

# Ricerca di Sistema elettrico



Analisi dell'efficienza di differenti soluzioni di VMC in edifici esistenti aperti al pubblico con elevata affluenza

Simone Ferrari, Riccardo Cardelli, Michela Buzzetti



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

## ANALISI DELL'EFFICIENZA DI DIFFERENTI SOLUZIONI DI VMC IN EDIFICI ESISTENTI APERTI AL PUBBLICO CON ELEVATA AFFLUENZA

S. Ferrari, R. Cardelli, M. Buzzetti (Politecnico di Milano – Dipartimento ABC)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica -ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: *Decarbonizzazione*

Progetto: *Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica*

Linea di attività: *1.15 Analisi dell'efficienza di differenti soluzioni di VMC in edifici esistenti aperti al pubblico con elevata affluenza*

Responsabile del Progetto: ing. Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: ing. Domenico Iatauro, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Politecnico di Milano – Dipartimento ABC

Mese inizio previsto: Gennaio 2023

Mese inizio effettivo: Gennaio 2023

Mese fine previsto: Dicembre 2024

Mese fine effettivo: Dicembre 2024

## Indice

1	Risultati attesi .....	4
2	Risultati ottenuti.....	5
3	Prodotti attesi .....	6
4	Prodotti sviluppati .....	7
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	8
6	Sintesi delle attività svolte .....	9
7	Dettaglio delle attività svolte.....	10
7.1	Rassegna della letteratura scientifica sullo stato dell'arte delle strategie di ventilazione volte alla riduzione della trasmissione virale negli spazi confinati.....	10
7.2	Modelli di ambienti ad elevata affluenza di persone con le soluzioni di VMC individuate in base alla possibilità di collocamento delle unità, dei punti di immissione/estrazione e dei criteri di distribuzione dell'aria.....	10
7.3	Indagine strumentale delle condizioni ambientali rilevate con impianto VMC installato nello spazio campione, con relative elaborazioni .....	11
7.4	Simulazioni svolte per l'analisi dei flussi d'aria con i diversi sistemi di VMC al fine di assegnare le relative efficienze di ventilazione .....	12
7.5	Simulazioni svolte per l'analisi delle prestazioni termiche, con gli esiti delle implicazioni energetiche nella variabilità climatica nazionale ed in funzione delle diverse tipologie di involucro edilizio .....	16
7.6	Analisi dei costi di realizzazione, gestione (anche a bilancio del recupero termico) e manutenzione degli interventi individuati .....	17
7.7	Schede riassuntive delle diverse opzioni di implementazione di sistemi VMC individuate.....	17
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	18
9	Pubblicazioni scientifiche.....	19
10	Eventi di disseminazione .....	20

# 1 Risultati attesi

- Rassegna della letteratura scientifica sullo stato dell'arte delle strategie di ventilazione volte alla riduzione della trasmissione virale negli spazi confinati;
- Descrizione dei modelli di ambienti ad elevata affluenza di persone con le soluzioni di VMC individuate in base alla possibilità di collocamento delle unità, dei punti di immissione/estrazione e dei criteri di distribuzione dell'aria;
- Descrizione delle simulazioni svolte per l'analisi dei flussi d'aria con i diversi sistemi di VMC al fine di assegnare le relative efficienze di ventilazione;
- Descrizione delle simulazioni svolte per l'analisi delle prestazioni termiche, con gli esiti delle implicazioni energetiche nella variabilità climatica nazionale ed in funzione delle diverse tipologie di involucro edilizio;
- Descrizione dell'indagine strumentale delle condizioni ambientali rilevate con impianto VMC installato nello spazio campione, con relative elaborazioni;
- Analisi dei costi di realizzazione, gestione (anche a bilancio del recupero termico) e manutenzione degli interventi individuati;
- Schede riassuntive delle diverse opzioni di implementazione di sistemi VMC individuate.

## 2 Risultati ottenuti

- Rassegna della letteratura scientifica sullo stato dell'arte delle strategie di ventilazione volte alla riduzione della trasmissione virale negli spazi confinati;
- Descrizione dei modelli di ambienti ad elevata affluenza di persone con le soluzioni di VMC individuate in base alla possibilità di collocamento delle unità, dei punti di immissione/estrazione e dei criteri di distribuzione dell'aria;
- Descrizione delle simulazioni svolte per l'analisi dei flussi d'aria con i diversi sistemi di VMC al fine di assegnare le relative efficienze di ventilazione;
- Descrizione delle simulazioni svolte per l'analisi delle prestazioni termiche, con gli esiti delle implicazioni energetiche nella variabilità climatica nazionale ed in funzione delle diverse tipologie di involucro edilizio;
- Descrizione dell'indagine strumentale delle condizioni ambientali rilevate con impianto VMC installato nello spazio campione, con relative elaborazioni;
- Analisi dei costi di realizzazione, gestione (anche a bilancio del recupero termico) e manutenzione degli interventi individuati;
- Schede riassuntive delle diverse opzioni di implementazione di sistemi VMC individuate.

I risultati elencati sono stati pienamente ottenuti. Le analisi svolte e le soluzioni VMC individuate, caratterizzate da diversi livelli prestazionali ed implicazioni realizzative, costituiscono una guida di riferimento per selezionare il sistema più adatto allo specifico contesto, nonché per la definizione di scenari e politiche di intervento volte a promuovere l'adozione diffusa di tali sistemi in ambienti aperti al pubblico con elevata affluenza di persone. Il minor consumo di energia primaria invernale (che include quello per gli ausiliari elettrici del sistema di riscaldamento) ed estivo (interamente riconducibile all'elettrico), ad eccezione di casi relativi alla sala piccola, nelle condizioni climatiche nazionali più calde, in cui gli scostamenti sono leggermente positivi, attestano il beneficio per il sistema elettrico nazionale. A questi andrebbero aggiunti i benefici connessi alla riduzione degli oneri di gestione della salute pubblica, inclusi i consumi elettrici correlati, grazie alla riduzione del rischio di trasmissione virale, agli elevati livelli di Qualità dell'Aria Interna e di comfort termico conseguibili.

### 3 Prodotti attesi

È previsto un Report tecnico con descrizione delle attività e risultati raggiunti.

## 4 Prodotti sviluppati

È stato prodotto un Report tecnico e un allegato che include la descrizione dettagliata delle attività e dei risultati raggiunti.

## 5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Nessuno scostamento tecnico/economico su attività e risultati da segnalare.

## 6 Sintesi delle attività svolte

È stata condotta una rassegna della letteratura scientifica sullo stato dell'arte delle strategie di ventilazione volte alla riduzione della trasmissione virale negli spazi confinati. Sono stati definiti modelli rappresentativi di sale d'attesa con diverse soluzioni di VMC a basso impatto realizzativo, valutandone le efficienze di ventilazione tramite software di simulazione CFD. Con l'installazione di sensori di temperatura e di concentrazione di CO<sub>2</sub> è stata condotta un'indagine delle condizioni ambientali rilevate in uno spazio dotato di impianto VMC.

Sono state analizzate le prestazioni energetiche dei modelli tramite una matrice di simulazioni dinamiche composta da differenti contesti climatici e diverse tipologie edilizie. Sono stati calcolati i costi di installazione, manutenzione e gestione dei sistemi VMC ed elaborate le schede riassuntive delle soluzioni individuate.

## 7 Dettaglio delle attività svolte

Le attività svolte sono riassunte nelle seguenti 7 sezioni. Maggiori dettagli sono riportati nei 7 capitoli che compongono l'allegato al presente report, numerati in coerenza con le seguenti sezioni.

### 7.1 Rassegna della letteratura scientifica sullo stato dell'arte delle strategie di ventilazione volte alla riduzione della trasmissione virale negli spazi confinati

Gli studi esaminati concordano sul fatto che le strategie di ventilazione più vantaggiose sono quelle che generano uno spostamento d'aria impostando la mandata a livello del pavimento e le riprese dal soffitto, riducendo l'età dell'aria all'interno dello spazio confinato e limitando la diffusione orizzontale delle particelle infette tra gli occupanti. Molti autori, però, insistono sul fatto che le estrazioni dell'aria dovrebbero evitare flussi diretti in corrispondenza delle persone. Ottimizzare tali logiche in spazi ad elevata affluenza, quali le sale d'attesa oggetto del presente studio, risulta di fatto difficilmente percorribile. Inoltre, in un'ottica di integrazione di VMC negli ambienti esistenti, l'installazione di VMC basate su distribuzione aria a pavimento risulta molto invasiva, talvolta irrealizzabile se non nell'ambito di ristrutturazioni importanti. Diversamente, nonostante comportino mediamente minori efficienze di ventilazione, i sistemi di distribuzione dell'aria a miscelamento sono poco invasivi e risultano facilmente implementabili nel retrofit diffuso.

### 7.2 Modelli di ambienti ad elevata affluenza di persone con le soluzioni di VMC individuate in base alla possibilità di collocamento delle unità, dei punti di immissione/estrazione e dei criteri di distribuzione dell'aria

In questa attività di ricerca, per valutare gli effetti di installazione di sistemi VMC in una casistica diffusa di edifici ad elevata affluenza, sono stati considerati layout rettangolari verosimilmente i più ricorrenti: sono stati definiti tre intervalli di riferimento (Figura 1).

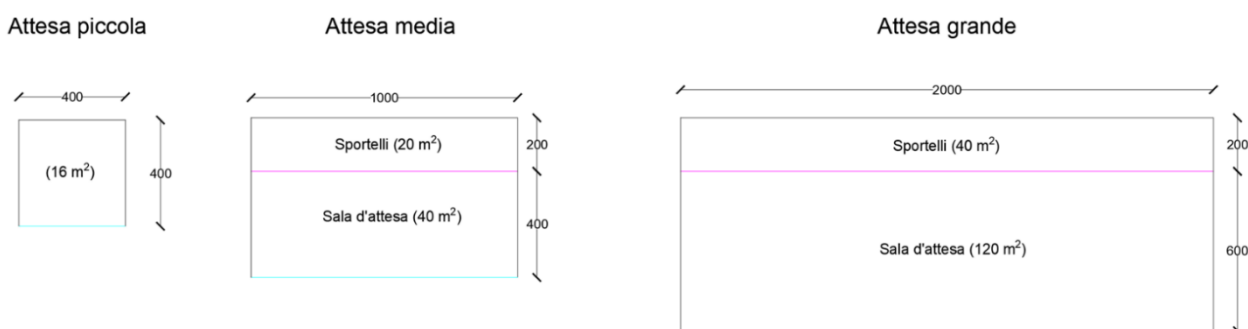


Figura 1: Layout dei modelli di ambienti ad elevata affluenza di persone definiti

Tabella 1: Dimensioni dei modelli di ambienti ad elevata affluenza di persone definiti.

Ambiente	Dimensioni in pianta [m]	Altezza [m <sup>2</sup> ]	Area sala d'attesa [m <sup>2</sup> ]	Area sportelli [m <sup>2</sup> ]	Area totale [m <sup>2</sup> ]
----------	--------------------------	---------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------

Attesa piccola	4x4	3	16,0	0,0	16
Attesa media	6x10	4,0	40,0	20,0	60
Attesa grande	8x20	4,0	120,0	40,0	160

A partire da questi layout, sono state definite le principali soluzioni di VMC a basso impatto realizzativo per l'integrazione negli edifici esistenti: unità "appesa a soffitto" oppure del tipo "da incasso in parete esterna" (quest'ultimo tipo, contemplabile nella sola sala piccola) e, per la sale media e grande, come alternativa all'installazione di unità a soffitto, una unità a basamento esterna, che dovrà essere necessariamente canalizzata. Per l'installazione di unità interna appesa a soffitto è stata considerata anche l'opzione di equipaggiamento con canali.

### 7.3 Indagine strumentale delle condizioni ambientali rilevate con impianto VMC installato nello spazio campione, con relative elaborazioni

Nell'attività di ricerca, è stato considerato un caso studio reale: un centro poliambulatoriale, di cui sono stati rilevati ed analizzati temperatura e concentrazione di CO<sub>2</sub> da febbraio a settembre 2024. Grazie alla disponibilità di dati relativi alle prenotazioni e alle accettazioni sono state elaborate le informazioni sull'affluenza delle persone .

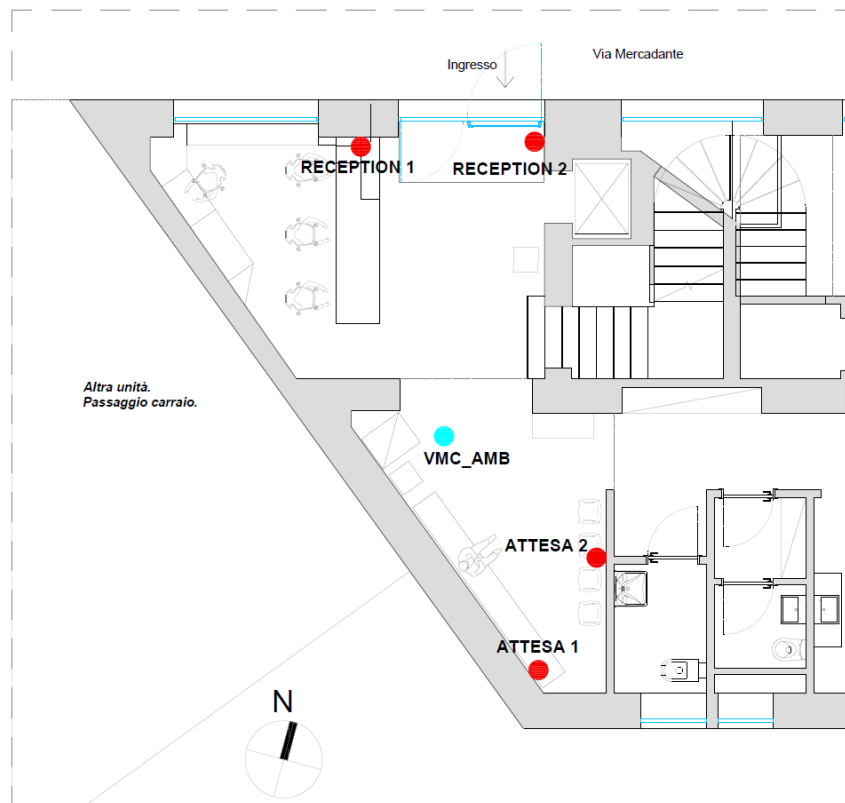


Figura 2: Pianta con la collocazione dei datalogger di monitoraggio.

Di tale ambiente è stato poi definito un modello fluidodinamico di distribuzione globale dell'aria con il software Integrated Environmental Solutions Virtual Environment (IES-VE), integrato con un algoritmo in Python precedentemente sviluppato dal gruppo di lavoro.

L'obiettivo principale delle simulazioni CFD è quello di fornire un modello fluidodinamico affidabile che possa essere applicato con confidenza anche per l'analisi globale dei flussi di aria in altri casi studio.

La validazione dei risultati simulati con quelli misurati ha attestato uno scostamento dei valori medi spaziali inferiore al 2%: ciò è stato fondamentale per verificare l'accuratezza del modello fluidodinamico, in particolare per quanto riguarda la scelta del modello di turbolenza e la modellazione degli occupanti, considerati come volumi equivalenti (approccio che permette di rappresentare in modo semplificato il loro effetto sulla circolazione dell'aria e sul trasferimento di calore).

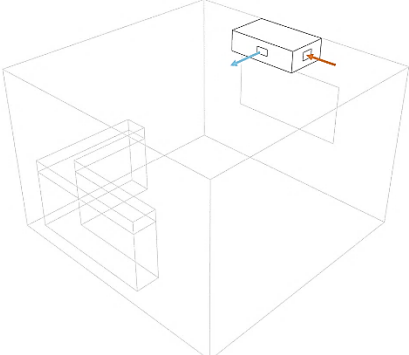
I risultati ottenuti indicano che il modello fluidodinamico adottato predice accuratamente la distribuzione globale dei flussi di aria interna.

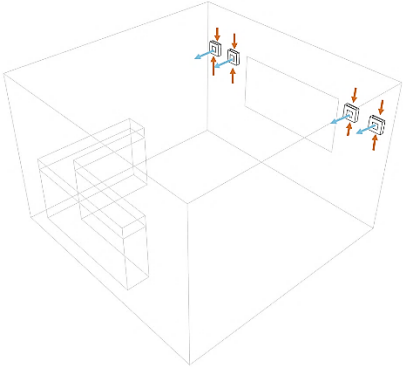
#### 7.4 Simulazioni svolte per l'analisi dei flussi d'aria con i diversi sistemi di VMC al fine di assegnare le relative efficienze di ventilazione

Con IES-VE sono stati generati i 3 modelli di ambienti ad elevata affluenza di persone già descritti.

Nella sala d'attesa piccola sono stati analizzati solamente schemi puntuali date le contenute dimensioni in pianta del modello definito. Emerge che lo schema puntuale a soffitto presenta un'efficienza di ventilazione superiore rispetto a quello con unità ad incasso a parete, dove si hanno valori di efficienza di ricambio aria locale (LACE) compresi tra 0,9 e 0,93. Con lo schema a soffitto, invece, si ha una migliore distribuzione dell'aria con valori di efficienza di ricambio maggiori allo scenario di perfetta miscelazione nel 71% del piano di respirazione in condizioni invernali. In condizioni estive, entrambi gli schemi mostrano un calo di efficienza, ma l'unità a soffitto mantiene una migliore distribuzione dei valori di efficienza di ricambio sul piano di respirazione.

Tabella 2: Scheda riassuntiva degli schemi di ventilazione per sala d'attesa piccola.

Schema di ventilazione	LMAA (inv) [min.]	LMAA (est) [min.]	ACE (inv) [-]	ACE (est) [-]	Ricambio aria (inv) [min.]	Ricambio aria (est) [min.]	Area con LACE >1 (inv) [%]	Area con LACE >1 (est) [%]
	12,26	13,04	1,06	1,01	24,5	26,1	71	21

Puntuale a soffitto								
 <p>Puntuale con incasso a parete</p>	13,34	13,49	0,95	0,96	26,7	27,0	38	14

Per le sale d'attesa media e grande sono stati analizzati anche schemi canalizzati e sono state valutate distribuzioni dell'aria longitudinali (lungo il lato corto) e trasversali (lungo il lato lungo) variando la posizione dei punti di estrazione nel caso degli schemi canalizzati.

L'analisi sugli schemi puntuali evidenzia che l'unità posizionata sul lato corto della sala d'attesa offre le migliori prestazioni in termini di uniformità e valori medi di efficienza di ventilazione, garantendo valori di efficienza di ricambio maggiori di 1 in circa il 90% del piano di respirazione in condizioni invernali. Tali risultati indicano quindi che una singola unità per la sala media e due unità (posizionate nei due lati opposti) per la sala grande sono in grado di coprire efficacemente l'intera profondità della sala.

L'installazione di unità di ventilazione sul lato lungo comporta una riduzione dell'efficienza di ventilazione. Tuttavia, con una singola unità per la sala media e due unità per la sala grande non si formano delle vere e proprie zone di ristagno dell'aria, dato che i valori puntuali di efficienza di ricambio minori di 1 non scendono al di sotto di 0,96 (caso invernale). Nel modello di attesa media, l'area di minore efficienza può essere ridotta del 10% installando una seconda unità.

Nei sistemi canalizzati il posizionamento contrapposto dei canali di immissione ed estrazione da origine ad un parziale cortocircuito limitando la percentuale di area del piano di respirazione con efficienza di ricambio maggiore di 1 dal 8% al 15%. Tali configurazioni sono quindi da escludere, a favore di configurazioni con immissione ed estrazione lungo gli stessi lati.

Tra queste ultime, come riscontrato per gli schemi puntuali, si nota come le migliori efficienze di ventilazione siano fornite dagli schemi con distribuzione longitudinale dell'aria (lungo un lato corto per la sala media e lungo i due lati corti per quella grande), che in condizioni invernali forniscono valori di efficienza di ricambio maggiori di 1 nell'88% e 100% del piano di respirazione rispettivamente per la sala media e grande. Per gli schemi canalizzati lato lungo, invece, si hanno rispettivamente valori dell'83% e 86%.

Tabella 3: Scheda riassuntiva degli schemi di ventilazione per sala d'attesa media (unità puntuali e migliori soluzioni canalizzate).

Schema di ventilazione	LMAA (inv) [min.]	LMAA (est) [min.]	ACE (inv) [-]	ACE (est) [-]	Ricambio aria (inv) [min.]	Ricambio aria (est) [min.]	Area con LACE >1 (inv) [%]	Area con LACE >1 (est) [%]

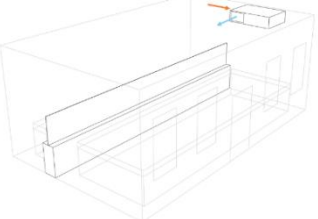
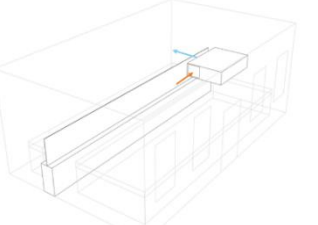
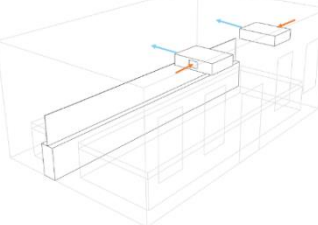
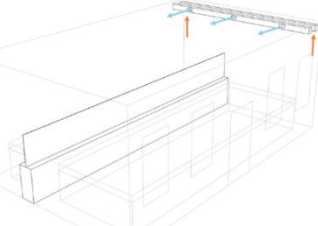
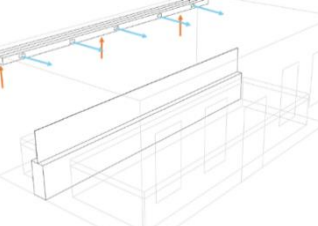
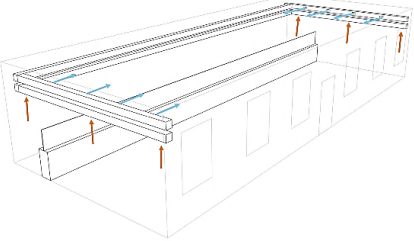
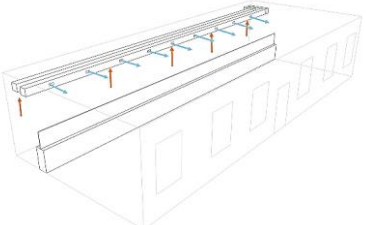
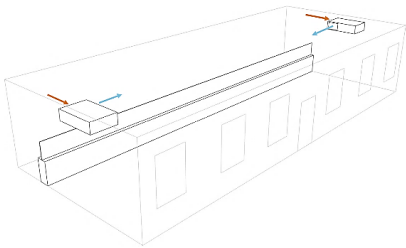
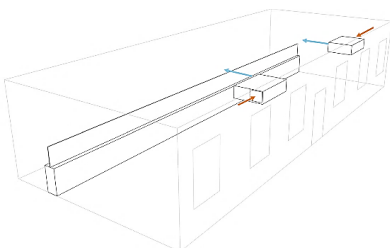
 Puntuale lato corto	16,7	17,7	1,14	1,07	33,4	35,4	87	55
 Puntuale lato corto #1	17,3	17,9	1,09	1,07	34,6	35,8	61	48
 Puntuale lato corto #2	17,2	18,1	1,11	1,06	34,4	36,2	70	53
 Canalizzato lato corto	16,7	17,1	1,14	1,11	33,4	34,2	88	80
 Canalizzato lato lungo	16,7	18,0	1,12	1,06	33,4	36	83	52

Tabella 4: Scheda riassuntiva degli schemi di ventilazione per sala d'attesa grande.

Schema di ventilazione	LMAA (inv) [min.]	LMAA (est) [min.]	ACE (inv) [-]	ACE (est) [-]	Ricambio aria (inv) [min.]	Ricambio aria (est) [min.]	Area con LACE >1(inv) [%]	Area con LACE >1(est) [%]

 <p>Canalizzato lati corti</p>	15,1	15,2	1,23	1,22	30,3	30,4	100	100
 <p>Canalizzato lato lungo</p>	17,6	18,2	1,16	1,10	35,14	36,7	86	65
 <p>Puntuali lati corti</p>	16,0	17,2	1,18	1,10	31,8	34,3	90	66
 <p>Puntuale lato lungo</p>	17,0	17,5	1,14	1,09	33,8	35,1	82	61

In conclusione, in condizioni invernali lo schema puntuale lato corto e lo schema canalizzato lato corto sono caratterizzate dalle migliori performance di ventilazione, del tutto simili per la sala media. Tuttavia, nel caso di schema puntuale si ha un drastico calo, di circa il 30%, delle efficienze di ventilazione. Di conseguenza lo schema canalizzato lato corto è l'unico schema che riesce a garantire prestazioni migliori durante l'anno.

In linea generale si può affermare che le soluzioni adottate per la sala d'attesa grande (di lunghezza doppia rispetto alla sala d'attesa media), rivelano la stessa gerarchia di efficienze di ventilazione.

## 7.5 Simulazioni svolte per l'analisi delle prestazioni termiche, con gli esiti delle implicazioni energetiche nella variabilità climatica nazionale ed in funzione delle diverse tipologie di involucro edilizio

Sempre con il software IES-VE sono state effettuate le simulazioni termiche delle sale d'attesa, analizzando l'impatto di energia primaria dovuto all'implementazione della ventilazione meccanica rispetto alla ventilazione naturale, e definendo una matrice di casistiche considerando i 4 principali orientamenti (nord, sud, ovest e est), i 3 modelli di sale d'attesa, 5 zone climatiche, e 5 tipologie costruttive. A valle di una serie di considerazioni sui risultati delle simulazioni energetiche, la matrice dei casi rappresentativi è stata ridotta da 600 a 130 elementi.

Tabella 5: Tipologie costruttive per epoca di costruzione.

Epoca di costruzione	Nome tipologia costruttiva	Descrizione
Post 1990	Recenti (R)	Edifici realizzati dopo i primi regolamenti sul risparmio energetico in edilizia. Le soluzioni tecnologiche presentano 5 diversi requisiti termici, in base alla zona climatica.
Post 1990	Recenti vetrati (RV)	Edifici realizzati dopo i primi regolamenti sul risparmio energetico in edilizia caratterizzati da facciata esterna vetrata. Le soluzioni tecnologiche presentano requisiti termici diverse per zona climatica.
'60-'80	Comuni nazionali (C)	Edifici realizzati durante il periodo di maggiore urbanizzazione.
'60-'80	Comuni nazionali largamente vetrati (CLV)	Edifici realizzati durante il periodo di maggiore urbanizzazione con tecniche di prefabbricazione.
Pre 1960	Tradizionali (T)	Edifici realizzati fino alla fine della seconda guerra mondiale caratterizzati da una struttura portante verticale pesante in muratura. Si distinguono due principali varianti a seconda della collocazione nazionale, una con muratura in mattoni pieni ed una con muratura in tufo.

Dai risultati è emerso che, ad eccezione della sala d'attesa piccola, le unità puntuali non canalizzate riducono i consumi di energia primaria in tutte le zone climatiche in tutte le tipologie costruttive. Nella sala d'attesa piccola, invece, si raggiunge una riduzione dei consumi per tutte le tipologie costruttive solo nelle zone climatiche E ed F. Tale aspetto è riconducibile al rapporto di taglia della portata di ventilazione rispetto alla densità occupazionale maggiore in assenza di area adibita a sportelli.

Per le sale d'attesa medie e grandi, le tipologie costruttive ampiamente vetrate attestano in genere i maggiori risparmi di energia primaria, seguite, nell'ordine, dalle tipologie tradizionali e anni '60-'80 con superficie vetrata convenzionale, mentre le tipologie recenti con superficie vetrata convenzionale (attestanti prestazioni di involucro migliori) beneficiano meno della presenza di VMC. Tale tendenza si accentua, in termini di differenze tra le tipologie, al diminuire dei GG della zona climatica ed aumenta, in valori assoluti, all'aumentare dei GG. Di fatto, la zona F, in cui la VMC incide solo in regime di riscaldamento, attesta i maggiori risparmi di energia primaria con differenze tra le tipologie costruttive trascurabili. L'assenza di regime di raffrescamento, inoltre, determina un andamento opposto di variazione di energia primaria nelle tipologie di sala piccola, che escludono quelle ampiamente vetrate, rispetto all'andamento attestato dalle sale piccole nelle altre zone termiche dove, invece, viene

confermata la graduatoria di variazione dei consumi di energia primaria, anche se di segno opposto nelle condizioni più calde, evidenziata per le tipologie costruttive delle sale medie e grandi.

È comunque da rilevare che, in termini percentuali, si ottengono risparmi di consumo di energia primaria totale rispetto al caso di VN (ventilazione naturale) fino al 23% (in zona climatica F), mentre i casi di aumento del consumo, limitati alla sala piccola ed in condizioni climatiche del centro-sud Italia, attestano il valore massimo del 14% (in zona climatica B).

Gli schemi di ventilazione canalizzati, poiché caratterizzati da maggiori perdite di carico dovute alla rete aeraulica, comportano maggiori consumi rispetto agli schemi puntuali. In particolare, si hanno dei consumi maggiori per gli schemi canalizzati con unità a soffitto, rispetto a quelli con unità a basamento, a causa dei maggiori consumi elettrici dei ventilatori installati nelle macchine compatte. Tuttavia, sia nel caso di unità a soffitto che nel caso di unità a basamento, si iniziano ad ottenere delle riduzioni di energia primaria grazie ai vantaggi di recupero termico invernale conseguibili a partire zona climatica E. In linea generale, infatti, il bilancio di recupero termico estivo non risulta positivo ad eccezione di tecnologie costruttive largamente vetrate con apporto solare significativo

## 7.6 Analisi dei costi di realizzazione, gestione (anche a bilancio del recupero termico) e manutenzione degli interventi individuati

Attraverso il processo di dimensionamento dei sistemi, sono stati stimati i componenti necessari per la realizzazione degli schemi di ventilazione al fine di stimare il costo totale degli interventi, con riferimento al prezzario DEI del I semestre del 2024 per gli impianti tecnologici.

I dettagli della composizione prezzi per realizzazione e manutenzione sono riportati nel Capitolo 6 dell'allegato, mentre i costi di esercizio (consumo di energia elettrica associata alla ventilazione, variabile in funzione della zona climatica e della tipologia costruttiva) sono riportati nelle schede riassuntive Capitolo 7 dell'allegato. Nelle medesime schede riassuntive viene riportata anche la variazione del costo di gestione annuale rispetto al caso originario VN, con le efficienze di ventilazione conseguibili. Tale variazione, sempre positiva, comprende le differenze di costo di energia per riscaldamento e raffrescamento e gli ulteriori costi di esercizio e di manutenzione media annuale del sistema VMC. Di fatto, con aumenti di costi di gestione contenuti nell'ordine di 1-3 k€/anno a seconda dei casi (grazie alla presenza del recupero termico, che consente di compensare un volume di ricambio d'aria doppio rispetto a quello assunto in condizioni di VN), a valle di un investimento iniziale compreso tra i 3,3 e i 32 k€, a seconda dei casi, si possono ottenere elevati livelli di Qualità dell'Aria Interna, garantendo il comfort termico degli occupanti e riducendo il rischio di trasmissione virale (ed i relativi oneri di gestione della salute pubblica in carico al Sistema Sanitario).

## 7.7 Schede riassuntive delle diverse opzioni di implementazione di sistemi VMC individuate

Le 11 tabelle in Capitolo 7 dell'allegato, suddivise per taglia di sala d'attesa, riportano le efficienze di ventilazione, i costi di realizzazione e i costi di manutenzione media annua dei diversi schemi di ventilazione e, per ciascuno di questi, i costi annui di esercizio e la variazione del costo di gestione annuale differenziati per zona climatica e tipologia costruttiva di edificio.

## 8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state utilizzate consulenze all'interno della LA.

## 9 Pubblicazioni scientifiche

Pubblicazioni scientifiche risultanti dall'attività svolta sono in fase di stesura

## 10 Eventi di disseminazione

Partecipazione alla giornata "Strumenti e tecnologie per la riqualificazione del parco edilizio nazionale" (Giovedì 28 novembre 2024), nell'ambito dell'evento "Piano Triennale di Realizzazione della Ricerca di Sistema elettrico nazionale | I risultati dei progetti 1.5 e 1.6" tenutosi presso il Centro Congressi Frentani di Roma, con una presentazione dal titolo "Analisi dell'efficienza di differenti soluzioni di VMC in edifici esistenti aperti al pubblico con elevata affluenza".