



COMUNE DI LIMBIATE

-via Monte Bianco, 2 LIMBIATE-

SOSTITUZIONE PORTE INGRESSO, MEDIANTE
FORNITURA E POSA DI PORTE AUTOMATICHE
GIREVOLI

PROGETTO

RELAZIONE POLITECNICO

- ANALISI TEMPERATURE PER CONFORT TERMICO

Gruppo di Lavoro: Responsabile del Procedimento : GPietro geom. Marinoni

Progettisti: GPietro geom. Marinoni

Progettisti:

Tecnici collaboratori :

Direttore Lavori: GPietro geom. Marinoni

Collaboratori Amministrativi:

Limbiate li gennaio 2019





DENG, 10 maggio 2018

**OGGETTO: RIQUALIFICAZIONE SISTEMA EDIFICIO/IMPIANTI MUNICIPIO
DI LIMBIATE (MI).**

RELAZIONE DI ANALISI DELLE MISURE

Responsabile della commessa: Prof. Cesare Maria Joppolo

Responsabile tecnico Ing. Federico Pedranzini

Generalità:

La presente relazione riporta i risultati derivanti dall'attività di misure ed acquisizione realizzata presso il Municipio di Limbiate nel periodo compreso tra il 17 Febbraio ed il 24 Febbraio 2018, atte a verificare che le problematiche denunciate in termini di prestazioni e di consumi siano effettivamente da addebitarsi ad un rientro incontrollato di aria esterna legato principalmente all'instaurarsi di un effetto camino nella sezione centrale dell'edificio.

Descrizione sommaria delle peculiarità del sistema Edificio Impianto

L'edificio è caratterizzato da una struttura interna con un grande vano cilindrico a tutta altezza e da una tipologia di utilizzo che prevede affluenza continua dall'esterno a livello del piano terra.

Tale configurazione, in assenza di precise contromisure, risulta favorire gli effetti di trasferimento di portate d'aria tra l'esterno e l'interno e tra i diversi livelli della struttura per fenomeni legati alle differenze di temperatura e densità dell'aria.

Tali fenomeni risultano particolarmente accentuati nelle stagioni caratterizzate da massima differenza di temperatura tra interno ed esterno e non sono di fatto contrastabili attraverso i normali sistemi impiantistici.

L'impianto a servizio dell'edificio consta in un sistema ad aria primaria (con parziale ricircolo) atto a garantire il rinnovo con aria esterna e in un anello di distribuzione idronica a singolo circuito (due tubi) a scambio stagionale che alimenta una serie di terminali (ventilconvettori) dislocati perimetralmente negli spazi aperti e nei singoli locali con regolazione perlopiù di zona e sonde posizionate negli ambienti comuni sui vari livelli.

L'utilizzo e la gestione degli impianti risentono fortemente della situazione di sbilanciamento introdotta dall'effetto camino e si ravvede una forma di deriva dalle modalità tipiche di gestione di siffatti impianti dovuta presumibilmente ad un progressivo adattamento per fini di minimizzazione dei disagi.

Criticità rilevate

1) Sul piano prestazionale e in particolare in termini di gestione delle condizioni di temperatura degli ambienti interni la principale conseguenza legata all'effetto camino si riflette nella generalizzata difficoltà di controllo dovuta alla forte stratificazione invernale che si traduce in particolare nella sostanziale impossibilità di mantenere la temperatura di comfort per gli ambienti aperti sull'atrio, inoltre la forte stratificazione tende a condizionare il rilevamento delle temperature ai piani superiori il che si traduce in una situazione di regolazione inefficace in molti ambienti. La verifica delle caratteristiche delle pareti vetrate [Rif. Documento di Audit Energetico BEST settembre 2007] la cui superficie non è trascurabile ha inoltre evidenziato come queste non siano particolarmente performanti ($U=2,7\text{W/m}^2\text{K}$) e lontano dagli attuali riferimenti normativi. Tale carenza è all'origine di flussi di aria fredda discendenti lungo le pareti vetrate contrastati solitamente dal posizionamento perimetrale dei terminali. Nel caso in oggetto i mobiletti, benché posizionati sulle pareti esterne, vengono in parte penalizzati da un'integrazione approssimativa con i sistemi d'arredo e dalla tendenza da parte del personale ad usare il piano integrato di immissione dell'aria quale piano di appoggio per documenti.

Sebbene questo aspetto sia sempre determinante ai fini del mantenimento delle condizioni di comfort e del contenimento dei consumi è stata esclusa a possibilità di intervenire sui serramenti per motivi logistici ed economici, pertanto l'indagine si è concentrata sulla valutazione di interventi alternativi a questo.

2) Esistono indicazioni relative a situazioni in cui si denuncia una percezione di aria viziata da parte degli utenti e del personale degli uffici: ciò fa supporre che il sistema ad aria primaria risulti non agire in modo efficace in tutto l'edificio, sebbene nei periodi in cui le infiltrazioni sono consistenti queste verosimilmente vadano a mascherare problematiche di questa natura.

3) Vi è la presenza di un ambiente specifico oggetto di cambio di destinazione da open-space multifunzionale a uffici singoli che ha reso inefficiente il sistema di diffusione dell'impianto a tutt'aria originariamente realizzato sia dal punto di vista della ventilazione che dal punto di vista del controllo delle condizioni ambientali.

I locali ricavati dalla suddivisione, una volta scorporati dal resto dell'ambiente, assumono caratteristiche di carico termico ed esposizione differenti dagli altri, condizione che in generale mal si presta ad una climatizzazione tramite impianto a tutt'aria monozona quale è quello esistente. Le problematiche relative a questo ambiente sono di natura prettamente impiantistica e l'analisi di questi aspetti è stata rimandata ad una fase successiva di indagine ed analisi.

Peculiarità dell'edificio.

Come già esposto l'edificio è caratterizzato da un volume unico centrale a tutta altezza che mette in comunicazione diretta la zona di ingresso al piano terra con la copertura realizzata tramite una cupola di materiale plastico trasparente.

A livello del piano terra sono presenti gli accessi al pubblico e, lateralmente, gli accessi utilizzati dal personale, accessi che sovente rimangono aperti con particolare riferimento alle ore corrispondenti ai momenti di ingresso e di uscita del personale prima e dopo l'orario di apertura al pubblico.

La cupola di chiusura è in materiale leggero trasparente ed autoportante ed appare caratterizzata da una elevata trasmittanza termica pari a $4,9\text{W/m}^2\text{K}$ [Rif. Documento di Audit Energetico BEST settembre 2007] e da una non qualificata tenuta all'aria. Come nel caso delle pareti vetrate si esclude a priori la possibilità di una sostituzione.

Scopo dell'analisi realizzata

L'analisi che è stata condotta è finalizzata all'identificazione di uno o più interventi finalizzati alla riduzione delle problematiche dichiarate. Tali interventi potranno essere in generale relativi all'involucro e alle dotazioni impiantistiche, tuttavia non si ritiene ragionevole proporre un'azione contestuale relativa ad entrambi gli aspetti.

Si è proposta al contrario una strategia suddivisa in due fasi distinte da attuarsi in successione, ovvero una prima fase di implementazione di migliorie relative all'involucro e alle strategie di limitazione delle rientrate d'aria e una seconda fase di revisione degli impianti, con particolare riferimento alle modalità di emissione e dell'implementazione di soluzioni localizzate mirate a risolvere le criticità specifiche dei singoli ambienti.

Rimandando al documento redatto in fase di pianificazione della attività di studio, si riporta il dettaglio di svolgimento della fase iniziale:

Fase 1.

La prima fase consta nell'individuazione di (interventi indicati per livello di presunta priorità):

- 1) strategie attinenti la separazione fisica tra interno ed esterno a livello del sistema di accesso al pubblico e del personale e verifica della rapporto di causalità tra apertura delle porte e determinarsi delle situazione di disagio.
- 2) Tecniche di verifica e miglioramento della tenuta all'aria della cupola trasparente posta in copertura;
- 3) Tecniche di miglioramento della tenuta all'aria degli ambienti affaccianti il camino;
- 4) Tecniche di compartimentazione su più livelli del vano cilindrico costituente il camino, in particolare rispetto al piano terra.

Gli interventi prospettati sono tra loro complementari e possono essere valutati in modo indipendente; sono inoltre caratterizzati da impegno realizzativo ed economico differente e pertanto si è ritenuto di effettuare una serie di misure in grado di suggerire quali fossero gli interventi prioritari.

L'ipotesi che si è inteso verificare attraverso la campagna di misure è l'effettivo instaurarsi di un effetto camino che porta ad un richiamo attivo dell'aria dall'esterno ogni volta che le porte al piano terra vengono aperte.

Tale effetto camino deriva ad una serie di cause coesistenti e viene nel seguito brevemente descritto.

Effetto Camino [Rif. Stack Pressure – Ashrae Fundamentals]

L'effetto camino corrisponde in generale all'instaurarsi di una differenza di pressione tra l'interno e l'esterno di un edificio causata da differenti valori densità dell'aria. Questo può altresì avvenire anche in un elemento dove è previsto esserci un passaggio di un flusso, (come un camino: da qui il nome, oppure una condotta) e che sia caratterizzato da una differenza di livello tra la sezione di ingresso e quella di uscita.

La pressione idrostatica nell'aria dipende dalla densità e dall'altezza rispetto ad un livello assunto come quota di riferimento.

La densità dell'aria è una funzione delle condizioni barometriche (pressione barometrica dipendente in buona parte dalla quota s.l.m. e dalle condizioni climatiche), dalla sua temperatura e dalla umidità assoluta.

A titolo di esempio si può far notare che una differenza di 1500 m di quota può corrispondere ad una differenza di densità di circa il 20%, e il medesimo ordine di grandezza nella differenza può essere previsto in caso di variazione di temperatura dell'aria di 50°C.

Nel caso di un edificio di non elevata altezza la pressione barometrica può essere assunta come costante, mentre le differenze di densità tra interno ed esterno possono essere addebitate senza commettere un errore significativo alla differenza di temperatura ed umidità specifica (contenuto di vapore dell'aria), con particolare riferimento al caso invernale ove, come nel caso dell'edificio oggetto di analisi, si possono avere differenze di temperatura tra interno ed esterno dell'ordine dei 25-30°C.

In caso di temperatura costante e non variante con l'altezza, ipotizzando una quota di riferimento come ad esempio il livello del terreno la variazione di pressione rispetto a quel punto di una singola colonna d'aria vale

$$p_s = p_r - \delta g H \text{ ove:}$$

p_s pressione effettiva alla quota H, Pa

p_r pressione al punto di riferimento Pa

δ densità dell'aria, kg/m³

g costante di accelerazione gravitazionale 9,81 m/s²

H altezza al di sopra della quota di riferimento, m

Nel caso di un edificio per il quale esiste una differenza tra la temperatura interna e quella esterna e assumendo come costanti le due temperature su tutta l'altezza dell'edificio la pressione assume un andamento che tiene conto della differenza di temperatura:

$$\Delta P_s = \rho_o \left(\frac{T_o - T_i}{T_i} \right) g (H_{NPL} - H) \text{ dove}$$

ΔP_s differenza tra interno ed esterno della pressione effettiva alla quota H, Pa

ρ_o densità dell'aria esterna, kg/m³

T_o temperatura esterna K

T_i temperatura interna K

g costante di accelerazione gravitazionale 9,81 m/s²

H_{NPL} altezza della quota di pressione neutra rispetto a quella di riferimento, m

H altezza al di sopra della quota di riferimento, m

L'andamento così descritto è tuttavia caratteristico di un edificio per il quale la temperatura interna (e quindi la densità dell'aria) si mantiene invariata con l'altezza, situazione piuttosto infrequente e certamente non verificata per quanto riguarda l'Edificio Comunale di Limbiate, come verrà in seguito suffragata dai risultati delle misure condotte.

Più realistico ed applicabile anche al caso oggetto di studio è invece il caso di esistenza di un gradiente di temperatura interno all'edificio. In questo secondo e più comune caso, ai fini della determinazione del gradiente di pressione tra interno ed esterno si assume come temperatura T_i la temperatura interna media.

Per convenzione la pressione indotta dall'effetto camino è assunta positiva quando l'edificio risulta in pressione rispetto all'ambiente esterno e vi è aria esfiltrata.

In assenza di altre componenti forzanti (come il vento o la presenza di impianti ad aria in grado di modificare la pressione interna immettendo aria esterna) quando l'aria interna risulta più calda di quella esterna la base dell'edificio risulterà in depressione mentre la sommità sarà in sovrappressione rispetto all'esterno. Quando l'aria interna è invece più fredda valgono le medesime considerazioni a segni invertiti.

Esiste quindi una quota di pressione definita neutra (LPN Neutral Pressure Level), che rappresenta la quota o le quote in corrispondenza delle quali non vi è una differenza tra pressione interna ed esterna.

Sempre in assenza di altre forzanti, la posizione del piano neutro LPN viene influenzata dalla posizione dei punti di mancanza di tenuta dell'involucro e dalle eventuali compartimentazioni verticali interne, per questo motivo la quota neutra non sarà per forza in corrispondenza della semi altezza dell'edificio, né sarà in generale unica.

In figura 1 viene rappresentato l'andamento della pressione in assenza di vento.

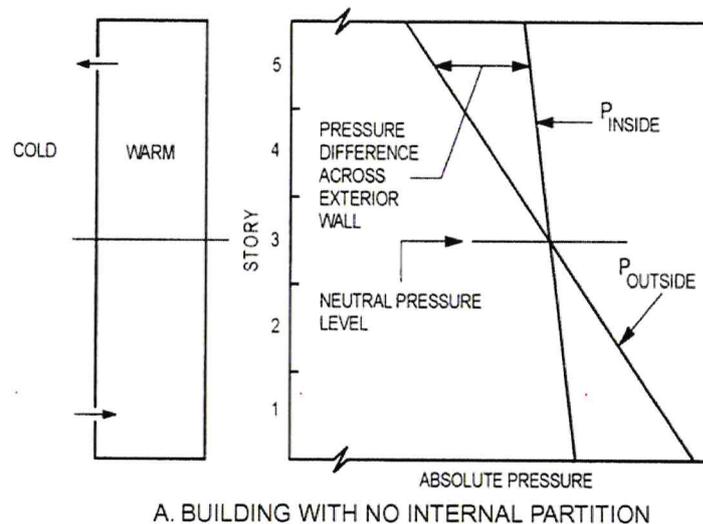


Figura 1. Andamento della differenza di pressione tra interno ed esterno di un edificio privo di partizioni interne o in presenza di un cavedio centrale.

Il caso illustrato in figura è quello di riferimento per l'edificio comunale di Limbiate che è caratterizzato dalla presenza di un grande cavedio centrale chiuso in alto da una cupola.

Scopo delle misure

Lo scopo dell'indagine strumentale effettuata è stato quello di validare l'ipotesi iniziale, ovvero di verificare che le problematiche di rientro dell'aria fredda e delle conseguenti difficoltà di gestione del comfort termico all'interno dell'edificio e in particolare al piano terra fosse sostanzialmente dovuto all'instaurarsi di un effetto camino e al richiamo dell'aria ad esso connesso.

Una volta verificata l'esistenza di tale effetto sarà possibile procedere con delle ipotesi operative atte a limitare l'effetto di rientro d'aria.

Risulta importante sottolineare che non è possibile eliminare le condizioni per cui si instaura la differenza di pressione tra interno ed esterno, tuttavia sarà possibile fare alcune ipotesi a livello di intervento sulle tenute e sulla gestione delle aperture verso l'esterno in modo da limitare la quantità di aria effettivamente richiamata e abbassare per quanto possibile il livello del piano di neutralità nonché il valore della depressione che si ritrova a livello degli accessi al piano terra, con l'effetto desiderato di ridurre la portata di aria esfiltrata in alto e di conseguenza la portata di aria infiltrata nella parte bassa.

L'opportunità di effettuare le misure durante la stagione invernale ha consentito di caratterizzare il comportamento della struttura nel periodo in cui l'effetto camino risulta

maggiormente presente a causa delle grandi differenze di temperatura tra interno ed esterno.

Pianificazione delle Misure.

Le misure sono state condotte nella seconda metà del mese di Febbraio 2018, in condizioni esterne tipiche della stagione invernale anche se non troppo prossime alle condizioni di progetto (-5°C rif. Milano).

In figura 2 sono mostrate, per ogni giorno indagato, i range di temperatura esterna rilevati nelle 24 ore da una centralina climatica posizionata a Limbiate.

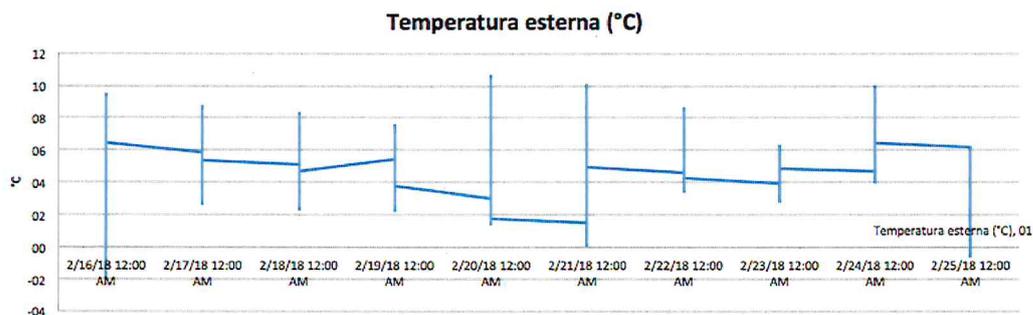


Figura 2. Temperatura esterna suddivisa per giornate, (es. martedì 20 febbraio la temperatura esterna ha presentato valori compresi tra 0°C e 10°C - fonte Engie).

Le misure che sono state condotte sono basate sull'assunzione che a causa della presenza del cavedio interno il fenomeno dell'effetto camino è accompagnato da un effetto di stratificazione verticale delle temperature, sostenuto dai rientri di aria fredda dalle porte di ingresso al pubblico poste al piano terra, nonché dalle aperture laterali utilizzate in alcune fasce orarie per l'ingresso e l'uscita del personale.

Al fine di verificare la stretta correlazione delle temperature interne e le condizioni di apertura delle porte si è deciso di installare un sistema di registrazione di temperatura posizionato all'interno del cavedio ovvero del vano aperto posto al centro della struttura, che si sviluppa a tutta altezza e che rende comunicanti la parte bassa (piano terra) e la cupola in policarbonato (copertura).

Si è quindi realizzata un'acquisizione in continuo delle temperature a diverse quote della durata di una settimana, accompagnata dal rilievo di una serie di informazioni utili a correlare il comportamento delle temperature alle condizioni di funzionamento della struttura in termini di accesso al pubblico, accesso del personale e funzionamento dei

sistemi di riscaldamento, con l'obiettivo principale di evidenziare la dipendenza tra afflusso di persone e rientro di aria fredda.

In fase di acquisizione si è inoltre realizzato un rilievo semplificato delle condizioni di comfort percepito e alle modalità di gestione ed automazione delle porte di ingresso esistenti, considerando la sequenza e il verso di apertura delle quattro porte (due interne e due esterne) e gli orari di funzionamento delle lame d'aria ad alimentazione elettrica posizionate all'interno della bussola.

Vengono riportati nel seguito uno schema in sezione riportante la posizione (in altezza) delle sonde installate nonché copia del foglio di reperimento informazioni compilato a cura del gestore e del personale degli uffici municipali.

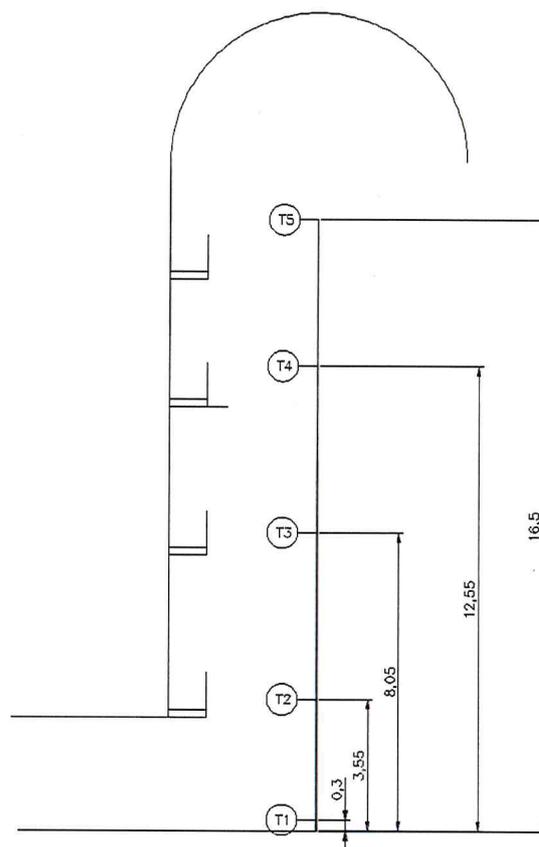


Fig.3 Posizione e quota delle sonde di temperatura

Politecnico di Milano Engie Municipio di Limbiate Modulo di acquisizione dati		Data :	Compilato da:
Mattino		Pomeriggio	
Orario apertura al pubblico Dalle _____ Alle _____	Orario apertura personale del Municipio Dalle _____ Alle _____	Orario apertura al pubblico Dalle _____ Alle _____	Orario apertura personale del Municipio Dalle _____ Alle _____
Apertura porte principali (specificare) -tutte ingresso/uscita -dx ingresso/sx uscita -solo 1dx, 1sx per ingresso/uscita	Apertura porte laterali Solo passaggio Dalle _____ Alle _____ apertura permanente Dalle _____ Alle _____	Apertura porte principali (specificare) -tutte ingresso/uscita -dx ingresso/sx uscita solo 1dx, 1sx per ingresso/uscita	Apertura porte laterali Solo passaggio Dalle _____ Alle _____ apertura permanente Dalle _____ Alle _____
Impianto ad Aria Dalle _____ Alle _____	Ventilconvettori Dalle _____ Alle _____ Lama d'aria ingresso Dalle _____ Alle _____	Impianto ad Aria Dalle _____ Alle _____	Ventilconvettori Dalle _____ Alle _____ Lama d'aria ingresso Dalle _____ Alle _____
Affluenza persone (approssimativo) 8-9 _____ 9-10 _____ 10-11 _____ 11- pranzo _____	Sensazione termica (barrare) +3 molto caldo +2 caldo +1 leggermente caldo 0 neutro -1 leggermente freddo -2 freddo -3 molto freddo	Affluenza persone (approssimativo) 13-14 _____ 14-15 _____ 15-16 _____ 16- chiusura _____	Sensazione termica (barrare) +3 molto caldo +2 caldo +1 leggermente caldo 0 neutro -1 leggermente freddo -2 freddo -3 molto freddo
Note:			

Fig.4 Modulo di acquisizione dati.

Strumentazione di acquisizione.

Le sonde utilizzate sono termoresistenze PT100 1/10DIN la cui precisione è dell'ordine di un decimo di grado all'interno del campo misurato. Il sistema di acquisizione è costituito da un datalogger (DT80 Datalogger) dotato di cinque ingressi analogici collegati ad altrettante sonde di temperatura.

Il tempo di acquisizione è stato fissato pari a 60 secondi e l'acquisizione oggetto di analisi si è svolta ininterrottamente dal 16 febbraio al 24 febbraio 2018.

I dati sono stati scaricati ogni due/tre giorni e in un'unica soluzione al termine della acquisizione e plottati giorno per giorno al fine di evidenziare gli andamenti durante le fasce orarie di maggior interesse.

Per ogni giornata si è inoltre compilata la scheda di acquisizione di informazioni relative ad aspetti di gestione, alle temperature esterne, ad una valutazione di massima del comfort percepito su diverse fasce orarie (Fig.4).

Le informazioni derivanti dalla registrazione delle temperature vengono inoltre incrociate con quelle acquisite mediante scheda al fine di evidenziare le relazioni di causa/effetto, su più giorni, tra andamento delle temperature e la gestione generale.

Si riportano in allegato i grafici delle misurazioni effettuate dal 16 al 24 febbraio (domenica esclusa), giorni per i quali è stata effettuata la compilazione delle schede, con eccezione della giornata di martedì 20 febbraio.

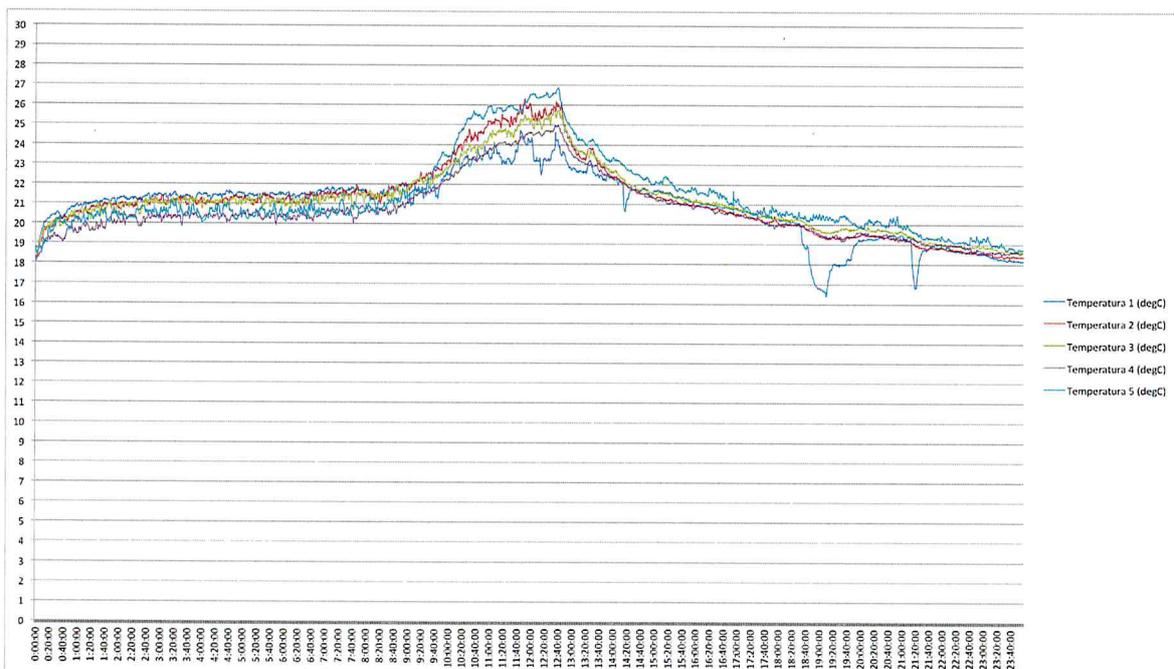


Fig. 5 andamento temperature venerdì 16 febbraio.

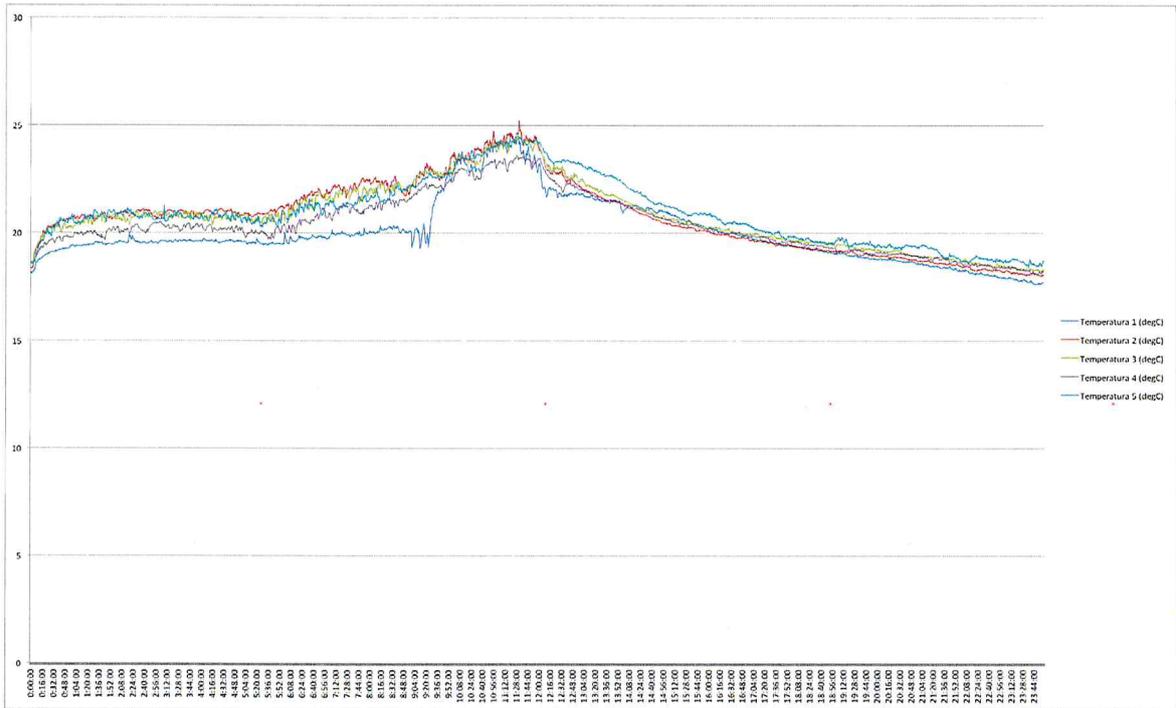


Fig. 6 andamento temperature sabato 17 febbraio.

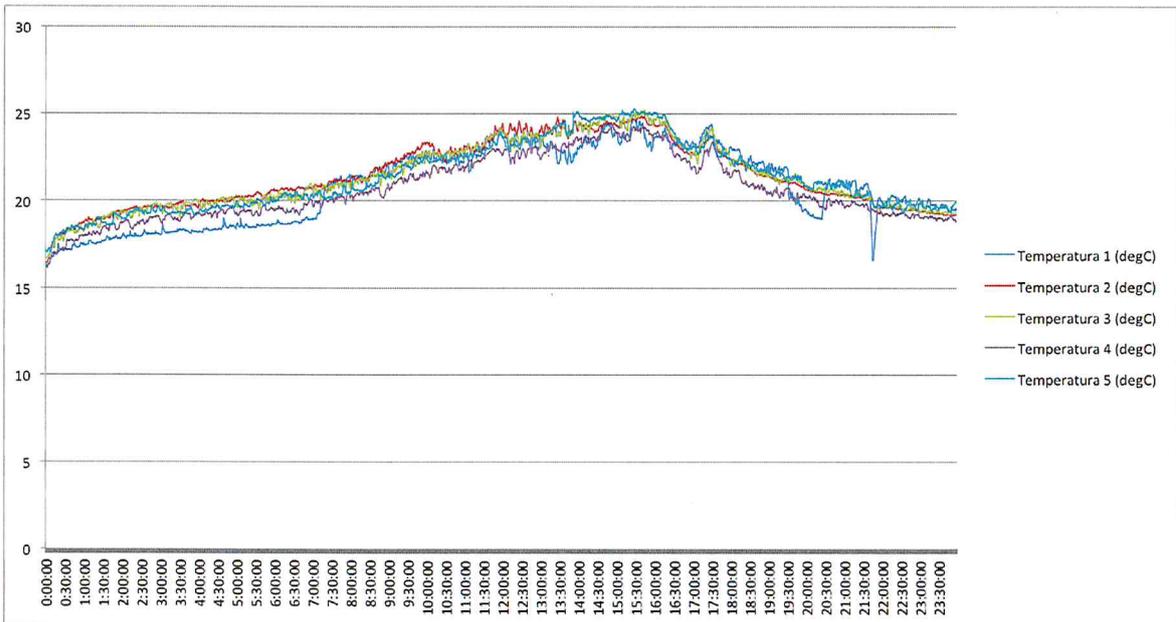


Fig. 7 andamento temperature lunedì 19 febbraio.

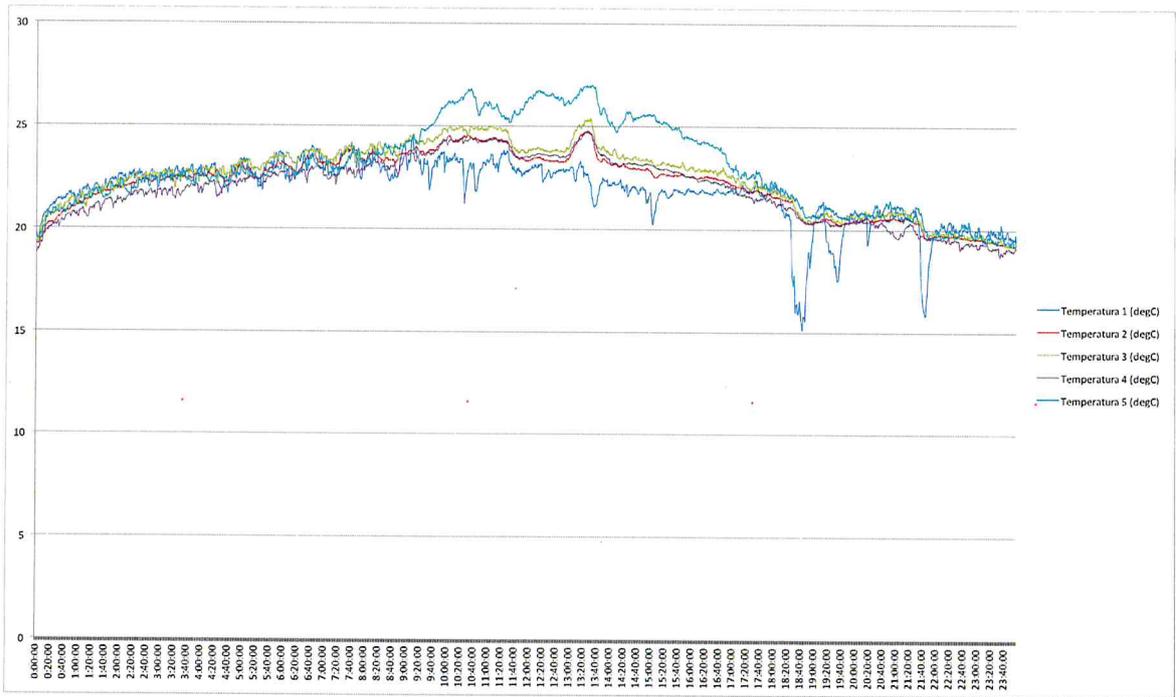


Fig. 8 andamento temperature martedì 20 febbraio.

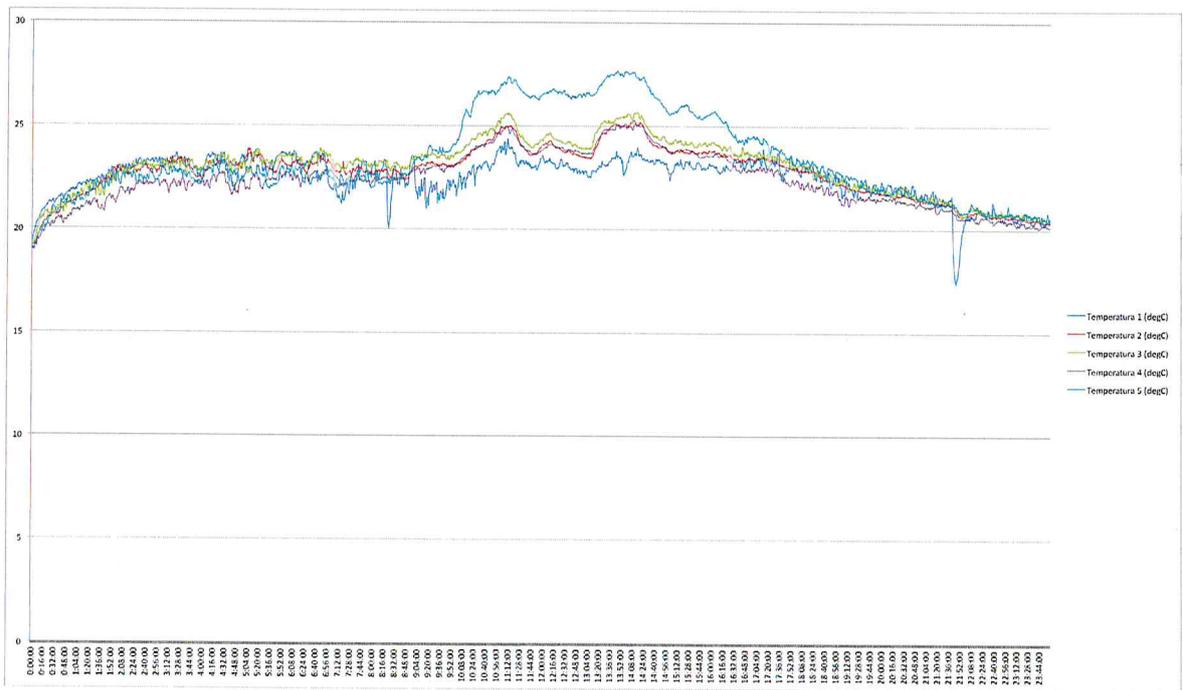


Fig. 9 andamento temperature mercoledì 21 febbraio.

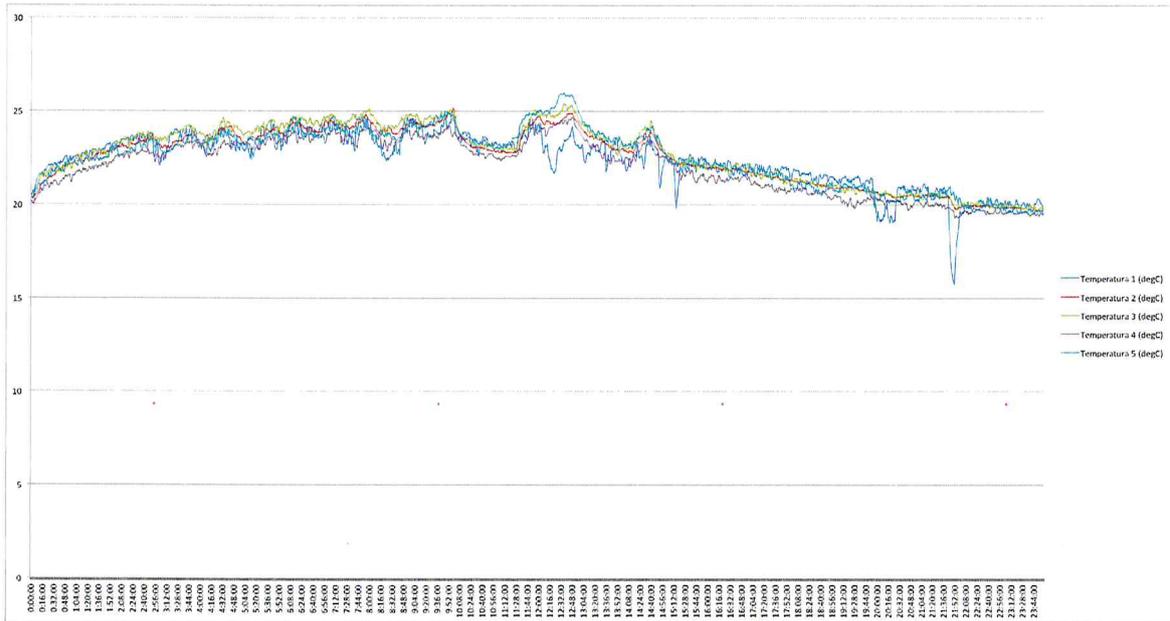


Fig. 10 andamento temperature giovedì 22 febbraio.

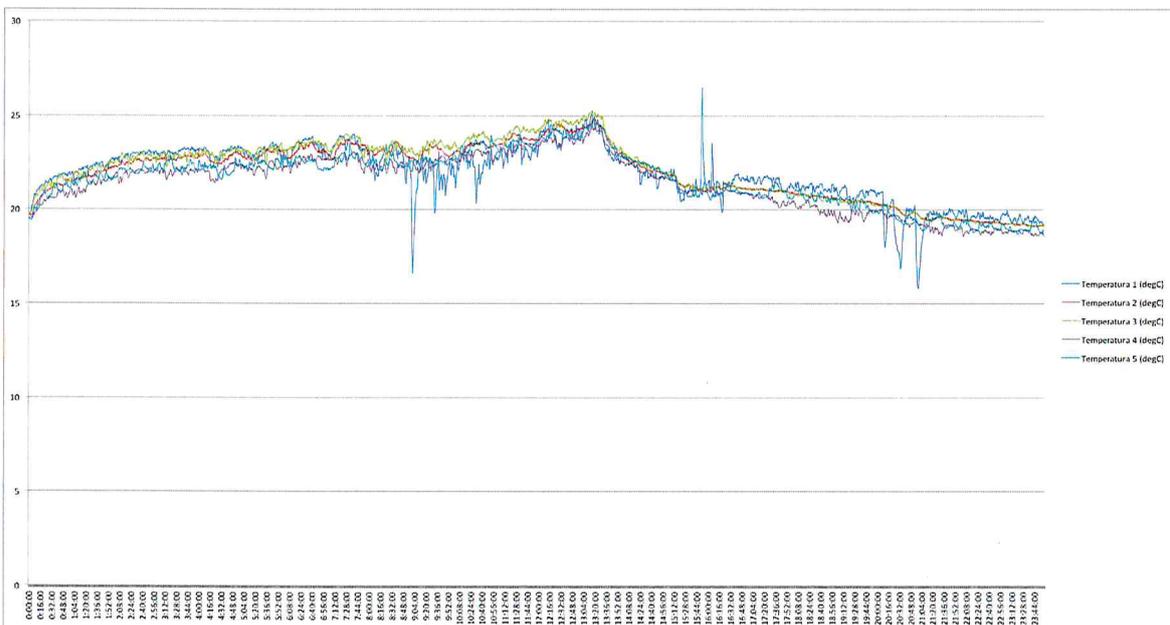


Fig. 11 andamento temperature venerdì 23 febbraio.

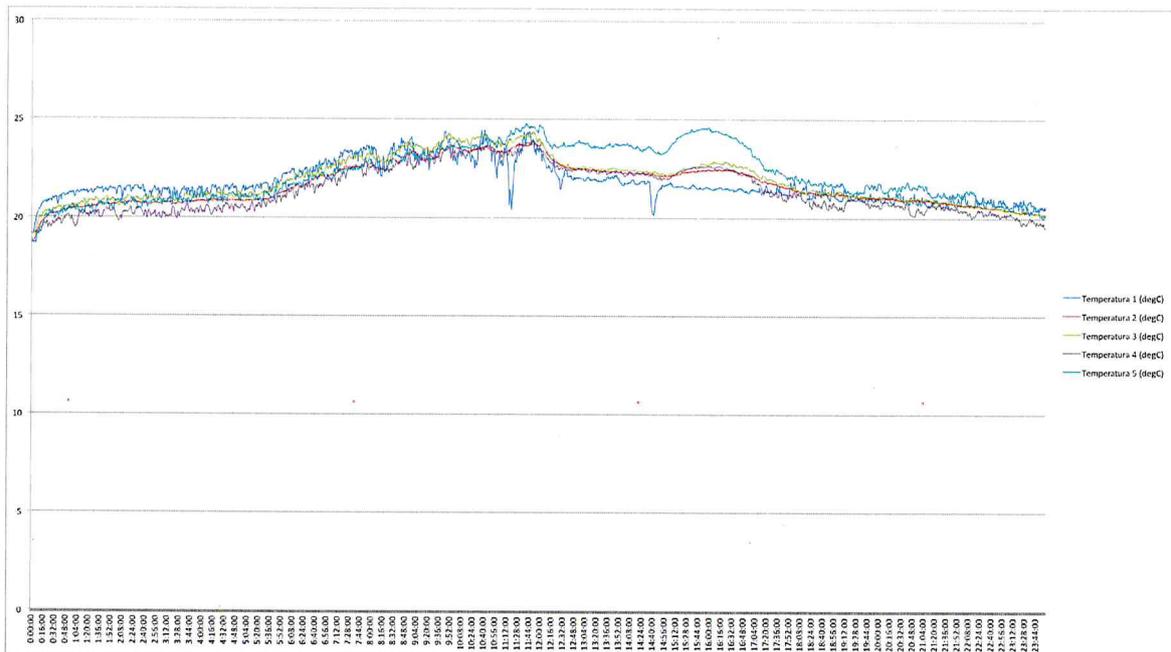


Fig. 12 andamento temperature sabato 24 febbraio.

Una valutazione delle prime misure della fase di acquisizione ha consentito di verificare alcune peculiarità caratteristiche dell'aver adottato il principio di posizionare le sonde in verticale e all'interno del cavedio centrale.

Si può notare che durante le prime giornate di misura che la sonda posizionata più in alto (denominata T5) contrariamente alle previsioni non rileva stabilmente la temperatura più alta: ritenendo che essa potesse subire l'effetto della ricaduta diretta di aria raffreddata dal contatto con la cupola trasparente si è provveduto in un secondo momento a distanziare maggiormente le sonde dalla parete portando la distanza dalla balaustra da 20cm a 60cm. In seguito al riposizionamento tale anomalia è rientrata.

Un'altra apparente anomalia consiste nel comportamento della sonda T2, posta a 3,55m di altezza: tale sonda rileva una temperatura per lunghi periodi maggiore rispetto alle sonde T3 e T4 che sono posizionate superiormente. La verifica degli orari di funzionamento mostra che tale inversione avviene sempre e solo in corrispondenza del funzionamento alla massima potenza delle lame d'aria elettriche poste all'ingresso. Si è quindi concluso che tale sonda risente direttamente del contributo di aria calda prodotta dalle lame d'aria e richiamata dall'effetto camino verso il vano centrale in adesione alla soletta dell'atrio. Tale flusso investe la sonda T2 non appena raggiunge il vano, modificando localmente le condizioni misurate.

Analisi qualitativa delle misure

Scopo delle misure non era quello di quantificare i fenomeni osservati, bensì quello di consentire di correlare al di là di ogni ragionevole dubbio le relazioni tra andamento delle temperature e le condizioni di gestione dell'edificio, dal punto di vista dell'accesso al pubblico, della gestione degli accessi del personale e della gestione degli impianti.

Correlazione tra rientro di aria fredda e apertura delle porte principali.

Un'analisi relativa al comportamento delle temperature e alla correlazione tra queste e gli aspetti di gestione (orari di apertura al pubblico, fasce di funzionamento degli impianti e delle lame d'aria) è stata realizzata apponendo le fasce orarie sui grafici (vedi Allegati). La correlazione della stratificazione con le fasce di apertura appare molto ben evidente in tutte le giornate, così come appare evidente la risposta temporale tra l'inizio degli orari di accesso del pubblico e l'inizio della situazione di stratificazione delle temperature caratteristica dell'effetto camino.

Secondariamente si può rilevare come negli orari in cui non vi è accesso al pubblico le temperature tendano a divenire più stabilmente omogenee e le differenze tra i valori rilevati dalla sonda posta più in basso (T1 a 30cm da terra) e quella posta più in alto (T5 - circa 16m da terra) si riducano notevolmente.

Questi fatti confermano l'ipotesi che la causa prevalente del rientro d'aria fredda è legata all'apertura delle porte di ingresso principali, mentre negli orari di chiusura la situazione risulta abbastanza gestita, salvo situazioni in cui sono le porte laterali a risultare permanentemente aperte negli orari di ingresso e uscita del personale.

In alcune specifiche giornate è stata provata una strategia di gestione di apertura delle porte atta a rendere meno probabile l'apertura contemporanea delle porte di accesso. Le porte di accesso sono automatiche, sono doppie e ad apertura indipendente tramite sensore di presenza. Tra le due porte esterne e le porte interne sussiste uno spazio inferiore ai due metri che è insufficiente a prevenire l'apertura simultanea in caso di transito di anche una sola persona.

In accordo con il personale si è provato, in alcuni giorni, a disattivare due porte (esterna destra ed interna sinistra, giovedì 22) al fine di aumentare il tempo di percorrenza e consentire a una porta di chiudersi prima della apertura della successiva in caso di transito di una singola persona.

I grafici rilevano tuttavia che in situazioni di pieno afflusso tale strategia risulta inefficace in quanto il transito risulta frequentemente continuo nei due sensi (es. giovedì 22 ore 12:30-13:00).

Effetto legato all'apertura delle porte laterali di accesso personale.

Le porte laterali sono porte non automatiche e non dotate di dispositivo automatico di chiusura.

Negli orari di accesso ed uscita del personale tali porte risultano spesso lasciate aperte per lunghi momenti (minuti). I grafici mostrano come risulta evidente un crollo della temperatura a terra ogni qualvolta la situazione di apertura incontrollata si protrae per più di pochi secondi.

Si può far riferimento al grafico relativo alla giornata di venerdì 23 febbraio alle ore 8.30, orario nel quale l'accesso al pubblico non è ancora consentito ma che mostra un forte effetto di raffreddamento localizzato. Una situazione simile risulta evidente nel grafico relativo alla giornata di mercoledì 21 sempre alla stessa ora.

In tale situazione l'effetto raffreddante da rientro di aria fredda non viene neppure parzialmente compensato dall'azione delle lame d'aria, che sono presenti unicamente nella bussola dell'ingresso principale.

Valutazione della percezione di comfort

L'analisi delle schede di acquisizione dati ha fornito, oltre alla possibilità di valutare le fasce orarie di funzionamento degli impianti e di apertura al pubblico, anche una sommaria valutazione relativa alla percezione di comfort.

Si è evidenziata una generale e stabile valutazione negativa che si attesta tra il valore -2 e il valore -3 della scala del voto medio anche in assenza di situazioni nelle quali è rilevato un crollo della temperatura a terra (sonda T1). Questo fatto può essere motivato in parte dalla posizione stessa della sonda che è al centro della hall e lontana dai punti di massimo rientro di aria fredda ed in parte dal contributo radiante fornito dalle ampie superfici vetrate.

In presenza di un contributo radiante così esteso la temperatura dell'aria percepita come temperatura di comfort si attesta su valori superiori ai 20°C, vista la tipologia di attività e considerato il vestiario tipico da ufficio in stagione invernale.

Si sottolinea come inoltre può essere determinante la presenza di aria fredda causata da una non ottimale coibentazione dei vetri e, localmente, da possibili difetti di tenuta dei serramenti in generale.

Effetto delle lame d'aria

All'interno della bussola sono installate due lame d'aria a funzionamento continuo e a tre velocità. Le due lame d'aria sono alimentate elettricamente e presentano un consumo elettrico non trascurabile (da rilievo di targa 24kW + 24kW alla terza velocità).

Il contributo generale in termini di potenza termica introdotta nell'edificio è difficilmente quantificabile in quanto ci si attende che almeno parte dell'aria riscaldata dalle lame si disperda in esterno ad ogni apertura delle porte esterne.

Si può tuttavia osservare come i trend di temperatura interna siano generalmente crescenti durante il periodo di accensione delle lame d'aria (quando si lavora in III velocità); il che fa pensare che anche l'aria calda sia in parte richiamata all'interno dall'effetto camino, come confermato anche dall'andamento della temperatura misurata in T2, ovvero la sonda direttamente investita dal flusso proveniente dalle lame d'aria.

Il contributo delle lame d'aria è importante ad oggi in termini di contenimento del discomfort, tuttavia si rileva che fatta eccezione per alcuni effetti secondari e localizzati, il grande costo energetico correlato al funzionamento delle stesse non si traduce in un equivalente effetto di riscaldamento nei luoghi in cui il rientro d'aria fredda è maggiormente impattante sul comfort.

E' lecito affermare che un simile consumo di energia elettrica può essere impiegato molto più efficacemente se veicolato tramite terminali che abbiano una miglior capacità di agire localmente, quali ad esempio sistemi radianti di prossimità (pannelli elettroriscaldanti, ad esempio).

Conclusioni

Le osservazioni relative ai vari aspetti messi in evidenza dalle misure effettuate consentono di validare molte delle ipotesi iniziali e suggeriscono di adottare una strategia di intervento ad impatto e costi progressivi.

Le misure mostrano che l'apertura delle porte in tutte le fasce orarie nelle quali l'accesso al pubblico è consentito rappresenta l'aspetto maggiormente critico e che il primo intervento da considerare dovrà essere l'adozione di un sistema di chiusura in grado di impedire in modo intrinseco l'instaurarsi di un flusso di infiltrazione continuo. Tra le possibili tipologie impiegabili si ritiene che l'installazione di un sistema di porte girevoli sia quello che meglio garantisce il risultato.

Inoltre si suggerisce di implementare un sistema di accesso a chiusura automatica relativamente agli accessi laterali, eventualmente tramite riutilizzo degli automatismi ad oggi presenti sull'ingresso principale.

NB: la modifica delle modalità di accesso/transito può avere un impatto a livello di modalità di efflusso in caso di emergenza e deve essere valutata attentamente anche dal punto di vista della sicurezza e della prevenzione incendi. In caso di intervento sarà pertanto necessario verificare la compatibilità delle soluzioni adottate con il piano di evacuazione previsto. Si raccomanda inoltre una verifica a livello di classificazione e mantenimento delle compartimentazioni antincendio nel caso si provvedesse a modificare anche solo in parte le strutture di separazione tra ambienti e/o piani differenti.

A valle dell'intervento sarà possibile, qualora ritenuto utile ripetere in toto o in parte le prove strumentali al fine di verificare i miglioramenti ed in seguito valutare se siano necessari altri interventi più impattanti quali ad esempio la sostituzione delle vetrate o l'introduzione di superfici di separazione orizzontale tra i differenti piani attestantisi verso il vano centrale. Si potrà quindi procedere ad una valutazione di interventi impiantistici mirati e localizzati al fine di riconfigurare i sistemi di ventilazione e di condizionamento dell'aria integrandoli con soluzioni specifiche ove necessario.

L'intervento prospettato avrà come prime ed immediate conseguenze una drastica riduzione dei consumi per riscaldamento e raffrescamento nonché un prevedibile miglioramento delle condizioni di comfort da valutare localmente.

Tali conseguenze tuttavia non sono ad oggi quantitativamente valutabili in quanto non vi è certezza di quali siano le portate di infiltrazione.

Una volta ripristinati il controllo delle condizioni di comfort e la regolazione all'interno dell'edificio si suggerisce inoltre di effettuare una analisi atta a comparare i consumi giornalieri tra prima e dopo l'intervento pesandoli con l'andamento della temperatura esterna. L'acquisizione contestuale dei consumi per climatizzazione (su base almeno giornaliera) e delle temperature esterne e il confronto con i medesimi dati acquisiti prima dell'intervento potrà fornire una stima quantitativa dei risparmi conseguiti, purché sia mantenuta equivalente la prestazione generale in termini di comfort percepito e di qualità dell'aria e la tipologia di utilizzo degli ambienti (fasce orarie di accesso, temperature e setpoint)

Milano 26/10/2017

Prof. Ing. Cesare Maria Joppolo