



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 355

DATA : 24/09/2012

A P P U N T I

STUDENTE : N'Guessan

MATERIA : Fisica dell'Edificio

Prof. Perino_Corrado_Ballarini

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

CORSO DI FISICA DELL'EDIFICIO

N'GUESSAN DIDO SIMON JUSTE

Anno 2011-2012

PERINO MARCO

Esame $\left\{ \begin{array}{l} \text{Parte scritta: Domanda aperta; calcoli esemplificativi} \\ \text{Parte orale: Discussioni dell'elaborato realizzato} \end{array} \right.$

Oggi l'obiettivo principale di una buona progettazione ^{energetica}, è quella di fare un edificio passivo, ovvero riuscire a fare soddisfare tutti i requisiti dell'ambiente interno attraverso il controllo passivo. Purtroppo questo oggi è solo un ideale, poiché non riusciamo a progettare un edificio veramente passivo.

Quindi l'obiettivo è di ragionare su una progettazione integrale a 360°, che parta dall'involucro, alle strutture, agli impianti in modo tale da minimizzare l'intervento degli impianti attivi. Che vanno poi a costituire la quota di controllo ambientale che non riusciamo a fare col passivo.

Negli 60-90 l'edificio era fatto come una struttura, involucro, e l'impiantista veniva poi a fare il progetto degli impianti necessari a soddisfare i requisiti energetici dell'edificio. Il rischio principale era quello di ritrovarsi con un impianto molto grande. Pratica che andava contro la tipologia progettuale di prima della rivoluzione industriale. Periodo nel quale si progettava con lo scopo di sfruttare al massimo le condizioni ambientali, da tendenza in quell'epoca era l'uso di un caminetto che veniva posizionato in una stanza e il resto dell'edificio era riscaldato con il passivo. Perché la fonte di energia principale, biomassa in legno, carbonio era una fonte difficile da trasportare, difficile da riferire e non così comoda da gestire. La tipologia di costruzione degli anni 60-90 è dovuta al fatto che la rivoluzione tecnologica aveva reso disponibile anche a pezzi ^{buoni} pezzi di combustibile fossile. Da quest'epoca in poi l'orientamento degli edifici era dettato molto dai gusti e non per sfruttare al meglio la luce del sole, le facciate erano più che estetiche che per utilità.

Questo mentalità di progettazione è andata avanti fino a quando non ci siamo accorti che le fonti fossili non sono infinite, le fonti fossili inquinano, le fonti fossili iniziano a costare cioè riporta ad rimpiangere a progettare.

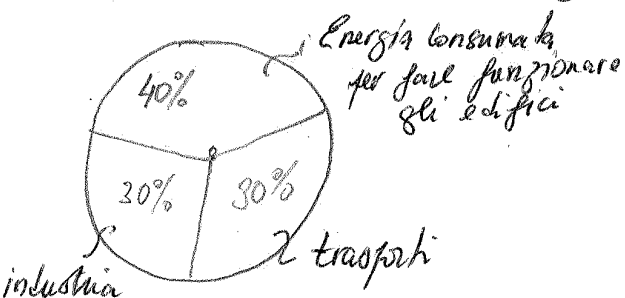
Negli anni 80-90 ci si accorse che il petrolio produce fare CO₂, che aumenta man mano nell'atmosfera creando l'effetto serra, che crea il graduale riscaldamento dell'atmosfera. Si è quindi acuita la preoccupazione che ci inquisiva per cui nel 90-91 sono state promulgate due leggi la 9 e la 10 in Italia che puntavano a migliorare, a spingere su livelli più alti il risparmio energetico negli edifici.

A partire dai primi anni 90 quando si progettava un edificio si doveva fare la pratica della legge 10 ovvero una verifica che confermasse e dimostrasse che l'edificio che si andava progettando fosse coerente con i limiti di legge previsti. Poiché negli anni il grosso del consumo energetico era ancora dato dal riscaldamento la legge si era preoccupata di una serie di prescrizioni ed indicazioni che mirassero ad ottimizzare il comportamento dell'edificio nel riguardo del riscaldamento invernale.

Si è quindi cominciato a progettare in modo tale da poter sfruttare il massimo: Grandi superfici vetrate a sud, involucro, serre solari... Però questi edifici pur garantendo il comfort invernale, d'estate però si surriscaldavano, ciò generò un disaccordo della gente. È nata quindi la coscienza, e la necessità di impianti di raffreddamento.

L'elettricità non si usa solo per il raffreddamento ma anche per gli impianti domestici a spina (plug load). Il consumo elettrico è salito quindi per i carichi plug load ed gli impianti di energia artificiale.

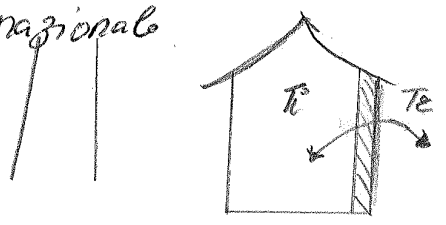
A fronte di queste confrontazioni la Comunità Europea agli inizi degli anni 2000, ha fatto un'indagine sul consumo energetico dei paesi industrializzati.



Ci si è accorto quindi che il settore edile è al centro più del comparto industria, e del comparto di trasporto in termini di consumo energetico.

L'EPBD ha stabilito pure che a partire del 2018 per edifici pubblici e dal 2020 per gli edifici comuni, tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere edifici NZEB (Nearly, Zero, Energy Building), cioè edifici ad energia quasi zero. Il target più ambizioso è quello di togliere la N. Ogni paese membro dovrà emettere una serie di legge tale da fare sì che tutti gli edifici di nuova progettazione consumino una energia complessiva quasi nulla.

Visto che alcuna ^{quota di consumo} energetica non può essere tagliata come i plug load si vede quindi un edificio NZEB, uno in cui a fronte di una domanda energetica ridotta, vi è anche una produzione e dispone nell'edificio, alcuni sistemi, alcune tecnologie per produrre dell'energia. Il nearly viene stabilito a livello nazionale



$$Q/A = U (T_i - T_e)$$

↓ flusso termico che si stabilisce per differenza di temperatura

trasmissione termica della parete

La direttiva è stata recepita in Italia attraverso diversi decreti e norme, ad esempio DPR311 che pongono dei limiti di legge, che dovrebbero costituire per il progettista il vincolo da non superare. Il target da raggiungere per una progettazione veramente sostenibile è quello che è ^{molto} al di sotto di questi limiti.

Il consumo negli edifici dipende sia dall'ambiente interno che da quello esterno. È di fondamentale importanza per il progettista stabilire le condizioni corrette, quindi le condizioni confortevoli. È anche importante comunicare il progetto perché un edificio sostenibile per funzionare come tale ha bisogno di un'utenza sostenibile.

Cosa si intende con qualità dell'ambiente interno?

Il termine di qualità dell'ambiente interno è conosciuto come:

IEQ: Indoor Environmental Quality.

Esiste una norma Europea ed italiana UNI EN15251 che stabilisce come valutare la qualità dell'ambiente interno, che tocca molti ambienti.

Uno studio che si riposta dal nostro solito studio deterministico (nel campo dell'ingegneria) ad uno stocastico, quindi dobbiamo trovarci nei studi epidemiologici. Quindi quello che viene percepito dalla maggioranza degli esseri umani.

Comfortevole: un ambiente all'interno del quale, non più di 10-15% degli occupanti esprime una situazione di disagio (ovvero di lamenti).
 Quindi l'obiettivo della nostra progettazione interna è quella di creare un ambiente interno considerato buono, accettabile dall'80-85% delle persone.

Il fatto di spostarsi in un campo epidemiologico e statistico fa sì che le teorie del comfort non siano universalmente accettate. Esistono molte teorie, perché questo campo è influenzato molto dal contesto, dal campione, ed anche da aspetti culturali.

Il comfort che vogliamo ottenere all'interno del nostro ambiente confinato è un ^{comfort} ambiente globale ovvero a 360°. Si vuole un ^{comfort} termico, ^{che la qualità} dell'aria sia gradevole, richiede pure un ^{un comfort} acustico così come, ^{illuminotecnica} (comfort visivo). L'obiettivo non ancora raggiunto è quello di trovare un indice che tiene conto di tutti i 4 comfort (visivo, termico, qualità dell'aria ed acustico). È difficile trovare una correlazione che metta insieme gli aspetti di comfort perché si fa ^{di} trattare grandezze non omogenee, ed andiamo ad introdurre pure della soggettività. Il problema quindi ad oggi è verificato separatamente il ^{mente} comfort termico, si verifica il comfort visivo etc e si garantisce come minimo di ottenere dei requisiti di sufficienza di tutti questi aspetti di comfort.

Adattamento al clima:

Non esiste una temperatura di comfort in generale, ciò che gradiamo d'interno può risultare scomfortevole d'estate. La verità è che ci adattiamo sia a livello psicologico o facendo delle scelte per essere confortevoli con le condizioni a cui siamo soggetti.

Qualità dell'aria: Indoor Air Quality:

Il contenuto d'inquinante non deve essere tale da compromettere la salute, e pregiudicare la salute interna di Vi possono essere problemi legati ad infezioni, uno in particolare nell'ambito termico è "la legionella" (legionella)

Comfort termico:

è stato fatto un esperimento per una serie di giorni variando la qualità dell'ambiente interno e misurando le varie produttività. Si è giunta alla conclusione che esiste una netta correlazione fra il comfort termico e (l'andamento della temperatura). ^{la produttività}

⇒ Nel settore del terziario garantire un ambiente confortevole equivale a garantire la massima produttività.

Si è visto che esiste una piccola correlazione fra produttività e comfort termico; e una piccola correlazione fra gradevolezza dell'ambiente e comfort termico. Il problema è: come si stabilisce?

Si hanno due approcci: - uno di carattere oggettivo: si fanno le statistiche in diverse condizioni ambientali e si determina una media. (Metodo empirico). Questo approccio ha lo svantaggio di non considerare il corpo umano come una macchina termica. (Metodo empirico)

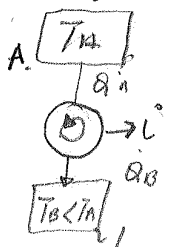
- Altri metodi partono dallo studiare il funzionamento del corpo umano, quindi da metodi oggettivi (cercano di schematizzare il corpo umano con le leggi della fisica) e correlano questo modello di corpo umano termico con delle risposte oggettive. (Metodo irrazionale).

Questo è il metodo basato sulla teoria di comfort più utilizzata nel caso degli edifici dotati di impianti di climatizzazione

Teoria di Fanger

è la teoria che meglio si adatta a studiare il comfort negli edifici dotati di impianti di climatizzazione attivi. Non funziona bene però negli edifici dotati di impianti di climatizzazione passivi (riscaldamento solare, ...).

Funzionamento di una macchina termica: La macchina riceve una potenza



da un termostato a temperatura maggiore, ed in seguito a trasformazioni produce la potenza meccanica (L) all'esterno. Il rendimento di questa macchina ($\eta = \frac{L}{Q_A}$)

L : effetto utile
 Q_A : spesa effettiva per produrre L

termostato che butta via una certa quantità di calore.

Eliminando l'effetto di scala, la potenza metabolica per m^2 di pelle è funzione unicamente del tipo di attività.

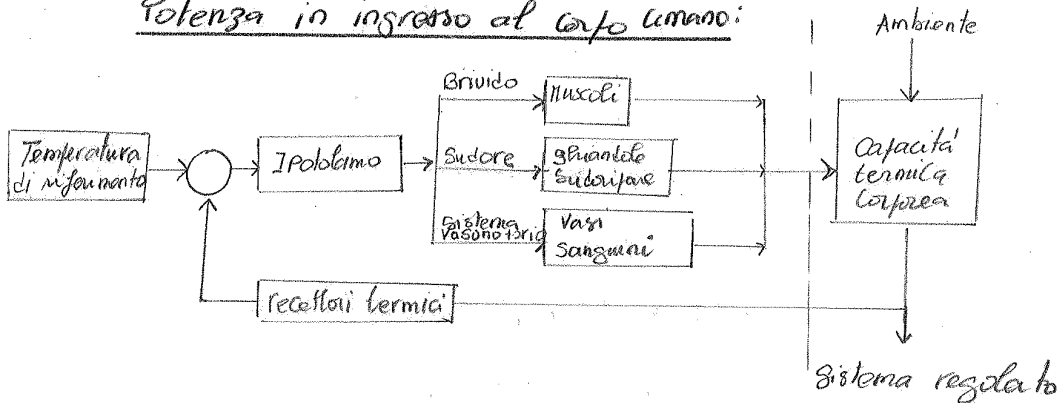
Per evitare le $\frac{W}{m^2}$ noi è introdotta un'unità di misura non coerente con il sistema internazionale che prende il nome di **Met**, ed è usato quindi l'uomo come riferimento.

1 Met: È l'attività metabolica, prodotta nell'unità di tempo e nell'unità di superficie di pelle umana da una persona seduta e a completa riposo. Il met ci dà quindi il minimo di attività di una persona, il minimo assoluto è quello che produciamo mentre dormiamo (0,8 Met), mentre il met è quello che produciamo ^{quanto} non facciamo nulla ~~che~~ siamo al riposo.

Esempio: lavori di casa, pulire i piatti = 2,5 Met; forte lavoro fisico (corsa, ginnastica) = 6,5 Met; attività sedentaria (privere, da ufficio) = 1,2 Met.

1 Met = 58,2 W/m²

Potenza in ingresso al corpo umano:



Il nostro corpo compie un certo lavoro meccanico, interagisce con l'ambiente ed otteniamo una certa temperatura. I ricettori sulla nostra pelle misurano ~~la~~ ~~misura~~ della temperatura così come i gradienti di temperatura (la velocità con cui si riscalda e si raffredda). Il corpo umano per funzionare bene deve mantenere una temperatura interna costante di $37 \pm 0,5^\circ$ durante l'arco di 24 ore. Se i ricettori si accorgono che la temperatura sta cambiando rispetto a quella ideale mandano i segnali all'ipotalamo (cervello) che attiva una serie di provvedimenti,

Se la variazione è piccola gli interventi sono grandi, il cervello attiva dei provvedimenti della termoregolazione vasomotoria ^(dilatazione): si usa il sangue come

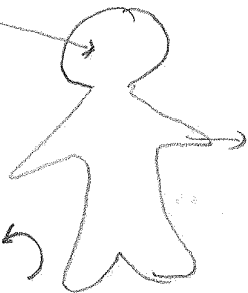
Il rendimento del corpo umano:

Il corpo umano assorbe potenza chimica e produce potenza meccanica perciò, il suo rendimento: $\eta = \frac{W}{N}$ dove

$W =$ lavoro meccanico; $N =$ Potenza chimica. Il rendimento del corpo umano varia fra 0 e 0,2, cioè convertiamo solo 20% di ciò che consumiamo in valore di lavoro meccanico, e si ha solo nel caso di attività intense. Quando si fanno attività sedentarie ed altre $\eta = 0$.

Della stragrande parte della nostra vita funzioniamo con un rendimento nullo.

Prendiamo Potenza chimica \dot{Q}_N (N) nella macchina (*)



$L_i (W)$ nel caso di sistema aperto

quello che il corpo umano butta fuori sotto forma di energia termica

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \Delta h$$

$$(N - W) = (1 - \eta)N = \sum \dot{Q}$$

Visto che il rendimento (η) è quasi nullo, tranne in casi in cui facciamo attività fisica molto intensa, nella stragrande maggioranza $N - W \approx N$ cioè la potenza meccanica è talmente bassa che è trascurabile.

con una entalpia e ne facciamo uscire una certa portata con entalpia diversa.

Poiché il nostro corpo in generale si trova ad una temperatura diversa rispetto all'ambiente, allora ci sono dei flussi termici (scambi) che

Essendo immersi nell'atmosfera costituita d'aria abbiamo abbiamo scambi termici conduttivi (\dot{Q}_{conv}) con l'aria

All'interno dell'edificio ci sono diverse pareti che stanno a temperature diverse fra di loro e diverse da quella del corpo umano, allora scambiamo flusso termico per irraggiamento con tutte le superfici che ci circondano (\dot{Q}_{irr}).

Il contatto del corpo umano con oggetti a temperatura diversa da quella del corpo umano, quindi si ha scambio termico per conduzione (\dot{Q}_{cond})

Il nostro corpo scambia massa anche attraverso altri fenomeni come la sudorazione (fenomeno attraverso il quale immettiamo all'acqua), la pelle è abbastanza permeabile all'acqua, essendo la pelle l'involucro del corpo umano, essa si comporta come l'involucro edilizio, quindi anche quando non ci troviamo per il fatto che la pressione di vapore p_v è diversa da quella della pelle si scambia vapore d'acqua. Perciò abbiamo dei flussi entalpici dovuti a questi scambi di vapore d'acqua ($\Sigma \dot{m} \Delta h$)

$$\Rightarrow -\Sigma \dot{Q} = -\dot{Q}_{conv} - \dot{Q}_{cond} - \dot{Q}_{irr} ; \dot{L} = \dot{W} ;$$

$$\Rightarrow -\underbrace{\dot{Q}_{conv}}_C - \underbrace{\dot{Q}_{cond}}_{C_w} - \underbrace{\dot{Q}_{irr}}_R - \dot{W} = \dot{m}_{v,0} \Delta h + \Sigma \dot{m} \Delta h - \dot{H} + \dot{S}$$

- L'entalpia: è la misura del contenuto energetico di una corrente fluida.

L'entalpia dell'aria umida: $h = \frac{H}{m_a} = h_a + x h_v$; x = titolo dell'aria umida

x : il rapporto fra la massa di vapore contenuta in 1 m^3 di aria e la massa di aria secca.

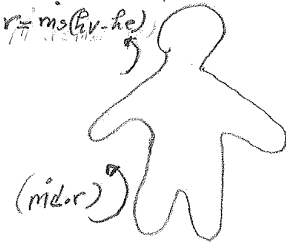
$$\boxed{h = r * x + (c_{p,a} + x c_{p,v}) T} \quad r = \text{Calore latente di evaporazione/condensazione} \\ [J/Kg]$$

$$\Rightarrow \boxed{C - R - C_K - W = E_{ve} + C_{ve} + \sum m_i \delta h_i + S - M}$$

La pelle rappresentando l'involucro dell'edificio del corpo umano, ed attraverso la pelle scambiamo calore. I meccanismi attraverso i quali avviene lo scambio di calore sono?

1° - la Termoregolazione

uno dei sistemi comportamentali che il corpo umano assume per regolare la temperatura del corpo è quello della sudorazione. Scambiamo potenza termica attraverso una portata di calore (acqua sulla pelle che evapora) e che mette in gioco un po' calore latente. Per ogni grammo di acqua che si forma dal sudore viene evaporata una quantità m di acqua. Perciò il flusso di entalpia generata è: $m \cdot \dot{v} = m \cdot (h_v - h_e) = E_{sw}$. La sudorazione è solo il meccanismo attraverso il quale perdiamo molta acqua, ce ne sono altri meccanismi. Per ogni Kilo di acqua che evapora assorbiamo una grande quantità di calore dal nostro corpo. ($r = 2400 - 2500$ KJ/Per Kg acqua evaporata)



Anche quando non sudiamo attraverso il meccanismo di "perduranza sensibilib" la pelle perde calore d'acqua. Questa è come un evaporazione d'acqua per (r) attraverso il quale perdiamo costantemente acqua dalla pelle. Perché comporta un cambiamento di stato e' un calore latente: $m \cdot \dot{v} = E_c$

$$\Rightarrow \boxed{S = M - W - E_d - E_{sw} - E_{de} - C_{ve} - C - R - C_K}$$

In condizione di Emotermia, $S = 0$, condizione necessaria ma non sufficiente per il corpo \Rightarrow

$$\boxed{M - W = E_d + E_{sw} + E_{ve} + C_{ve} + R + C + C_K}$$

$\downarrow \quad \downarrow$
 $Q_n \quad L_i = Q_B$

Questa relazione non fa altro che confermarci che il nostro corpo è una macchina termica. Il problema però è che gli esseri umani sono macchine termiche "senzienti", perciò vogliono dissipare calore (Q_B) sentendosi in comfort.

Il funzionamento è lo stesso per la pelle, ~~ma~~ per il caso specifico può potrebbe essere la pressione del vapore nell'ambiente ma dall'altra parte abbiamo dei fluidi fisiologici, ovvero liquido (acqua) a temperatura della pelle. Qui P_{sk} , cioè la tensione del vapore d'acqua sulla pelle (P_{sk}) che corrisponde alla tensione parziale di saturazione del vapore calcolata alla temperatura della pelle

$$E_d = r \cdot m \cdot v = r \cdot N \cdot A_b (P_{sk} - P_a)$$

La permeanza della pelle vale $\mu = 1,27 \cdot 10^{-9} \frac{kg}{s \cdot m^2 \cdot Pa}$

La tensione di saturazione del vapore è una funzione crescente monotona della temperatura.

Fanger trova che esiste una relazione più o meno lineare nel nostro campo di interesse (però del comfort) $\Rightarrow P_{sk} = 256 \cdot T_{sk} - 3373$ con T_{sk} (°C)

Sapendo inoltre che $\gamma = \frac{P_{sk}}{P_{sk}(T)}$ (umidità) = $P_{sk} = \phi \cdot P_{sk}(T_a)$ temperatura ambiente
relativa parametro fisiologico
pressione di saturazione alla medesima temperatura parametri ambientali

$$\Rightarrow E_d = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot A_b \cdot (256 \cdot T_{sk} - 3373 - \gamma \cdot P_{sk}) \Rightarrow E_d = f(T_{sk}, T_a, T_a)$$

Dal quale scopiamo che la potenza termica persa per traspirazione (E_d) è funzione della temperatura della pelle e delle condizioni ambientali.

Eve: Calore perso per respirazione (Quota latente per respirazione)

L'aspetto importante qui, è trovare la portata d'aria che noi respiriamo.

Da uno studio fatto è stato possibile fare una correlazione fra l'attività fisica esercitata e la portata di aria che noi respiriamo.

$$X = 0,622 \frac{\gamma \cdot P_{sk}(T_a)}{P - \gamma P_{sk}}$$

P = pressione barometrica; γ = umidità relativa
 $P_{sk}(T_a)$ pressione della temp. di saturazione del vapore d'acqua a temperatura ambiente.

Se assumiamo che la pressione atmosferica sia circa $10^5 Pa$, da indagini epidemiologiche si è visto che la temperatura dell'aria respirata mediamente è $34^\circ C$

$\Rightarrow E_{ve} = r \cdot m \cdot v = r \cdot m_{ave} (X_{out} \cdot X_{in})$, dal quale scopiamo che E_{ve} dipende dall'attività metabolica che si sta facendo e dalle condizioni ambientali.

$$E_{ve} = f(\dot{M}, T_a, T_a)$$

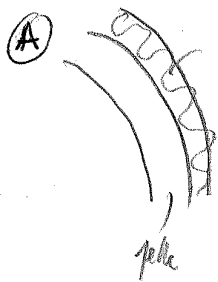
Con le approssimazioni di Fanger $E_{ve} = 1,73 \cdot 10^{-5} (5867 - \gamma P_{sk})$

$m_{ave} = 1,43 \cdot 10^6 \dot{M}$; $m_{max} = 0,14 \dot{M}$ e \dot{M} oggetti a riposo

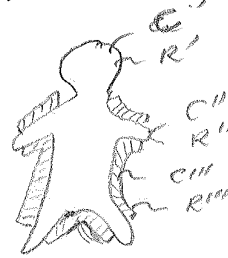
Resistenza termica del vestitiario: (R_{cl})

Ciò supposto è posto un'idealizzazione per calcoli nel caso reale definiamo R_{cl} come la resistenza termica di un solido ideale che disposta uniformemente su tutto il corpo da origine allo stesso scambio termico che si ha nel caso reale con distribuzione non uniforme degli abiti e con parti di pelle esposta.

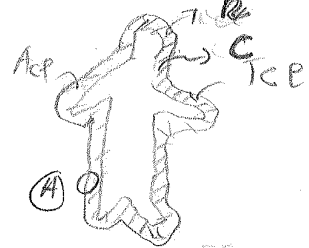
Perciò si definisce lo spessore uniforme di materiale virtuale in modo tale che esista un' analogia di comportamento e di fisica di seguenti fenomeni:



situazione reale



situazione virtuale



deve sussistere:
$$\sum_{s=1}^n (R^s + C^s) = R + C$$

"Perché sussista una analogia termodinamica e fisica occorre che il calore che viene trasmesso all'interno dello strato di vestitiario (R_{cl}), in condizione di regime permanente, deve essere uguale a ciò che l'uomo completamente per vestito scambia per convezione, altrimenti ci sarebbe un surriscaldamento/raffreddamento della pelle." ⇒

$$R + C = Q_{cond} = \left| A \cdot \frac{\Delta T}{R_{cl}} \right| = A \cdot \left| \frac{T_{sk} - T_{cl}}{R_{cl}} \right|$$

Perciò il concetto di resistenza termica del vestitiario equivalente ci permette di lavorare solo con una temperatura uniforme (T_{cl}) per tutto il corpo e di considerare la situazione come omogenea.

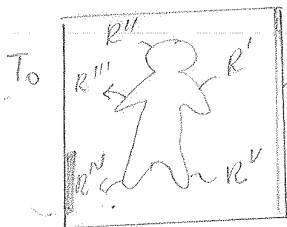
Nel campo del comfort termico si introduce una grandezza non convenzionale: il clo che è l'unità di misura della resistenza termica del vestitiario (R_{cl}), perché si fa riferimento a delle situazioni realistiche: $1 \text{ clo} = 0,155 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$

NB: In alcuni testi: la resistenza termica del vestitiario si scrive R_{cl} e usiamo le grandezze internazionali (SI). e T_{cl} e usiamo il clo.

R: scambio termico per irraggiamento

27-03-2013

Come anticipato R, è la potenza scambiata dal corpo umano per irraggiamento con le superfici che lo circondano. Nel caso edificio queste superfici sono gli involucri interni del nostro edificio, e gli eventuali terminali d'impianti, p.e. ventilati.



T_u (7°C esempio di periodo invernale)

grassa facciata vetrata

$$R = R' + R'' + \dots$$

Però negli edifici lo scambio termico è tale per cui lo scambio termico per irraggiamento, risulta essere la sommatoria di termini. E questi termini dipendono dalla temperatura superficiale del oggetto, dalla temperatura delle superfici (soffitto, termosifone) che entrano in gioco, ciascuno in maniera diversa dando luogo allo scambio termico complessivo per irraggiamento.

Assumendo sia le superfici, che il corpo umano come corpi grigi ovvero con caratteristiche ^{spettrali} simili al corpo nero ma emettono meno e non assorbono tutta l'energia. Lo scambio termico fra 2 corpi grigi:

$$\boxed{Q = A \cdot \epsilon \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4)}$$

con T_1, T_2 in (K)

e per due corpi grigi $\epsilon = \frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{A_1}{A_2} \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2}$

F_{12} : fattore di vista fra il corpo 1 e il corpo 2. (2 corpi paralleli a facciate infinite $F_{12} = 1$). ϵ_1, ϵ_2 = Emissività dei due corpi.

Nel caso particolare di un oggetto (1) all'interno di un cavità (2), in condizioni tali per cui A_1 è molto minore di A_2 allora $F_{12} = 1$, e $A_1/A_2 \sim 0$ e perciò ϵ tende a 1. In questo caso si dice che la cavità si comporta come un corpo nero ($\epsilon = 1$). E quindi ciascuno degli addendi si può scrivere:

$$\boxed{R = A \cdot \epsilon \cdot \sigma [(T_{el} + 273)^4 - T_j + 273]^4}$$

T_j : temperatura della superficie

Il nostro interesse principale è quello di stabilire le condizioni medie di comfort e quindi invece di calcolare tutti gli addendi facciamo un discorso medio ed introduciamo la temperatura ^{media} radiante.

È nella formula di R, e' quello del corpo umano. 02-27-03-2012
 La pelle nel campo dell'infrarosso si comporta come un corpo nero
 allora $\epsilon = 1$; e i vestiti hanno un $\epsilon = 0,95$ perciò: $\epsilon = 0,97$
 Sostituendo tutti questi valori nella formula di R troviamo la
 relazione operativa:

$$R = 3,95 \cdot 10^{-8} \cdot fcl \cdot Ab \cdot [(Tcl+273)^4 - (Tr+273)^4]$$

Visto che la differenza di temperatura (Tcl e Tr) non è molto grande,
 con un piccolo errore linearizziamo l'equazione sopradetta, intro-
 ducendo il coefficiente di scambio termico lineare (hr): $hr = 45 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} \text{ . E quindi}$$

$$R = fcl \cdot Ab \cdot hr (Tcl - Tr)$$

Ck: Scambio termico per conduzione

È uno scambio che in molti casi è minimo perché l'unica
 zona in cui scambiamo per conduzione è il contatto fra i piedi e
 il pavimento, tramite le scarpe. Quindi è una superficie piccolissima
 rispetto a tutti gli altri casi. Perciò quando si è in piedi si può
 trascurare Ck. (Ck=0).

Se però siamo seduti, la superficie di contatto è molto grande. Nel
 caso degli edifici operiamo trascurando sempre Ck anche se la
 persona è seduta e si incrementa in maniera fittizia la resistenza
 termica del vestiario. E quindi si suppone che quando siamo seduti
 si ha un capo di abbigliamento più pesante

Rivestitura della potenza termica (acca. (somma di tutti i canali parziali))

$$R+C = Ab \cdot fcl \cdot hr \cdot (Tcl - Tr) ; C = Ab \cdot fcl \cdot hc \cdot (Tcl - Ta)$$

$$\Rightarrow R+C = Ab \cdot fcl \cdot hr \cdot (Tcl - Tr) + Ab \cdot fcl \cdot hc \cdot (Tcl - Ta)$$

$$R+C = Ab \cdot fcl \cdot [hr(Tcl - Tr) + hc(Tcl - Ta)]$$

Pur essendo la differenza fra Tr e Ta piccola è di capitale
 importanza perché è quella che ^{all'ipote} situazione diverse di temperatura nei

A regime permanente cio' che attraverso lo strato del vestario (\dot{Q}), cioè $S=0$ e quindi la temperatura T_{sk} non cambia deve essere uguale a quello che la superficie esterna del vestario scambia con l'ambiente (etc.) $\Rightarrow \dot{Q} = R + C$ Regime permanente

$\Rightarrow R + C = A_b \cdot \frac{T_{sk} \cdot T_o}{0,155 \cdot t_{cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h_f}}$ quindi anche esso espone una trasmittanza fra pelle ed ambiente.

Benessere termoisgrometrico

Sapendo risolvere la relazione: $S = M - W - t_{cl} - E_{sw} - E_{ve} - C_{ve} - C - R - C_k$ ci chiediamo come si stabilisce la condizione di benessere?

• La prima condizione necessaria ma non sufficiente è che $S=0 = \frac{\partial U}{\partial t} = 0$ ovvero la condizione di omeotermia. Per cui a questa condizione bisogna aggiungere altre condizioni che facciano sì che il soggetto ritorni in condizione di benessere.

Si definisce Condizione di benessere termoisgrometrico come quello stato psicofisico in cui il soggetto espone soddisfazione nei confronti del microclima. (Non ha né sensazioni di caldo né sensazioni di freddo ovvero una condizione termoisgrometricamente neutra).

Analizzando da un punto di vista l'equazione di bilancio, si ha che $O = f(\text{abbigliamento, attività, } t_a, v_{ar}, \varphi, t_{mr}, T_{sk}, E_{sw})$ è funzione di

variabili progettive parametri ambientali variabili fisiologiche (dipendono da altre 6 variabili)

Questa funzione è molto sensibile alla velocità dell'aria (v_{ar})
 Progettare il comfort equivale quindi a trovare una sinergia fra impianti e l'edificio.

Fanger sulla base di risposte progettive di alcuni soggetti, misurando T_{sk} , E_{sw} ha ricavato delle condizioni di potenza evaporativa della pelle in condizione di comfort. Originariamente si pensava che gli individui, 'progettati' fossero in comfort quando non si attivava il meccanismo di termoregolazione

L'indicatore di comfort negli edifici è:

29-03-2012

PMV: Predicted mean vote, che si basa su una scala semantica da (-3 ... 0 ... 3) e rappresenta la media che diamo alle condizioni di Comfort all'interno degli ambienti. Il PMV si può calcolare attraverso il metodo razionale (bilancio del bilancio), con una relazione che parte da un lato da fenomeni oggettivi (equazione di bilancio) e dall'altro da un altro lato mette insieme aspetti oggettivi (condizioni di comfort) dove Fanger ha stabilito che la sensazione di caldo/ o freddo di comfort di un individuo è funzione del carico termico (L).

L = differenza fra la potenza metabolica (M) e il lavoro prodotto (W) meno il flusso termico che disperderebbe il corpo umano se fosse in condizione di benessere (Q_b , E_{sw}^* , T_{sk}^*)

$$L = (M - W) - Q_b^* (E_{sw}^*, T_{sk}^*)$$

$$Q_b \Rightarrow L = (M - W) - (E_{r}^* + E_{sw}^* + E_{ve} + C_{ve} + R^* + C^*)$$

$L > 0 \Rightarrow$ sensazione di caldo, $L = 0 \Rightarrow$ Comfort; $L < 0 \Rightarrow$ sensazione di freddo

L non rappresenta il bilancio termico reale del corpo umano, si può interpretare L come il carico termico sul sistema di termoregolazione

Fanger quindi passa dall'equazione di bilancio reale ad un'equazione di bilancio che confronta quello che si dovrebbe dissipare realmente (rappresentato) con quello che si dissiperebbe se si fosse in condizione di Comfort. In base a questo concetto si ricava:

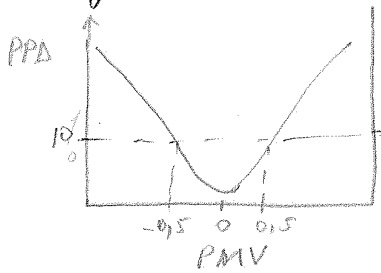
$$PMV = [0,303 \cdot e^{-0,03611} + 0,028] \cdot L$$

Quindi PMV essendo ricavato da uno studio oggettivo esprime la percezione media di Comfort degli occupanti

(*) l'abito nei termini, significa che si può calcolare usando come valore di temperatura della pelle dei soggetti, quello in condizione di Comfort:

E_{sw}^* viene dalla relazione A; T_{sk}^* : in condizione di Comfort.

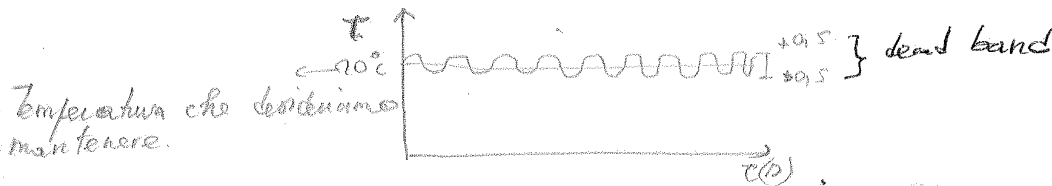
Thermal comfort evaluation: funzione che lega il PMV e la PPD.



Per la percentuale di soddisfatti si considerano i soggetti che votano fra -1 e 1.

Per evitare contenziosi si è fissato a livello di norma una percentuale di insoddisfatti.

La temperatura degli impianti è mantenuta all'interno di una certa tolleranza detta Dead band = $\pm 0,5$ per evitare che gli impianti si staccano e si attaccano continuamente ciò che porterebbe a rottura prematura dei sistemi.



Temperatura che dobbiamo mantenere.

A causa di questa tolleranza, la norma ha stabilito dei livelli di percentuale di insoddisfatti limite. Generalmente il limite di insoddisfatti è 10%

($PPD \leq 10\%$) e quindi si accetta che $-0,5 < PMV < 0,5$.

Nella realtà, vista la diversa necessità degli ambienti si è definito delle classi:

Turistica (A): qualità ambientale molto alta

$PPD < 6\%$ e $-0,2 < PMV < 0,2$

Business (B): qualità ambientale media

$PPD < 10\%$ e $-0,5 < PMV < 0,5$

First-class (C): qualità più bassa

$PPD < 15\%$ e $-0,7 < PMV < 0,7$

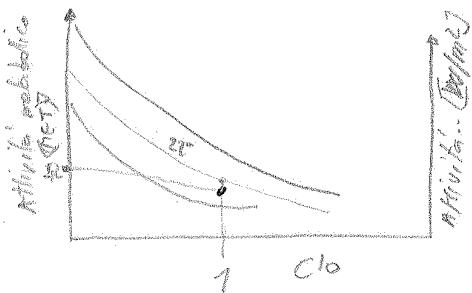
UNI EN 15251: Stabilisce i criteri e fissa i requisiti per i diversi livelli di qualità dell'ambiente interno (IEQ) ovvero Indoor Environmental Quality. Questa è una norma generale che tocca i campi riguardanti il comfort dell'ambiente interno.

Il principio della nostra progettazione: Nel progetto si va a recuperare 03-29-2016 qual'è il valore di PMV che si può ottenere, in base al questo e della destinazione d'uso del locale risolviamo ai valori di P , v_a , T_{mr} , T che ci garantiscono il nostro valore di PMV.

Il calcolo di PMV viene dato da un'equazione implicita (un'incognita dalle 2 parti dell'uguaglianza) perciò non la possiamo risolvere in maniera analitica e quindi la si risolve numericamente.

Nel nostro caso facciamo ricorso ai diagrammi di utilizzo pratico che ci forniscono il valore ottimale della temperatura operante cioè: la

$$T_o = \frac{T_a + T_{mr}}{2}; \quad T_o = A \cdot T_a + (1-A) \cdot T_{mr}$$



due curve corrispondono alla temperatura operante in condizioni ottimali

Il diagramma è diviso in aree caratterizzate da un intervallo di temperatura ^{toleranze} ($\pm 1^\circ$, $\pm 1,5^\circ$, $\pm 2^\circ$, $\pm 2,5^\circ$) che significa lo scarto rispetto

al valore ottimale che ci consente di rimanere con il $PMV = \pm 0,5$ e quindi mantenere il $PPD < 10\%$.

Questi diagrammi vengono forniti o nella normativa o nei manuali in

funzione dell'umidità relativa, della velocità dell'aria ... e in base alla classe.

sono stati fatti per la progettazione di massimi. Sono stati ipotizzati ipotizzando:

$\varphi = 50\%$ (umidità che accade nei sistemi edilizi dotati di impianti di climatizzazione,

$W = 0$ (lavoro meccanico) nullo

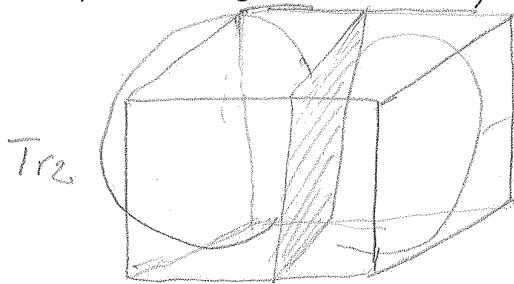
$v_a = 0$ (velocità dell'aria) quindi la velocità dell'aria relativa è dovuta solo dai movimenti delle persone.

Perciò vanno usati con cautela.

Indoor resultant (operative) temperature

ci fornisce l'intervallo di temperatura adeguata a seconda della destinazione d'uso dell'ambiente.

In base al diagramma di Jager, si riesce a 04-29-03-2012 stabilire se l'asimmetria da fastidio o no. Si ha infatti un diagramma che in funzione del tipo di asimmetria e della differenza di temperatura radente (ΔTr), fornisce delle curve che danno la percentuale di insoddisfatti (PPD, $\leq 10\%$). Dal diagramma si osserva che il problema più grosso è dato dal soffitto caldo, seguito dalla parete fredda e poi dalla parete calda.



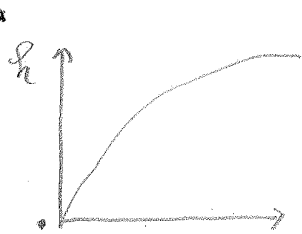
$Tr_1 \Rightarrow \Delta Tr = Tr_1 - Tr_2$ (differenza di temperatura radente e quindi legata alla differenza di temperatura delle superfici).

Gradiente di temperatura verticale

Esprime la temperatura dell'aria.

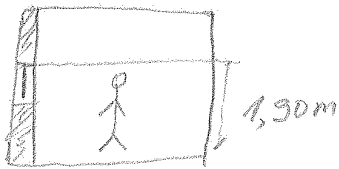


L'aria si comporta come un gas perfetto quindi aumentando la temperatura si dilata e diventa meno densa (più leggera) quindi tende a salire e forma sopra un cumulo di aria calda.



Aumento di temperatura in funzione dell'altezza, si osserva che con l'incremento della temperatura l'aria sale. Il fenomeno si accentua da particolare configurazione impiantistica e quella del locale. Più il locale è alto più l'aria tende a salire, più la temperatura superficiale dei corpi riscaldati è alta più l'aria sale e si stratifica. Questi gradienti sono quindi legati dalla combinazione locale - impianti. Per il comfort si va a misurare la differenza di temperatura fra caviglie e la testa.

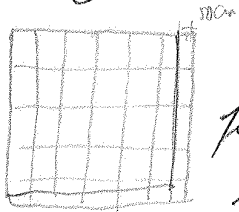
Siamo in condizione di comfort quando le caviglie sono ad una temperatura più alta della testa.



Altezza stimata della zona occupata
è 1,90m.

05-29-03-2012

Per garantire una buona qualità dell'aria della zona occupata si può fare la mappatura del comfort ovvero si calcola il PMV con una griglia dell'edificio e si traccia poi la linea di ISO PMV



Normalmente si dà per scontato che i primi 50cm dalla parete è considerata non occupata. Con la mappatura si determina la zona di bordo che presenta una situazione critica. E quindi proporre una soluzione progettuale per ridurre questa zona di discomfort. La mappatura ci consente quindi di vedere fino a quanto si può spingere le prestazioni dell'involucro.

Programmi: Energy plus ; Predict the comfort

Ricerca obiettivo: ci permette di risolvere le equazioni implicite

Ricerca risolutore: ci permette di risolvere i sistemi d'equazione. Percorso: assiarsi componenti aggiuntivi - risolutore.

Come si procede?

1) Risolvere l'equazione del carico termico dell'essere umano.

$$L = (M - W) - (E_{cl}^* + E_{vp} + E_{sw}^* + C^* + R^*) \quad \text{con } C_k = 0$$

ci poniamo nel caso di attività sedentaria quindi il lavoro è trascurabile

$W=0 \Rightarrow L = M - E_{cl}^* + E_{vp} + E_{sw}^* + C^* + R^*$; M si trova da la tabella per uffici $M = 1,2$, aula polivalente $M = 1,2 =$ attività resistenziale.

2. Esprimere tutte le altre grandezze in funzione dei rispettivi parametri

$E_{cl}^* = 3,05 \cdot 10^{-3} (256 T_{sk}^* - 3377 - \rho \cdot P_{res})$, T_{sk}^* = temperatura della pelle in condizione di comfort.

dati d'ingresso all'equazione di bilancio del corpo umano:

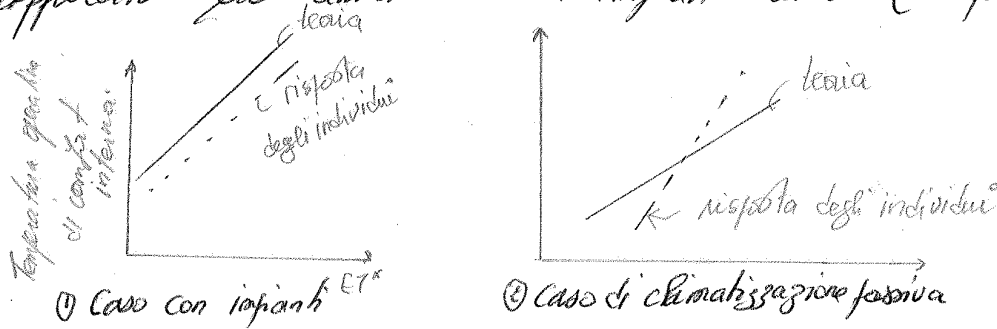
M ; $T_{cl} = 1 \text{clo}$; $T_a = 21^\circ\text{C}$, v_a ; v_{av} , $T_{mr} = 25^\circ\text{C}$

$C = h_c \cdot A_b \cdot f_{cl} (T_{cl}^* - T_a)$, T_{cl} va scelto a tentativi cominciando da $30^\circ, 25, 21$

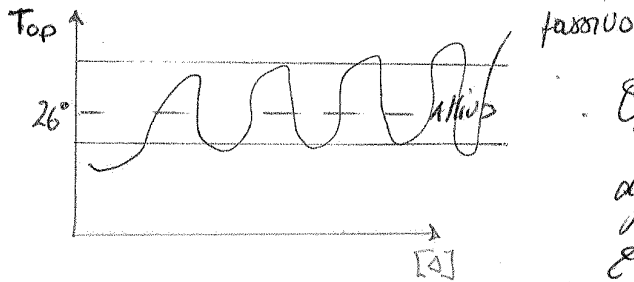
Bilancio dei componenti dell'involucro.

03-04-2012

Il metodo di Fanger rappresenta benissimo la situazione di comfort e disagio per la stragrande maggioranza delle persone quando applicato ad ambienti con impianti attivi (impianti di climatizzazione...)



La differenza fondamentale fra un edificio climatizzato ad impianti e quello ad passivo è: - negli edifici attivi quando si accende l'impianto, esso regola la prestazione desiderata. - Nel sistema passivo non siamo in grado di garantire che all'interno vi sia sempre la temperatura desiderata di progetto. quindi questo sistema è caratterizzato da incertezze sulle prestazioni all'interno del nostro edificio dovuto alla variabilità delle condizioni esterne nel tempo.



Quindi il modello di Fanger non è più affidabile quando il nostro edificio è ad sistemi passivi ②.

Tuttavia, nonostante i cambiamenti ambientali (temperatura, umidità relativa...) siano dai valori raccomandate dal PNV, le persone occupanti sono più tolleranti. Cioè, nel momento in cui ci troviamo in un edificio passivo le persone sono preparate psicologicamente alle condizioni, si parla di adattabilità cioè è legato quindi ad aspetti psicologici che fisiologici. Le attese degli utenti sono dunque legate al prodotto. Quindi le curve di adattabilità devono essere relative al clima del paese in cui si progetta.

Ci procuriamo dunque la temperatura media giornaliera ^{invernale} della località ed controlliamo che ^{la nostra temperatura di progetto} cada nell'intervallo di adattabilità.

02-03-04-2018

La temperatura media giornaliera è una ^(running mean) media mobile ovvero tiene conto del trend dei giorni precedenti. Poiché l'adattabilità delle persone è progressiva nel tempo con le temperature esterne. Quindi T_m contiene al suo interno la storia di ciò che è successo nei giorni precedenti.

$$T_m = (1-d) \{ T_{od,1} + d T_{od,2} + d^2 T_{od,3} \dots \} \quad \text{con } 0 < d < 1$$

$T_{od,1}$ = temperatura media di ieri

Quindi è una media nella quale le temperature dei giorni lontani da oggi contano di meno (si possono considerare per esempio 10 giorni).

Prestazioni termo-energetiche delle componenti dell'involucro (opaco trasparente)

UNI EN ISO 6946: Pareti opache

UNI EN ISO 13786: Prestazioni dinamiche delle componenti opache

UNI EN 14683: Prestazioni termiche

de giunzioni dell'involucro opaco:

L'involucro edilizio è la pelle del nostro edificio. La funzione fondamentale storica dell'involucro è quella da barriera, "puro", cioè funzionalva solo quando gli impianti erano di grosse dimensioni e il problema principale era quello di risparmiare energia per il riscaldamento.

L'emmanazione di legge già dagli anni 70 ha fatto sì che i consumi energetici per il riscaldamento si stanno abbassando. Però sono aumentati i consumi per gli impianti di raffreddamento, ed avere eccessivi isolamento è sfavorevole perciò oggi oltre al requisito base nel nostro edificio di isolamento entrano in gioco altri fattori, quindi integriamo delle prestazioni che tengono conto del comportamento dinamico ovvero della capacità dell'involucro di smorzare le oscillazioni legate al flusso termico della temperatura, ciò che ha delle conseguenze molto importanti nel riguardo del raffreddamento estivo.

$\frac{Q}{A} = \alpha (T_i - T_e)$ nel caso di assenza di radiazione solare 03-03-04-2013

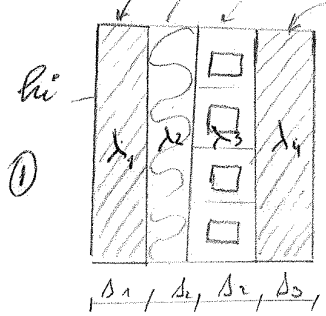
$$\text{Cen} = U = \frac{1}{h_1 + \sum \frac{n_i d_i}{\lambda_i} + \sum \frac{n_2 d_i}{\lambda} + \frac{1}{h_e}}$$

Nel caso di presenza di radiazione solare la formula è la stessa ma alla temperatura esterna si sostituisce la temperatura solare aria.

$$T_{se} = T_e + \frac{\alpha T_e}{h_e}$$

Temperatura fittizia legata alla radiazione solare incidente, alla temperatura esterna (T_e), alla temperatura interna (T_i) e al coefficiente di assorbimento esterno della parete (α)

Esempio: da isolante blocchi formati (materiale non omogeneo) in un rivestimento omogeneo



h_e = coefficiente limitare esterno, h_i = coefficiente limitare interno. R_{si} = $\frac{\delta_1}{\lambda_1}$ = resistenza limitare interna / esterna R_e

Nel caso di strati omogenei, si definisce una conducibilità termica (λ_i) ⇒ $R_{si} = \frac{1}{h_i}$ R_{se}

Nel caso di materiali non omogenei si entra direttamente col valore di resistenza (R_{si}) che viene misurato in laboratorio. A volte al posto della resistenza si preferisce fornire la conduttanza (C) per cui la resistenza si ricava: $R = \frac{1}{C}$

La trasmittanza di ① è $U = \frac{1}{R_{si} + (R_1 + R_2 + R_4) + R_3 + R_{se}}$

I valori di R_{si} e R_e si ricavano dall'UNI 6946 ed anche per le pareti verticali per i blocchi di laterizi ^{dei componenti edilizi} si usa la norma 10355, si fornisce λ e lo spessore che ricaviamo dal progetto.

Per parete verticali: $R_{si} = \frac{1}{0,13} = 7,7$, $R_{se} = \frac{1}{0,04} = 25 \text{ w/m}^2\text{K}$
 Per gli orizzontanti: Coperture (prima colonna) / Pavimenti (ultima colonna)

Il decreto della regione Piemonte del 2003 impone dei valori massimi alle trasmittanze: pareti verticali: $U = 0,33$, $U = 0,23$ (secondo livello)

La velocità dell'aria: (V_{max})

UNI 10339

Pono vamar

$\leq 0,25$ m/s estate

$\leq 0,15$ m/s inverno

12-04-2013

In termini ingegneristici si considera aria calma quando $v_a \leq 0,05$ m/s cioè l'aria è immobile.

Qualità dell'aria ambiente o qualità dell'aria interna

IAQ: Indoor Air Quality.

Si deve garantire che sia soddisfatto il comfort termigrometrico (che le persone non abbiano né sensazioni di freddo né s. di caldo) ma si deve garantire anche che la qualità dell'aria all'interno degli ambienti sia adeguata.

Adeguata ha due valenze:

1. (imprescindibile) perché è legato agli aspetti della salute;

si deve garantire che l'aria all'interno dell'ambiente non sia dannosa per chi ci vive all'interno. La salubrità è una condizione necessaria ma non è sufficiente.

2. Si deve garantire anche una buona percezione olfattiva, quindi evitare la presenza di cattivi odori.

Che cosa è che rende l'aria all'interno inadeguata?

L'aria all'interno dell'ambiente è pregiudicata dalla presenza di sostanze inquinanti.

NB: L'aria ambiente è costituita:

$\sim 21\%$ O₂, 78% N₂ (Azoto)

H₂O (vapore d'acqua) $\sim 8 \div 12.000$ PPM

CO₂ ~ 350 PPM; Gas nobili \sim (Ar, Kr, N₂...)

Queste sostanze essendo presenti nell'aria sono innocue per la salute ma possono diventare un problema per la qualità dell'aria se dovessero aumentare troppo in percentuale.

Quando però siamo nel campo della qualità percepita, 02/12-04-2012
ci spostiamo in una interazione fra sensi, cultura, gusto personale
quindi siamo in un settore denominato dalla soggettività. Perciò
diventa difficile definire cos'è un cattivo odore.

Per trovare dei numeri per i nostri conti, stabiliamo dei criteri che
tengano conto in maniera più rigorosa possibile e in modo razionale
gli aspetti legati alla percezione, l'ASHRAE stabilisce un criterio generale
Definizione di IAQ accettabile secondo l'ASHRAE:

"La qualità dell'aria interna è da considerarsi accettabile quando
in essa non siano presenti inquinanti in percentuali tali da risultare
nocivi (secondo quanto stabilito dalla normativa e legislazione vigente)
e quando non più del 20% degli occupanti manifesti insoddisfazione
circa la sua qualità percepita (almeno l'80% di soddisfatti della
qualità olfattiva dell'aria indoor)."

Quindi IAQ è accettabile se:

1. garantire la salubrità in base a che le percentuali ^{degli inquinanti} siano al di sotto
di quelli considerati nocivi secondo la legge del paese; Condizione necessaria
2. si deve fare sì che almeno l'80% degli occupanti siano soddisfatti

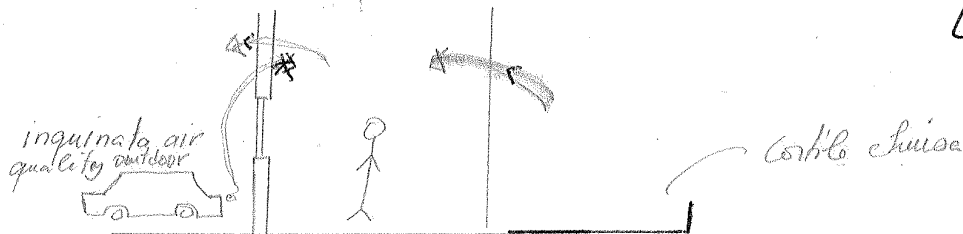
I requisiti derivanti per l'ambiente interno sono dunque:

- Si misura l'inquinante nell'aria attraverso il concetto di concentrazione,
quindi le legislazioni vigenti stabiliscono dei limiti massimi alle concentrazioni di inquinanti
Anche i cattivi odori sono misurabili in base alla concentrazione. Perché il
cattivo odore è legato con una funzione, crescente alla concentrazione della sostanza.
Ma la legge che lega la concentrazione al cattivo odore non è né una legge
lineare e varia da una sostanza all'altra, ^{inoltre} la concentrazione di una
sostanza nell'aria non è un requisito che si può usare progettualmente.
Quindi ci poniamo a trovare una modalità di controllare la concentrazione
di inquinanti nell'ambiente

NB: ogni persona emette all'ora ± 20 litri di CO₂

Se però:

03-12-04-2012



Facciamo la presa di ventilazione a livello strada, l'aria che prendiamo dall'esterno è inquinata, quindi si deve prestare attenzione a dove si prende l'aria e se questa ha una qualità accettabile. Perciò la prima verifica da fare è quella sull'accettabilità dell'aria esterna.

Se siamo in periodo invernale si ha un'inversione termica: l'aria a livello del suolo è più fredda di quella in quota e quindi non c'è più cambio, se tutti gli impianti sono accesi, e si ha un traffico intenso. Nasce il problema del PM10 (Polveri fini) che superano il livello consentito quindi la qualità dell'aria esterna non è accettabile. Se l'accettabilità dell'aria esterna non è verificata si devono fare degli sforzi progettuali affinché si eliminino situazioni che possono creare problemi riguardo all'aria esterna. Nel nostro esempio meglio prendere l'aria dal cortile chiuso e buttarla sulla strada.

NB: A Torino l'aria non può essere presa a meno di 3m da terra...

- Aria interna: (Produzione interna di inquinanti)

- Le persone: Le persone col metabolismo producono il CO₂ e una serie di altri composti. Le persone producono inquinanti attraverso il fumo di tabacco (Problema (nesso) ultimamente). Con le nuove normative i problemi dell'ETS (Environmental Tobacco Smoke), quindi il fumo passivo è ridotto (negli edifici pubblici)

→ Fonti legate alle attività antropiche: l'attività delle persone all'interno dei locali

- Apparecchi per ufficio: Fotocopiatrici, stampanti laser producono O₃ (ozono) fortemente ossidante ed irritante, la sua concentrazione è vitale.

Si vedono concentrare le stampanti e fotocopiatrici in una zona addebita...

- Cottura dei cibi (il gas produce CO₂, ...) Il bruciatore della cucina funziona come quello della caldaia quindi produce inquinanti anche se inquinabile

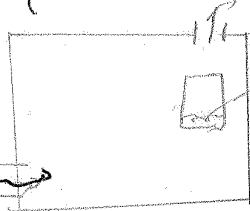
4-12-04-2012

rispetto all'ossigeno e dopo un po' si muore asfissiato perché il sangue non riesce più a trasportare l'ossigeno. Il legame CO-emoglobina è molto forte, quindi una volta che nel globulo rosso si è formato la carbossi-emoglobina, quest'ultima rimane stabile, e viene molto difficile a respirare dell'ossigeno e se la saturazione è troppo alta, da respirazione di aria pulita, risulta fatale. Tutto questo viene aggravato dal fatto che il CO è inodore perché l'inodore inodore o non percepibile. Normalmente malato si inizia ad avere sintomi come nausea, mal di testa, sonnolenza, ci si addormenta e si muore.

Il difetto d'aria può derivare da 2 aspetti:

1. Non si ha abbastanza aria per alimentare la combustione

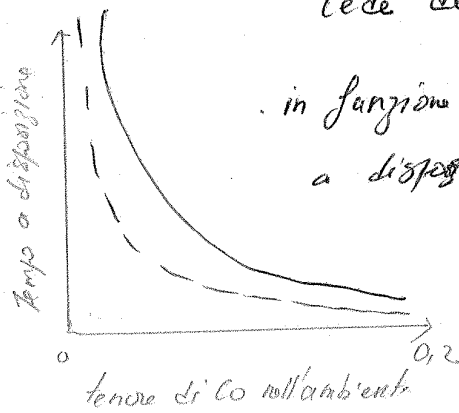
Apparecchi tipo B



Preso l'aria per la combustione

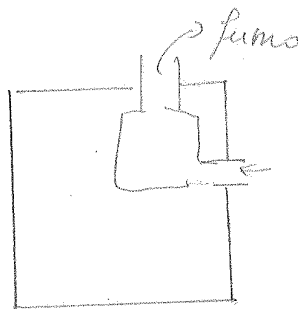
formazione di CO che si riceve nell'ambiente se viene chiuso il bocco di presa d'aria.

Se il camino si ottura, il fumo rientra nell'appartamento cede del CO₂, e quindi $C + O \rightarrow CO$.



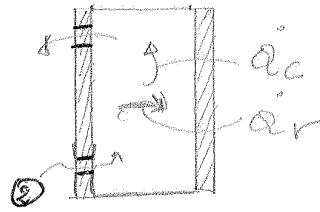
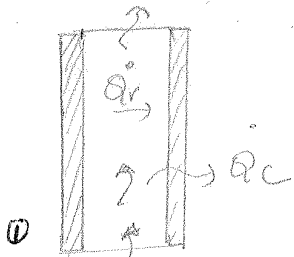
in funzione della concentrazione si determina il tempo a disposizione prima di morire. Per CO = 0,04%, respiri per 311 e 50 si muore

Apparecchi tipo C: Apparecchi stagni



Preso l'aria per la combustione

5-12-04-2012



① Intercap. fortemente Ventilata

Intercap. debolmente Ventilata

In tutti i due casi ci ha i due tipi di scambio termico ma ciò che cambia fra una configurazione e l'altra è l'entità di questi scambi. Perché $Q_c = A h_c \Delta T$, con h_c che è funzione della velocità con cui si muove l'aria, quindi ciò che cambia in questi casi è h_c e quindi

• Nel caso di intercapedini chiuse e non ventilate con superfici ad alta emissività (laterizi, intonaco grezzo) la norma ci dà il valore della resistenza termica dell'intercapedine.

Nel caso in cui il flusso termico è

ascendente: intercapedine verticale o sull'orizzontamento $\left\{ \begin{array}{l} \text{copertura} = \text{flusso termico} \\ \text{ascendente} \end{array} \right.$

orizzontale: intercapedine verticale

discendente: intercapedine sull'orizzontamento, caso di favorimento

Nel caso di intercapedine chiusa, con delle bocchette d'aria (3), si calcola la trasmittanza ma per ora nel caso reale perché la ventilazione è creata da due effetti:

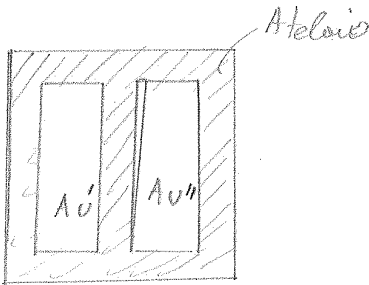
- Il vento

- Le pareti calde scaldano l'aria all'interno dell'intercapedine creando l'effetto camino che dipende dalle differenze di temperatura fra l'interno e l'esterno.

Differenze che variano da un'ora all'altra.

La normativa ai fini del calcolo di progetto per il riscaldamento e per la valutazione dei consumi energetici (per calcoli medi) ha ricavato delle correlazioni empiriche, valide per le situazioni medi. Valore che cambia a seconda che l'intercapedine sia fortemente o debolmente ventilata.

Una intercapedine deve essere considerata fortemente ventilata quando nel caso di intercapedine verticale l'apertura di ventilazione è 1500 mm^2 per ogni metro di lunghezza di base dell'intercapedine.



U_v : si calcola o lo si prende dal produttore

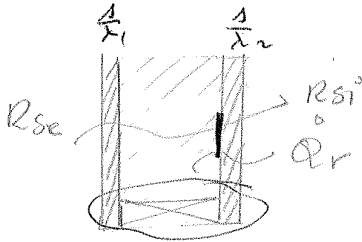
106-12-04-2012

U_t = produttore

$$A_v = A_{v'} + A_{v''}$$

$$W_f = \frac{A_v \cdot U_v + A_t \cdot U_t + \psi_g L_g}{A_v + A_t}$$

In genere U_t e U_v non cambiano e al più cambiano da una facciata all'altra.



Isolato la U_v di un vetro camera si fa dal centro mentre invece nei bordi ha del materiale di metallo (alluminio) che crea un ponte termico, quindi $\psi_g L_g$ viene fer tenuto

Ciò che vogliamo nei vetri camera: cento.

Depositi basso emissivi: si fannini di diminuire Q_r per via di depositare sulla superficie interna della camera un deposito che diminuisce l'emissività della superficie. l'obiettivo è quello di diminuire R_r

$$R_r = 4 \sigma F_e T_m^3 \quad \text{con} \quad F_e = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

σ = costante di Stefan Boltzman

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

$$C = \frac{V_{inq}}{V_{aria}} \quad \left[\frac{m^3}{m^3} \right] \quad \left[- \right] \quad \begin{cases} \text{ppm: Parti per milione} \\ \text{ppb: Parti per bilione} \\ \text{\% (\%)} \end{cases}$$

2. Concentrazione in massa (C_m)

$$C_m = \frac{M_{inq}}{M_{miscela}} \approx \frac{M_{inq}}{M_{aria}} \quad \left[- \right] \quad \begin{cases} \% (\%) \\ \text{ppm o ppb} \end{cases}$$

Esiste un legame fra C e C_m

$$C_m = \frac{P_{inq} \cdot V_{inq}}{P_{aria} \cdot V_{aria}} \Rightarrow \boxed{C_m = \frac{P_{inq}}{P_{aria}} \cdot C}$$

NB: L'aria ha un peso molecolare circa 29.

3) Concentrazione mista: (C') Molto usato dai tossicologi e in cui viene espresso il limite di legge. Viene detta mista perché mi dice la massa degli inquinanti riferita al volume della miscela.

$$C' = \frac{M_{inq}}{V_{miscela}} = \frac{M_{inq}}{V_{aria}} \quad \left[\frac{mg}{m^3} \right] \circ \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

È il modo di più per il particolato, viene usato anch'esso per l'inquinante gassoso.

$$C' = \frac{P_{inq} \cdot V_{inq}}{V_{aria}} \Rightarrow \boxed{P_{inq} \cdot C = C'}$$

La concentrazione media

la concentrazione di picco.

CO₂ 500 ÷ 1000

3000 ÷ 5000 PPM

Cosa possono provocare questi inquinanti?

Possono dare una serie di malattie (asma, occhi chiari, allergie, malattie di avvelenamento...)

Produzione di inquinanti dagli occupanti:

Cor: in funzione della corporatura dell'uomo (M) in funzione della potenza metabolica (M), si ha una portata di CO₂ in l/s.

$$q_{CO_2} = C \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot M = \text{l/s}$$

L'essere umano inspira aria con un 21% di ossigeno con un bassissimo contenuto di CO₂ 400 ÷ 500 PPM, ~~per~~ usiamo qualche % di ossigeno ispirato e quando respiriamo la concentrazione di CO₂

Come recepire la norma queste nozioni e trasformarle in requisiti progettuali?

A livello internazionale ci sono tre approcci (prescrittivo, prestazionale, e prestazionale oggettivo) e a livello italiano è normale solo l'approccio prescrittivo per quanto riguarda gli edifici ad uso residenziale.

1. Approccio prescrittivo

La norma di riferimento è la UNI 10339, ASHRAE ST. 62/01.

Consiste nel fissare i valori minimi di portata di aria di ventilazione.

2. Approccio prestazione (ASHRAE 62)

Pone limiti alla concentrazione massima accettabile, viene usato in Italia in ambiente industriale. È applicato nei casi in cui la preoccupazione maggiore è quella di garantire la salute e non il comfort.

3. Approccio prestazionale, basato sul controllo della percezione

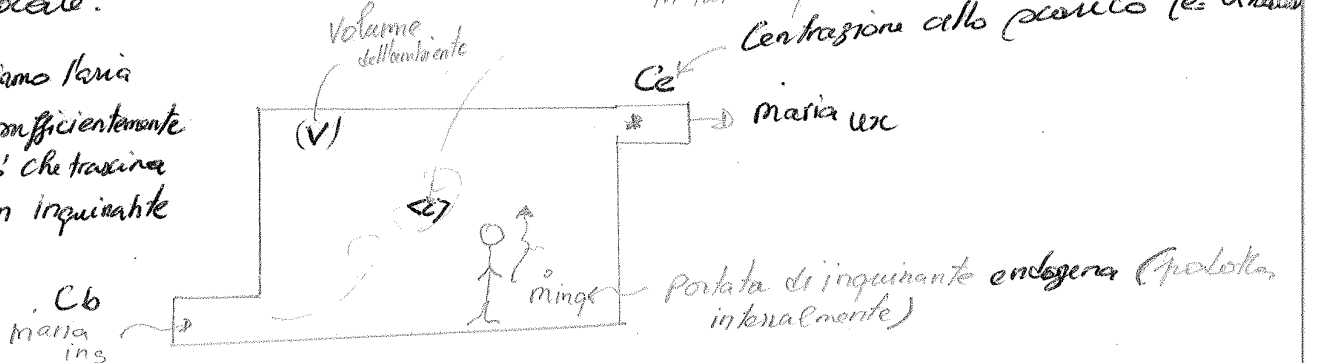
oggettiva della qualità dell'aria (CR 1759 - Fanger)

Non è stata mai trasformata in norma ma esiste come un technical report (CEN) ovvero, ^{come} una guida ~~per~~ i progettisti. In Scandinavia è usata con norma.

Bilancio di massa degli inquinanti:

Volevo che nel nostro ambiente non ci sia una concentrazione di inquinante tale da poter pregiudicare la salute e la qualità dell'aria allora andiamo a misurare la concentrazione degli inquinanti dentro al nostro locale.

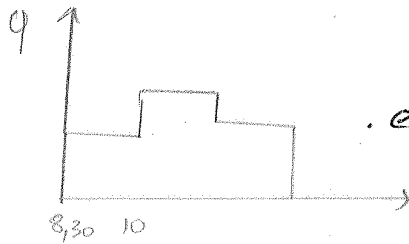
NB: Consideriamo l'aria di ingresso sufficientemente pulita però che trasporta con sé un inquinante C_b



C_e : Concentrazione media di inquinante nella stanza, data dalla combinazione della produzione endogena e dell'inquinante di fondo.

② Equazione differenziale del primo ordine, la cui variabile è la concentrazione media ~~dentro~~ degli inquinanti ~~dentro~~ la stanza che varia nel tempo, q varia pure nel tempo, così come c_b , e c_e .

Si fa dunque un'ipotesi semplificativa dicendo che le grandezze Q , q , c_b sono costanti a tratti nel tempo cioè (si permette che esse variano in maniera discreta nel tempo. c_e , $\langle c \rangle$ sono le uniche ^{funzioni} continue nel tempo.



. esempio di variazione a tratti nel tempo.

Si introduce inoltre l'efficienza di ventilazione (E_v)

$$E_v = \frac{c_e - c_b}{\langle c \rangle - c_b} = \frac{c_{e\text{netta}}}{\langle c \rangle_{\text{netta}}} \Rightarrow c_e - c_b = E_v (\langle c \rangle - c_b)$$

\Rightarrow ② \Rightarrow

$$-E_v (\langle c \rangle - c_b) \cdot \frac{Q}{V} + \frac{q}{V} = \frac{V}{V} \frac{\partial \langle c \rangle}{\partial t}$$

$$\frac{Q}{V} = n = \text{numero di ricambi d'aria del locale } \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}^3} = \frac{1}{\text{s}}$$

\Rightarrow

$$-E_v (\langle c \rangle - c_b) n + \frac{q}{V} = \frac{\partial \langle c \rangle}{\partial t} \quad (3)$$

La soluzione di ③ ci consente di trovare l'evoluzione temporale (storia) della concentrazione media degli inquinanti nel nostro locale.

Help: per risolverla introduciamo: $c^* = \langle c \rangle - (c_b + \frac{q}{E_v n V})$

L'Ev, ci dà la misura di quanto rapidamente, e in maniera efficace gli inquinanti prodotti all'interno di un ambiente vengono rimossi dal sistema di ventilazione. Più Ev è più alta tanto migliore è la prestazione del sistema di ventilazione. Da un punto di vista puramente teorico, ^{teoricamente} l'Ev può variare fra 0 e ∞ ma in pratica $0,1 < Ev < 3-10$.

Come stabilire a progetto il valore di Ev?

Negli edifici esistenti la si può misurare utilizzando la tecnica dei gas-traccianti: si inietta nell'aria un gas tracciante (non tossico, inodore, inodore...) e poi attraverso dei sistemi di misura si va a vedere come la concentrazione del gas iniettato varia nello spazio e nel tempo, si ricavano delle curve di andamento della concentrazione e si ricava il valore di Ev.

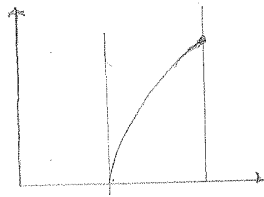
NB: Ogni persona emette circa 70 W di potenza sensibile che scalda l'aria, si parla di penacchio termico.

Ad oggi non esistono delle tecniche semplificate per calcolare l'Ev in progetto ^{potrebbero} allora si usano dei codici di fluidodinamica computazionale CFD che permettono di studiare la dinamica del moto dell'aria in maniera fantastica ma sono molto complessi da usare ed anche costosi.

Quindi in pratica, esistono delle tipologie impiantistiche che sono in grado di darci dei valori di Ev più o meno intorno ad un certo valore. Oggi quindi in progetto l'efficienza di ventilazione è dettata dall'esperienza progettuale. Si sceglie l'impianto che ci fornisce la Ev desiderata.

Quindi: Considerando q , n , C_b e E_v piano in grado di simulare l'andamento medio della concentrazione degli inquinanti nel nostro ambiente durante una giornata tipo.

Quando si progetta un impianto lo si fa perché possa fare fronte alla situazione più gravosa. Allora si fa il calcolo in condizioni stazionarie per la condizione più gravosa. Cio' vuol dire, prendere la funzione e farla arrivare alle condizioni di regime.



Che si cerca di eliminare dall'equazione le grandezze che dipendono dal tempo.

Regime stazionario:

$$C_{im} < C > \Rightarrow e^{-E_v n t} \rightarrow 0 \text{ Per cui } \boxed{C > = C_b + \frac{q}{E_v n Q}}$$

\Rightarrow La portata di ventilazione Q che dà origine alla $C >$

massimo è questo prodotto minore di $C >$ che abbiamo nel nostro ambiente

Approccio Prestazionale:

$$Q = \frac{q}{E_v (C > - C_b)}$$

"Quindi fissata la portata di inquinante (q), e fissata la massima concentrazione ammissibile ($C >$) significa fissare anche la portata di ventilazione richiesta Q e viceversa."

oppure

Approccio prescrittivo

$$n = \frac{q}{E_v \cdot V (C > - C_b)}$$

Essendo $E_v \cdot Q$ possiamo vedere l'efficienza di ventilazione come l'efficienza con la quale sfruttiamo l'aria di ventilazione

"L'approccio prestazionale ci fornisce la $C >$ limite e con questo ricaviamo la Q . Pote dunque dei limiti sulla $C >$, (limiti legati alla salute o alla precisione dell'analisi dell'aria) lasciando la libertà di progettazione delle prestazioni del sistema per rimanere sotto il limite posto. Si potrebbe decidere di usare una Q molto grande, e fare un impianto super efficiente con E_v molto grande o far potrebbe realizzare un edificio con q molto basso (giocando sugli arredi, rivestimenti ...) Quindi questo dà più flessibilità nel progetto ma questo un po' di più."

Tmr tiene dunque conto della posizione in cui si trova il soggetto, e quindi del comfort e funzione dello spazio.

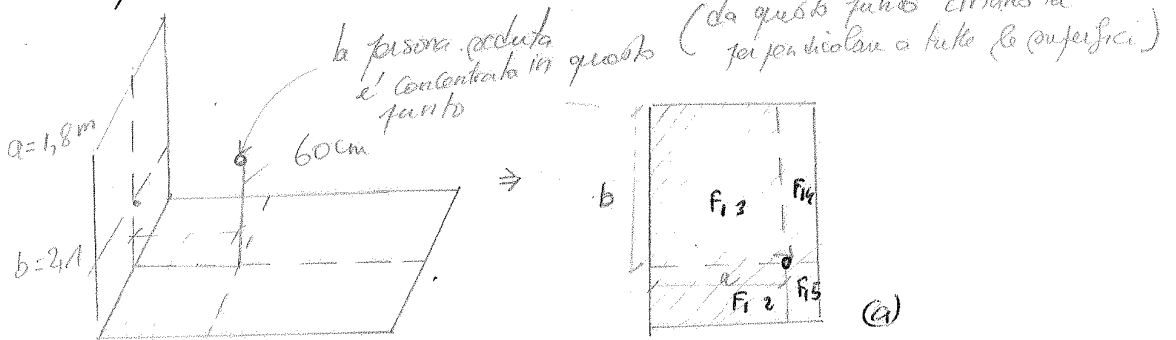
Fanger fece uno studio che gli permise sulla base di aree proiettate ha calcolato il fattore di vista fra una persona (in piedi o seduta rispetto a dei rettangoli, ci sono 4 possibilità:

- la persona seduta scambia calore con irraggiamento sopra la testa.
- la persona seduta che scambia con un rettangolo sotto i piedi.
- la persona seduta che scambia con un rettangolo verticale al di sopra del suo baricentro.

con un rettangolo verticale al di sotto del suo baricentro.

NB: Il baricentro è considerato ad 1,10 m per la persona in piedi e 0,60m per la persona seduta. Il calcolo si fa per una persona non

Orientata.
Parale omogenea



Concretamente:

C = 50cm

Si immagina il punto in cui si è calcolato il P_{NV} ^{posto} a 60m da terra, "proiettiamo questo punto sulle pareti ed andare ad identificare questi rettangoli o poi si usano i grafici" tiriamo le perpendicolari a tutte le superfici, identifichiamo la proiezione della persona (del punto) sulle superfici e facciamo passare per questo punto le parallele ai lati della parete: Esempio: (a), e queste parallele identificano i 4 rettangoli che scambiano calore con la persona. Si va quindi ad usare i grafici in cui:

C = distanza dell'uomini dalla parete; a = base del rettangolo; b = altezza del rettangolo.

L'approccio presuntivo è quello su cui si basano

24-04-2018

le norme italiane UNI 10339, per quanto riguarda gli edifici residenziali.
Le norme tecniche: UNI, Europeo, ISO, CEN: in generale non hanno valore cogenti cioè ^{non} siamo obbligati per legge di applicarle. Il progettista può decidere dunque di fare un progetto non seguendo le indicazioni della norma almeno che la norma tecnica non sia specificatamente richiamata da una legge o un decreto.

Per definizione giuridica la norma tecnica è considerata regola della buona tecnica, cioè se si progetta diversamente dalle norme e nasce un contenzioso il giudice si decide se o no la colpa è del progettista.

NB: se c'è una normativa si consiglia che il progettista sia pregato o al minimo controllare che i suoi risultati derivanti dalla procedura da lui adottata sia più cautelativa della norma.

La 10339, non è richiamata da nessuna legge, però è norma tecnica italiana.

→ In Italia se si progetta un edificio all'interno del quale si inserisce un impianto di climatizzazione/ventilazione meccanica, la norma obbliga ad avere le prestazioni minime.

→ Se invece si decide di non mettere un impianto non vi è nessuno obbligo normativo, perché non esiste una norma che pone dei limiti agli edifici ventilati passivamente. Caso tipico degli edifici residenziali. La qualità dell'aria viene controllata attraverso l'apertura di porte e finestre. Convenzionalmente si assume un tasso di ventilazione medio di $n=0,3$ 1/h (0,3 ricambi all'ora).

NB: $n = \text{ACH} = \text{Air Change per Hour}$

→ Mediamente ^{in Italia}, negli edifici non dotati di impianti di ventilazione meccanica, il tasso di ventilazione è garantito di $n=0,3$ 1/h.

ASHRAE St. 62: Norma di riferimento per la qualità dell'aria, fornisce la possibilità di seguire l'approccio presuntivo o l'approccio prestazionale a seconda della nostra situazione progettuale.

Normalmente si ventila in modo tale che la $\langle c \rangle$ media sia 06/24-04-2014
 al di sotto della $\langle c \rangle_{max}$, perché la pericolosità di una sostanza è
 legata alla dose assorbita, e quindi all'abbinamento dose/tempo.

La scelta della $\langle C \rangle_{max}$ da confrontare con gli andamenti reali deve
 contenere al suo interno un concetto di valore mediato nel tempo. Infatti
 nell'approccio prestazionale la $\langle c \rangle_{max}$ limite viene data sotto forma di limiti
 medi di concentrazione nel tempo.

MAC: Maximum allowable Concentration: valore medio annuale sulle 8 ore
 per 5 giorni alla settimana. Rappresenta il valore tipico degli ambienti lavorativi. Si
 immagina che la persona respiri quella concentrazione di inquinante per 40 ore alla
 settimana e per 52 settimane all'anno. Il MAC dà dei limiti di tolleranza alte

AIC: Acceptable indoor Concentration: valore medio annuale per 24 ore (o 24 ore);
 è il valore di concentrazione che una persona respirerebbe vivendo 24/24, 365 giorni
 all'anno dentro un ambiente. $\langle C_{max} \rangle_{max} > \langle C_{max} \rangle_{AIC}$.

TLV: Threshold Limit Value: Valore limite di soglia

↳ T.W.A: Time weighted Average: media pesata, 8 ore al giorno per
 5 giorni alla settimana e quindi coincide con MAC.

↳ STEL: Short Term Exposure Limit: esposizione limite nel breve periodo,
 a media di 15 min. Il valore limite di concentrazione che si può respirare per
 1/4 h senza subire danni

↳ PLV-C: Ceiling: valore massimo istantaneo da non superare mai, il valore
 più piccolo oltre il quale non si può andare, perché anche per una
 respirata si muore.

NB: In questa scheda il limite si sceglie in base al fine del nostro progetto
 Per esempio un ambiente residenziale si può scegliere AIC; per un ufficio $\langle C_{max} \rangle = MAC \text{ o } T.W.A$
 per un'industria nucleare si può usare STEL...

L'aspetto proiettivo: 10339

03-24-04-2012

Ci dice direttamente la portata d'aria che ci può essere nel progetto.

Quindi la norma ci fornisce il requisito proiettivo (Q), visto che Q è legato alle dimensioni dell'ambiente, il valore che ci viene dato è un valore normalizzato: la normalizzazione può avvenire

- sul numero delle persone presenti:

$$Q_{op} = \frac{Q}{n \text{ Persone}} \quad \left[\frac{m^3}{h \text{ Pers}} \right]$$

- Sulla superficie in pianta:

$$Q_{os} = \frac{Q}{A \text{ Pianta}} \quad \left[\frac{m^3}{h \cdot m^2} \right] \quad \text{Area in pianta}$$

- Come ricambio d'aria (n)

$$n = \frac{Q}{V} \quad \left[\frac{1}{h} \right]$$

Gli ambienti vengono divisi in classi edilizie: - edifici residenziali, alberghi, ...

e all'interno delle singole classi ci sono diverse esigenze a seconda locale

- Soggiorno - camera da letto $40 m^3/h \cdot Pers$

- Cucine - bagni - servizi: estrazioni

Il concetto generale:

Normalmente, quando nel singolo ambiente la principale sorgente di inquinamento è rappresentata dalle persone, la portata è normalizzata sul numero di persone presenti. Quando la sorgente è fonti di inquinamento come legate alle attività che si svolgono (cucina; bagni...), la portata è normalizzata sulla superficie in pianta. Nelle cucine $Q_{os} = 60 m^3/h \cdot m^2$ (e Per Cucina = $20 m^2$) $Q = 60 \cdot 20 m^3$.

Se ci viene dato Q_{op} , il numero di persone, viene definito dall'indice di affollamento (ovvero il numero di persone ogni $100 m^2$). Per calcolare Q , si calcola la superficie in pianta del locale (A), con A entriamo nella tabella o prendiamo l'indice di affollamento e ne calcoliamo il numero di persone presenti nel locale e poi $Q = Q_{op} \cdot n \cdot Per$.

• Si fa tipologia di stanza per tipologia di stanza e la somma ci dà la portata di ventilazione dell'intero edificio.

L'approccio prestazionale progettuale

26-04-2018

Al momento in cui all'interno del mio edificio, non ci hanno inquinanti che creano problemi alla salute degli inquilini occupanti, il problema è quindi quello di garantire altri livelli di qualità ambientali. Essendo il comfort il risultato dell'interazione fra il luogo fisico e la percezione che si ha, il problema dipende quindi più dalla sensibilità.

Fanger ha stabilito ^{una} un criterio progettuale per quantificare l'aria di ventilazione, la percezione olfattiva. Fanger individua quindi i fonti di cattivo odore:

- a) Persone e le attività a loro connesse
- b) Materiali da costruzioni e gli arredi
- c) Sostanze chimiche per le pulizie

HUM4) Gli stessi impianti di ventilazione e condizionamento

Una volta individuati le fonti degli inquinanti, il carico di inquinamento percepito all'interno di un ambiente si ottiene come somma dei carichi delle singole fonti. Ciò significa che i cattivi odori si sommano fra di loro, ciò però non è totalmente vero perché la percezione olfattiva è legata da una legge matematica di Stevens, il quale dice che la percezione è proporzionale:

$Cost \cdot <C>^n$ con n che varia a seconda del tipo di sostanza e varia da 0,2 a 0,7. Ciò vuol dire che gli odori non si sommano perché la funzione non è lineare. Si fa quindi una presunzione grossolana.

Fanger introduce 2 grandezze progettive con significato fisico legato al concetto di portata e di concentrazione di inquinante ma con un filtro nella percezione, quindi dipendono attraverso il filtro sensoriale dalle loro omologhe fisiche.

- 1. Carico inquinante o capacità di inquinamento G_i .

Per G_i è definita un unità di misura detto olf , ed è la capacità di inquinamento di una persona in condizione di lavoro leggero (1Met), in comfort termico, e mediamente pulita (2 docce ^{ogni} in 3 giorni). La persona in queste condizioni produce 8 olf .

Fanger ha misurato l'olf di alcuni elementi, inserendo 02 26-04-2018 di nuove delle persone nelle camere che non emettono nulla ed infilando dentro gli ossetti per i quali voleva quantificare l'olf e chiedendo poi a queste persone l'odore degli ossetti. Egli ha poi messo questi valori in tabelle. Per esempio per una persona ^{adulta} in attività ^(1,2 met) sedentaria non fumatore emettono 1 olf.

Per calcolare G_{TOT}:

a) Individuo le fonti di cattivo odore $G = \sum G_i$

b) Fisso - ie PD_{max}: la percentuale massima di insoddisfatti che si vuole ottenere

Per esempio dalla definizione ASHRAE PD_{max} = 20%

c) Si calcola
$$\xi = \frac{112}{[\ln PD_{max} - 5,98]^4}$$

d) Calcoliamo il requisito progettuale

$$Q = \frac{10 \cdot G}{\xi_v (\xi_{in} - \xi_b)}$$

se l'aria esterna è pulita $\xi_b = 0$

con $\xi_v = 0 \div 2$ a seconda del tipo di impianto.

Dal punto di vista teorico, questo è il metodo migliore ovvero che dovrebbe garantire negli ambienti civili una qualità dell'aria soddisfacente per le persone.

Il metodo è applicabile solo dopo aver verificato che non ci siano inquinanti pericolosi per la salute delle persone altrimenti si usa il metodo prestazionale o prescrittivo.

Perché questo metodo ideale non è diventato norma?

Prendiamo il caso classico di un ufficio, e si vuole determinare la portata d'aria di ventilazione e poi fare l'impianto. Se inseriamo nell'ufficio solo il carico di inquinante delle persone e consideriamo le persone tutte non fumatrici scopriamo che il metodo prestazionale (ossettivo) fornisce risultati molto vicini, quasi identici a quello prescrittivo e a quello prestazionale ossettivo. Ma aggiungendo le altre fonti di inquinamento (arredi, % fumatore...) scopriamo che le portate (Q) soprattutto in casi di una certa percentuale di fumatore che fornisce il metodo di Fanger diventano 2-3 volte più grandi da quelle degli altri metodi.

e quindi la concentrazione di ^{inquinante nell'}aria scaricata (C_e).

103-26-04-2012

$$C_e = \frac{q}{Q} \rightarrow \infty \text{ perché } q \rightarrow 0.$$

$$\text{Allora } E_v = \frac{C_a - C_b}{C_a - C_b} = \frac{C_e}{C_a} \rightarrow \infty$$

Quindi i sistemi ad estrazione locale rappresentano i sistemi di ventilazione in assoluto più efficiente possibile perché ci permettono di controllare al meglio la qualità dell'aria con la minor portata possibile \Rightarrow caso ideale.

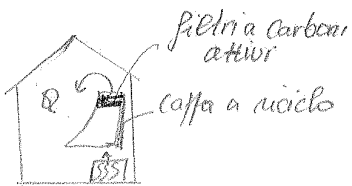
- In pratica: $C_a \neq 0$; la capacità di catturazione della cappa non è 100% e

$$E_v = 8 \div 10.$$

Questi sistemi non vengono usati ampiamente perché si utilizzano solo quando le sorgenti inquinanti sono note come posizione della fonte e la loro posizione è fissa. Inoltre la posizione della cappa dovrebbe essere la più vicina possibile al punto di emissione e questo a volte limita le operazioni nella zona dell'impianto.

NB: la cappa sfrutta il fatto che i gas caldi salgono, allora la cappa funziona solo nel momento in cui si cucina.

• Nelle cucine moderne si osservano:



Che il condotto della cappa non esce più all'esterno, e vengono messi dei filtri a carboni attivi che dovrebbero togliere dall'aria prelevata dalla cappa tutte le sostanze inquinanti derivanti dalla cottura e ributtare l'aria

filtrata all'interno dell'ambiente (si parla di cappa a riciclo). Però i filtri si esauriscono e quindi perché funzionano bisogna cambiarli 1-2 volte alla settimana e quindi l'efficacia di questo sistema a riciclo è abbastanza limitata.

Principio guida: ovvero quello a cui mira l'impianto è: cattura ed espulsione degli inquinanti.

la c varia uniformemente con l'altezza e quindi

04-26-04-2012

$$\langle c \rangle = c_{max} / 2 \Rightarrow c_{max} = 2 \langle c \rangle \Rightarrow$$

$$E_v = \frac{c_e}{\langle c \rangle}$$

(Piston flow)

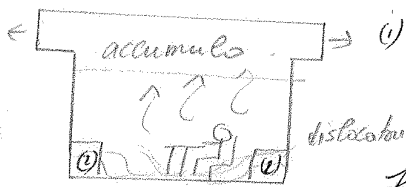
È nel caso flusso pistone perfetto il pistone sposta man mano gli strati d'aria e le sorgenti degli inquinanti uniformemente distribuiti. Quindi non si ha nessuna miscelazione dell'aria sottostante (1,90) e quella sovrastante (sopra i 1,90m)

$$\Rightarrow c_e = 2 \langle c \rangle \Rightarrow \boxed{E_v = \frac{c_e}{\langle c \rangle} = 2} \Rightarrow 0 \ll E_v \ll 2$$

Il pistone flow è di difficile applicazione allora si usa un sistema quasi simile

B2.1 Displacement Ventilation Classic: concetto: Primo concentrare e poi estrarre gli inquinanti

Invece di usare un pistone si usa il concetto:



Si mettono 2 bocchette di aria di ventilazione (e) che emettono aria a velocità molto, molto bassa e a temperatura leggermente più bassa di quella dell'ambiente. L'aria che esce dai dislocatori

scivola sul pavimento (come se scivolasse sul pavimento) ed leggermente più bassa forma una pegg d'aria più fredda e densa che si distribuisce sul pavimento allora quest'aria viene spinta verso l'alto che va ad accumularsi nella parte superiore creando una bolla d'aria inquinata che viene estratta. Con questo si riesce ad ottenere $E_v = 1,4 - 1,8$. Questo sistema funziona benissimo in spazi di grande altezza, e' molto usato nelle grandi Hall ed e' un sistema molto silenzioso. Il suo vantaggio e' che per poter funzionare questo sistema ha la necessita di emettere aria leggermente più fredda, cioè possibilmente $20^\circ C$ nel nostro ambiente dovremmo mettere aria a $18^\circ C$ perciò si hanno bisogno di 2 impianti: 1 per immettere aria leggermente più fredda di quella che si serve ed il 2° che tira con gli ultimi $2,3^\circ C$ che mancano per arrivare alla temperatura desiderata. Il costo d'investimento di questi 2 impianti fa sì che in Italia non e' molto usato.

• Nella realtà italiano si usa il sistema a miscelazione, che non e' di perfect mixing e dà un $E_v = 0,8 - 0,98$.

Esercitazione

05-26-04-2018

Si ha un ufficio (open space)

$A = 250 \text{ m}^2$, IAQ gestita accettabile ($C_b = 0$), $C_b \text{ CO}_2 = 450 \text{ PPM}$

Vogliamo progettare in questo ufficio un sistema di ventilazione

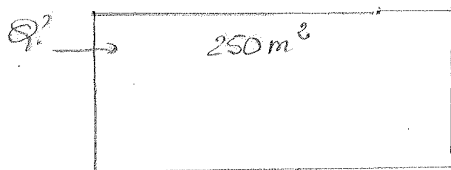
a miscelazione: - $E_v = 0,95$; - con 30% di fumatori;

- le persone fanno attività moderata (1,8 tet) e sono in comfort termico; - Emettono $q = 20 \text{ l/h}$ a persona

L'obiettivo è quello di calcolare $Q = \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$ e $n \left[\frac{1}{\text{h}} \right]$ nel caso di

- Praticativo
- Prestazionale
- Prestazionale progettuale (Fongec)

NB: L'altezza si interpiano è $h = 3 \text{ m}$.



Caso 1: Approccio progettuale, Norma UNI 10339

Dalla tabella normativa che fornisce la percentuale della destinazione d'uso, il tasso della ventilazione. Per ufficio (open space)

$$Q_{OP} = 40 \frac{\text{m}^3}{\text{h Pers}} = \frac{40}{3,6} = 11,1 \frac{\text{L}}{\text{s Pers}}$$

$$Q = Q_{OP} \cdot n_{\text{pers}}$$

Non conoscendo effettivamente quante persone ci sono nel nostro locale ci proietta per tasso di occupazione medio tipico.

$$\Rightarrow Q = Q_{OP} \cdot n_{\text{pers}} = Q_{OP} \cdot \text{Tasso occupazione} \cdot A$$

Il tasso di occupazione: Nel tabella VIII appendice A, per categorie di ambiente si hanno i valori di tasso di occupazione tipici.

$$\text{Per uffici } 12 \text{ persone ogni } 100 \text{ m}^2 \Rightarrow n_{\text{Pers}} = 12 \cdot A \cdot \frac{1}{100}$$

06-26-04-2012

Se avessimo usato un sistema a dislocazione ($E_v = 1,5$)

$$Q = \frac{1,67 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 1200 \cdot 10^{-6}} = 0,09 \frac{m^3}{s} = 334 \frac{m^3}{h}$$

$$n = \frac{Q}{V} = 0,45 \frac{1}{h}$$

Cio' che ci avrebbe permesso un risparmio del 50% di aria di ventilazione

Caso 3: Approccio prestazione passivo (olfattivo)

Dobbiamo in anzitutto fissare la percentuale di insoddisfatti (PD)

dalla definizione di ASHRAE PD = 20%

$$\xi_{lim} = \frac{112}{[\ln PD \cdot 5,98]^4} = \frac{10,61}{1,4} \text{ decipol}$$

$$Q = \frac{10,61}{E_v (\xi_{lim} - \xi_0)} = \frac{10,61}{0,95 \cdot 1,4}$$

G?

Può essere metro³ di superficie

$$G = \sum G_i = G_{occupanti} + G_{ambiente} \quad (\text{Pura generata da...})$$

$$= 0,7 \cdot n_{Pers} \cdot 1 \text{ olf} + 0,3 \cdot n_{Pers} \cdot 0,6 \text{ olf} + 0,3 \text{ olf} \cdot A$$

$$= 0,7 \cdot 30 \cdot 1 + 0,3 \cdot 30 \cdot 0,6 + 0,3 \cdot 250 = 150 \text{ olf}$$

$$Q = \frac{10 \cdot 150}{0,95 \cdot 1,4} = 1128 \text{ l/s} = 4060 \frac{m^3}{h}$$

$$Q = 4060 \frac{m^3}{h}$$

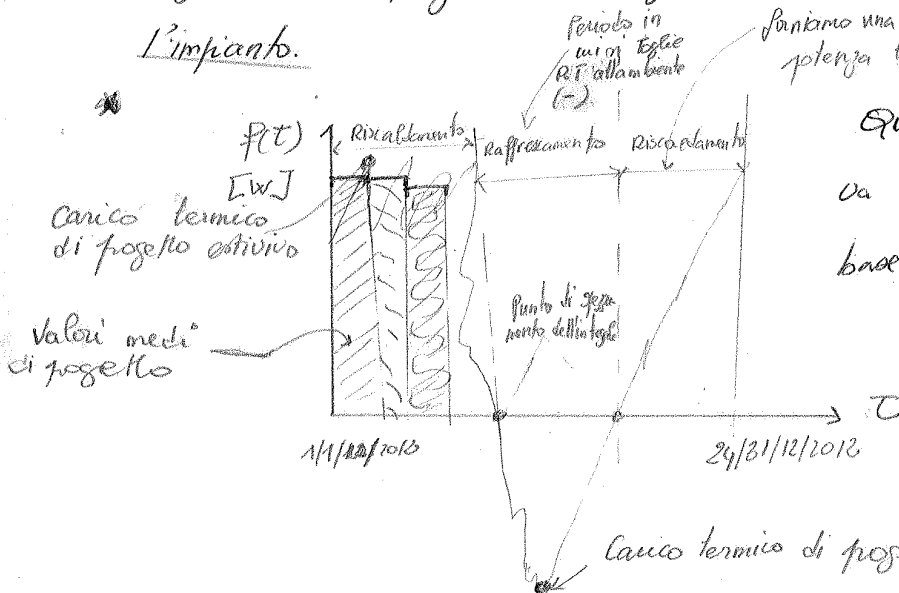
$$n = \frac{Q}{V} = \frac{4060}{8 \cdot 250} = 5,4 \frac{1}{h}$$

$$n = 5,4 \frac{1}{h}$$

NB: Nel nostro metodo usiamo il metodo percentuale.

NB: - Si parla di sistema edificio-impianto in quanto la combinazione edificio - (involucro) - impianto deve essere energeticamente efficiente.

L'analisi del Carico Termico ci dà le informazioni necessarie per correggere i difetti dell'edificio. Se per caso ci dovesse venire un impianto troppo grande ciò vuol dire che a monte ci hanno alcuni difetti nel progetto dell'edificio. L'analisi del C.T ci porta a dimensionare l'impianto.



Quindi per determinare il C.T ci va vedere i massimi invernali/estivi in base ai quali ci dimensionano gli impianti.

Per tener conto della variabilità delle condizioni esterne nell'anno e nei diversi anni il calcolo del carico termico si fa riferito ad un anno "artificiale" inesistente (puzzle di dati di anni diversi) che rappresenta in maniera adeguata le situazioni possibili.

$$f(t) \rightarrow \dot{Q} [W] \rightarrow \dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$$

$$Q = \int_0^{8760} Q(t) dt$$

quantità infinitesima
(è come contrattare i consumi invernali con quelli estivi)
Consumo di energia (fatto così Q è appena > 0)

Però bisogna aggiungere altre condizioni:

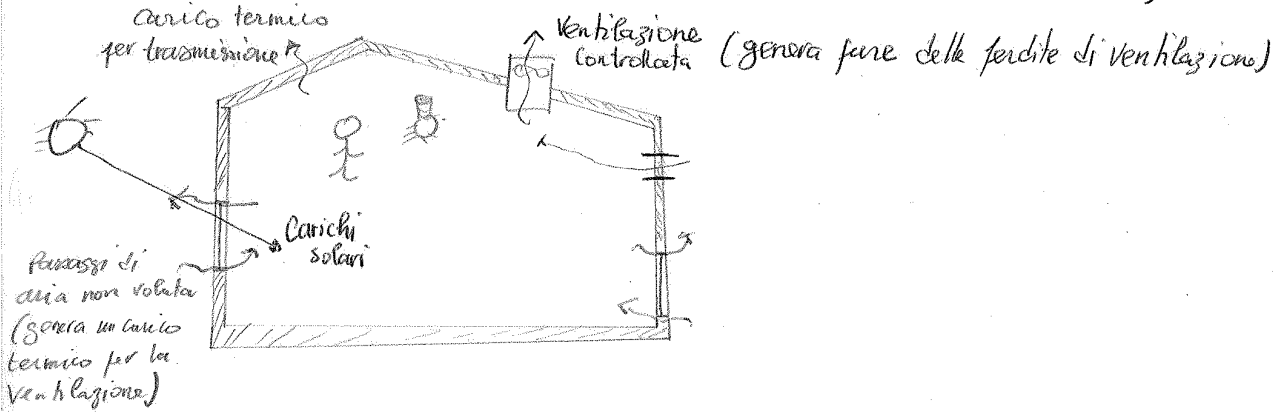
$$Q^+ = \int_0^{8760} Q^+(t) dt \Rightarrow \text{consumo energetico per il riscaldamento}$$

$$Q^- = \int_0^{8760} Q^-(t) dt \Rightarrow \text{consumo energetico per il raffreddamento}$$

L'integrale si fa fra 0 e 8760 sia d'inverno che d'estate perché in un periodo nelle due stagioni i bisogni energetici variano anche nella stessa giornata, e quindi la curva può essere sia sotto che sopra.

La legge di solito fornisce il consumo energetico in $\frac{kWh}{m^3}$ (1 kWh \Rightarrow 3600 kJ) Il kWh per essere coerente col SI è facilmente convertibile nel consumo.

- Carico termico per infiltrazioni: Scambi di energia connessi con i flussi entalpici dovuti alle infiltrazioni d'aria attraverso le componenti d'involucro. (Passaggi di aria non voluta e non controllata, avviene nelle finestre, porte, le canaline, ...) e' una portata fornita di ventilazione: *Ventilate riser + Build tightness*



NB. Nello scrivere l'equazione di bilancio, molte volte ^{la} portata per ventilazione voluta e non voluta sono aggregate in un unico addendo. Si suddividono inoltre i carichi in relazione al fatto che per cause che li genera non interna o esterna all'edificio:

- Carichi ~~exo~~ esogeni: tutti i carichi causati da ^{agenti} oggetti esterne (carico solare, carico per trasmissione che' legato a DT, le perdite di ventilazione e per infiltrazione)

- Carichi ^{indogeni} endogeni: plug load (tutti i carichi caratterizzati dalla ^{agenti} opina) e tutte le ^{agenti} persone interne all'edificio (persone, ...)

Esempio: Per edificio ad uffici i carichi endogeni e quelli solari sono i più preponderanti

• Si suddividono i carichi in base alla tipologia di flusso termico

- Carichi sensibili: (calore sensibile) legati a variazione di temperatura e quindi quando si vuole controllare la temperatura.

- Carichi latenti: (calore latente), quando si vuole controllare l'UR.

NB: il passaggio di stato di nostro interesse e' quello del ^(togliere vapore d'acqua) vapore d'acqua che fuo' condensare e come ^{per assorbire} evaporare (aggiungere vapore d'acqua)

Lo studio del carico ^{sensibile} latente si fa tramite la soluzione del bilancio di energia. Mentre quello del calore latente si fa tramite la soluzione del bilancio di massa del vapore d'acqua.

In base all'obiettivo che si ha si può scegliere l'uno o l'altro:

- se l'obiettivo è il dimensionamento degli impianti dei generatori di caldo e di freddo (caldaia...) si fa il bilancio dell'intero edificio
- se l'obiettivo è il dimensionamento del terminale degli impianti ai condotti dei singoli ambienti si deve fare il bilancio del singolo ambiente.

Ma visto che la realtà è un po' diversa, quando l'edificio è suddiviso in ambienti omogenei nel caso estivo si fa il bilancio per i singoli ambienti e il bilancio dell'edificio viene ricavato sommando i carichi contemporanei dei singoli ambienti. Quindi l'impianto generale o dimensionato in base al massimo della somma dei carichi contemporanei.



Il sistema termodinamico per il quale si scrive il bilancio è rappresentato dall'aria contenuta all'interno del nostro locale.

La frontiera di confine (interfaccia dell'aria e le superfici interne), la struttura muraria, gli infissi, pilastri... non sono considerati ambienti esterni al sistema termodinamico.

Poiché il ^{aria} gas ha delle molecole costituite da meno di 3 atomi, questi sono praticamente trasparenti alle radiazioni elettromagnetiche perché ~~non~~ ^{non} possono assorbire ed emettere radiazioni elettromagnetiche ^{gas con} solo le molecole costituite da più di 3 atomi. L'aria è costituita a 99% di Azoto (N₂) ed Ossigeno (O₂) tutti con molecole costituite di meno di 3 atomi. Quindi il 99% dell'aria è trasparente alle radiazioni elettromagnetiche. Solo il vapore d'acqua e il CO₂ partecipano agli scambi radiativi, che sono a concentrazioni piccolissime.

Quindi nel caso del fisica dell'edificio possiamo considerare perfettamente trasparente alle radiazioni elettromagnetiche. Ciò significa che l'unico meccanismo con cui il sistema termodinamico aria, scambia calore con l'ambiente esterno è rappresentato dalla ^{termica} convezione. Quindi $\dot{Q}_f =$ solo sommatoria di flussi _{termici} di natura convettiva.