrescamento ventilativa della massa è proporzionale al livello d'escursione termica giornaliera e dipende dalla quantità e dalla posizione della massa esposta, in grado di assorbire il calore prodotto nell'ambiente durante il giorno, dalla posizione delle aperture e dalla velocità dell'aria. In relazione alla diminuita ventosità nelle ore notturne ed alle condizioni climatiche specifiche del sito in esame, può essere ammesso l'utilizzo di dispositivi di estrazione dell'aria, ad integrazione della ventilazione naturale, al fine di ridurre l'area netta d'apertura. Tra gli elementi tecnici massivi utilizzabili come accumulatori/dissipatori del calore generato all'interno degli ambienti scolastici, quello più idoneo è il solaio, in quanto, se l'intradosso è esposto, assorbe naturalmente, per convezione ascensionale, il calore prodotto nel locale sottostante.

Gli elementi tecnici da controllare per tale scopo sono: la presenza del controsoffitto (nell'edificio esaminato sono assenti) e la collocazione specifica di cablaggi e condutture; la presenza di materiale ad alta capacità termica, nella parte d'intradosso del solaio, dimensionato in relazione alle condizioni specifiche d'uso e microclimatiche dell'edificio in esame; trattandosi di ambienti multizona, la mancanza di partizioni a tutt'altezza, per l'intero spazio compreso tra due pareti esterne opposte (si dovrà prevedere un adeguamento delle partizioni interne verticali, per consentire il passaggio del flusso d'aria richiesto per la ventilazione). Per calcolare, a livello di progetto preliminare, la massa termica esposta necessaria per assorbire e dissipare il calore prodotto in un ambiente confinato dell'edificio scolastico esaminato, nonché la portata d'aria richiesta per raffreddarlo, prima che s'innesci un nuovo ciclo di riscaldamento endogeno, si può fare riferimento a metodologie semplificate (Grosso, 1997) o, in alternativa, a programmi di simulazione termica. Deve essere verificata l'idoneità degli infissi esterni esistenti, per garantire la necessaria portata d'aria naturale, ai valori di temperatura esterna richiesti. In particolare, i principali requisiti da verificare sono una configurazione tale da permettere l'apertura a filo dell'intradosso del solaio; una collocazione su due chiusure verticali opposte, al fine di consentire una ventilazione passante; un'area netta d'apertura idonea, da valutarsi in relazioni alle condizioni specifiche d'uso e climatiche dell'edificio in esame (indicativamente, un'area netta di riferimento può essere pari a 0,05 mq per ogni mq di superficie di pavimento).

Nel caso specifico dell'edificio esaminato, per applicare tale tecnica, sarà necessario sostituire gli infissi esistenti con altri tipologicamente e tecnologicamente più adatti.

Per la corretta progettazione del sistema è necessario, inoltre, non trascurare i requisiti legati al comfort acustico e visivo, richiesti dalla normativa di settore, analizzando e verificando i relativi aspetti. In merito al *Comfort acustico*, trattandosi di un edificio scolastico ubicato in una zona ad alta intensità di traffico veicolare, è necessario considerare diversi aspetti. La possibilità di sfruttare l'effetto schermante di ostacoli naturali o artificiali e la distribuzione degli ambienti interni (i locali che presentano i requisiti più stringenti di quiete dovranno preferibilmente essere situati sul lato dell'edificio meno esposto al rumore esterno). Prevedere che gli elementi dell'involucro esterno e delle partizioni interne posseggano un adeguato potere fono isolante e che i dispositivi per la ventilazione dei locali (griglie, bocchette) siano trattati acusticamente, in modo da non costituire ponti acustici. Per il *Comfort visivo*, le superfici vetrate devono avere un coefficiente di trasmissione luminosa elevato, rispettando nello stesso tempo le esigenze di riduzione delle dispersioni termiche e di controllo della radiazione solare entrante. È importante perciò dotarle di opportune schermature per evitare problemi di surriscaldamento estivo. È importante, inoltre, ridurre al minimo l'influenza delle ostruzioni esterne, in modo che l'apertura riceva luce direttamente dalla volta celeste (fattore finestra superiore a 0).

SISTEMA DI VENTILAZIONE NATURALE - VENTILAZIONE PASSANTE ORIZZONTALE	
Altre classi di esigenze coinvolte	<b>Qualità d'uso - controllo dei sistemi tecnici</b>
	<b>Obiettivi</b> Consentire la possibilità di regolare localmente la temperatura dell'aria e la ventilazione.
	<b>Strategie progettuali</b> Nel caso di sistemi di ventilazione naturale, deve esser possibile agire sulle aperture dell'involucro in modo da regolame l'area aperta. Un controllo più sofisticato della temperatura e della ventilazione in ambiente può avvenire attraverso l'uso di sistemi intelligenti integrati in un impianto di domotica, che prevedano l'uso di un microprocessore, di servomeccanismi e rilevatori intelligenti.
	<b>Qualità d'uso - manutenzione edilizia e dei sistemi tecnici</b>
	<b>Obiettivi</b> Riduzione e gestione eco-compatibile dei rifiuti derivanti dalle attività di manutenzione.
	<b>Strategie progettuali</b> Le strategie progettuali che si possono adottare per ridurre la produzione di rifiuti negli interventi di manutenzione sono riferibili sia ai materiali e prodotti, sia alla progettazione dei sub-sistemi. Materiali e prodotti: impiego di prodotti caratterizzati da un lungo ciclo di vita e da un'elevata manutenibilità e riutilizzabilità; verifica della durabilità e delle caratteristiche prestazionali dei materiali con i componenti o i materiali ad esso assemblati; impiego di prodotti ad alta smaltibilità; non impiego di componenti costituiti da materiali incompatibili al fine del riciclaggio. Composizione dell'edificio e progettazione dei sub sistemi: prevedere il più possibile nella forma, nella componentistica e nell'aggregazione dei sub-sistemi la modularità degli elementi; utilizzare tecnologie che prevedano lo smontaggio differenziato degli elementi e una elevata accessibilità delle connessioni; utilizzare soluzioni tecnologiche che favoriscano la rimozione dei componenti una volta installati.
	<b>Qualità d'uso - Protezione dell'involucro edilizio</b>
	<b>Obiettivi</b> Minimizzazione del deterioramento di materiali e componenti d'involucro.
	<b>Strategie progettuali</b> Impiego di schemi per la protezione dell'involucro dagli agenti atmosferici. Scelta di materiali appropriati in base alle condizioni climatiche esterne. Massima accessibilità dei componenti dell'edificio per operazioni di pulizia, manutenzione e riparazione.

Fig. 6 – Altre classi di esigenza: indicazioni progettuali

Infine, è necessario non trascurare i requisiti legati alle seguenti esigenze di salvaguardia dell'ambiente e di qualità d'uso. Con riferimento agli effetti dell'inquinamento atmosferico sul corretto funzionamento del sistema di ventilazione naturale, trattandosi di un edificio scolastico ubicato in una zona ad alta intensità di traffico veicolare, è necessario controllare gli effetti dovuti alla presenza di sostanze inquinanti nell'aria esterna ed eventualmente verificare la possibilità di prevedere dei correttivi (introduzione di sistemi vegetali compatibili con il traffico veicolare, efficaci nell'assorbire le sostanze inquinanti, definendo procedure di cura e manutenzione periodica del verde). Invece, con riferimento ai requisiti di Salvaguardia dell'ambiente, è necessario valutare il contenimento del consumo di risorse non rinnovabili nei materiali da costruzione; la riduzione dei rifiuti in fase di dismissione; la riduzione delle emissioni nocive dei materiali da costruzione in fase di produzione. Per quanto riguarda la Qualità d'uso è fondamentale il controllo dei sistemi tecnici, attraverso la manutenzione e la protezione dell'involucro edilizio.

### Individuazione delle tipologie d'intervento e brevi considerazioni economiche

In seguito all'analisi effettuata sul caso studio in esame, sulla base delle **criticità** emerse, considerando anche le condizioni precarie in cui si trova l'involucro edilizio esistente (si tratta di un edificio scolastico risalente al 1950 circa), si può affermare che la verifica relativa ad una prima fattibilità dell'applicazione del sistema di ventilazione naturale passante orizzontale, associato a un sistema di raffrescamento notturno della massa, richiede delle azioni correttive che riguardano l'intero involucro edilizio, da concretizzare in un sostanziale intervento di retrofit energetico (si tratta di un edificio scolastico con una superficie maggiore di 1000 mq).

Nella tabella seguente sono illustrate le tipologie d'intervento e i relativi obiettivi da perseguire, con riferimento al controllo della qualità dell'aria interna e del comfort termogrometrico dell'edificio scolastico esaminato (fig. 7).

Unità tecnologiche	Tipologia d'intervento ed elementi tecnici coinvolti	Obiettivi
Chiusure verticali	Coibentazione e potenziamento dell'inerzia termica delle pareti perimetrali	Migliorare l'efficienza termica dell'involucro sia nel periodo invernale, riducendo le dispersioni e incrementando gli apporti termici gratuiti, sia nel periodo estivo, riducendo le rientrate di calore e migliorando il raffreddamento notturno delle masse. Migliorare la permeabilità all'aria dell'involucro, per contrastare l'insorgenza di fenomeni di condensa superficiale e interstiziale, anche attraverso l'eliminazione di ponti termici.
	Sostituzione degli infissi esistenti	Migliorare l'efficienza termica dell'involucro, controllando le dispersioni termiche, nel periodo invernale, e, controllando l'incidenza della radiazione solare, durante il periodo estivo. Permettere la ventilazione negli ambienti, per consentire il ricambio d'aria e il raffrescamento delle masse interne durante le ore notturne. Controllare l'insorgenza di fenomeni di condensa superficiale, attraverso l'eliminazione di ponti termici.
	Installazione di schermature esterne	Migliorare l'efficienza termica dell'involucro, controllando l'incidenza della radiazione solare, durante il periodo estivo.
Chiusure orizzontali	Coibentazione e potenziamento dell'inerzia termica delle coperture piane	Migliorare l'efficienza termica dell'involucro sia nel periodo invernale, riducendo le dispersioni, sia nel periodo estivo, riducendo le rientrate di calore e migliorando il raffreddamento notturno delle masse. Migliorare la permeabilità all'aria dell'involucro, per contrastare l'insorgenza di fenomeni di condensa superficiale e interstiziale, anche attraverso l'eliminazione di ponti termici.
Partizioni interne verticali	Realizzazione di aperture nelle partizioni interne	Permettere il passaggio del flusso d'aria negli ambienti multizona, per consentire il ricambio d'aria e il raffrescamento delle masse interne durante le ore notturne.
	Sostituzione degli infissi esistenti	
Partizioni interne orizzontali	Potenziamento dell'inerzia termica dei solai interni degli ambienti serviti dal sistema di ventilazione	Ridurre il rischio di surriscaldamento degli ambienti interni, migliorando il raffreddamento notturno delle masse.

Fig. 7 – Elementi tecnici coinvolti

Si tratta sostanzialmente di una serie di opere da eseguire sull'edificio, rivolte a ridurre i consumi energetici in fase di esercizio, migliorando le condizioni economiche e l'impatto ambientale del sistema edilizio. Inoltre, trattandosi di un edificio pubblico, si effettua anche un'opera di trasferimento e di diffusione dell'innovazione tecnologica connessa a tali interventi.

Progettare un sistema di ventilazione naturale passante orizzontale che possa assicurare condizioni di comfort interno con un minore fabbisogno energetico, vuol dire abbattere potenzialmente i costi di gestione dell'immobile esistente del 30-40%. Per ottenere questo risultato, oltre ad effettuare sinergicamente opportune scelte tecniche spesso onerose quali, per esempio, il miglioramento dell'isolamento termico, è preferibile eseguire un'attenta *analisi climatica del luogo* oggetto dell'intervento, in modo da evidenziare soluzioni progettuali e alternative tecniche, in grado di sfruttare le naturali condizioni del sito, e una *corretta informazione e formazione dell'utenza* sulle buone pratiche, utili per ottenere gli stessi livelli di comfort con una riduzione dei costi energetici durante la vita dell'edificio.

### Conclusioni

Gli obiettivi legati ad un uso razionale dell'energia devono portare al massimo risparmio energetico con i minori costi possibili d'investimento, gestione e manutenzione.

Precedentemente è stato sottolineato che il fabbisogno termico (invernale ed estivo) dell'edificio deve essere ridotto tramite opportune azioni sull'involucro edilizio, seguite dall'applicazione delle migliori tecnologie possibili per coprire la nuova domanda di energia, quali l'isolamento termico dell'involucro edilizio e il ricorso a fonti rinnovabili di energia, secondo un approccio integrato al concetto di risparmio energetico negli edifici, che comprende sia sistemi passivi che attivi.

Nelle aree geografiche caratterizzate da un clima mediterraneo, come la città di Reggio Calabria, la maggior parte degli edifici esistenti sono caratterizzati da elevati consumi energetici relativi alla climatizzazione estiva, che riguarda un arco di tempo di circa sei mesi all'anno (maggio/ottobre).

Le azioni rivolte al miglioramento dell'aspetto energetico dell'edificio sono quindi prevalentemente legate alla riduzione degli apporti termici tramite l'isolamento termico e l'uso di infissi esterni dotati di opportune schermature, più resistenti al passaggio del calore. Un attento rinnovo della facciata di un edificio, comportando anche una riduzione della trasmittanza della parete ed una minimizzazione delle dispersioni termiche, migliora il comfort termico anche durante il periodo estivo.

Nella tabella seguente (fig. 8) è proposto un confronto tra i tempi di ritorno di alcune possibili azioni di riqualificazione energetica.

Dal confronto emerge che gli interventi sull'involucro edilizio sono azioni che hanno un Payback time compreso tra i 12 e i 30 anni, comunque inferiore alla durata media della vita utile di un edificio scolastico. Tuttavia, l'intervento (necessario soprattutto per ripristinare adeguate condizioni di fruibilità in benessere e sicurezza), anche in relazione agli attuali prezzi dei combustibili fossili, può consentire una notevole riduzione dei costi di gestione (fino al 40% dei consumi energetici totali), se associato a *strategie di building automation* e a contratti di servizio energia.

Tuttavia, se si considera, per esempio, che nei sistemi passivi, gli elementi come le pareti perimetrali o la copertura, che captano, accumulano, trasferiscono e dissipano il calore (nella stessa veste delle soluzioni proposte nelle tabelle), costituiscono componenti edilizi che possono servire per riscaldare, o per raffrescare, nella stessa misura in cui separano gli ambienti o definiscono la forma dell'edificio, si può tranquillamente affermare che un intervento di retrofit energetico, che agisce sull'involucro edilizio, non comporta necessariamente costi supplementari di rilievo, in quanto la sua manutenzione può essere decisamente meno dispendiosa.

Sistemi di ventilazione naturale passante orizzontale, situati nelle aree con clima mediterraneo, sono solo alcune delle strategie progettuali che possono essere applicate nell'edilizia scolastica esistente, per diminuire i consumi energetici, ma, soprattutto, per migliorare la qualità della vita.

Principali interventi per l'efficienza energetica Valutazione tempi ritorno (T.R.) a costo attuale dell'energia e incentivi cogenti				
Alto costo T.R. 12-30a	Medio costo T.R. 6-12a	Basso costo T.R. 3-5 a	Basso costo T.R. 2-4 a	Basso costo T.R. <2 a
Edilizi	Impiantistici	Gestionali	Manutenzione	Comportamento
Sostituzione infissi (taglio termico, doppio o triplo vetro, argon)	Coibentazione tubazioni esterne per riscaldamento	Regolazione automatica valvole termostatiche	Pulizia e taratura impianti di climatizzazione, di illuminazione	-1 °C in inverno +1 °C in estate
Elementi schermanti	Sostituzione generatore calore	Sostituzione lampade tradizionali	Programmazione interventi sinergici con l'efficienza energetica	Sensibilizzazione e coinvolgimento degli utenti
Isolamento copertura e primo solaio	Impianti di climatizzazione ad alta efficienza, e di illuminazione integrati con le fonti rinnovabili	Regolazione automatica illuminazione (tempo e intensità)	Contratti servizio energia	Illuminazione spenta dove non necessario
Bioclimatica, solare attivo e passivo	Impianto solare termico e fotovoltaico, VRV (Variable Refrigerant Volume), VRF (Variable Refrigerant Flow)	Sistema intelligente integrato per la gestione e regolazione degli impianti	Finestre chiuse con riscaldamento o condizionamento in funzione	
Interventi a "pieno edificio"		Contrattualistica fornitura energia e servizi energia		

Fig. 8 – Tempi di ritorno di alcune possibili azioni di riqualificazione energetica

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AA. VV., 1999. *Costruire edifici sani*. Maggioli Editore, Rimini
- Baglioni, A., Riardi, S. 1993. *Costruzioni e salute*. Franco Angeli, Milano
- Bahadori, M.N. 1978. *Passive Cooling Systems in Iranian Architecture*, Scientific American, Vol. 238, No. 2, February, New York.
- Capanna, G., Daniotti, B., Olivieri, E., Varone, G. 1999. *Experimental development of a natural controlled ventilation device. Proceedings of 1999 IAQ Conference*, 364-369, Edimburgh
- Colaiani, V. G. 2000. *Il benessere e la sicurezza negli edifici*. Franco Angeli, Milano
- De Santoli, L., Fracastoro, G.V. 1998. *La qualità dell'aria negli ambienti interni. Soluzioni e strategie*. Milano: AICARR
- Fantone, C.R., 1999. *L'ufficio del futuro a Garston*, Costruire in Laterizio, n. 68, marzo-aprile, pp. 46-53.
- Fasano, G., 2011, *L'efficienza energetica nell'edilizia, Fonte dati Adp MiSE-ENEA "Ricerca di Sistema Nazionale Elettrico"*, Brindisi
- Fathy, H., 1986, *Natural Energy and Vernacular Architecture*, University of Chicago Press, USA
- Grosso, M., 1997, *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Rimini: Maggioli
- Maroni, M. 1998. 1997. *Salute e qualità dell'aria negli edifici*. Masson, Milano
- Permasteelisa, 1997, *138 architectural envelopes and building components*, 3rd Edition.
- Raffellini, G., Cellai, C., 1997. *La distribuzione dell'aria in Impianti di climatizzazione per l'edilizia. Dal progetto al collaudo* (Alfano, G., Filippi, M., Sacchi, E.), 521-544. Masson, Milano.
- Tedesco, S. 2010, *Riqualificazione energetico ambientale del costruito: edifici scolastici*, Alinea Editrice, Perugia