

CIRIAF

Centro Interuniversitario
di Ricerca sull'Inquinamento
da Agenti Fisici - "Mauro Fell"

Università
degli Studi di Perugia
Facoltà di Ingegneria



10° Congresso Nazionale Ciriaf

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Atti



Perugia 9/10 aprile 2010

IL BENESSERE TERMOIGROMETRICO NEGLI AMBIENTI DI LAVORO: ANALISI DI RISULTATI SPERIMENTALI ED ELABORAZIONE DI QUESTIONARI

Autori: Paola Ricciardi*, Cinzia Buratti**, Alessandra Bonavita*, Filippo Gianelli*

* CIRIAF - Sez. Fisica Tecnica ed inquinamento ambientale - - Università degli Studi di Pavia

** CIRIAF - Sez. Fisica Tecnica ed inquinamento ambientale - Università degli Studi di Perugia

SOMMARIO

Il benessere termoigrometrico negli ambienti di lavoro è un ambito di ricerca scientifica di grande importanza per le ripercussioni che ha sulla salute e sulla produttività degli utenti nell'edificio e, indirettamente, sul risparmio energetico ottenibile attraverso una più oculata gestione delle risorse. E' scientificamente provato come un ambiente di lavoro confortevole possa migliorare sensibilmente le condizioni di lavoro delle persone, incidendo positivamente sulla produttività; l'interesse dell'attuale dibattito scientifico in materia è incentrato sulle modalità e sui parametri con i quali operare per migliorare il livello di comfort.

L'attuale normativa in materia, la norma UNI EN ISO 7730, relativa alle condizioni di benessere termoigrometrico in ambienti termici moderati, si basa su un modello statico che vede gli occupanti di un ambiente come soggetti passivi di scambio termico.

Nello specifico, il presente lavoro di ricerca ha come oggetto l'analisi del benessere termoigrometrico in ambienti destinati ad uffici di tipo "open-space" e prevede una campagna sperimentale di rilievo dei parametri termoigrometrici ambientali. In precedenti studi era stato elaborato un apposito questionario a risposta multipla, comprensivo di alcune informazioni necessarie all'applicazione del tradizionale modello statico e di altre del modello adattivo, proposto nella ISO/DIS 7730/2003 e nell'ASHRAE 55/P, che è stato applicato a diversi casi.

In questo lavoro il questionario è stato utilizzato in una campagna sperimentale svoltasi presso cinque sedi di un importante gruppo bancario, da aprile a luglio 2009. Contestualmente è stato effettuato il monitoraggio delle condizioni termoigrometriche, con strumentazione specifica adatta allo scopo ed in grado di calcolare i principali indici del benessere previsti da normative a livello internazionale, europeo e italiano.

I dati rilevati mediante i questionari e le strumentazioni sono stati confrontati tra loro; inoltre i parametri, utili ai fini dell'applicazione dei modelli adattivi, sono stati elaborati secondo l'approccio statistico suggerito dalle recenti normative in materia.

1. INTRODUZIONE

Lavori scientifici precedenti [1, 2, 3, 4, 5, 6] sviluppati dai gruppi di ricerca di Fisica Tecnica del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale dell'Università di Pavia e dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Perugia, avevano avuto come oggetto il benessere termoigrometrico all'interno di aule universitarie. La ricerca è stata estesa ad ambienti confinati ad uso ufficio, con caratteristiche di "open space". Nello specifico, nel presente lavoro, sono riportati i risultati di analisi sperimentali e soggettive, effettuate da aprile a luglio 2009 in cinque ambienti lavorativi site in alcuni capoluoghi lombardi:

- Stabile 1- ufficio a – (ufficio amministrativo);
- Stabile 2- ufficio b – (call center);
- Stabile 3 - SGR (intermediazione finanziaria)
- Stabile 4 – ufficio c (back-office)
- Stabile 4 – ufficio d - (programmazione informatica)

2. METODOLOGIA D'INDAGINE

Indagini sperimentali

Le indagini sperimentali sono state effettuate con una metodologia già utilizzata in precedenti campagne di misura [1, 2, 3, 4, 5, 6]. La metodologia di misura si basa sul rilievo dei parametri termoigrometrici ambientali previsti dalla UNI-

EN-ISO 7730/1994, dalla ISO-DIS 7730/2003, dalla UNI-EN-ISO 10551/2002 e dall'ASHRAE Standard 55/1992, utili ai fini di una valutazione del comfort sia attraverso il metodo tradizionale sia attraverso il nuovo approccio adattivo. La centralina di acquisizione Babuc A è stata ubicata in più postazioni all'interno dei diversi ambienti di lavoro, suddividendo lo spazio in aree di influenza. Per ciascun rilievo, sono state predisposte da una a tre postazioni di misura, al fine di valutare l'uniformità delle condizioni termoigrometriche all'interno del medesimo ambiente. Nella medesima giornata le misure sono state effettuate sia al mattino sia al pomeriggio. Dalla figura 1 alla figura 5 sono indicate le postazioni di misura nei diversi luoghi di lavoro analizzati.

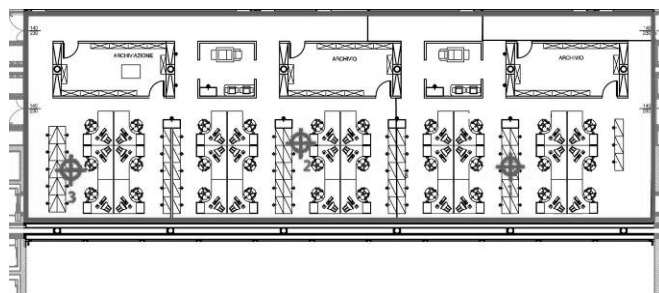


Figura 1: Pianta ufficio a – ufficio amministrativo, con indicazione delle postazioni di misura

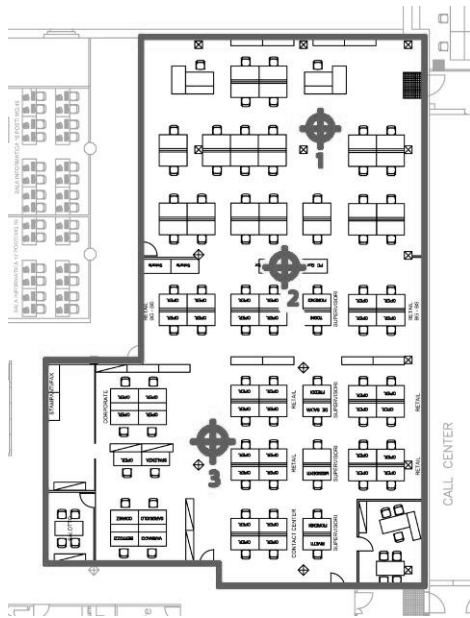


Figura 2: Pianta ufficio b – (call center), con indicazione delle postazioni di misura

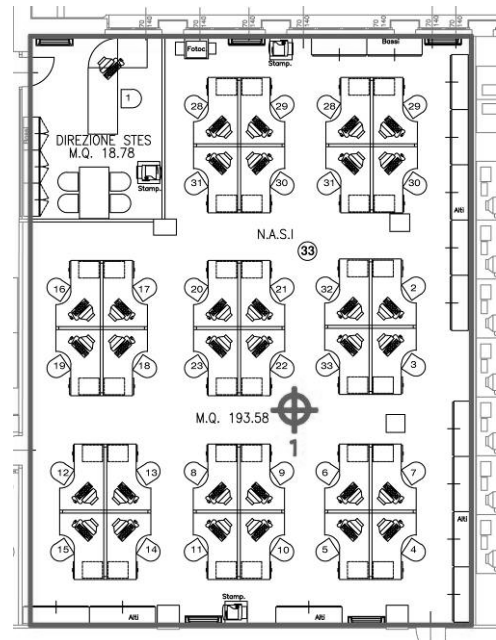


Figura 5: Pianta dell'ufficio d (programmazione IT), con indicazione delle postazioni di misura

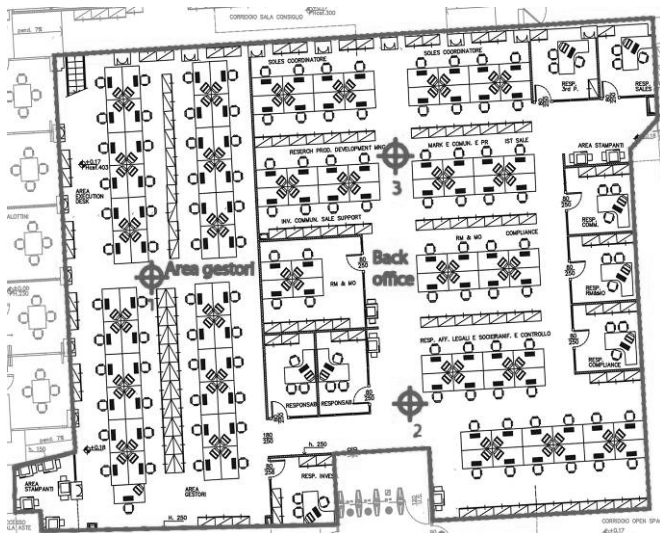


Figura 3: Pianta SGR - Intermediazione Finanziaria, con indicazione delle postazioni di misura

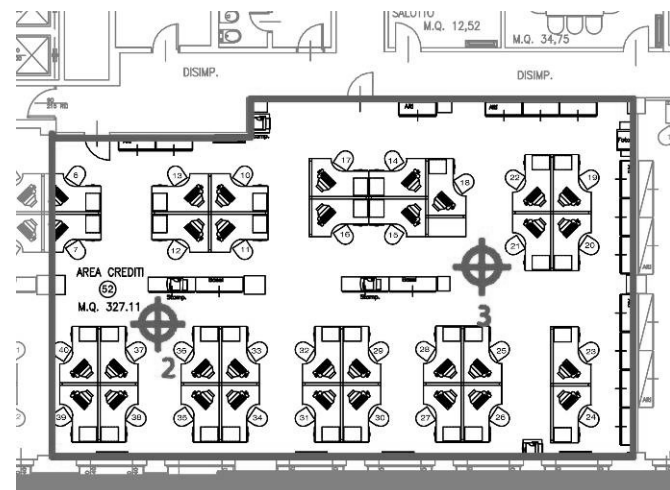


Figura 4: Pianta dell'ufficio c (back-office), con indicazione delle postazioni di misura

Contestualmente alle rilevazioni nell'ambiente interno sono state effettuate misure in esterno mediante una centralina di rilevamento "Delta Ohm DO9847".

Nell'ambiente interno sono state misurate le seguenti grandezze:

- Temperatura di bulbo secco $T [^{\circ}C]$;
- Temperatura di bulbo umido $T_u [^{\circ}C]$;
- Velocità dell'aria $v_a [m/s]$;
- Temperatura media radiante $T_{mr} [^{\circ}C]$;
- Temperatura del pavimento $T_{pav} [^{\circ}C]$;
- Temperatura dell'aria a livello delle caviglie (0,1 m dal suolo) $T_{cav} [^{\circ}C]$.

Attraverso tali grandezze sono stati calcolati:

- Umidità relativa dell'aria $UR[\%]$;
- PMV (Voto Medio Previsto) ;
- PPD (Percentuale Prevista di Insoddisfatti) $PPD [\%]$;
- Intensità della turbolenza $TU [\%]$;
- PPD per gradiente termico verticale $PPD [\%]$;
- PPD per temperatura del pavimento $PPD [\%]$;
- PPD per correnti d'aria $PPD [\%]$.

All'esterno sono state misurate le seguenti grandezze:

- Umidità relativa dell'aria $UR_{est} [\%]$;
- Temperatura $T_{est} [^{\circ}C]$.

Analisi soggettiva dai questionari

Parallelamente all'acquisizione dei dati mediante la strumentazione, è stata sviluppata un'analisi di tipo adattivo, basata sull'interazione attiva tra soggetto ed ambiente.

Il questionario utilizzato deriva da un'integrazione di quello contenuto nella norma UNI-EN-ISO 10551 [7], con ulteriori domande connesse alle opportunità per gli occupanti di poter controllare il loro intorno termico e della soddisfazione derivante da ciò, per valutare l'influenza dell'aspetto comportamentale nell'adattamento personale all'ambiente termico [1, 2, 3, 4].

3. ANALISI DEI RISULTATI

Le principali caratteristiche degli ambienti oggetto di studio sono riportate nelle tabelle 1 e 2.

E' stata calcolata la media dei parametri misurati dai rilievi nelle diverse postazioni, della durata di trenta minuti ciascuno, ed i valori medi globali fra le diverse postazioni delle principali grandezze utili ai fini della valutazione delle condizioni di benessere (T_{est} [°C], UR_{est} [%], T [°C], UR [%], T_{mr} [°C], v_a [m/s], M [W/m²], I_{cl} [clo]). Le elaborazioni dei parametri sperimentali oggettivi acquisiti nelle diverse sedi bancarie sono riportate nelle tabelle 3 e 4. Nello specifico i valori di metabolismo e resistenza al vestiario sono stati calcolati da indicazioni del questionario da [8] ed i valori di PPD e PMV riferiti ai valori di clo minimo medio e massimo. Una sintesi dei parametri più significativi, ottenuti dall'analisi dei questionari presso le diverse sedi, è inoltre riportata nelle tabelle 5 e 6.

Tabella 1: Caratteristiche degli stabili 1 e 2 (uffici a e b)

<i>Sede Bancaria- Uffici di Direzione Centrale</i>	Ufficio a (ufficio amministrativo)	Ufficio b (call center)
<i>Orientamento facciata esterna</i>	SE	S
<i>Area pavimento</i>	530 m ²	365 m ²
<i>Altezza netta</i>	3,30 m al controsoffitto	2,80 m al controsoffitto
<i>Volume</i>	1.750 m ³	1020 m ³
<i>Tipo di parete</i>	pannelli prefabbricati in calcestruzzo	vetrata con struttura a montanti e traversi e sistema di frangisole esterno
<i>Finestre</i>	18 moduli da 1,80m x 0,75m. Superficie totale 24,3 m ²	86 m ²
<i>Altre superfici vetrate</i>	non presenti	non presenti
<i>Tipo di costruzione della finestra</i>	alluminio - vetro doppio - senza taglio termico	doppio serramento con intercapedine percorribile e vetrocamera con struttura in alluminio
<i>Finestra aperta</i>	no	No
<i>Percentuale di apertura degli schermi</i>	non presenti	Alette orizzontali fisse con interasse di circa 80 cm
<i>Tipo di impianto</i>	riscaldamento a pavimento, raffrescamento a fan coil	centralizzato, aria primaria da soffitto microforato non regolabile e fan coil in ogni ufficio
<i>Accensione impianto</i>	si	Si
<i>Tipo e numero di terminali di immissione</i>	4 fan coil,	soffitto microforato
<i>Numero di questionari</i>	75	42
<i>Numero di persone presenti durante i rilievi</i>	circa 35 contemporaneamente	circa 25 contemporaneamente
<i>Tipo e numero di macchine</i>	80 pc, 3 fotocopiatrici, 80 telefoni	30 pc, 30 telefoni
<i>Tipo di impianto di illuminazione</i>	tubi fluorescenti uniforme	neon a tubo fluorescente singolo
<i>Numero di apparecchi illuminanti</i>	70 corpi illuminanti (3 tubi per ogni corpo)	88 moduli rettangolari a tubo singolo
<i>Accensione apparecchi illuminanti</i>	si	Si
<i>Numero di porte interne ed esterne</i>	1 esterna, 4 interne	2 interne
<i>Porta aperte/chiusa</i>	chiusa	aperte

Stabile 1- ufficio a – (ufficio amministrativo)

Al mattino gli occupanti hanno avvertito una sensazione termica spostata verso il freddo (tabella 3). Tale condizione è decisamente più evidente nel campione femminile, che presenta un PMV medio pari a -0.19, con un valore di dispersione massimo di +0.36 e minimo di -0.97, mentre è meno evidente nel campione maschile, il quale presenta un PMV superiore, pari a 0,18. Al pomeriggio si assiste ad un miglioramento della situazione per gli uomini, con valori di PMV pari a 0.11, e peggioramento per le donne, con valori di PMV di -0,37. Tale sensazione è da imputare principalmente all'aumento della temperatura T e della temperatura media radiante T_{mr} di circa 0,5 °C. Di più difficile interpretazione risulta la condizione relativa alla velocità dell'aria (tabella 5): nonostante i risultati delle misure indicano una velocità dell'aria pressoché nulla in tutte le postazioni (0,00 m/s), sia al mattino sia al pomeriggio, la risposta degli occupanti indica un elevato indice di insoddisfazione sia per l'accettabilità sia per la preferenza del movimento dell'aria.

Tabella 2: Caratteristiche degli stabili 3 e 4 (uffici SGR, c e d)

<i>Sede Bancaria Uffici di Direzione Centrale</i>	SGR (interm. finanz.)	Ufficio c (programm. IT)	Ufficio d (back office)
<i>Orientamento facciata esterna</i>	S	N	S
<i>Area pavimento</i>	735 m ²	195 m ²	202 m ²
<i>Altezza netta</i>	4,00 m al controsoffitto	2,75 m	2,75 m
<i>Volume</i>	2.950 m ³	535 m ³	555 m ³
<i>Tipo di parete</i>	muratura	muratura a cassa vuota con rivestimento esterno in marmo	muratura a cassa vuota con rivestimento esterno in marmo
<i>Superficie finestre</i>	non presenti	21,5 m ²	19,8 m ²
<i>Altre superfici vetrate</i>	non presenti	non presenti	non presenti
<i>Tipo di costruzione della finestra</i>	non presenti	alluminio a vetro singolo	Alluminio a vetro singolo
<i>Finestra aperta</i>	non presenti	no	no
<i>Percentuale di apertura degli schermi</i>	non presenti	100% aperti	3 finestre con 100% aperti 3 finestre con 50% aperti
<i>Tipo di impianto</i>	a tutt'aria	aria primaria canalizzata, fan coil controllati a zona	aria primaria canalizzata, fan coil controllati a zona
<i>Accensione impianto</i>	si	si	si
<i>Tipo e numero di terminali di immissione</i>	32 bocchette circolari nel back office, 16 nell'area gestori	8 bocchette circolari per aria primaria, 4 fan coil	12 bocchette circolari per aria primaria, 6 fan coil
<i>Numero di questionari</i>	120	27	50
<i>Numero di persone presenti durante i rilievi</i>	circa 60 contemporaneamente	circa 15 contemporaneamente	circa 30 contemporaneamente
<i>Tipo e numero di macchine</i>	120 pc, 8 fotocopiatrici, 120 telefoni	45 pc, 2 stampanti, 20 telefoni	60 pc, 3 stampanti, 1 fotocopiatrice, 30 telefoni
<i>Tipo di impianto di illuminazione</i>	neon tubo fluorescente, a gruppi di 4	neon, tubo fluorescente singolo	neon, tubo fluorescente singolo
<i>Numero di apparecchi illuminanti</i>	64 x 4 back office, 24 x 4 area gestori	40	40
<i>Accensione apparecchi illuminanti</i>	no back office, si area gestori	si	si
<i>Numero di porte interne ed esterne</i>	14 interne, 1 esterna	2 interne sul corridoio	1 interna sul corridoio
<i>Porta aperte/chiusa</i>	aperte interne, chiuse esterne	1 aperta, 1 chiusa	aperta

Tabella 3: Dati riassuntivi delle indagini sperimentali presso gli uffici a e b

Sede Bancaria	Ufficio a		Ufficio b	
	MAT	POM	MAT	POM
Grandezza				
$T_{est} [^{\circ}C]$	-	-	-	-
$UR_{est} [%]$	-	-	-	-
$T [^{\circ}C]$	22,1	22,8	24,77	24,92
$UR [%]$	56,2	55,3	57,99	58,59
$T_{mr} [^{\circ}C]$	22,3	22,9	25,40	25,72
$v_a [m/s]$	0,00	0,00	0,08	0,09
$M [W/m^2] U$	74,8	74,1	73	75,5
$Icl (clo) U$	0,87	0,74	0,58	0,56
$M (W/m^2) D$	76	70,6	72,2	71,7
$Icl (clo) D$	0,62	0,55	0,43	0,44
$PMV U$ <i>clo min</i>	-0,26	-0,24	+0,24	+0,29
$PMV U$ <i>clo med</i>	+0,18	+0,11	+0,42	+0,50
$PMV U$ <i>clo max</i>	+0,53	+0,58	+0,96	+0,99
$PMV D$ <i>clo min</i>	-0,97	-1,10	-0,24	+0,08
$PMV D$ <i>clo med</i>	-0,19	-0,37	+0,14	+0,22
$PMV D$ <i>clo max</i>	+0,36	+0,38	+0,53	+0,62
$PPD U [%]$ <i>clo min</i>	6,43	6,46	6,97	7,26
$PPD U [%]$ <i>clo med</i>	5,73	5,25	9,41	10,71
$PPD U [%]$ <i>clo max</i>	10,92	12,07	24,67	26,24
$PPD D [%]$ <i>clo min</i>	25,19	30,64	7,35	5,68
$PPD D [%]$ <i>clo med</i>	5,86	8,01	6,22	6,42
$PPD D [%]$ <i>clo max</i>	7,75	7,98	15,36	13,31

Probabilmente tale risposta è legata al discomfort termico rilevato, poiché la temperatura troppo bassa potrebbe accrescere la sensazione correlata al movimento dell'aria. Gli elevati valori degli indici termici di insoddisfazione, preferenza e fastidio, soprattutto nel campione femminile, sottolineano come sia difficile sopportare le condizioni termiche esistenti: la temperatura percepita dagli utenti è molto bassa e le misure, indicando una temperatura media che oscilla tra i 22,1 °C e 22,8 °C confermano questa sensazione.

Per quanto riguarda i controlli ambientali a disposizione degli utenti, la maggior parte dei presenti presenta un elevato grado di insoddisfazione dovuto alla possibilità pressoché nulla di interagire con la regolazione dell'impianto e con l'apertura delle finestre.

Tabella 4: Dati riassuntivi delle indagini sperimentali presso gli uffici SGR, c e d

Grandezza	SGR		Ufficio c		Ufficio d	
	MAT	POM	MAT	POM	MAT	POM
$T_{est} [^{\circ}C]$	-	-	-	-	-	-
$UR_{est} [%]$	-	-	-	-	-	-
$T [^{\circ}C]$	24,89	25,1	25,4	25,2	26	26,2
$UR [%]$	58,1	58,5	47	48	45,7	48,5
$T_{mr} [^{\circ}C]$	25,5	25,8	26,6	26,4	26,95	27,28
$v_a [m/s]$	0,024	0,021	0,00	0,00	0,08	0,07
$M [W/m^2] U$	-	-	72,5	70,6	70,9	70,6
$Icl (clo) U$	0,69	0,57	0,77	0,45	0,57	0,52
$M (W/m^2) D$	-	-	72,2	70	70	70
$Icl (clo) D$	0,49	0,42	0,43	0,42	0,4	0,40
$PMV U$ <i>clo min</i>	-0,26	-0,24	+0,44	+0,28	+0,41	+0,52
$PMV U$ <i>clo med</i>	+0,18	+0,11	+0,83	+0,67	+0,65	+0,67
$PMV U$ <i>clo max</i>	+0,53	+0,58	+0,94	+0,97	+0,92	+0,97
$PMV D$ <i>clo min</i>	-0,97	-1,10	+0,15	+0,13	+0,38	+0,19
$PMV D$ <i>clo med</i>	-0,19	-0,37	+0,23	+0,21	+0,38	+0,47
$PMV D$ <i>clo max</i>	+0,36	+0,38	+0,29	+0,26	+0,38	+0,63
$PPD U [%]$ <i>clo min</i>	6,43	6,46	9,08	6,63	8,68	10,73
$PPD U [%]$ <i>clo med</i>	5,73	5,25	19,47	14,52	14,14	14,48
$PPD U [%]$ <i>clo max</i>	10,92	5,25	23,59	24,68	23,2	25,04
$PPD D [%]$ <i>clo min</i>	25,19	12,07	5,51	5,35	8,28	5,84
$PPD D [%]$ <i>clo med</i>	5,86	30,64	6,12	5,89	8,28	9,75
$PPD D [%]$ <i>clo max</i>	7,75	8,01	6,71	6,42	8,28	13,33

Stabile 2- ufficio b – (call center)

Al mattino gli occupanti avvertono una sensazione termica spostata verso il leggero caldo (tabella 3) più rilevante nel campione maschile (+0,42) che in quello femminile (+0,14). Al pomeriggio si assiste ad un leggero peggioramento della situazione, con valori di PMV pari a +0,50 per gli uomini e +0,22 per le donne.

Stabile 3 - SGR (intermediazione finanziaria)

Al mattino gli occupanti avvertono (tabella 4) una sensazione termica spostata, verso il leggero caldo nel campione maschile (PMV = 0,18) e verso il leggero freddo

(PMV = -0.19) in quello femminile; quest'ultimo è caratterizzato da una maggiore differenziazione fra le risposte che varia da un valore minimo di -0,97 ed un valore massimo di +0.36.

Al pomeriggio si assiste ad un leggero peggioramento della situazione per le donne (PMV = -0,37), ma non per gli uomini (PMV = 0,11). Tale situazione è forse da imputare all'aumento della temperatura T e della temperatura media radiante T_{mr} di circa 0,3 °C.

Tabella 5: Sintesi dei parametri più significativi ottenuti dall'analisi dei questionari presso gli stabili 1 e 2

Grandezza	Ufficio a		Ufficio b	
	MAT	POM	MAT	POM
n° questionari	32	43	21	20
Età media soggetti	27	25	36,5	36
PMV	-1,38	-0,35	+0,32	+0,58
Scost. PMV	± 1,17	± 0,99	±0,39	±0,96
Insodd. Term. [%]	81,3	51,2	68	79,1
Prefer. Termica [%]	90,6	48,8	65,3	70,8
Inacc. termica [%]	53,1	32,6	25	31,2
Fast. Termico [%]	71,9	55,8	54	70,8
Inacc. v_a [%]	59,4	37,2	56,5	69
Prefer. v_a [%]	78,1	58,1	73,3	63
Inacc. GTV [%]	50	20,9	31,9	33
Prefer. GTV [%]	62,5	34,9	59,7	39,5
Ins. cont. amb. [%]	81,3	79,1	59,7	75

Gli elevati valori degli indici termici di insoddisfazione (tabella 6), preferenza e fastidio, soprattutto nel campione femminile, sottolineano come sia difficile sopportare le condizioni termiche esistenti: tale disagio è ulteriormente aggravato dalla presenza di uno o più computers e schermi ad ogni postazione di lavoro, che determinano un aumento di temperatura proprio in prossimità dell'utente.

Per quanto riguarda i controlli ambientali a disposizione degli utenti, la maggior parte dei presenti presenta un elevato grado di insoddisfazione dovuto alla possibilità pressoché nulla di interagire con la regolazione dell'impianto.

Il disagio espresso dagli utenti tramite i questionari è attribuibile, in parte, ad una condizione psicologica negativa dovuta alla totale assenza di finestre nell'ambiente di lavoro.

La mancanza di illuminazione naturale, sostituita con quella artificiale e costante, priva gli occupanti della necessaria percezione del passare del tempo, estraniandoli dalla realtà ed influenzando negativamente sulla loro sensazione di benessere.

Stabile 4 – ufficio c (back-office)

Al mattino gli occupanti avvertono (tabella 4) una sensazione termica spostata verso il caldo elevato tanto nel campione femminile (+0,23) quanto, soprattutto, in quello maschile (+0,83). La variazione tra valori minimi e massimi di PMV è di +0.5 nel campione maschile e di +0.14 nel campione femminile.

Al pomeriggio la situazione rimane pressoché inalterata, con un leggero miglioramento, con valori di PMV pari a +0,67 per gli uomini e +0,21 per le donne, con variazione di valori

per gli uomini più elevati (+0,69) rispetto al mattino e pari per le donne (+0.13).

Tabella 6: Sintesi dei parametri più significativi ottenuti dall'analisi dei questionari presso gli stabili 3 e 4

Grandezza	SGR		Ufficio c		Ufficio d	
	MAT	POM	MAT	POM	MAT	POM
n° questionari	63	58	21	29	13	14
Età media soggetti	34,5	34	38	36	36	37,5
PMV	+0,32	+1,17	+1,39	+1,54	+1,32	+1,12
Scost. PMV	±0,77	±1,04	±0,92	±1,00	±1,00	±1,40
Insodd. Term. [%]	62,8	83,7	94,5	87,5	86,3	66,6
Prefer. Termica [%]	60,9	70	91,6	87,5	86,3	58,3
Inacc. termica [%]	53	57,7	94,5	73,5	43,2	58,3
Fast. Termico [%]	80,8	82	97,2	96	86,3	66,6
Inacc. v_a [%]	58,4	71,6	86,1	77,5	47,7	62,5
Prefer. v_a [%]	80	91,5	75	96	86,3	91,6
Inacc. GTV [%]	47	46,7	27,8	53	52,2	25
Prefer. GTV [%]	49	53,5	61,2	71,5	81,8	25
Ins. cont. amb. [%]	86,9	87,8	91,6	83,5	52,2	79,1

Stabile 4 – ufficio d - (programmazione informatica)

Al mattino gli occupanti avvertono una sensazione termica spostata verso il caldo elevato (tabella 4) tanto nel campione femminile (+0,38) quanto, soprattutto, in quello maschile (+0,65). La variazione tra valori minimi e massimi di PMV è di +0.51 nel campione maschile e nulla nel campione femminile.

Al pomeriggio la situazione rimane pressoché inalterata, con un leggero peggioramento, con valori di PMV pari a +0,67 per gli uomini e +0,47 per le donne, con variazione di valori per gli uomini più bassi (+0,45) rispetto al mattino e superiore per le donne (+0.44).

Gli elevati valori degli indici termici di insoddisfazione, preferenza e fastidio, sottolineano come sia difficile sopportare le condizioni termiche esistenti: in analogia allo stabile 3, tale disagio è ulteriormente aggravato dalla presenza di pc, monitor e apparecchiature elettroniche ad ogni postazione di lavoro che determina un aumento di temperatura proprio in prossimità dell'utente.

Per quanto riguarda i controlli ambientali a disposizione degli utenti, la maggior parte dei presenti presenta un elevato grado di insoddisfazione dovuto alla possibilità molto limitata di interagire con la regolazione dell'impianto.

4. CONFRONTO ANALISI OGGETTIVE E SOGGETTIVE

In figura 6 è riportato il confronto tra il PMV calcolato a partire dai dati sperimentali e quello ricavato dalle elaborazioni dei questionari, dove si osserva che la correlazione è molto poco significativa.

Il risultato conferma le analisi precedentemente effettuate su un'altra tipologia di ambienti confinati [1], cioè che entrambe le sensazioni, sia di caldo sia di freddo, sono amplificate dai questionari rispetto ai rilievi strumentali (per i valori di PMV dai rilievi strumentali si ottengono sempre valori più alti, se positivi, o più bassi, se negativi).

In figura 7 si osserva invece un'ottima correlazione tra il PMV ed il PPD dei questionari con quello sperimentale.

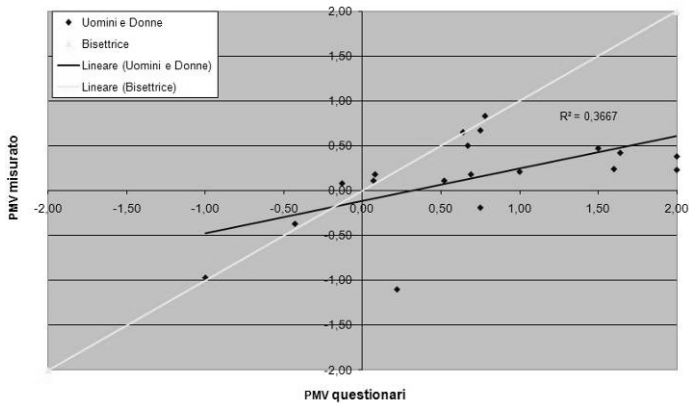


Figura 6- Confronto tra PMV dei questionari e PMV sperimentali

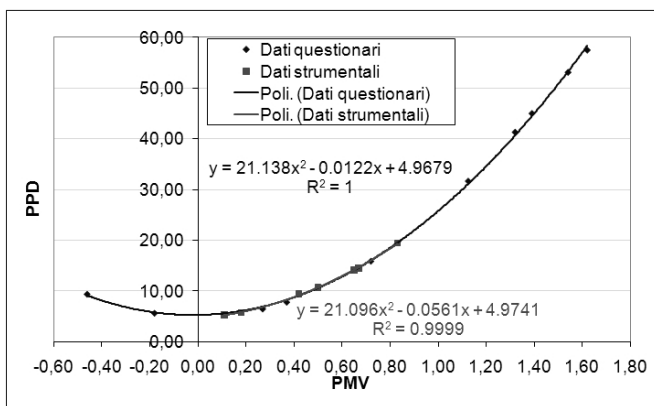


Figura 7- Confronto tra PMV e PPD dei questionari e dei dati sperimentali

5. CONCLUSIONI

I risultati mostrano che, sebbene sulla base delle misure effettuate i parametri rientrino quasi sempre negli intervalli consigliati dalla normativa, i questionari evidenziano condizioni più critiche. Infatti, spesso, solo una modesta percentuale di occupanti si trova a proprio agio con l'intorno termico ed i giudizi espressi dai soggetti interessati amplificano la situazione di leggero caldo presente mediamente in tutti i casi esaminati.

Questa discrepanza è in parte dovuta alla scarsa possibilità da parte degli occupanti di intervenire sulle condizioni dell'ambiente, in parte allo scarso movimento dell'aria, cui è correlata anche l'insoddisfazione per il gradiente termico verticale.

NOMENCLATURA

D = donne;
 GTV = gradiente termico verticale;
 I_{cl} = isolamento termico del vestiario (clo, m^2K/W);
 M = metabolismo (met, W/m^2);
 PPD = percentuale prevista di insoddisfatti (%);
 PMV = voto medio previsto;
 T = temperatura ($^{\circ}C$);

U = uomini;
 UR = umidità relativa (%);
 v = velocità (m/s).

Pedici:

a = aria;
 est = esterno;
 mr = media radiante;

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per la preziosa collaborazione il dott. Gianfranco Feroldi, responsabile del Servizio Prevenzione del Gruppo Bancario.

BIBLIOGRAFIA

- Buratti C., Ricciardi P., "Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: correlation between experimental data and mathematical models", Building and Environment 44 (2009), 674-687.
- C. Buratti, P. Ricciardi, "Thermal- hygrometry comfort in university classrooms: experimental results in north and central Italy Universities conducted with new methodologies based on the adaptive model", 3rd International Building Physics/Science, Montreal, Canada, 27-31 Agosto 2006, pag. 765-773, Atti su CD ISBN 10 0-415-41675-2.
- C. Buratti, P. Ricciardi, C. Simoncini, "Il benessere termoisometrico nelle aule universitarie: primi risultati di una campagna sperimentale presso le Università di Perugia e Pavia effettuata secondo nuove metodologie basate sul modello adattivo", V Convegno Nazionale del Centro Interuniversitario di Ricerca sugli Agenti Fisici, Perugia, 8 - 9 Aprile 2005, pag. 73-80, Atti su CD ISBN 88-89422-43-2.
- C. Buratti, A. Milone, D. Milone, S. Pitruzzella, P. Ricciardi., "Determinazione degli indici PMV/PPD attraverso misure strumentali e questionari nel modello adattivo", VI Convegno Nazionale del Centro Interuniversitario di Ricerca sugli Agenti Fisici, Perugia, 7 - 8 Aprile 2006, pag 147-152, Atti su CD ISBN 88-6074-018-5.
- C. Buratti, P. Ricciardi, M. Vergoni, "Recupero di una cavita' naturale: indagine preliminare su aspetti microclimatici e illuminotecnici proposta di soluzioni ecocompatibili", VII Convegno Nazionale del Centro Interuniversitario di Ricerca sugli Agenti Fisici, Perugia, 4 - 6 Aprile 2007, pag. 209-216, Atti su CD ISBN 978-88-6074-089-2.
- C. Buratti, P. Ricciardi, "Comfort termoisometrico in ambienti interni: correlazioni tra valori sperimentali e modelli matematici" 62° Congresso Nazionale ATI (Associazione Termotecnica Italiana), 11-14 settembre 2007, Salerno, pag. 169-174, ISBN 978-88-87998-77-1.
- UNI-EN-ISO 10551- Ergonomia degli ambienti termici -Valutazione dell'influenza dell'ambiente termico mediante scale di giudizio soggettive. Gennaio 2002.
- UNI EN ISO 7730- Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale- 2006.
- Mui K. W. H., Chan W. T. D., Adaptive comfort temperature model of air conditioned building in Hong Kong, Building and Environment 2003, 38: 837-852.