

GLI IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE PER IL BENESSERE E LA SICUREZZA DEGLI UTENTI

Giorgio Raffellini, Gianfranco Cellai

Dipartimento Tecnologie dell'Architettura e Design "*Pierluigi Spadolini*"
Università di Firenze

1 - PREMESSA

Benessere e sicurezza degli utenti sono requisiti da sempre considerati primari, anche se il loro soddisfacimento viene spesso sacrificato da "*superiori*" necessità tecniche, ma soprattutto economiche. Il progresso civile, e di conseguenza le leggi e le norme, hanno tuttavia indotto una sempre maggiore sensibilità degli utenti verso tali aspetti, tanto che oggi i loro livelli di accettabilità sono considerati irrinunciabili, e pertanto richiamati espressamente in capitolati, contratti d'appalto e, come tali, oggetto di verifiche nel collaudo.

Per tali aspetti, nel settore legislativo, si può identificare temporalmente una svolta nell'anno 1988: il 21 dicembre 1988 il Consiglio delle Comunità Europee emanò la direttiva 89/106/CEE relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i materiali e prodotti da costruzione, ivi compresi gli impianti, il cui regolamento di attuazione è stato emanato in Italia con il decreto n° 246 del 21 aprile 1993 [1,2].

In particolare nella suddetta direttiva CEE sono stati definiti i seguenti requisiti essenziali che devono essere soddisfatti: sicurezza nell'uso, condizioni termicamente ed acusticamente confortevoli, contenimento dei consumi energetici per la salvaguardia dell'ambiente, qualità dell'aria interna accettabile.

In particolare, gli impianti aeraulici possono potenzialmente soddisfare al meglio le richieste dell'utenza, in quanto sono deputati ad assicurare il controllo dei parametri termoigrometrici e la purezza dell'aria interna, ricambiata meccanicamente, ma ciò richiede che sia approfondita la conoscenza delle relazioni che vengono a stabilirsi tra gli aspetti tecnologici, progettuali e manutentivi degli stessi e gli aspetti connessi al benessere ed alla sicurezza nell'uso.

2 - L' EVOLUZIONE NORMATIVA

Mentre nel settore del benessere termoigrometrico occorre riferirsi sostanzialmente alla normativa tecnica, sicurezza in genere ed in particolare il controllo del rumore sono stati oggetto anche di specifiche disposizioni legislative, considerato il loro evidente obiettivo primario di tutela della *salute* degli utenti.

Nelle tabelle seguenti I e II si riportano alcune delle più importanti e relativamente recenti Leggi e Norme inerenti gli argomenti di trattazione.

Tabella I: Principali norme e leggi in materia di benessere e qualità dell'aria

Normativa tecnica sul benessere termico e qualità dell'aria
<p>UNI EN ISO 773 (1997) Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifiche per le condizioni di benessere termico.</p> <p>UNI EN 27243 (1996) Ambienti caldi. Valutazione dello stress termico per l'uomo negli ambienti di lavoro, basata sull'indice WBGT (temperatura a bulbo umido e del globotermometro).</p>
Normativa tecnica sulla qualità dell'aria
<p>CTI-prN 5/716(2001) Requisiti igienici per le operazioni di manutenzione degli impianti di climatizzazione.</p> <p>UNI ENV 12097 (1999) Ventilazione negli edifici - Rete delle condotte - Requisiti relativi ai componenti atti a facilitare la manutenzione delle reti delle condotte.</p> <p>EUROVENT 12/1 (1996) Product related indoor air quality problems.</p> <p>UNI 10339 (1995) Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.</p> <p>ISO 6879 (1995) Air quality. Performance characteristics and related concepts for air quality measuring methods.</p> <p>ISO 7708 (1995) Air quality. Particle size fraction definitions for health-related sampling.</p> <p>ASHRAE 62-1989R (1989) Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.</p>
Normativa tecnica sul controllo del rumore prodotto da impianti
<p>UNI 8199 (1998) Collaudo acustico degli impianti di climatizzazione e ventilazione. Linee guida contrattuali e modalità di misurazione.</p> <p>UNI EN 25136 (1995) Determinazione della potenza sonora immessa in condotto da ventilatori. Metodo con ventilatore inserito in condotto.</p> <p>EUROVENT 8/10 (1992) Practical guidelines for flow-generated noise in selected elements.</p> <p>UNI EN 25135 (1992) Determinazione dei livelli di potenza sonora emessi dalle bocchette di mandata-ripresa d'aria, dalle cassette di raccordo alta-bassa velocità e alta-bassa pressione e delle serrande di taratura e non ritorno, mediante misura in camera riverberante.</p> <p>UNI 9432 (1989) Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro</p>

Legislazione sulla qualità dell'aria
<p>D.P.R. 24.5.1988 - n. 203 (G.U. n. 140 del 16.6.1988) Attuazione delle direttive CEE concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali ai sensi dell'art. 15 della legge 16.4.1987 n. 183.</p> <p>D.P.C.M. 21.7.1989 Atto di indirizzo e di coordinamento alle Regioni ai sensi dell'art. 9 della legge 8.7.1986 n. 349, per l'attuazione e l'interpretazione del D.P.R. 24.5.1988 n. 203, recante norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti e di inquinamento prodotto da impianti industriali.</p> <p>D.M. 25/11/94 Livelli di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici.</p> <p>D.P.R. 14.01.1997 (G.U. n.42 suppl. del 20.02.1997) Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento alle regioni in materia di requisiti strutturali, tecnologici e organizzativi minimi per l'esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture pubbliche e private.</p> <p>ISPESL Dipartimento di Igiene del Lavoro (1999)"Linee guida per la definizione degli standard di sicurezza e di igiene ambientale dei reparti operatori" .</p> <p>Conferenza permanente Stato-Regioni (G.U. n°103 del 5.5.2000) Documento 4 aprile 2000 – Linee guida per la prevenzione e il controllo della legionellosi.</p>
Legislazione sul controllo del rumore prodotto da impianti
<p>L. 26.10.1995 - n. 447 (G.U. n. 254 del 30.10.1995) Legge-quadro sull'inquinamento acustico.</p> <p>D.P.C.M. 5.12.1997 Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.</p>

Tabella II: Legislazione principale in materia di sicurezza

<p>D.P.R. 27.4.1955 - n. 547 (G.U. n. 158 del 12.7.1955) Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro.</p> <p>D.P.R. 19.3.1956 - n. 302(G.U. n. 105 del 30.4.1956) Norme di prevenzione degli infortuni sul lavoro integrative di quelle generali emanate con D.P.R. 27.4.1955, n. 547.</p> <p>D.P.R. 19.3. 1956 - n.303 (G.U. n. 105 del 30.4.1956) Norme generali per l'igiene del lavoro.</p> <p>L. 7.12.1984 - n.818 (G.U. n.338 del 10.12.1984) Nulla osta provvisorio per le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi, modifica degli artt. 2 e 3 della Legge 4 marzo 1982 n.66 e norme integrative dell'ordinamento del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.</p> <p>D.M. 8.3.1985 (G.U. n. 95 del 22.4.1985) Ministero dell'Interno - Direttive sulle misure più urgenti ed essenziali di prevenzione incendi ai fini del rilascio del nullaosta provvisorio di cui alla Legge 7.12.1984 n. 818.</p> <p>Lett. Circ. 10.10.1986 - n. 20465/4101 Ministero dell'Interno - Prevenzione incendi e sicurezza del lavoro.</p> <p>L. 5.3.1990 - n. 46 (G.U. n. 59 del 12.3.1990) Norme per la sicurezza degli impianti.</p>

D.Lgs. 15.8.1991 - n. 277 (G.U. n. 200 del 27.8.1991)
Attuazione delle direttive CEE in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell'art. 7 della legge 30 luglio 1990, n. 212.

D.P.R. 6.12.1991 - n. 447 (G.U. n. 38 del 15.2.1992)
Regolamento di attuazione della legge 5 marzo 1990, n. 46 in materia di sicurezza degli impianti.

D. Lgs. 25.1.1992 - n. 77 (G.U. n. 36 del 13.2.1992)
Attuazione della direttiva n. 88/364/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro.

D.M. 20.2.1992 (G.U. n. 49 del 28.2.1992)
Approvazione del modello di dichiarazione di conformità dell'impianto alla regola d'arte, di cui all'art. 7 del regolamento di attuazione della legge 5 marzo 1990, n. 46 recante norme per la sicurezza degli impianti.

D.Lgs. 19.9.1994 - n. 626 (G.U. n. 265 del 12.11.1994)
Attuazione delle direttive CEE, riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro.

D.Lgs. 17.3.1995 - n. 115 (G.U. n. 92 del 20.4.1995)
Attuazione della direttiva 92/59/CEE relativa alla sicurezza generale dei prodotti.

D.Lgs. 19.3.1996 - n. 242 (G.U. n. 104 del 6.5.1996)
Modifiche ed integrazione al Decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, recante attuazione di direttive comunitarie riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro.

Esaminando le tabelle suddette si individuano, sostanzialmente, norme a carattere comunitario (post-1988), conseguenti all'attuazione di direttive, che si distinguono da quelle aventi ambito di riferimento nazionale, soprattutto per il progressivo spostamento degli strumenti di azione da prestazionali ad essenziali.

Comunque, vere pietre miliari nel settore, sono state le disposizioni di legge in merito alla prevenzione incendi (v. legge 818/84), alle realizzazioni impiantistiche (v. legge 46/90 e 10/91) ed alla attuazione delle direttive CEE per la tutela dei lavoratori (v. legge 626/94). Tra le più recenti ed innovative disposizioni legislative devono invece essere menzionate le norme per il controllo della rumorosità degli impianti e, limitatamente agli aspetti tecnici, la ormai raggiunta consapevolezza della necessità della manutenzione igienica degli impianti aerulici.

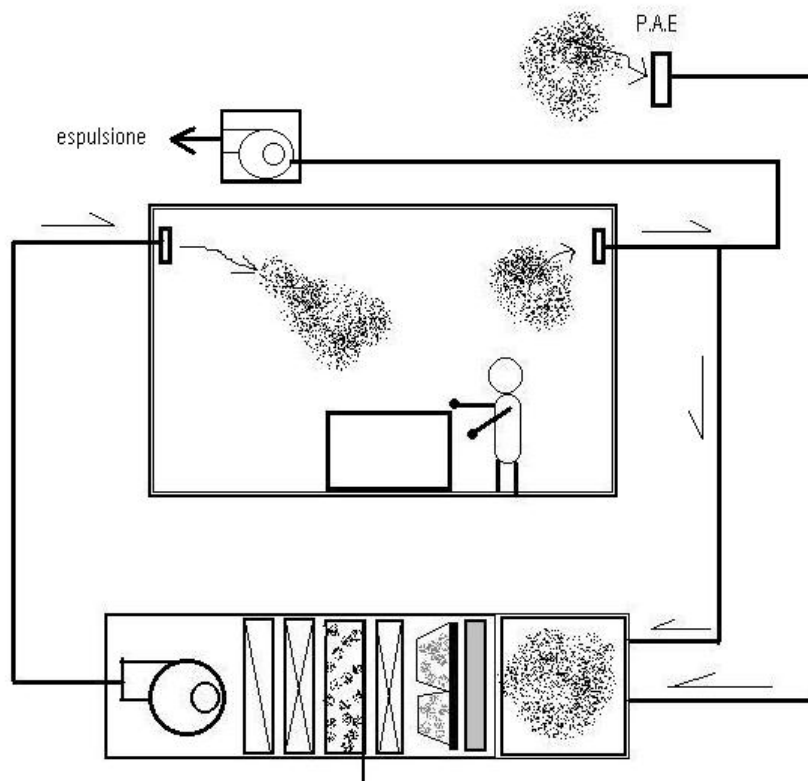
Infine meritano menzione le iniziative assunte da talune Regioni che non hanno esitato a rivendicare un proprio ruolo di orientamento e controllo nei settori edilizio ed impiantistico emanando apposite linee guida: si cita ad esempio la Normativa Tecnica Regionale dell'Emilia-Romagna del 1984 e le successive iniziative quali la emanazione di un Regolamento edilizio tipo del 1990, 1995 e 2001, tesa ad unificare, omogeneizzare, correggere e rendere congruenti i vari regolamenti edilizi esistenti che, spesso, riportano prescrizioni assurde e finanche controproducenti per gli scopi che intendono perseguire.

3 - LE COMUNI CONFIGURAZIONI IMPIANTISTICHE

Premesso che molteplici sono le possibilità tecniche e le varianti per la realizzazione di tali tipologie impiantistiche, in **figura 1** è rappresentato un tipico impianto di climatizzazione costituito da:

- unità di trattamento aria;
- sistema aeraulico di distribuzione ed estrazione dell'aria dagli ambienti;
- terminali di immissione e ripresa (anemostati e/o bocchette);
- sistema di regolazione e controllo dei parametri in gioco (temperatura, portata aria, ecc.).

Figura 1: Composizione tipica di un impianto di climatizzazione dell'aria

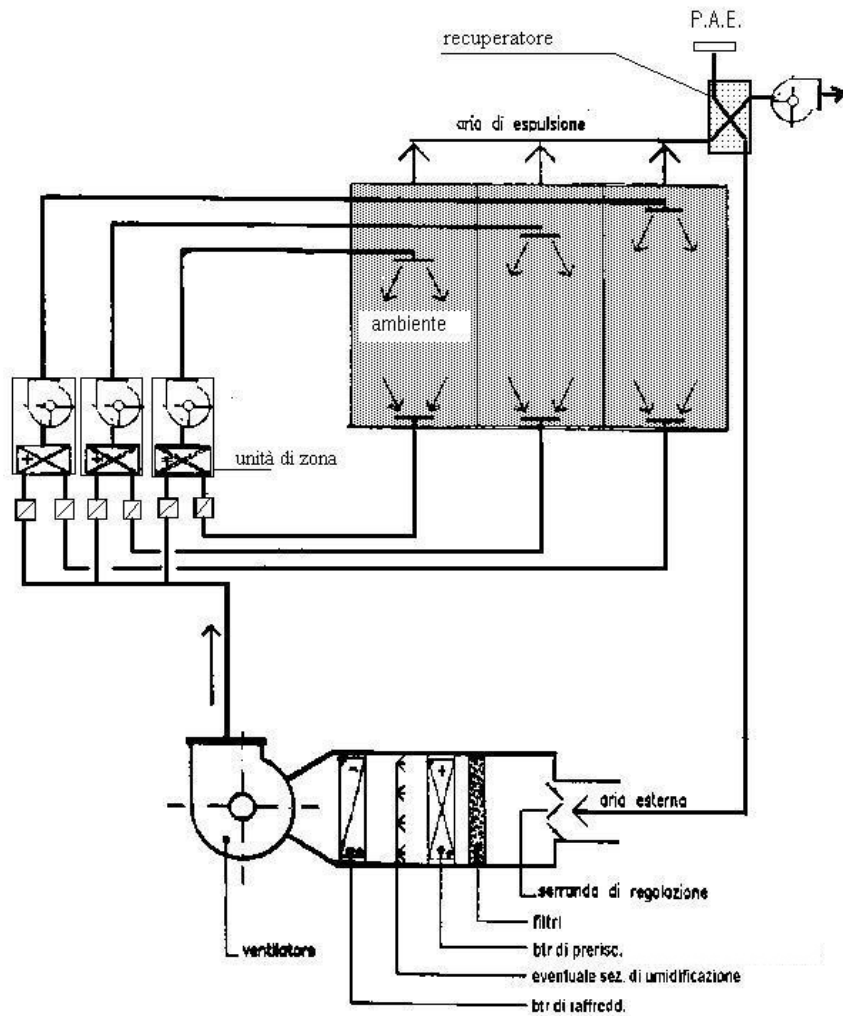


A corredo dell'unità di trattamento dell'aria vi sono poi il generatore di calore ed un gruppo frigorifero che alimentano rispettivamente le batterie di scambio termico calde e fredde, con eventuali varianti costituite da batterie elettriche, batteria a scambio diretto con bruciatore a gas, batteria a condensazione (pompa di calore). Può talora essere utile la possibilità di regolare le portate d'aria su livelli distinti in

funzione del periodo del giorno e/o dell'occupazione degli ambienti (es. impianti a zone e/o a portata variabile: VAV).

La vigente legislazione in materia di risparmio energetico, per i nuovi impianti e la ristrutturazione di quelli esistenti, ha imposto una contabilizzazione indipendente dei consumi per cui l'unica configurazione possibile per gli impianti centralizzati che servono distinte unità immobiliari rimane quella di tipo multizona (v. **figura 2**), con una batteria per ciascun ambiente e regolazione/contabilizzazione indipendente, del resto necessaria per soddisfare le esigenze di utenze distinte.

Figura 2: Schema funzionale di impianto a zone con ricircolo locale e recuperatore di calore

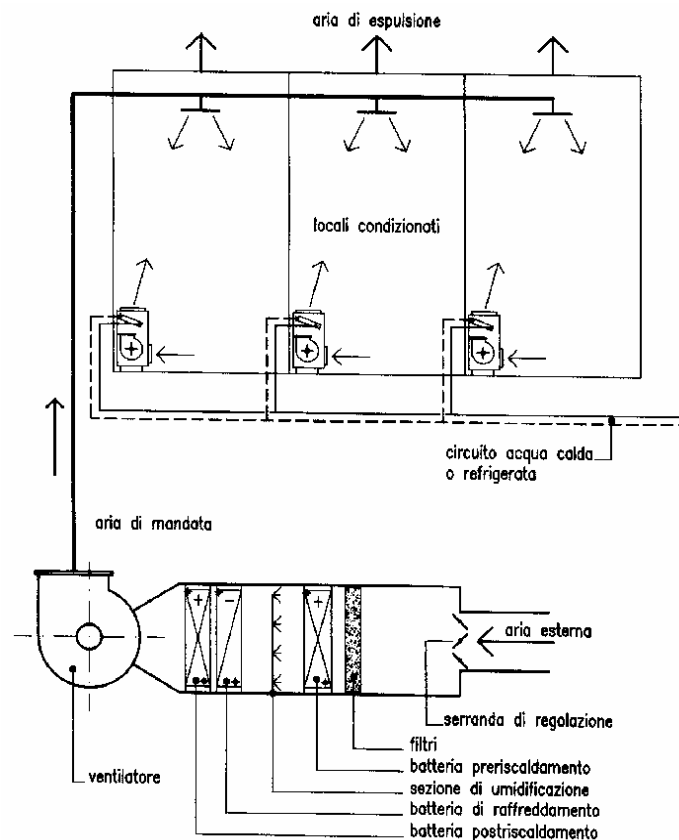


In definitiva l'impianto di climatizzazione si distingue dalle altre tipologie impiantistiche per la possibilità di assicurare, oltre al controllo della temperatura, un ricambio minimo prestabilito dell'aria ambiente, con filtrazione dell'aria esterna, in accordo con la UNI 10339.

A partire dalla suddetta configurazione base si possono inserire tutta una serie di apparecchi e soluzioni alternative che possono essere sinteticamente così elencate:

- inserimento di una batteria ausiliaria alimentata dal solare in inverno;
- preriscaldamento dell'aria di ripresa e/o esterna con un recuperatore di calore;
- dispositivi di regolazione automatica delle portate d'aria (serrande motorizzate sui terminali) per il controllo della temperatura dei locali maggiormente esposti all'irraggiamento solare al fine di evitare il surriscaldamento degli stessi, così come previsto dal DPR 412/93;
- uso dell'aria per la sola ventilazione e controllo della temperatura con terminali in ambiente (impianti misti cfr. **figura 3**); tipicamente ventilconvettori.

Figura 3: Schema funzionale di impianto misto a ventilconvettori



A seconda della possibilità o meno di ricircolo dell'aria ambiente si hanno poi :

- impianti ad aria primaria e/o con ricircolo (in genere circa l'80% dell'aria ambiente è ricircolata); tale soluzione presenta una variante sempre più diffusa in ambito alberghiero e terziario, costituita dall'immissione dell'aria primaria direttamente nei terminali posti in controsoffitto (tipicamente ventilconvettori), con possibilità di miscelare l'aria ambiente con quella esterna direttamente nel terminale stesso (v.figura 3).
- impianti a tutt'aria esterna (ambienti ospedalieri o industriali).

4 - GLI IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE PER IL BENESSERE E LA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA

Teoricamente ogni impianto di climatizzazione è in grado di assicurare condizioni di benessere, tuttavia esse sono legate anche ad altri fattori che coinvolgono direttamente il sistema edilizio. In particolare la presenza o meno di efficaci schermature all'irraggiamento solare, la presenza di grandi superfici vetrate, le tipologie di parete e di solai esterni, unitamente alle caratteristiche di isolamento ed inerzia termica, la presenza di ponti termici, influenzano sensibilmente la temperatura delle superfici interne e conseguentemente lo scambio termico per irraggiamento tra queste e le persone, che assume sempre in tali casi valori significativi.

Viceversa lo scambio termico dell'aria immessa è di tipo convettivo, ed interessa prevalentemente la temperatura dell'aria, mentre ha scarsa influenza sulla temperatura media radiante, che è da porsi in relazione con le temperature superficiali.

L'efficienza dello scambio termico è poi legata alle modalità di introduzione ed estrazione dell'aria dall'ambiente, per cui gli effetti dell'impianto di climatizzazione possono essere limitati sia da una cattiva progettazione dell'involucro edilizio, sia da una errata disposizione dei terminali di immissione (zone di ristagno, stratificazione dell'aria, ecc.). Si possono sintetizzare gli effetti termici dei fenomeni suddetti mediante la temperatura operativa che, in certi casi con buona approssimazione, è pari alla media tra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante.

Altro rischio da non trascurare è quello relativo alle correnti d'aria, specialmente nella stagione estiva, poiché l'aria fredda che investe il corpo, o peggio in prevalenza alcune parti di esso, è mal tollerata dalle persone, che riportano anche danni temporanei (malattie da raffreddamento), e cronici (artriti, reumatismi, cervicale).

Altri parametri da assumere a riferimento per un giudizio sulle condizioni di benessere termico sono riportati nella **Tabella III**.

Tabella III: Livelli di prestazione secondo la UNI EN ISO 7730¹

INDICE	DESCRIZIONE	VALORI RACCOMANDATI CONDIZIONI INVERNALI	VALORI RACCOMANDATI CONDIZIONI ESTIVE	INDIVIDUI INSODDISFATTI (%)
D.R.	Percentuale di insoddisfatti dovuta a correnti d'aria, funzione della velocità dell'aria	-	≤15%	≤ 15
θ_o	temperatura operativa ²	$20 \leq \theta_o \leq 24^\circ\text{C}$	$23 \leq \theta_o \leq 26^\circ\text{C}$	≤ 10
$\Delta\theta_{1,1-0,1}$	differenza verticale di temperatura dell'aria fra 1,1 m e 0,1 m	≤ 3°C	≤ 3°C	≤ 5
θ_p	temperatura superficiale del pavimento	$19^\circ\text{C} \leq \theta_p \leq 29^\circ\text{C}$	$19^\circ\text{C} \leq \theta_p \leq 29^\circ\text{C}$	≤ 10
$\Delta\theta_{\text{prv}}$	asimmetria della temp. radiante dovuta a finestre o altre sup. fredde	≤ 10°C	-	≤ 5
$\Delta\theta_{\text{pro}}$	asimmetria della temp. radiante dovuta a soffitto caldo (riscaldato)	≤ 5°C	-	≤ 5
u.r.	umidità relativa	40 – 60%	40 – 60%	-

¹valori riferiti ad attività sedentaria o leggera ($M \leq 1,2$ met) con vestiario avente resistenza termica in inverno ed estate rispettivamente di $I_{cl} = 1$ clo e 0,5 clo

² per il rispetto delle norme vigenti in materia di risparmio energetico la temperatura dell'aria deve essere $\leq 22^\circ$

Condizioni di accettabilità sono però anche poste in merito alla qualità dell'aria interna, con riferimento a valori di concentrazioni di sostanze gassose (CO, CO₂, VOC, ecc.), di particolato (v. **Tabella IV**) e di microrganismi in genere (v. **Tabella V**), fermo restando l'inaccettabilità di agenti patogeni che possono seriamente compromettere la salute delle persone indipendentemente dai livelli di concentrazione[3,4,5].

Tabella IV: Valori di riferimento sulla concentrazione di particolato

CONCENTRAZIONE DI PARTICOLATO DEPOSITATE NELLE CONDOTTE (g/m ²)		
Nordic Ventilation Group (NVG)		
Livello di rischio basso		< 0.2
Livello di rischio medio		0.2 ÷ 0.5
Livello di rischio alto		> 0.5
National Air Duct Cleaners Association (NADCA)		
Livello accettabile (condotte pulite)		< 0.1
Heating and Ventilating Contractors' Association (HVCA)		
Tipologia condotte :		
espulsione		6
ricircolo		1
mandata		1
CONCENTRAZIONE DI PARTICOLATO NELL'ARIA ESTERNA (mg/m ³)		
D.M. 25/11/94 <i>Livelli di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici</i>	LIVELLO DI ATTENZIONE	LIVELLO DI ALLARME
valori di concentrazione riferiti alle 24 ore	0,15	0,30
U.S. EPA (1994)	0,05 ÷ 0,15(pm ₁₀) ⁽¹⁾	
CONCENTRAZIONE DI PARTICOLATO NELL'ARIA INTERNA (mg/m ³)		
FISIAQ (Finnish Society for IAQ)	0,06 (TSP) ⁽²⁾	
ASHRAE -U.S. EPA	0,05 ÷ 0,15(pm ₁₀) ⁽¹⁾	
ASHRAE 62-89	0,075 ÷ 0,26(TSP) ⁽¹⁾	
Canada	0,1 ÷ 0,04 (pm _{2,5}) ⁽³⁾	
Giappone (Maintenance and Sanitation in Buildings)	0,015(pm ₁₀) ⁽⁴⁾	
Olanda	0,04÷0,14(pm ₁₀) ⁽¹⁾	
Norvegia	0,04(pm ₁₀) ⁽⁵⁾ 0,09(TSP) ⁽⁶⁾	
WHO - Europa	0,12(TSP) ⁽⁷⁾	
¹ concentrazioni riferite rispettivamente ad 1 anno (media) e a 24 ore ² particolato totale in sospensione, valore limite riferito a 1 ora assunto valido anche per l'aria nelle condotte ³ valori riferiti rispettivamente ad 1 ora e su lungo periodo ⁴ valore limite riferito a 1 ora ⁵ valore limite riferito a 1 ora ⁶ particolato totale in sospensione, valore limite riferito a 8 ore ⁷ particolato totale in sospensione, valore limite riferito a 24 ore		

Tabella V: interpretazioni sui rischi inerenti concentrazioni di microrganismi

<i>Microrganismo</i>	<i>Concentrazione</i> (UFC/m ³)	<i>Giudizio</i>
Miceti	Agenti patogeni come da <i>allegato XI</i> ² > 50 ≤ 150 ≤ 300	inaccettabili indipendentemente dalla concentrazione non accettabile se vi è una sola specie presente accettabile se presenti più specie accettabile se le principali specie sono del genere <i>Cladosporium</i> o <i>Philloplane</i>
Batteri ¹	Agenti patogeni come da <i>allegato XI</i> ² < 50 50 ÷ 100 101 ÷ 500 501 ÷ 2000 > 2000	inaccettabili indipendentemente dalla concentrazione livello molto basso livello basso medio livello alto livello molto alto
¹ il livello non implica necessariamente un giudizio sul rischio per la salute ² Allegato XI al D.L.vo 626/94 <i>Elenco degli agenti biologici classificati</i>		

In definitiva gli impianti di climatizzazione presentano in genere potenziali vantaggi, sinteticamente esprimibili in termini di:

- migliori e mirate condizioni di benessere e di qualità dell'aria;
- possibilità di modifica e controllo della temperatura e dell'umidità relativa in ogni ambiente, sia in regime invernale che estivo;
- ricambio forzato e controllato dell'aria ambiente, con possibilità di recupero del calore disperso per ventilazione (risparmi energetici);
- compatibilità con fonti energetiche alternative;
- inerzia termica trascurabile e possibilità di accoppiamento ottimale con altre tipologie di impianto (impianti misti aria-acqua con ventilconvettori e pannelli radianti);
- forte adattabilità alle varie tipologie costruttive, specialmente in zone particolari (vetrate, sensibili emissioni di calore e/o vapore, presenza di inquinanti: es. fumatori);
- unicità di soluzione in situazioni esasperate (camere bianche, ambienti ospedalieri, lavorazioni industriali).

A seconda della destinazione degli ambienti (uffici, scuole, ospedali, ecc.), infatti, la loro presenza è quindi spesso utile, in parecchi casi necessaria, quantomeno per assicurare la ventilazione controllata dei locali: ad esempio se le recenti disposizioni legislative che il Parlamento si appresta a varare in materia di divieto di fumo nei locali pubblici troveranno pratica applicazione; altro aspetto da considerare è che talune attività lavorative non possono rinunciare al controllo del microclima anche in regime estivo: si pensi ad esempio alle sale operatorie, o a quelle attività

produttive che richiedono il controllo simultaneo della temperatura e dell'umidità relativa quali le fabbriche di tessuti non-woven, i locali CED, ecc.

Questi vantaggi possono però essere vanificati, oltre che da inaffidabilità e costi di gestione sproporzionati per errata progettazione o installazione, soprattutto da una qualità dell'aria interna insoddisfacente se non si pone particolare cura nelle varie fasi del processo realizzativi, che devono essere finalizzate anche alla manutenzione igienica degli apparecchi e delle condotte aerauliche in particolare.

Questi aspetti, finora trascurati, a loro volta sono da porsi in relazione con:

- l'accessibilità e manutenibilità della rete aeraulica e dei componenti;
- il controllo della rumorosità, peculiare di tali tipologie impiantistiche;
- l'affidabilità nel tempo dell'impianto;
- la distribuzione e ripresa dell'aria in ambiente .

In anni recenti particolare attenzione è stata posta al controllo della rumorosità degli impianti che di solito risulta critica, considerati i valori stringenti imposti dal DPCM del 5.12.97 in materia di requisiti acustici , a nostro avviso troppo bassi. Inoltre, non è da trascurare nemmeno il rumore immesso all'esterno e prodotto dalle torri evaporative e soprattutto dai condensatori ad aria, divenuti oramai nella maggior parte dei casi le principali sorgenti di rumore a rischio, considerato che la loro collocazione è solitamente all'esterno degli edifici (sulla copertura, a parete, nei cortili). Va sottolineato come i tribunali siano ultimamente oberati da cause promosse da vicini contro gli utilizzatori di impianti.

Tenendo conto delle problematiche accennate si può ritenere che, dove possibile, siano da preferire gli impianti misti, che comportano un minor volume d'aria trattata in circolazione, minori ingombri delle unità di trattamento, dimensioni ridotte delle condotte dell'aria, in generale assenza della rete di condotte per il ricircolo, minori oneri di gestione e manutenzione igienica.

5 - MANUTENZIONE IGIENICA DEGLI IMPIANTI AERAULICI

In ottemperanza alla citata direttiva 89/106, il gruppo di lavoro WG3 "Ductwork del CEN TC 156 "Ventilazione degli edifici", ha prodotto una serie di interessanti documenti [6] che hanno infine trovato sintesi nella ENV 12097 (v. Tabella I).

Nei documenti in questione è stato evidenziato come lo scadimento della qualità dell'aria fosse spesso riconducibile sia ad errori nelle fasi progettuali, costruttiva o installativa, che a trascuratezze manutentive degli impianti di climatizzazione in altri termini gli impianti anziché assicurare il benessere degli individui possono diventare causa di malessere e di vere e proprie patologie.

Molti degli inconvenienti di carattere igienico sono infatti da addebitare al fatto che:

- non si adottano protocolli che prevedano la pulizia dei condotti all'atto dell'installazione;
- si adottano soluzioni progettuali errate sia perché non consentono o limitano fortemente la possibilità di pulizia e manutenzione in generale, sia perché non si prevede nessuna forma di accesso per l'ispezione e la pulizia dei sistemi aeraulici;

- spesso le condotte si costruiscono in cantiere, fatto questo legato spesso a carenze progettuali più che all'insorgere di imprevisti, dove evidentemente non è possibile assicurare una esecuzione qualitativamente soddisfacente;
- si adottano sistemi di filtrazione inadeguati con ritardi nella loro pulizia e/o sostituzione.

Ciò premesso, la ENV 12097 fa riferimento a impianti aeraulici installati in edifici serviti da condotte metalliche realizzate in riferimento alle UNI 10381-1 e 2 [7,8].

Sinteticamente il documento rimanda ad un concetto semplice ed essenziale: *il sistema di distribuzione dell'aria deve essere progettato, costruito ed installato in modo tale da consentire la pulizia di tutte le superfici interne e di tutti i componenti*; la norma ribadisce quindi i principi di validità generale richiamati in precedenza, e propone una serie di avvertenze al fine di assicurare che la manutenzione igienica dei componenti e delle condotte possa avvenire senza particolari difficoltà.

Tali avvertenze possono apparire scontate ma l'esperienza evidentemente suggerisce di non sottovalutarle; a puro titolo esemplificativo di seguito si riportano alcune delle principali prescrizioni contenute nel documento:

- i componenti quali serrande, regolatori di portata, dispositivi di misurazione, strumenti di misura, condotte flessibili, ecc., devono essere montati con modalità da consentire la loro pulizia o comunque collocati in posizione tale da poter essere eventualmente rimossi;
- le aperture di accesso a scopo manutentivo non devono essere ostruite da altri componenti impiantistici quali cavi elettrici, tubazioni, ecc.;
- i componenti che richiedono di essere rimossi per la pulizia devono essere costruiti in modo da agevolare tale operazione; ed infatti molti dei prodotti e componenti di recente realizzazione per la loro commercializzazione mettono in risalto, al pari delle prestazioni, la facilità manutentiva;
- staffaggi, sospensioni, ecc. non devono ostacolare le operazioni di pulizia.

E' indubbio che la parte più innovativa del documento è rappresentata dalle prescrizioni in merito a dimensioni e localizzazione delle aperture che devono essere in quantità e posizione tale da assicurare l'accesso ai componenti e all'intera rete aeraulica al fine della pulizia integrale della stessa.

Una attenzione particolare deve poi essere fatta per il sistema di filtrazione dell'aria: nella maggior parte dei Paesi Europei i filtri sono normalmente classificati e selezionati non sulla base di considerazioni inerenti la qualità dell'aria, ma per proteggere i vari componenti del sistema aeraulico (batterie, ventilatori, umidificatori, ecc.); viceversa occorre considerare tali dispositivi in relazione alla loro efficacia a trattenere, oltre alla polvere, i pollini e tutti gli altri agenti allergeni presenti nell'aria esterna; un'idonea filtrazione può intercettare e trattenere i batteri e perfino i virus e agire efficacemente anche nei confronti del fumo da tabacco. Una filtrazione di qualità comporta certamente costi maggiori di installazione e di gestione, tuttavia alcuni studi hanno dimostrato che l'aumento del costo di una filtrazione più efficace è inferiore a quello della pulizia dei componenti della rete.

Si consiglia pertanto di installare filtri di classe Eurovent EU7 a monte delle unità di trattamento dell'aria, e ulteriori filtri di classe superiore EU8/9 a valle dell'unità e comunque dopo eventuali silenziatori; sui sistemi di ripresa dell'aria dovrebbero essere installati filtri di classe almeno EU7. La UNI 10339 (attualmente in revisione) per gli uffici indica l'installazione di filtri di media efficienza (categoria M) non inferiori a EU4, possibilmente seguiti da filtri di efficienza superiore (categoria A corrispondente alle classi EU da 5 a 9). E' fondamentale infine un loro regolare ricambio in considerazione del fatto che possono generare cattivi odori e diventare sede di concentrazioni elevate di microrganismi.

Infine per quanto attiene la manutenzione si ricorda che un semplice controllo visivo periodico e sistematico dell'intera rete aeraulica costituisce la regola d'oro per assicurare tempestivi ed appropriati interventi di pulizia.

Unitamente alla ENV 12097, i requisiti di pulizia e manutenzione delle unità di trattamento aria e del sistema aeraulico sono oggetto di altra specifica norma in preparazione sia a livello europeo che a livello nazionale: il CTI (Comitato Termotecnica Italiano) nel 2001 ha elaborato una norma (vedi in Tabella I la CTI 5/716), attualmente in inchiesta pubblica, inerente la manutenzione igienica degli impianti aeraulici dove sono indicate le operazioni da effettuare per tipologie di componenti (prese d'aria esterna, unità di trattamento, filtri, batterie, ecc.), la qualificazione e formazione del personale per le suddette operazioni sui componenti, la frequenza con la quale effettuare le ispezioni e manutenzioni: ad esempio per le condotte dell'aria si prevede l'ispezione ogni 12 mesi ed il controllo delle condizioni igieniche ogni 24 mesi.

6 - AGENTI PATOGENI E RISCHI PER LA SICUREZZA DELLE PERSONE

Oltre a problemi di generico malessere o insoddisfazione per le condizioni della qualità dell'aria interna, gli impianti di climatizzazione possono favorire, amplificare e diffondere in ambiente agenti patogeni aerogeni molto pericolosi per la salute delle persone.

Un elenco completo degli stessi, classificati in funzione della pericolosità, è riportato nell'Allegato 1 alla legge 626/94: questa, all'art.6, in merito prescrive ai progettisti, fabbricanti, fornitori ed installatori di impianti di rispettare i principi generali di prevenzione in materia di sicurezza e di salute.

Particolare attenzione è stata posta al rischio legionellosi, la cui possibile fonte è stata da tempo individuata nell'acqua tiepido-calda: quindi nelle tubazioni destinate alla sua distribuzione, nelle torri di raffreddamento, nei condensatori evaporativi e nelle unità di umidificazione, e poi vettoriata in genere dai canali dell'aria. Le linee guida del 4 Aprile 2000, al punto 7, riportano esplicitamente le azioni da intraprendere sugli impianti, che possono essere così sintetizzate:

- azioni preventive per evitare la colonizzazione mediante pulizia periodica degli impianti, manutenzione dei filtri e dei separatori di gocce;

- azioni preventive per evitare la moltiplicazione batterica controllando la temperatura dell'acqua (intervallo critico 25-55°C) ed utilizzando trattamenti biocidi;
- azioni preventive di lungo termine con controlli periodici ed interventi di pulizia di silenzianti, prese d'aria esterna (anche protette dalla pioggia), filtri, batterie di scambio termico, umidificatori, torri evaporative.

Si deve poi raccomandare che nella progettazione degli impianti l'aria proveniente dalle torri di raffreddamento o dai condensatori evaporativi non possa essere ricircolata dalle prese d'aria esterna, che i separatori di gocce sui suddetti componenti siano mantenuti efficienti e che i filtri per l'aria esterna siano mantenuti asciutti. Si segnala che la collocazione delle prese di aria esterna, che di solito vengono posizionate dove capita (da scannafossi, a pavimento, vicino ad estrazioni, sottovento, da davanzali popolati da piccioni), meriterebbe uno studio attento per la posizione igienicamente più opportuna.

Il rischio di contaminazione degli impianti purtroppo deve essere oggi affrontato anche sotto una nuova prospettiva legata alla possibilità di diffusione volontaria di contaminanti. In particolare le azioni terroristiche di contaminazione mediante agenti a trasmissione aerogena, quali l'Antrace, hanno portato drammaticamente in evidenza la questione degli impianti aeraulici visti come strumento di possibile azione terroristica nei confronti di edifici normalmente soggetti ad elevato affollamento e/o rappresentativi sul piano politico, economico e istituzionale [9].

Microrganismi patogeni quali batteri o virus, potenzialmente utilizzabili come armi biologiche, possono essere diffusi nell'ambiente confinato tramite aerosol.

Le goccioline di aerosol con dimensioni pari a $0.5\div 5\ \mu\text{m}$, rimanendo per lungo tempo in sospensione nell'aria, vengono inalate e raggiungono facilmente le basse vie respiratorie trasportando gli agenti patogeni a livello degli alveoli polmonari [10,11,12]. Secondo quanto indicato dal Ministero della Salute [13], gli agenti biologici a diffusione aerogena utilizzabili per azioni di bioterrorismo [14], indicati come Agenti Biologici Categoria A (Alta Priorità), sono principalmente:

- *Virus Variola major* (vaiolo)
- *Bacillus anthracis* (antrace o carbonchio)
- *Yersinia pestis* (peste)
- *Virus delle Febbri Emorragiche* (Ebola, Marburg, Lassa ecc.).

Tali microrganismi rappresentano un rischio elevato per la sicurezza nazionale poiché possono essere disseminati agevolmente e in alcuni casi trasmessi da persona a persona, causando alta morbosità e mortalità con grave impatto sulla sanità pubblica. Inoltre, per alcuni di essi, quali i virus delle Febbri Emorragiche, non sono attualmente disponibili né terapie né vaccini riconosciuti efficaci. Nel caso di dispersione secondaria attraverso gli impianti aeraulici, un elevato numero di persone presenti negli ambienti serviti potrebbe risultare esposta a tali rischi.

Tra i microrganismi citati, quelli che meglio si prestano alla diffusione aerogena attraverso gli impianti aeraulici sono sicuramente le spore di *Bacillus anthracis* in virtù proprio delle loro caratteristiche biologiche di resistenza che gli consentono di

rimanere attivi nell'impianto anche a notevole distanza di tempo dal momento dell'immissione. Fermo restando che sussiste sempre un notevole margine di rischio legato alla pratica impossibilità di effettuare efficaci controlli, nella **figura 4** [9] sono sintetizzate le possibili azioni che si possono intraprendere per ridurre il rischio di contaminazione bioterroristica.

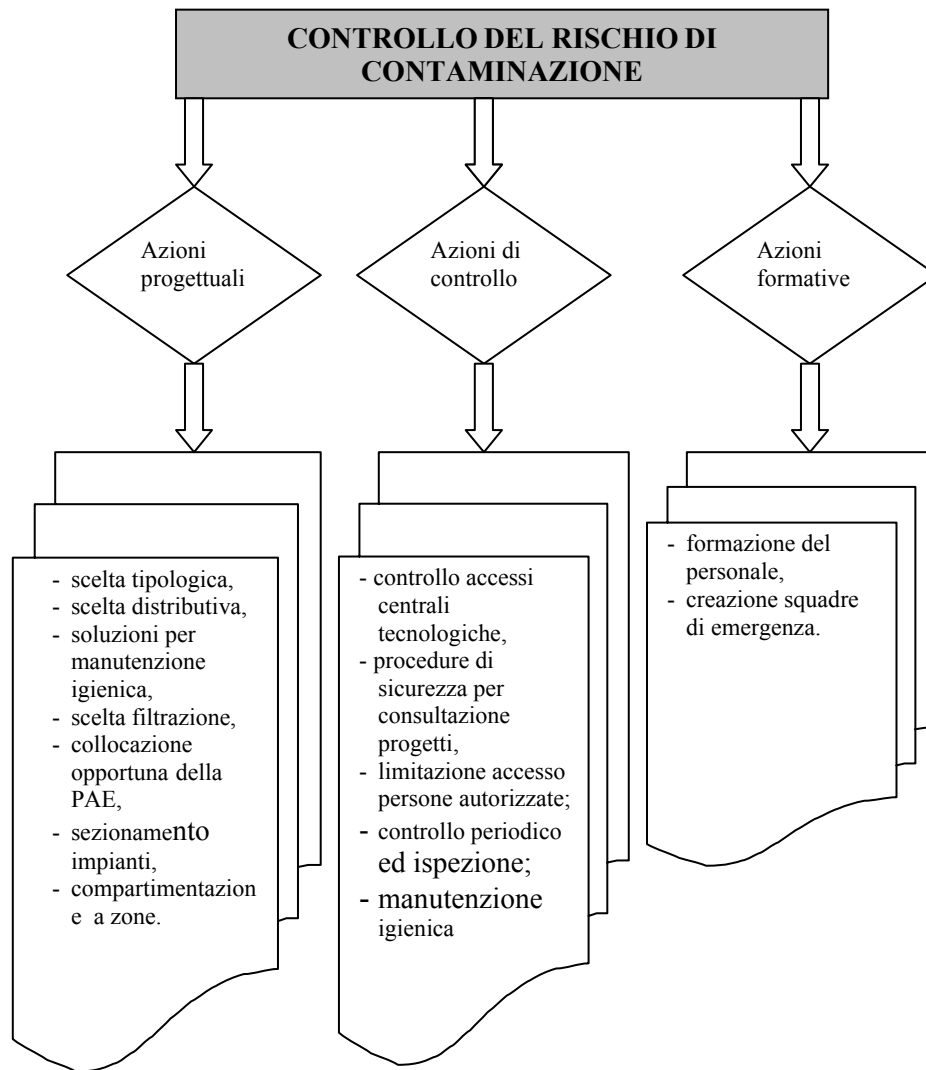


Figura 4: Azioni principali da intraprendere

7 - CONCLUSIONI

Gli impianti di climatizzazione possono costituire una risposta valida, spesso l'unica, alle esigenze fondamentali in materia di benessere termico e soprattutto di qualità dell'aria ambiente: ne fa fede l'evoluzione tecnologica registrata in termini prestazionali e di contenimento dei costi installativi, che li rendono ormai competitivi con i più comuni impianti di riscaldamento, senza contare la loro utilizzazione anche per il raffrescamento estivo, prestazione questa che in futuro sarà sempre più richiesta dall'utenza.

Per contro occorre una assai più attenta progettazione, che si integri con il sistema edilizio e con le caratteristiche ambientali, ma soprattutto occorrerà una maggiore sensibilità in merito alla loro gestione ed alla manutenzione igienica [15,16].

Occorrerà quindi primariamente consentire l'accessibilità dei componenti e delle condotte in particolare, ed alla dotazione delle stesse di idonee aperture in grado di garantire possibilità di pulizia ed ispezione, al fine di evitare che impianti nati per dare benessere possano divenire fonte di malessere, concreto rischio che può destare perplessità e critiche, e quindi porre un freno allo sviluppo del settore.

8 - BIBLIOGRAFIA

- [1] D.P.R. 21.4.93 n°246 "Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione" in G.U. del 22.7.1993 n°170.
- [2] Guida alla direttiva sui materiali da costruzione (1996) - Il Sole 24 Ore.
- [3] Cellai G.F., Raffellini G.(1997)"La qualità dell'aria ambiente in relazione alla progettazione, costruzione, installazione e manutenzione delle condotte dell'aria" in *Atti del Convegno annuale AICARR,291-309,10-11 Aprile, Roma.*
- [4] Alfano G., Cellai G.F., Cennini L., Medori G. (1998) "Studio sperimentale sulle condizioni igieniche di condotte di impianti di condizionamento" in *Atti del Convegno annuale AICARR Condizionamento, Riscaldamento, Refrigerazione: innovazioni e tendenze, 131-144, 27-28 Marzo, Milano.*
- [5] Raffellini G., Cellai G.F., Carletti C.: "Design and installation of ductwork for air quality improvement: sampling methodology to evaluate pollution level" in *Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, vol.2, 187-192,6-10 Agosto 2000.*
- [6] Cellai G.F. (1997)"La progettazione delle condotte dell'aria ai fini della manutenzione" in *CDA, n° 7, 715-729, n°8,789-795.*
- [7] UNI 10381-1(1996) "Impianti aeraulici-*Condotte*-Classificazione, progettazione, dimensionamento e posa in opera".
- [8] UNI 10381-2(1996) "Impianti aeraulici-*Componenti di Condotte* Classificazione, dimensioni e caratteristiche costruttive".
- [9] Cellai G.F., Lo Nostro A., Raffellini G.," La progettazione degli impianti di climatizzazione in relazione al rischio di contaminazione da agenti a trasmissione aerogena" in *Atti del Convegno Internazionale AICARR Qualità ambientale e soluzioni sostenibili ,1-16,(on CD), Milano 7-8 Marzo 2002.*

- [10] Moroni, R. Esposito, F. de Lalla “Manuale di malattie infettive” Ed Masson, 1994.
- [11] Chin J. “Manuale per il controllo delle malattie trasmissibili” Ed. Dea editrice, 2000.
- [12] Murray Patrick R., Baron Ellen JO, Pfaller Michael A. et all.: *Manual of Clinical Microbiology* Sixth edition, 28, 349-356.
- [13] Ministero della Salute – Unità di Crisi: Procedure per la gestione di materiale potenzialmente contaminato da spore di antrace, Roma 23 ottobre 2001.
- [14] CDC Morbidity and Mortality Weekly Report: Notice to readers: *interim Guidelines for investigation of and response to Bacillus anthracis exposure* 50(44); 987-900, 9 november 2001.
- [15] Cellai G.F., Carletti C., G.Raffellini “IAQ in ambiente ospedaliero: definizione di una metodologia di indagine in relazione all’inquinamento degli impianti aeraulici” Parte 1^a in CDA-Condizionamento dell’aria, Riscaldamento, Refrigerazione,35-42, n°6, Giugno 2001; Parte 2^a, 21-29, n°7, Luglio 2001,Elsevier Ed.,Milano.
- [16] Cellai G.F., Carletti C., Raffellini G., Alfano G.:”Air quality and ductwork contamination: survey methodology and acceptable values” in Atti del Convegno *Indoor Environment Technology: towards a global approach*,1-11,(on CD), Napoli 15-18 Settembre 2001.