



LA GESTIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Livio de Santoli

LA GESTIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Livio de Santoli

Copyright © 2010 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. – tel. 0916700686 – fax 091525738

ISBN 978-88-579-0016-2

Prima edizione: aprile 2010

*Il contenuto del presente volume non impegna in alcun modo l'AICARR
e non va considerato come una posizione ufficiale dell'Associazione*

de Santoli, Livio <1954->

La gestione energetica degli edifici / Livio de Santoli. - Palermo : D. Flaccovio, 2010.

ISBN 978-88-579-0016-2

(Collana AICARR, cultura e tecnica per energia uomo e ambiente ; 10)

1. Edifici – Impianti termici. 2. Energia – Consumo.

697 CDD-21

SBN Pal 0225125

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alber to Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla s.r.l., Palermo, aprile 2010.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

AGGIORNAMENTI - ERRATA CORRIGE - ADDENDUM

Eventuali integrazioni o revisioni al presente testo saranno disponibili all'indirizzo www.darioflaccovio.it/aggiornamenti. È pertanto consigliabile visitare periodicamente tale pagina o iscriversi da www.darioflaccovio.it alla newsletter gratuita *Informazioni editoriali*, che riporta, tra le altre informazioni, anche gli eventuali aggiornamenti.

INDICE

<i>Presentazione</i>	pag. 8
<i>Introduzione</i> L'importanza della gestione energetica degli edifici, di <i>Livio de Santoli</i>	» 10

Parte I – La gestione del controllo ambientale

1. <i>AUDIT DEL SISTEMA TERMOIGROMETRICO</i> , di <i>Gianfranco Caruso</i>	
1.1. Introduzione	» 15
1.2. Il benessere termoisometrico	» 15
1.3. Indici per la valutazione delle condizioni di benessere	» 16
1.4. L'indice PMV	» 17
1.5. Il disagio termico locale	» 19
1.6. Requisiti di <i>comfort</i> per gli ambienti termici moderati	» 20
1.7. Requisiti legislativi e normativi	» 21
1.8. Strumentazione e modalità di misura delle grandezze microclimatiche	» 25
1.9. Tempi di misura	» 27
1.10. Intervalli temporali fra misure successive	» 28
1.11. Postazioni di misura	» 28
1.12. Misurazione della velocità dell'aria	» 29
1.13. Misurazione della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante e operativa	» 30
1.14. Misurazione dell'umidità dell'aria	» 31
2. <i>AUDIT DEL SISTEMA ACUSTICO E LUMINOSO</i> , di <i>Roberto Carratù</i>	
2.1. Introduzione	» 33
2.2. <i>Audit</i> acustico	» 33
2.3. Terminologia e unità di misura in acustica	» 35
2.4. Sorgenti di rumore	» 36
2.5. Legislazione acustica	» 38
2.6. Strumenti di misura	» 40
2.7. <i>Audit</i> illuminotecnico	» 40
2.8. Unità di misura in illuminotecnica	» 42
2.9. Sorgenti di luce	» 43
2.10. Legislazione illuminotecnica	» 45
2.11. Strumenti di misura	» 47
3. <i>AUDIT DEL SISTEMA DI QUALITÀ DELL'ARIA</i> , di <i>Fabrizio Cumo</i>	
3.1. Premessa	» 49
3.2. <i>Audit</i> relativo alla qualità dell'aria	» 50
3.3. Sostanze inquinanti e loro sorgenti	» 50
3.4. Legislazione e normativa	» 55
3.5. Metodologie di diagnostica	» 56
3.6. Misura e strumenti di misura della qualità dell'aria	» 58
3.6.1. Misure soggettive riferite alle persone	» 58
3.6.2. Misure riferite agli inquinanti presenti nell'aria	» 59

Parte II – La gestione e la manutenzione dei sistemi impiantistici

4. <i>MONITORAGGIO E CONTROLLO DELLE PRESTAZIONI IMPIANTISTICHE</i> , di <i>Gianfranco Caruso</i>	
4.1. Introduzione	» 65
4.2. Il controllo delle prestazioni dell'impianto termico	» 65
4.3. Strumentazione per l'analisi della combustione	» 69
4.4. Verifica della potenza al focolare	» 69
4.5. Calcolo del rendimento di combustione	» 70

4.6. Rendimento di combustione minimo ammissibile	»	72
4.7. Il controllo delle prestazioni di condizionatori d'aria, refrigeratori d'acqua e pompe di calore	»	73
4.8. Determinazione della potenza frigorifera e della potenza termica di recupero	»	75
4.9. Prove in condizioni nominali	»	76
4.10. Condizioni ambientali e requisiti per l'alimentazione elettrica	»	77
4.11. Incertezza di misura	»	77
4.12. Prove a carico parziale	»	78
5. MANUTENZIONE DEGLI IMPIANTI, di <i>Livio de Santoli</i>		
5.1. Introduzione	»	81
5.2. Pianificazione della manutenzione	»	82
5.3. Manutenzione degli impianti di climatizzazione	»	86
5.4. Attività di manutenzione	»	88
5.4.1. Centrali termiche e frigorifere	»	88
5.4.2. Unità centrali di trattamento aria	»	89
5.4.3. Filtri per l'aria	»	89
5.4.4. Umidificatori d'aria	»	90
5.4.5. Batterie di scambio termico	»	91
5.4.6. Ventilatori	»	92
5.4.7. Recuperatori di calore	»	92
5.4.8. Condotte d'aria e silenziatori	»	92
5.4.9. Prese d'aria esterna e griglie di espulsione	»	93
5.4.10. Torri di raffreddamento	»	93
5.4.11. Apparecchi terminali	»	93
5.5. Qualificazione e formazione del personale	»	94
5.5.1. Categoria B: formazione per operazioni semplici	»	94
5.5.2. Categoria A: formazione dei responsabili dell'igiene	»	95
5.6. Esercizio dei sistemi di ventilazione e di condizionamento dell'ari a	»	95
6. ANALISI DEL CICLO DI VITA DEGLI IMPIANTI, di <i>Adriana Sferra</i>		
6.1. Introduzione	»	97
6.2. La metodologia dell'analisi del ciclo di vita (LCA)	»	98
6.3. Metodi di analisi degli impatti ambientali	»	101
6.4. L'unità di misura degli impatti ambientali	»	104
6.5. La metodologia LCA applicata alla valutazione degli impianti	»	105
6.5.1. Esempio di applicazione della metodologia LCA: Impianto tradizionale di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria	»	109
7. ESEMPIO DI <i>ENERGY PERFORMANCE CONTRACT</i> , di <i>Livio de Santoli, Francesco Mancini</i>		
7.1. Introduzione	»	111
7.2. Il Servizio energia	»	112
7.3. Servizio energia, risparmio energetico, <i>Energy performance contract</i>	»	112
7.3.1. L'applicazione dell' <i>Energy performance contract</i> in Italia	»	114
7.3.2. Offerta tecnica	»	114
7.3.3. Relazione descrittiva dei servizi offerti	»	114
7.4. La proposta tecnico-economica orientata al risparmio energetico	»	115
7.4.1. Valutazione dell'offerta tecnica	»	116
7.4.2. Offerta economica	»	117
7.4.3. Costo dei servizi offerti	»	118
7.4.4. Indici di prestazione per la valutazione della qualità dei servizi	»	119
7.4.5. Valutazione dell'offerta economica	»	120
7.4.6. Valutazione delle offerte e criteri di aggiudicazione	»	121
7.4.7. Condivisione dei risparmi energetici ottenuti	»	121

7.4.8. Normalizzazione dei risparmi energetici.....	» 121
7.4.9. Valutazione e controllo del livello di servizio e penali	» 124
7.4.10. Indicatore globale di prestazione.....	» 125
7.4.11. Indicatore di soddisfazione	» 125

Parte III – La gestione dell’energia

8. PRINCIPI DI ENERGY MANAGEMENT, di <i>Fabrizio Giamminuti</i>	
8.1. Introduzione	» 129
8.2. Formazione di un <i>Energy manager</i>	» 130
8.2.1. Riferimenti normativi	» 130
8.3. Ruolo dell’ <i>Energy manager in ambito pubblico e privato</i>	» 132
8.3.1. Riferimenti normativi	» 133
8.4. Le attività di <i>Energy management</i>	» 136
8.5. Strumenti contrattuali innovativi di finanziamento	» 140
9. OPPORTUNITÀ ECONOMICHE E FINANZIARIE DEL MANAGEMENT DELL’ENERGIA, di <i>Claudia Bettiol</i>	
9.1. Introduzione	» 143
9.2. L’industria: impianti e servizi	» 144
9.3. Lo scenario italiano ed europeo: la PTIC e l’ELTP	» 145
9.4. La ESCo e l’anomalia italiana	» 147
10. RUOLO DELLA CERTIFICAZIONE ENERGETICA NELLA RIQUALIFICAZIONE DEGLI EDIFICI, di <i>Livio de Santoli</i>	
10.1. Le caratteristiche della certificazione energetica	» 151
10.2. La certificazione energetica degli edifici e il quadro normativo esistente	» 152
10.3. Le Linee guida per la certificazione energetica degli edifici	» 156
10.4. La classificazione energetica degli edifici	» 158
10.5. La problematica della climatizzazione estiva	» 160
10.6. I criteri di riconoscimento per assicurare la qualificazione e l’indipendenza dei certificatori	» 161
11. POLITICA ENERGETICA SU SCALA URBANA, di <i>Livio de Santoli</i>	
11.1. Introduzione	» 163
11.2. L’efficienza energetica nel contesto europeo	» 164
11.3. L’intervento nazionale	» 167
11.4. La generazione distribuita: definizioni	» 168
11.5. I dati sulla generazione distribuita dell’energia	» 171
11.6. Vantaggi della generazione distribuita	» 175
11.7. L’Università “La Sapienza” e la generazione distribuita	» 176
11.8. Scenari futuri	» 180
RIFERIMENTI IMMAGINI E FOTOGRAFIE	» 183

Presentazione

Sono almeno tre gli elementi che pretendono di essere osservati con attenzione, fuori da ogni forma di contrasto di opinioni, se non altro perché risultano oggi segni evidenti di una sconfitta dell'uomo moderno: la crisi economica, la crisi energetica, i cambiamenti climatici. I tre elementi sono, ovviamente, tra loro correlati e dipendono in modo più o meno diretto dal consumo di energia del pianeta.

Il dipartimento americano dell'energia DOE e l'agenzia internazionale dell'energia IEA prevedono che l'impiego di energia – tenendo anche conto dei miglioramenti in termini di efficienza – crescerà del 50-60% nel periodo 2006-2030, così che il petrolio, fondamento della seconda rivoluzione industriale, continuerà a garantire almeno il 30% dell'energia anche nel XXI secolo.

La causa principale dei consumi energetici è rappresentata oggi dagli edifici, che sono concentrati maggiormente nelle città; si stima che nel 2030 il 60% della popolazione vivrà nelle città e che, quindi, queste saranno responsabili del 70% dei consumi energetici.

Occorre pertanto ripensare il contesto urbano in termini di pianificazione energetica. Le città hanno tassi di nuove costruzioni non rilevanti in relazione agli interventi sul patrimonio edilizio esistente (in Italia, per esempio, non si supera il 3%), e quindi risulta importante studiare l'orientamento dell'evoluzione in una prospettiva di graduale sostituzione delle modalità di soddisfacimento dei fabbisogni di energia. Si tratta di orientare le scelte per modifiche graduali, ma sistematiche, che il contesto urbano naturalmente richiede.

L'ambito di interesse si trasferisce, quindi, verso la cultura della gestione e della manutenzione quella scienza che finalizza le attività umane a un impiego economico ed efficiente delle risorse, nella progettazione, gestione e manutenzione dei sistemi costruiti e nella conservazione dei sistemi naturali.

“Le attività di manutenzione non pretendono di trasformare il mondo [...]” scriveva Pier Giorgio Perotto negli anni Settanta, ma sono inevitabili per lo sfruttamento economico di qualsiasi bene o servizio, incluso l'edificio.

Data, quindi, l'importanza degli aspetti legati all'energia, alla gestione e alla manutenzione, questi devono essere affrontati adeguatamente nelle facoltà universitarie che vogliono formare figure professionali consapevoli e coraggiose. Professionisti che dovranno essere in grado di coniugare innovazione tecnologica e qualità architettonica, sulla base della rinnovata attenzione ai problemi di natura gestionale fondati sull'obiettivo comune della questione ambientale e poggiati su basi scientifiche riferite a parametri oggettivi, fisici, legati all'energia, allo spazio e ai materiali.

Accanto a un rinnovato interesse per gli aspetti gestionali dell'energia applicata agli edifici, probabilmente occorrerà ripensare anche le città dal punto di vista energetico e, in particolare, applicare un nuovo modello capace di modificare la struttura esistente, in grado di permettere il recupero del rapporto uomo-natura oggi in profonda crisi. L'uomo, infatti, ora si interroga sul senso che ha voluto assegnare al suo ambientalismo, sospeso tra un'idea della natura che non esiste e l'impegno di dover salvare il pianeta già compromesso.

A differenza del modello attualmente esistente di generazione, distribuzione e uso dell'energia (nato quasi un secolo fa), quello della generazione distribuita (uno dei pilastri della terza rivoluzione industriale di Rifkin) prevede dei nodi collegati in rete che non solo consumano energia, ma la producono. Si dimostra, sotto alcune condizioni, il vantaggio tecnologico del sistema a rete in termini di efficienza energetica, di sicurezza e di risparmio. Altrettanto importante è valutare il vantaggio che si otterrebbe sul piano etico; l'individuo sarebbe costretto ad abbandonare quella logica consumistica che, come dice Zygmunt Bauman, lo ha isolato e – recuperando questa parte pragmaticamente attiva – parteciperebbe alla condivisione di un'azione positiva.

Gli esempi del nuovo modello cominciano a essere presenti sul territorio. Tra i primi, si ricorda il progetto delle isole energetiche della città universitaria dell'Università di Roma "La Sapienza".

L'occasione è importante anche per l'eccezionale lancio delle iniziative sui cambiamenti climatici rivolte ai vari aspetti della sostenibilità degli edifici e delle città.

Introduzione

L'importanza della gestione energetica degli edifici

Livio de Santoli

Per contribuire al miglioramento dell'approvvigionamento energetico e, contemporaneamente, alla tutela dell'ambiente attraverso la riduzione delle emissioni di gas serra, è stato impostato un quadro complesso di misure riguardanti l'efficienza degli usi finali dell'energia da parte degli organismi internazionali e nazionali.

La normativa recente ha affrontato il problema emanando alcuni dispositivi, quali per esempio:

- il primo piano di azione per l'efficienza energetica del Ministero dello Sviluppo Economico (luglio 2007) in attuazione della direttiva 2006/32/CE;
- il decreto legislativo 15/08 in attuazione della direttiva 2006/32/CE sull'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici;
- il decreto 112/08 con i suoi risvolti per l'individuazione di una strategia energetica nazionale (articolo 7 comma 1) e sulla semplificazione nella disciplina per l'installazione degli impianti negli edifici (articolo 35 comma 1);
- i decreti legislativi 192/05 e 31/06 in attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia;
- il D.P.R. 59/09, regolamento di attuazione di parte del decreto legislativo 192/05;
- il decreto 26 giugno 2009 sulle linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Tutti i provvedimenti mettono in evidenza l'importanza di affrontare il tema dell'energia per gli edifici, responsabili di una parte rilevante dei consumi e con il più alto potenziale di risparmio, in virtù dell'importanza delle modalità realizzative dell'involucro edilizio e degli aspetti legati alla progettazione, gestione e manutenzione degli impianti.

Affrontare i temi energetici significa muoversi nell'ambito degli obiettivi fissati dalla Commissione Europea che obbliga, tra l'altro, ogni Stato membro a risparmiare il 20% dell'energia consumata entro il 2020. Tale obiettivo può essere raggiunto con interventi di efficienza energetica e di risparmio energetico su ciascuno dei comparti principali – industria, trasporti e settore civile – ma, vista la straordinaria importanza dell'impatto sugli usi e consumi dei cittadini, occorrerà parallelamente prevedere un'adeguata sensibilizzazione del singolo individuo. Ancora una volta, proprio quest'ultimo aspetto assegna un ruolo rilevante al comparto dell'edilizia e in tale contesto è importante l'effettiva applicabilità della certificazione energetica da parte di tutte le regioni, il cui obbligo ha sicuramente un effetto virtuoso sui parametri di Kyoto.

Nell'affidare un ruolo al singolo individuo deve essere comunque tenuto presente il complesso quadro regolatorio che affida allo Stato solo operazioni e attività di inquadramento generale. I decreti legislativi 192/05 e 31 1/06 si riferiscono all'attuazione della direttiva comunitaria 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia. Scopo di tale normativa è di stabilire i criteri per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine del contenimento dei consumi energetici. In particolare, il certificato energetico risulta essere non solo il mezzo di controllo *ex post* del rispetto – in fase di realizzazione degli edifici – delle prescrizioni volte a migliorarne le prestazioni energetiche, ma soprattutto lo strumento di informazione del cittadino (acquirente o conduttore che sia). Questo perché risulta evidente che attraverso di esso si ottiene una preventiva ed esauriente conoscenza, da parte degli acquirenti o dei conduttori, dei dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio e, soprattutto, una familiarità in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della prestazione energetica.

In Italia, i consumi finali totali sono circa 146 MT ep (dato ENEA del 2005), di cui almeno 46 (più del 30%) assegnati al comparto civile (residenziale e terziario). I 146 Mtep dovuti agli usi finali diventano 190 Mtep in termini di energia primaria, il che vuol dire che le perdite per inefficienza della generazione e della distribuzione dell'energia (45-50 Mtep) sono da considerarsi della stessa entità dei tre principali settori di consumo (trasporti, industria, civile).

Nel comparto civile in termini di energia primaria si hanno 70 Mtep che portano il comparto a una percentuale più alta in termini di energia consumata (40% del totale contro il 32% in termini di usi finali), anche per la significativa quota di elettricità del comparto (20% nel residenziale e 40% nel terziario). Nel decennio 1997-2007 la richiesta di energia elettrica è aumentata passando da 271 TWh a 338 TWh, con un aumento di circa il 25%. Sebbene vi sia stato negli ultimi anni un visibile rallentamento nell'efficienza energetica del sistema Paese, l'Italia può considerarsi ancora nella media dei Paesi industrializzati, con un valore della cosiddetta *intensità energetica* pari a 0,16 kg di petrolio equivalente per ogni euro di PIL e con un'emissione annua pari a 8,4 tonnellate di CO₂ per persona. Vi sono tuttavia ancora notevoli spazi per raggiungere l'obiettivo fissato dalla Commissione Europea che obbliga ciascuno Stato membro a risparmiare il 20% dell'energia consumata entro il 2020. Tale obiettivo (almeno 40 Mtep) può essere raggiunto sia con interventi di efficienza energetica (riduzione delle perdite) che con interventi di risparmio energetico su ciascuno dei comparti principali. I risultati (cautelativi) di uno studio di Confindustria/CESI sull'efficienza energetica, nell'aprile del 2008, mostrano che il potenziale risparmio al 2016 è significativo soprattutto nel settore civile, poiché può facilmente rappresentare più del 50% di quello complessivo, come evidenziato nella tabella 1. Anche il primo piano d'azione del Ministero dello Sviluppo Economico conferma questi dati.

Questo volume si prefigge lo scopo di fornire gli elementi essenziali per una corretta gestione energetica di un edificio; il tema è sviluppato nelle tre sezioni:

- la gestione del controllo ambientale;
- la gestione e la manutenzione dei sistemi impiantistici;
- la gestione dell'energia.

Tabella 1. Potenziale di risparmio – in energia primaria – negli impieghi dell’energia (per la conversione dei consumi di energia elettrica in energia primaria è stato ipotizzato un rendimento complessivo del 45%)

Impiego dell’energia	Potenziale di risparmio (in energia primaria Mtep)	
	Inferiore	Superiore
Trasporti	2,0	6,4
Motori elettrici	1,9	3,4
Riscaldamento/Raffrescamento settore civile	5,6	8,0
Altri usi elettrici e termici settore civile	1,4	4,2
Usi termici in industria e agricoltura	0,8	4,0
Altri usi termici in industria e agricoltura	0,2	0,7
Totale	14,3	30,0
Fonte: Confindustria/CESI, 2008		

La prima sezione affronta il tema dell’ *auditing* dei sistemi termoidraulico, acustico, luminoso e di qualità dell’aria, considerando l’assunto che il risparmio di energia debba essere conseguito in presenza, e non a discapito, delle condizioni di *comfort* e benessere negli ambienti serviti da sistemi impiantistici.

La seconda sezione, più tecnicamente rivolta alle operazioni di manutenzione degli impianti, si riferisce anche al controllo e al monitoraggio delle prestazioni impiantistiche e ai nuovi strumenti da adottare, soprattutto nelle pubbliche amministrazioni, quali i contratti di gestione dell’energia (*energy performance contract*), in cui, a seguito di alcune prescrizioni della normativa italiana, ruolo rilevante dovrebbero svolgere le cosiddette ESCO (*Energy saving companies*).

Infine, la terza sezione sviluppa i principi generali di gestione dell’energia (*Energy management*) e affronta il ruolo della certificazione energetica nella riqualificazione degli edifici. L’ultimo capitolo della sezione riguarda gli elementi di politica energetica su scala urbana con l’introduzione di un nuovo paradigma, importante nelle applicazioni relative soprattutto alle grandi città, ossia quello della generazione distribuita dell’energia.

Da tale impostazione traspare una complessità interdisciplinare del tema che deve essere trattato in tutti i suoi aspetti con attenzione e lungimiranza. L’AICARR e il gruppo della fisica tecnica ambientale del Dipartimento di fisica tecnica dell’Università di Roma “La Sapienza” sono impegnati affinché tale attenzione venga assicurata a partire dai prossimi anni, che verosimilmente saranno decisivi per il raggiungimento dei primi importanti risultati.

PARTE I
La gestione del controllo ambientale

Audit del sistema termoigrometrico

Gianfranco Caruso

1.1. INTRODUZIONE

L'*auditing*, inteso come attività amministrativa finanziaria, negli ultimi vent'anni ha acquisito anche un significato più legato al sistema di gestione ambientale. Non esiste accordo perfetto sulla definizione di *audit ambientale*, prefigurato come un insieme di attività e di strumenti operativi che un'impresa può volontariamente applicare per conseguire diversi obiettivi, fra cui appaiono fondamentali quello dell'efficienza dei processi gestionali e della tutela dell'ambiente. Per *audit del sistema termoigrometrico* può intendersi il processo di verifica sistematica e documentata finalizzato a conoscere e valutare, con evidenza oggettiva, le condizioni di *comfort* in un ambiente. Questo processo può svilupparsi, per esempio, in fase di collaudo degli impianti preposti al controllo termoigrometrico, ma anche ogniqualvolta si renda necessaria una valutazione della loro efficienza. L'*audit* è quindi volto a determinare le condizioni termoigrometriche negli ambienti per verificare il benessere delle persone e le azioni correttive eventualmente necessarie.

In queste pagine si farà riferimento essenzialmente agli ambienti cosiddetti *moderati*, in cui non esistono rischi immediati per la salute dell'individuo e l'obiettivo è esclusivamente la valutazione delle condizioni di *comfort*.

1.2. IL BENESSERE TERMOIGROMETRICO

Le condizioni di *comfort* sono rappresentate dall'insieme di parametri fisici e ambientali che portano al benessere dell'uomo, inteso come atteggiamento mentale di completa soddisfazione per l'ambiente in cui si trova. Il presupposto del benessere ambientale è che un insieme di grandezze fisiche riferite all'ambiente assumano valori tali da mantenere i parametri biologici a livelli ottimali, con il minimo sforzo da parte dell'individuo.

La sensazione di soddisfazione che le persone provano all'interno di un ambiente, riferita alle condizioni termiche (sentire caldo o freddo), è convenzionalmente identificata col termine *benessere termoigrometrico*. In modo simile si parla di

benessere ambientale acustico, visivo e olfattivo. A tal fine, è necessario che si verifichino condizioni appropriate a determinare sia il *comfort* di tipo globale (relativo al corpo umano nel suo complesso), sia il *comfort* di tipo locale (relativo a specifiche aree corporee).

Il *comfort* globale è intimamente legato al mantenimento della neutralità termica del corpo umano attraverso una fisiologica risposta del sistema di termoregolazione; questo ha il compito di mantenere la temperatura del nucleo corporeo costante, o comunque di contenerne le oscillazioni entro un intervallo molto ristretto, compatibile con l'espletamento ottimale delle funzioni vitali. Il *comfort* locale è invece legato agli scambi termici localizzati in specifiche aree, ovviamente superficiali, del corpo umano. La situazione ottimale si raggiunge annullando ogni possibile causa che possa indurre nel soggetto sensazioni di insoddisfazione.

Il complesso dei parametri fisici ambientali (temperatura, umidità e velocità dell'aria) che caratterizzano l'ambiente locale (ma non necessariamente confinato) è il microclima che, assieme a parametri individuali quali l'attività metabolica e l'abbigliamento, determina gli scambi termici fra l'ambiente e gli individui.

Le condizioni di benessere possono essere ottenute con diverse combinazioni di queste grandezze.

1.3. INDICI PER LA VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI BENESSERE

Gli ambienti termici possono essere suddivisi, ai fini della loro valutazione in rapporto ai soggetti che li occupano, in due macroclassi identificate come *ambienti termici moderati* e *ambienti termici severi*. Nel seguito si discuterà solamente degli ambienti termici moderati, quelli nei quali si verificano deviazioni – appunto moderate – dalla condizione di massimo *comfort*.

La valutazione delle condizioni di benessere, di per sé soggettiva, può essere oggettivata e quantificata mediante l'utilizzo di indici integrati che tengano conto dei parametri microclimatici ambientali (temperatura, velocità dell'aria e umidità relativa), del dispendio energetico (dispendio metabolico) connesso all'attività svolta e della tipologia di abbigliamento (isolamento termico del vestiario) comunemente utilizzato.

In un ambiente termico moderato (per esempio abitazioni, scuole, aule, uffici, ospedali e laboratori di ricerca), tra i suddetti indici quello che con maggiore precisione rispecchia l'influenza delle variabili fisiche e fisiologiche sul *comfort* termico è il PMV (*predicted mean vote*). Il PMV deriva dall'equazione del bilancio termico, il cui risultato viene rapportato a una scala di benessere psicofisico, ed esprime il parere medio (il voto medio previsto) sulle sensazioni termiche di un campione di soggetti che si trovano nel medesimo ambiente. Dal PMV deriva un secondo indice denominato PPD (*predicted percentage of dissatisfied*) che quan-

tifica percentualmente i soggetti comunque insoddisfatti in rapporto a determinate condizioni microclimatiche.

Gli indici esprimono, comunque, soltanto la risposta media di un gran numero di soggetti, il che significa, per esempio, che per valori corrispondenti a condizioni di neutralità termica ci possono comunque essere individui che avvertono invece caldo o freddo.

1.4. L'INDICE PMV

Il gradimento delle condizioni ambientali da parte di un campione di persone può essere espresso con il valore medio di una votazione effettuata dal campione stesso e basata su una scala di sensazione termica. Nella norma UNI EN ISO 7730:2006¹ viene utilizzata la scala riportata nella tabella 1.1.

Tabella 1.1. Scala di sensazione termica proposta dall'ASHRAE

Valore	Sensazione termica
+ 3	Molto caldo
+ 2	Caldo
+ 1	Leggermente caldo
0	Confortevole
- 1	Leggermente freddo
- 2	Freddo
- 3	Molto freddo

Basandosi su questa scala, originariamente proposta dall'ASHRAE, Fanger ha sviluppato una metodologia per la valutazione della sensazione termica tramite il PMV. Secondo Fanger, la sensazione termica, a un dato livello di attività, è funzione della sensazione termica del corpo definita come la differenza tra la produzione interna di calore per una data attività e la perdita di calore che avrebbe l'individuo se mantenesse la temperatura della pelle e la sudorazione ai valori corrispondenti al benessere per l'attività considerata.

La relazione proposta da Fanger per il calcolo del PMV è la seguente:

$$PMV = [0,303 \exp(-0,036 M) + 0,028] L$$

dove L , in W/m^2 , è il carico termico del corpo, definito come la differenza tra la produzione di calore interna (attività metabolica M) e le perdite termiche effettive.

¹ Norma UNI EN ISO 7730:2006: 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.

ve verso l'ambiente esterno (il metodo di calcolo è definito nella norma UNI EN ISO 7730:2006) e l'attività metabolica M è espressa in W/m^2 .

Esiste un ampio consenso riguardo al fatto che l'indice PMV sia il miglior descrittore statistico del *comfort* microclimatico globale in ambienti termici moderati. Poiché però si tratta di un valore medio, esso sottintende l'esistenza di una variabilità individuale. Di conseguenza, anche per un gruppo di individui esposti a identiche condizioni microclimatiche, non è possibile individuare una situazione ideale, valida per tutti.

È quindi utile, a volte, conoscere a priori quale può essere l'effetto sull'utenza di alcune scelte progettuali o gestionali relative al sistema edificio-impianto, rispetto ad altre. In questi casi può risultare più conveniente, anziché ricorrere a un voto, valutare direttamente la percentuale di persone che in una data situazione ambientale potrebbero esprimere, se sollecitate, un apprezzamento negativo.

Sulla base degli esperimenti già citati, Fanger ha ricavato la relazione tra PMV e PPD (*predicted percentage of dissatisfied*) che definisce la percentuale di persone che si ritengono insoddisfatte dalle condizioni microclimatiche in esame.

La relazione fra PPD e PMV è data dall'espressione:

$$PPD = 100 - 95 \exp - (0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)$$

Nella figura 1.1, dalla curva che visualizza la relazione che lega PMV a PPD, è interessante osservare come PPD non si annulli nemmeno quando PMV è uguale a 0

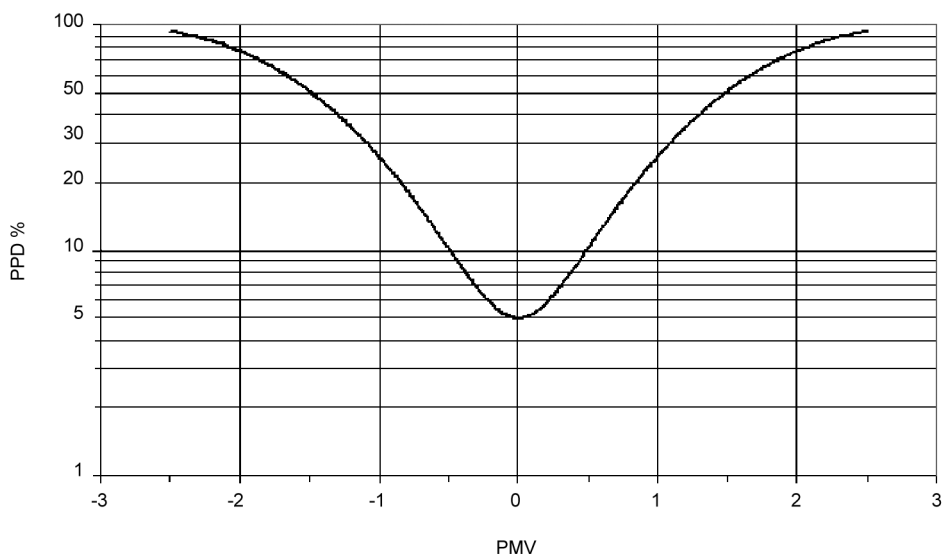


Figura 1.1
Percentuale di insoddisfatti (PPD) in funzione del voto medio previsto (PMV)

(massimo *comfort* PPD = 5%) in accordo al fatto che condizioni in grado di soddisfare l'equazione del benessere possono, statisticamente, non essere di grado -
mento per alcuni gruppi di persone.

A rigore, gli indici PMV e PPD risultano idonei alla valutazione di ambienti termici moderati soltanto in presenza di condizioni microclimatiche stazionarie. La norma UNI EN ISO 7730:2006 quantifica la tolleranza con la quale le condizioni non stazionarie possono lo stesso essere valutate, specificando che:

- in caso di fluttuazioni di temperatura cicliche, la variazione picco-picco deve risultare inferiore a 1 °C;
- in caso di derive termiche, il gradiente non deve superare i 2 °C/h.

La norma tecnica UNI EN ISO 7730:2006 raccomanda di utilizzare gli indici PMV e PPD soltanto quando tutti i sei parametri ambientali e individuali coinvolti nel processo che ne consente il calcolo risultano compresi nei relativi intervalli, come sintetizzato nella tabella 1.2.

L'uso degli indici PMV e PPD viene inoltre raccomandato soltanto quando il valore dell'indice PMV stesso risulta compreso nell'intervallo [-2 ÷ +2]. Ciò a causa del fatto che all'esterno di tale intervallo (con una percentuale prevista di insoddisfatti superiore al 75%) l'associazione del PMV con la sensazione di *comfort* termico non è adeguatamente supportata da evidenze sperimentali.

Tabella 1.2. Intervalli di applicabilità nella valutazione del PMV

Parametro	Simbolo	Intervallo utile	Unità di misura
1 Temperatura dell'aria	t_a	+10 ÷ + 30	°C
2 Temperatura media radiante	t_r	+10 ÷ + 40	°C
3 Pressione parziale del vapore acqueo	p_a	0 ÷ 2700	Pa
4 Velocità relativa dell'aria	V_{ar}	0 ÷ 1	m/s
5 Attività o dispendio metabolico	M	0,8 ÷ 4	met
6 Isolamento termico del vestiario	I_{cl}	0 ÷ 2	clo

1.5. IL DISAGIO TERMICO LOCALE

L'indice PMV indica l'impatto dell'ambiente termico sul corpo umano nel suo complesso, ma anche se il PMV prevede una neutralità termica in un ambiente, si può verificare una situazione di *discomfort* dovuta a un indesiderato riscaldamento o raffreddamento localizzato in qualche parte del corpo (disagio locale). La condizione termica espressa, pertanto, dai valori del PMV non è sufficiente ad accertare il benessere termico in un ambiente confinato. Occorre, infatti, soddisfare altri requisiti relativi al disagio locale che – è opportuno precisarlo – risulta maggiormente avvertito da persone impiegate in lavori sedentari.

Quindi, accanto al *discomfort* globale, sufficientemente descritto dalla distanza

da una condizione di neutralità termica del corpo umano, sono stati evidenziati numerosi fattori di *discomfort* locale legati alla presenza di disomogeneità nel riscaldamento o raffreddamento del corpo umano, e più precisamente alla presenza di:

- correnti d’aria;
- un gradiente verticale di temperatura;
- pavimenti con temperatura eccessivamente alta o bassa;
- asimmetria radiante.

Si riportano, a puro titolo indicativo, alcuni valori limite per ciascuno dei fattori di *comfort* locale suggeriti nella precedente versione della norma UNI EN ISO 7730:1997, ai quali viene associata una percentuale di soggetti disturbati (PD), come mostrato nella tabella 1.3.

Tabella 1.3. Valori limite per gli indici di comfort locale secondo la precedente versione della norma UNI EN ISO 7730:1997

Parametro	Limite massimo o intervallo di accettabilità	Percentuale di disturbati
Correnti d'aria	$v_{al} < 0,15 \text{ m/s (20°C)}$ $v_{al} < 0,25 \text{ m/s (26°C)}$	15%
Differenza verticale di temperatura	$\Delta t_{av} < 3°C$	5%
Temperatura del pavimento	$19 < t_f < 29°C$	10%
Radiazione asimmetrica	$\Delta t_{pr} < 10°C$ verticale $\Delta t_{pr} < 5°C$ orizzontale	5%

1.6. REQUISITI DI COMFORT PER GLI AMBIENTI TERMICI MODERATI

La nuova versione della norma UNI EN ISO 7730:2006 introduce tre classi di qualità (A, B, C) relativamente al *comfort* degli ambienti moderati che, nell’ordine, sono caratterizzate da requisiti sempre meno stringenti, ovvero da intervalli ammessi per gli indici di qualità via via più grandi. Questo schema a tre classi si applica sia agli indici di *comfort* globale (PMV e PPD) sia agli indici di *discomfort* locale (PD), come mostrato nella tabella 1.4.

Tabella 1.4. Valori limite per gli indici di comfort globale locale. Valori massimi ammissibili delle percentuali di insoddisfatti da discomfort globale (PPD) e locale (PD)

Classe	Comfort globale		Disagio termico localizzato			
	PMV	PPD	PD per correnti d’aria	PD per gradiente verticale T	PD per T pavimento	PD per asimmetria radiante
A	- 0,2 + + 0,2	< 6%	< 15%	< 3%	< 10%	< 5%
B	- 0,5 + + 0,5	< 10%	< 20%	< 5%	< 10%	< 5%
C	- 0,7 + + 0,7	< 15%	< 25%	< 10%	< 15%	< 10%

Alcuni di questi criteri sono eccessivamente severi e di difficile applicazione pratica, considerata l'incertezza che grava su alcune delle quantità che intervengono nel calcolo degli indici.

1.7. REQUISITI LEGISLATIVI E NORMATIVI

Gli ambienti degli edifici devono osservare i requisiti prescritti dai locali regolamenti edilizi (talvolta, anche dai regolamenti comunali di igiene) che, solitamente, si limitano – per ciò che riguarda il benessere termoisometrico – a fissare una temperatura minima da garantire nella stagione invernale.

Poiché, infatti, tra le fonti legislative è necessario considerare anche quelle locali (leggi regionali, regolamenti comunali di igiene e regolamenti edilizi) e questi testi possono differire, talvolta in modo sostanziale, da regione a regione e da comune a comune, è necessaria una loro attenta consultazione prima di impostare o valutare un progetto.

In generale i locali di tutte le categorie di edifici devono disporre di:

- aria salubre in quantità sufficiente, anche ottenuta con impianti di ventilazione forzata;
- aperture sufficienti per un rapido ricambio d'aria.

Nelle tabelle da 1.5 a 1.8 viene riportato uno schema riassuntivo dei requisiti (i valori evidenziati in grassetto) e degli standard prestazionali (i valori non in grassetto), previsti dalle fonti legislative e normative.

Il riassunto dei requisiti termoisometrici è differenziato per categorie di attività svolte negli edifici (di pubblico spettacolo, commerciali, scolastici, sanitari, industriali, uffici), e per diversi gruppi di attività specifiche e tipologie di locali. Nel caso dei locali adibiti a pubblico spettacolo (si consulti la tabella 1.5), i riferimenti tecnici dei parametri termoisometrici (e di rinnovo e qualità dell'aria) sono le norme UNI 10339:1995 e UNI EN ISO 13779:2008². Le condizioni termiche e isometriche di progetto presentano valori differenziati per la stagione invernale e per quella estiva; per la stagione invernale la temperatura a bulbo asciutto è $\geq 20^{\circ}\text{C}$ (ma su questo parametro prevalgono, ove presenti, le indicazioni legislative dei regolamenti locali) e l'umidità relativa è compresa tra 35% e 45%; per la stagione estiva la temperatura a bulbo asciutto è $\geq 26^{\circ}\text{C}$ e l'umidità relativa risulta compresa tra 50% e 60%. La norma UNI 10339:1995 prevede che qualora il progettista ritenga necessario adottare condizioni differenti da quelle riportate e in particolare temperature minori di 20°C in inverno e maggiori di 26°C in esta-

² UNI 10339:1995: Impianti aerulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.

UNI EN ISO 13779:2008: Ventilazione degli edifici non residenziali. Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione.

te, debba espressamente segnalare tale fatto, dandone adeguata giustificazione e verificando che si ottengano egualmente condizioni di benessere. La verifica va eseguita in accordo con la procedura della UNI EN ISO 7730:2006, in base alla classe di ambiente richiesta.

Relativamente alla velocità dell'aria, misurabile nel volume convenzionale occupato, nelle principali tipologie di locali adibiti a pubblico spettacolo, si possono individuare valori compresi nel *range* 0,05÷0,25 m/s, con minime differenze tra riscaldamento e condizionamento estivo. La distribuzione dell'aria deve garantire che il flusso d'aria immesso si misceli convenientemente con tutta l'aria ambiente. Nei locali di stazionamento possono essere installate griglie di estrazione o di ripresa, purché la loro ubicazione sia il più lontano possibile dai luoghi di normale permanenza delle persone. In questi casi è tollerata una velocità massima di 0,30 m/s in corrispondenza della superficie luogo dei punti distanti 0,60 m dal perimetro della griglia.

Le prestazioni richieste agli impianti di climatizzazione nei locali commerciali e assimilabili, riassunte nella tabella 1.6, sono desumibili dalla norma UNI 10339:1995.

Per l'edilizia scolastica (i cui requisiti termoigrometrici sono riportati nella tabella 1.7) è necessario ricordare che il D.M. 18/12/75, per tanti anni riferimento per le prestazioni relative agli edifici destinati ad edilizia scolastica, è stato abrogato dalla legge 23/96 che "in sede di prima applicazione e fino all'approvazione delle norme regionali di cui al comma 2" (dell'articolo 5 della stessa legge), ne ha comunque mantenuto in vita il testo come indicazione tecnica. Dopo aver affermato che ad una prima analisi non si sono identificati testi di legge regionale che superino il D.M. 18/12/75, si raccomanda comunque una verifica nell'ambito della propria regione per quello che, se presente, costituirebbe una fonte di requisiti (obbligatori) da rispettare. Nella loro valenza attuale, invece, le specifiche tecniche del D.M. 18/12/75 sono da considerarsi alla stregua di una norma di buona tecnica di valore equivalente alla UNI 10339:1995, normativa che riguarda anche questa categoria di edifici.

Per quanto concerne i requisiti termoigrometrici delle strutture ospedaliere – evidenziati nella tabella 1.8 – il principale riferimento legislativo è stato per lungo tempo la C.M. 13011/74 che è tuttora in vigore per le prescrizioni relative essenzialmente alla degenza e ai servizi privi di specifiche necessità. In essa è previsto che in tutti i reparti ospedalieri, compresi i servizi, sia mantenuta una temperatura invernale $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ salvo diverse prescrizioni per locali di particolare destinazione; è previsto anche che – nelle camere di degenza, nei locali a uso collettivo e se possibile anche nei disimpegni – nel periodo invernale debba essere assicurata, mediante un trattamento di umidificazione dell'aria di ventilazione, una UR compresa tra 35 e 45%.

Il D.P.R. 14/01/97 ha introdotto ulteriori requisiti per quanto riguarda la tempe -

Tabella 1.5. Categoria pubblico spettacolo, attività ricreative e associative

Tipologia dei locali		Inverno			Estate		
		T (°C)	UR (%)	V _a (m/s)	T (°C)	UR (%)	V _a (m/s)
Cinema, Teatri, Sale per Congressi/Riunioni	Zone pubblico	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Palcoscenici, studi TV	14+30	40+70	1,0	14+30	40+70	1,0
	Atri, sale d'attesa, bar	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
Mostre, Musei, Biblioteche	Sale mostre, pinacoteche, musei	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Sale lettura biblioteche	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Depositi libri	Da fissare in funzione delle specifiche esigenze					
Bar, Ristoranti, Sale da ballo	Bar	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Pasticcerie	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Sale pranzo ristoranti/self-service	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Cucine	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Sale da ballo	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
Altri tipi di locali	Servizi	20±2	35÷45	² 0,15	26	50+60	² 0,15
Tutti i tipi di locali	Zone per fumatori	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20

Tabella 1.6. Categoria di edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili

Tipologia dei locali		Inverno			Estate		
		T(°C)	UR (%)	V _a (m/s)	T (°C)	UR (%)	V _a (m/s)
Grandi magazzini	Piano interrato	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Piani superiori	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
Negozii o reparti di grandi magazzini	Barbieri, saloni di bellezza	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Abbigliamento, calzature, mobili	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Ottici, fioristi	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Fotografi	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Alimentari	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Farmacie	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Lavasecco	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
Alberghi e pensioni	Ingresso, soggiorni	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Sale conferenze (piccole)	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Auditori (grandi)	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Sale da pranzo	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Camere da letto	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
Altri ambienti	Zone pubbliche delle banche	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05+0,20
	Borse	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Quartieri fieristici	20±2	35÷45	0,10+0,20	26	50+60	0,10+0,20
	Attese stazioni e metropolitane	20±2	35÷45	0,05+0,15	26	50+60	0,05 +0,20
	Autorimesse, autosili	Valori non previsti o non necessari					
	Servizi	20±2	35÷45 ²	0,15	26	50+60	² 0,15

Tabella 1.7. Categoria edilizia scolastica

Tipologia dei locali		Inverno			Estate		
		T (°C)	UR (%)	V _a (m/s)	T (°C)	UR (%)	V _a (m/s)
Aule	Asili nido e scuole materne	20±2	35÷45	² 0,10	26	50÷60	² 0,10
	Scuole elementari	20±2	35÷45 ²	0,10	26	50÷60	² 0,10
	Scuole medie inferiori	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	5÷60	0,05÷0,20
	Scuole medie superiori	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	50÷60	0,05÷0,20
	Università	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	50÷60	0,05 ÷0,20
Altri locali	Laboratori	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	50÷60	0,05 ÷0,20
	Palestre	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	50÷60	0,05 ÷0,20
	Refettori	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	50÷60	0,05 ÷0,20
	Biblioteche, sale lettura	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	50÷60	0,05 ÷0,20
	Sale insegnanti	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	50÷60	0,05 ÷0,20
	Ambienti di passaggio	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	50÷60	0,05 ÷0,20
	Servizi igienici	20±2	35÷45	0,05÷0,15	26	50÷60	0,05÷0,20

ratura e l'umidità relativa invernali ed estive, i ricambi d'aria e l'efficienza dei filtri nei reparti ospedalieri.

Relativamente alle case di cura private i parametri termoigrometrici vengono individuati principalmente dai D.M. 05/08/77, D.P. C.M. 27/06/86 e D.M. 16/06/90.

Da questi riferimenti è possibile trarre che relativamente alle sale di degenza e di soggiorno la temperatura dell'aria non dovrà essere inferiore a 20 °C con numero di ricambi d'aria non inferiore a due all'ora, e a 22°C con un numero di ricambi d'aria pari a tre per le sale di visita e medicazione. Nei locali di servizio (servizi igienici, cucinette ecc.) la temperatura dell'aria deve essere compresa tra 17 e 19°C con un numero minimo di quattro ricambi d'aria all'ora.

Per quanto concerne la velocità dell'aria espressa nel volume convenzionale occupato, nelle principali tipologie delle strutture ospedaliere, si possono individuare valori compresi nel range 0,05÷0,25 m/s. In particolare, la velocità distinta per riscaldamento e raffrescamento, in relazione anche alle condizioni termoigrometriche di progetto, all'abbigliamento e all'attività fisica dei presenti (in modo da soddisfare i criteri di benessere), può essere sostanzialmente individuata negli intervalli 0,05 a 0,20 m/s per il riscaldamento e da 0,05 a 0,25 m/s per il raffrescamento.

Una specifica norma sugli impianti di ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata è in fase di pubblicazione per i blocchi operatori negli ospedali³.

³ Proposta di norma CTI-AICARR sugli impianti di ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata per i blocchi operatori (gruppo di lavoro AICARR SC05/GC01/GL03).