

# GLI IMPIANTI AEREAULICI AI FINI DEL CONTROLLO DELL'INQUINAMENTO DA POLVERI: MONITORAGGIO, SCELTE PROGETTUALI E TIPOLOGIE MANUTENTIVE DELLE CONDOTTE

Cristina Carletti, Gianfranco Cellai, Giorgio Raffellini, Fabio Sciarpi

Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "P. Spadolini", Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia, Università di Firenze, Firenze  
e-mail: [lab.ambientale@taed.unifi.it](mailto:lab.ambientale@taed.unifi.it)

## 1. Introduzione

Se la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning Systems) in generale, ed in particolare delle condotte aerauliche e delle unità di trattamento dell'aria, non seguono criteri finalizzati al soddisfacimento di requisiti primari, possono insorgere diverse problematiche relazionate alle differenti categorie di inquinanti che hanno origine dal sistema aeraulico e che possono influire negativamente sulla qualità dell'aria ambiente. Fra le principali classi di inquinanti degli impianti HVAC si ricordano:

- particelle, fibre, sporco e polvere che si accumulano nelle sezioni dell'impianto quando queste non vengano sufficientemente protette sia in fase di realizzazione del componente e successivo stoccaggio in deposito, sia in fase di trasporto e di stoccaggio presso il cantiere, sia, infine, in fase di installazione e gestione;
- microrganismi (batteri, muffe, ecc.) che proliferano sui filtri, scambiatori di calore, batterie di riscaldamento e raffreddamento ed umidificatori, e che si diffondono nelle condotte dell'aria;
- odori e VOC provenienti da componenti, materiali ed oli residui derivanti dalle procedure costruttive delle condotte; questi residui oleosi possono favorire l'adesione delle particelle di sporco e quindi rendere difficoltosa la pulizia delle superfici.

Inoltre vi è la possibilità che si verifichino:

- eccessivi oneri di manutenzione causati dalla ridotta accessibilità sia alle UTA che alle condotte aerauliche;
- eccessivi oneri manutentivi per la necessità di sostituire troppo frequentemente i filtri;
- eccessivi consumi energetici;
- soluzioni aerodinamicamente errate che provocano una eccessiva turbolenza del moto dell'aria con conseguente innalzamento dei livelli di rumorosità.

Queste problematiche sono poi particolarmente avvertite negli ambienti ospedalieri a maggior rischio, come ad esempio nei reparti operatori, di rianimazione e dialisi. In particolare, se gli accorgimenti progettuali ed installativi e l'investigazione dei rischi igienici attribuibili alla presenza di agenti patogeni può ritenersi sufficientemente indi-

viduata negli aspetti generali, permane il problema della definizione di soglie di accettabilità del rischio nonché della più precisa e puntuale definizione delle soluzioni costruttive e manutentive da adottarsi per limitare l'insorgenza delle suddette problematiche. Allo stato attuale delle conoscenze nel settore, restano tuttora da investigare a fondo le possibili correlazioni tra concentrazioni di inquinanti e rischio sanitario, mentre sono ancora assai limitate le indagini mirate ad accertare le possibili correlazioni tra condizioni igieniche degli impianti e qualità dell'aria ambiente.

Se si escludono le recenti direttive emanate a cura dell'ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro) per gli ambienti ospedalieri si rileva come i riferimenti normativi del settore siano ancora carenti; tuttavia risultano interessanti le indicazioni contenute nei seguenti:

- Normativa Tecnica UNI 10381-1 e 2 sulla progettazione e le caratteristiche costruttive delle condotte aerauliche e relativi componenti, e la UNI 10339 inerente generalità, classificazione e requisiti degli impianti aeraulici a fini di benessere;
- Norma ENV 12097 "Dotazioni delle condotte dell'aria per facilitare la manutenzione dei sistemi aeraulici" attualmente in adozione sperimentale presso gli stati membri della CEE;
- proposte normative europee nell'ambito del CEN-TC156 nel loro iter procedurale e italiane nell'ambito del CTI - Sottocomitato 5 "Condizionamento dell'aria e refrigerazione;
- documenti messi a punto dalle associazioni statunitensi NADCA (National Air Duct Cleaners Association), nel 1992 e nel 1996, e anglosassone HVCA di imprese specializzate nella manutenzione di sistemi e componenti aeraulici .

Al fine di approfondire i possibili legami tra qualità dell'aria e tipologie impiantistiche e manutentive occorre prendere in esame i valori di alcuni parametri, essenzialmente costituiti da: concentrazioni di microrganismi (aerodispersi e nella polvere depositata all'interno delle condotte), polverosità in relazione alla densità superficiale dello sporco depositato sulle superfici degli impianti.

La memoria riporta i principali risultati della Ricerca cofinanziata in ambito MIUR (Progetti di Ricerca 1998 e 2001) ottenuti dall'indagine eseguita su un campione significativo e diversificato di tipologie impiantistiche, alcune delle quali sono state successivamente sottoposte a pulizia.

La Ricerca si è incentrata su reparti definiti "ad alto rischio" a servizio di presidi ospedalieri, quali: camere operatorie, reparti per infettivi e/o immunodepressi, reparti di rianimazione, ecc, nonché impianti a servizio di pronto soccorso e degenze.

In particolare, la Ricerca ha affrontato anche il problema della definizione di soglie di accettabilità del rischio igienico nonché della più precisa e puntuale definizione delle soluzioni gestionali da adottarsi per limitare l'insorgenza delle problematiche suddette.

## **2. Metodologia di Ricerca**

Le condizioni igienico - manutentive degli impianti aeraulici sono stata espresse mediante la rilevazione in campo dei valori dei seguenti parametri:

- concentrazioni di microrganismi (in CFU/m<sup>3</sup> ), in campioni dell'aria prelevati all'interno degli impianti aeraulici;
- concentrazioni di microrganismi (in CFU/m<sup>2</sup> o CFU/g.) in campioni prelevati dalle superfici del sistema aeraulico;
- concentrazione del particolato depositatosi sulle superfici delle condotte (in g/m<sup>2</sup>).

Nel corso della Ricerca tali parametri sono stati rilevati su un campione di tipologie impiantistiche a servizio di unità ospedaliere con l'obiettivo di definire e validare un protocollo di indagine degli impianti HVAC, confrontare i valori rilevati con limiti di accettabilità reperibili nella normativa nazionale ed internazionale e da ricerche pubblicate sull'argomento, definire strategie progettuali e gestionali finalizzate alla sicurezza in campo igienico e alla riduzione dei costi gestionali e manutentivi.

Inoltre alcune sezioni di condotte aerauliche sono state sottoposte a bonifica mediante pulizia con spazzole e poi nuovamente monitorate al fine di verificare l'efficacia di tale strategia.

## 2.1 Polveri depositate: metodi di misura e limiti igienici proposti per le condotte metalliche prive di rivestimenti interni

Numerose ricerche hanno evidenziato che, al fine di limitare la quantità di polveri depositate nelle condotte, si debbano seguire essenzialmente due strategie: da un lato mettere in atto sistemi di protezione dei componenti dalla polvere durante tutto il ciclo di vita del manufatto (dalla produzione all'uso), dall'altro evitare quanto più possibile che sulla superficie delle condotte siano presenti oli residui della lavorazione. Lo Standard NADCA 1992-01 per condotte pulite stabilisce un limite massimo di concentrazione delle polveri pari a  $0,1 \text{ g/m}^2$ . Lo Standard FiSIAQ 2001, fornisce due classi distinte per i limiti di accettabilità riferite a sistemi di ventilazione denominati P1 (condotte realizzate con processi che non richiedono l'uso di lubrificanti) e P2 (condotte con presenza di sostanze oleose). Inoltre, sono definiti due diversi limiti di accettabilità per impianti vecchi e nuovi. La legge Regionale n. 24/2002 della Regione Liguria, per le condotte pulite fissa valori limite eguali al NADCA; mentre le concentrazioni di polveri sono accettabili fino ad una quantità non superiore a  $1 \text{ g/m}^2$ . Lo Standard tedesco VDI per i valori di accettabilità fa riferimento a tre livelli di concentrazione delle polveri ed a diversi sistemi di rilevazione delle concentrazioni stesse. Il VDI 6022 – parte 1 ritiene accettabile una concentrazione di polveri inferiore a  $4 \text{ g/m}^2$  (livello alto) quando per la misura viene utilizzato il metodo tampone con solvente (metodologia JADCA). Il nuovo VDI 6022 parte 3 stabilisce che le condotte debbano essere pulite quando la concentrazione di polvere è al di sopra del valore corrispondente a Livello basso, mentre dopo la pulizia la concentrazione non deve essere superiore al livello medio.

Tabella 1 – Corrispondenza di valori per la pulizia delle condotte in riferimento a differenti sistemi di misura delle polveri

METODO DI MISURA	CONC. DI POLVERI DEPOSITATE ESPRESSA IN $\text{g/m}^2$		
	Standard basso	Standard medio	Standard alto
Polveri totali	20.0	10.0	5.0
Aspirazione con raschiatura	18.0	9.0	4.5
Tampone con solvente (JADCA)	16.0	8.0	4.0
Raschiatura (JADCA)	10.0	5.0	2.5
Nastro adesivo	7.0	3.5	1.8
Aspirazione con spazzola	3.0	1.5	0.8
Aspirazione (NADCA/HVAC)	0.4	0.2	0.1

A loro volta Svezia, Gran Bretagna, Giappone e Norvegia hanno stabilito i limiti di accettabilità per concentrazioni delle polveri nelle condotte riportati in Tabella II.

Il Nordic Ventilation Group (NVG) fornisce invece 3 valori limite per le polveri accumulate nelle condotte che corrispondono a tre livelli di rischio.

I dati riportati in Tabella 2, rivelano che i valori proposti per l'igiene delle condotte sono sensibilmente diversi, per quanto attiene sia i valori che consigliano gli interventi igienici che dopo gli interventi stessi.

La Finlandia e la Norvegia, invece hanno preferito elaborate i propri standard normativi articolandoli o sulla base dell'età dell'impianto (sistema di ventilazione vecchio o di nuova installazione) o per classi di rischio (rischio basso, medio e alto).

Con riferimento al livello di rischio elevato, è interessante rilevare che l'NVG considera tale quello con concentrazioni superiori a 0.5 g/m<sup>2</sup>, e tuttavia sia la Liguria che l'HVCA considerano accettabili valori all'incirca doppi.

Tabella 2 - Polveri depositate: confronto fra i valori limite proposti (g/m<sup>2</sup>)

	Prima della pulizia	Dopo la pulizia	
NADCA 1992-01 (Stati Uniti)	-	0,1	
VDI 6022-3 (Germania) Vacuum Test	0.4	0.2	
Svezia	1	-	
Gran Bretagna	1	0,1	
Giappone	-	1	
	Vecchi sistemi di ventilazione	Nuovi sistemi di ventilazione	
FiSIAQ 2001 (classe P1)	2,5	1	
FiSIAQ 2001 (classe P2)	5	2,5	
Regione Liguria – 2002 (Italia)	1	0,1	
Norvegia	0,27 - 0,45 <sup>(1)</sup>		
Heating and Ventilating Contractors' Association (HVCA):			
Condotta mandata	1		
Condotta espulsione	1		
Condotta ricircolo	6		
	Rischio basso	Rischio medio	Rischio alto
Nordic Ventilation Group (NVG)	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5

Note: (1) non specificato se si tratta di limiti differenziati per nuovi e vecchi impianti

## 2.2 Contaminazione microbiologica delle condotte aerauliche

La presenza di sporco può essere un substrato ideale per sviluppare microrganismi, anche a valori di umidità relativamente bassi, che possono essere diffusi in ambiente.

In merito il VDI 6022, pur non specificando valori limite, indica che le concentrazioni di microrganismi dell'aria immessa nei locali deve essere minore od al massimo eguale a quella dell'aria esterna di rinnovo: in altri termini l'impianto non deve essere ulteriore fonte di inquinamento.

Alcuni ricercatori suggeriscono di confrontare la qualità dell'aria esterna misurata all'altezza della relativa PAE con quella in ambiente in corrispondenza delle immissioni. Per quanto attiene i valori limite delle concentrazioni in questione si rimanda alla consultazione di Tabella 3.

Tabella 3 - Inquinanti di natura microbiologica: confronto fra i valori esistenti nelle Polveri depositate (CFU/g) e aerodisperse (CFU/m<sup>3</sup>)

	CONCENTRAZIONE MUFFE	CONCENTRAZIONE BATTERI	
NADCA 1992-01 (Stati Uniti)	15000 CFU/g	30000 CFU/g	
Regione Liguria – 2002 (Italia)	15000 CFU/g	30000 CFU/g	
VDI 6022-1 (Germania)	Qualità aria trattata migliore od uguale a quella dell'aria esterna		
Standard PN-89/Z-04111/03 (1989; Polonia)	Concentrazioni di funghi (muffe e lieviti) (aria esterna)	Concentrazioni di batteri (aria esterna)	
	5250 CFU/m <sup>3</sup>	1000 CFU/m <sup>3</sup>	
	Assenza di contaminanti dei generi <i>Staphylococcus</i> e <i>Pseudomonas</i> .		
Nordic Ventilation Group (NVG)	Muffe (Livello di rischio)		
	basso	medio	alto
	< 1.000 CFU/g	1.000 – 3.000 CFU/g	> 3.000 CFU/g
	Batteri		
	< 6.000 CFU/g	6.000 – 10.000 CFU/g	> 10.000 CFU/g

### 2.3 Presenza di oli residui sulle superfici dei componenti

Le condotte metalliche sono solitamente realizzate in acciaio galvanizzato che per sua natura richiede una protezione per evitare l'ossidazione dello zinco nel corso della fase di immagazzinamento in deposito. Oltre a ciò i processi produttivi necessitano di operazioni di lubrificazione dei componenti al fine di limitare l'attrito durante il taglio delle lamiere.

La permanenza di sostanze oleose agevola pertanto il deposito e l'accumulo delle polveri. In merito a questa problematica, in Finlandia sono stati condotti diversi studi per individuare tipologie di lubrificanti che ne garantissero successivamente la facile rimozione nelle operazioni di pulizia e definire metodologie di misura dei limiti di accettabilità per la presenza di oli residui.

Tali limiti stabiliscono che la quantità di oli residui non deve superare il valore di 50 mg/m<sup>2</sup> per componenti che non richiedano in fase produttiva l'uso di oli lubrificanti, mentre il limite sale a 300 mg/m<sup>2</sup> per quei componenti che necessitano comunque l'impiego di oli lubrificanti in fase produttiva.

Qualora la presenza di oli residui non possa essere misurata, l'accettabilità deve essere stabilita sulla base di test di emissione di odori secondo un giudizio di tipo sensoriale da un "panel" di giudici.

### 2.4 Composti organici volatili emessi da componenti del sistema aeraulico

I componenti del sistema aeraulico possono divenire anche fonte di inquinamento di natura chimica, in particolare emettendo Composti Organici Volatili (VOC). Le misurazioni inerenti le emissioni di natura chimica da parte di tipici prodotti utilizzati nel sistema HVAC sono ancora in fase sperimentale ed indicano comunque una fortissima variabilità nel tasso di emissione dei materiali monitorati. La finlandese FiSIAQ 2001 incoraggia l'uso di materiali da costruzione basso emissivi ed introduce una metodologia di etichettatura dei componenti "puliti" utilizzati nel sistema di climatizzazione basata sull'adozione di uno specifico metodo di prova denominato RTS2001.

## 2.5 Emissione di odori

Nel sistema HVAC le più comuni fonti di emissione di odori sono filtri, attenuatori acustici, sezioni di umidificazione, batterie di riscaldamento e raffreddamento, rivestimenti interni delle condotte dell'aria e lo stesso sporco nelle condotte (Tabella 4). Anche se non è stata individuata una precisa correlazione fra percezione di odori e rischio per la salute umana, possono essere fatte alcune considerazioni:

- la percezione di odori contribuisce a creare uno stato di insoddisfazione negli occupanti;
- gli odori possono essere considerati indicatori della presenza di inquinanti: contaminanti di natura chimica, come ad esempio l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), e molte classi di Composti Organici Volatili (tipico il caso delle aldeidi);
- l'emissione di odori da parte dell'impianto HVAC è sempre un fattore negativo e può essere sicuramente considerato un indice di bassa qualità del sistema.

Tabella 4 – Classificazione di componenti basata su livelli di pulizia ed igiene

AGENTE INQUINANTE	CRITERIO VALUTAZIONE
Densità superficiale di oli nelle condotte	0,05 g/m <sup>2</sup>
Densità superficiale di oli in componenti accessori, unità terminali, serrande di regolazione e tagliafuoco	
- componenti realizzati a mezzo di operazioni di taglio, curvatura e piegatura, giuntura	0,05 g/m <sup>2</sup>
- componenti realizzati da trafilatura della lamina metallica, con processi che richiedono l'uso di oli	0,3 g/m <sup>2</sup>
Fibre minerali artificiali (MMMF) rilasciate nel flusso d'aria	10 <sup>4</sup> fibre/m <sup>3</sup>
Quantità di polvere depositata (dopo la produzione)	< 0.5 g/m <sup>2</sup>

Gli oli residui costituiscono una delle maggiori cause di immissioni di odori nell'aria: l'intensità percepita risulta direttamente correlata alla densità superficiale di sostanze oleose. Infine, anche le polveri accumulate nelle condotte nel corso del funzionamento dell'impianto possono essere fonti di odori sgradevoli; in quest'ultimo caso ha grande importanza anche l'umidità relativa.

## 3. Il protocollo di indagine

Le esperienze maturate nell'ambito del Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia, hanno consentito di definire un protocollo d'indagine che consente di verificare lo stato manutentivo dell'impianto su basi oggettive, e quindi la necessità o meno di intervenire con la manutenzione igienica. La metodologia di indagine messa a punto è stata previamente testata su due impianti a servizio di un complesso ospedaliero prima di essere estesa ad un numero maggiore di investigazioni al fine di testarne la praticabilità e le procedure ad essa connesse.

### 3.1 La metodologia di analisi

La metodologia d'analisi si articola nelle fasi sintetizzate in Tabella 5. Le procedure per la prova, per quanto riguarda condotte prive di rivestimenti interni, sono quelle per aspirazione, secondo la metodologia descritta nel documento messo a punto dal NADCA.

Tabella 5 – Modalità di esecuzione dei prelievi <sup>1</sup>

TIPO DI ANALISI	MODALITA'	INTERFERENZE	NOTE	TEMPI
Prelievo polvere aerodispersa <sup>3</sup> per analisi microbiologica	aspirazione con apparecchio campionatore SAS 90	non possono essere eseguiti altri prelievi a monte dell'ispezione che alterino il campo	impianto in funzione prelievo alla bocca della flangia fissata alla portina di ispezione chiusa	50' per ogni ispezione (5campioni)
Prelievo polvere depositata per analisi quantitativa	aspirazione con maschera 10x10 cm	non possono essere eseguiti i prelievi che richiedono l'impianto acceso	impianto spento, portina di ispezione aperta	10'
Prelievo polvere depositata per analisi microbiologica	con tampone sterile e maschera 10x10cm	non possono essere eseguiti altri prelievi che richiedono l'impianto acceso	impianto spento, portina di ispezione aperta (maschera in punto diverso da quello usato per prelievo polveri)	5'
Videoispezione <sup>2</sup>	con robottino dotato di videocamera e registratore VHS	operazione da condursi alla fine dei prelievi perché altera il campo	impianto preferibilmente spento	30' per ogni ispezione

<sup>1</sup> Punti di prelievo :

- Nelle condotte (polveri aerodisperse, depositate, microbiologico, videoispezione)
- Alle bocchette terminali di immissione e ripresa (microbiologico)

<sup>2</sup> Il robottino può essere dotato di pinze per il trasporto del SAS all'interno delle condotte.

<sup>3</sup> Prevedere uno spazio antistante l'ispezione non inferiore a 1.5 m per consentire l'inserimento della sonda nel condotto

### 3.2 Le ispezioni igieniche

Dal punto di vista manutentivo, aspetto cruciale degli impianti aeraulici sono le ispezioni igieniche ed i criteri di accettabilità dei contaminanti: livelli di inquinamento consentiti, possibilità di verifica con accesso al sistema e frequenza delle visite sono temi di cui si è cominciato a discutere ufficialmente a livello europeo fin dal 1989 e solo in questi ultimi anni il quadro normativo ha cominciato a dissipare alcune incertezze in materia. Per quanto attiene le modalità di realizzazione degli impianti; il progettista ha come riferimento una regola essenziale che, se non rispettata, compromette tutte le possibilità manutentive: prevedere una collocazione del sistema aeraulico accessibile in tutte le sue componenti, dalle unità di trattamento dell'aria, alle condotte fino alle immissioni nei locali; conseguentemente nella realizzazione dei disegni di progetto, dovrebbero essere definiti con chiarezza la collocazione di tutte le aperture per la pulizia nonché funzioni, dimensioni e altezza di tali aperture. Parallelamente i documenti che accompagnano l'impianto dovrebbero specificare i metodi di pulizia e contenere le istruzioni per raggiungere ispezioni e zone da pulire.

Nelle centrali occorrerà semplicemente lasciare lo spazio sufficiente intorno alle macchine per consentire agli addetti la sostituzione dei filtri, la pulizia delle batterie, delle sezioni di umidificazione, ecc.; mentre per l'ispezione della rete aeraulica, poiché normalmente si tratta di accedere a controsoffitti e cavedi, occorrerà realizzare aperture di dimensioni (larghezza minimo 250cm x 200 cm di altezza) e collocazione adeguate alla funzione. Considerata l'importanza delle aperture, merita evidenziare alcuni aspetti generali: in primo luogo queste devono consentire la pulizia integrale della rete aerauli-

ca; in secondo luogo dovrebbero consentire un facile prelievo di campioni dell'aria aerodispersa e delle polveri depositate. Le modalità di pulizia dipendono dalle possibilità di accesso, dalla categoria dell'impianto di distribuzione dell'aria, ovvero dalle funzioni svolte e dalla categoria degli edifici: sulla base di tale categoria si dovrebbe determinare la frequenza dei punti di accesso, il livello di pulizia richiesto e la periodicità della manutenzione dei componenti.

#### 4 Le indagini sugli impianti

Nella prima fase della ricerca sono stati presi in esame impianti aeraulici a servizio di presidi ospedalieri. L'indagine è stata condotta con una preliminare videoispezione con robot seguita dalle analisi relative alle polveri aerodisperse e depositate sulle condotte, nonché dalle analisi microbiologiche. Il protocollo adottato è stato quello descritto in precedenza.

Quest'ultimo hanno dunque previsto l'analisi della carica batterica e micotica totale sia in forma aerodispersa che depositata.

Tabella 6 - Caratteristiche impianti esaminati e polveri depositate rilevate in funzione delle tipologia di filtro

IMPIANTO INDAGATO	PORTATA NOMIN. ARIA (m <sup>3</sup> /h)	ANNO INSTALL. CONDOTTE	UMIDIFICATORE	FILTRI <sup>1</sup>	POLVERI DEPOSITATE <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )
(n.1) Blocco operatorio	42.000	1978	liquido	P+T+A	0,11 – 3,32
(n.2) Pre-sale e sterilizzazione	6.000	1978	liquido		
(n.4) Dialisi e rianimazione	10.700	1988	vapore		
n.3 - Blocco operatorio	5.200	1988	liquido	P+T	0,13 – 7,8
(n. 9) Lab. Analisi	4.000	1984	liquido		
(n.6) Rianimazione	15.000	1980	liquido	P+A	-
(n.5) Lab. anatomia patologica	4.500	1997	liquido	P	0,05 – 7,09
(n.7) Dialisi ed ortopedia	10.000	1980	liquido		
(n.8) Radiologia	7.500	1980	liquido		
(n.10) Lab. analisi	4.000	1992	liquido		

Note. 1:P (filtri piani), T (filtri a tasche), A (filtri assoluti); 2: polveri depositate nelle condotte (valore minimo e massimo)

Dall'analisi dei dati è emerso come spesso si siano verificate situazioni di deposito di polveri rilevanti che hanno talora portato anche un inquinamento di natura microbiologica non compatibile con la destinazione dell'impianto.

#### 4.1 Le strategie manutentive

Ad eccezione d'impianti non accessibili, o di condotte con rivestimento interno non asportabile, il più efficace intervento di pulizia consiste nel rimuovere lo sporco che si è accumulato nel corso del tempo sul fondo delle condotte. Le tecnologie usate più fre-



quentemente per tale operazione fanno riferimento sostanzialmente a due metodi a secco: l'uso di spazzole rotanti e l'uso di getti d'aria compressa.

Il principio di funzionamento dei suddetti metodi si basa sul distacco della polvere depositata e la contemporanea aspirazione della stessa mettendo i condotti in depressione. Le ricerche del settore hanno evidenziato che generalmente il metodo con spazzole è più efficace con condotte metalliche, mentre l'altro con condotte non metalliche. Al fine di verificare l'efficacia dei sistemi di pulizia, si è analizzato un intervento di manutenzione igienica con spazzole, eseguito su un impianto nuovo che presentava gravi problemi igienici emersi in fase di collaudo, al fine di valutarne in campo l'efficacia.

Tabella 7 - Risultati dell'analisi di concentrazione di polveri all'interno di vecchie condotte

PUNTO DI PRELIEVO	ISPEZIONE	VALORI DI CONCENTRAZIONE RILEVATI (g/m <sup>2</sup> )	VALORI DI RIFERIMENTO <sup>1</sup> (g/m <sup>2</sup> )
Condotta di mandata	n°1	18.6	1.0
Condotta di mandata (punto primo)	n°2	102,3	1.0
Condotta di mandata Piano interrato (punto secondo)	n°4	50,7	1.0
Condotta di Ripresa	n°6	4.3	1.0

<sup>1</sup> Valore massimo della Regione Liguria

La pulizia dei condotti è stata fatta mediante l'uso di spazzole montate su robotino (scrubber) inserito all'interno del condotto.

L'impianto, a servizio di una sala chirurgica e antistante disimpegno, è costituito da condotte metalliche rettangolari, e terminali spirodali flessibili nella sala operatoria. Esso è stato collaudato nel giugno 2002: nel corso del collaudo fu accertata visivamente all'interno delle condotte la presenza di polvere in quantità non accettabile, depositatasi durante i lavori di installazione, e pertanto fu deciso di procedere alla pulizia della rete aerea. Dall'analisi dei dati riportati nella tabella che segue, si evince come l'efficacia di rimozione della strategia adottata è risultata elevatissima.

Tabella 8 - Concentrazioni della carica batterica e micotica rilevate nelle polveri depositate in un vecchio impianto(CFU/g)

PUNTO D'ISPEZIONE	Griglia di mandata	Griglia di mandata	Condotta Piano int.	Griglia di ripresa 1° p.	VALORE DI RIFERIMENTO	
					Carica Batterica	Carica Micotica
carica batterica totale	53.700	9.770	14.800	232.600	< 10.000	
muffe + lieviti	Assenti	60	120	230		< 3.000
coliformi totali	Assenti	980	1980	116.300	(2)	
coliformi fecali	Assenti	Assenti	Assenti	Assenti	(2)	
pseudomonas	Assenti	Assenti	Assenti	Assenti	(1)	
Stafilococchi totali	26.900	4.900	9.900	Assenti	(2)	
stafilococco aureo	Assenti	Assenti	Assenti	Assenti	(2)	

<sup>1</sup> non accettabile indipendentemente dalla concentrazione

<sup>2</sup> La presenza di tali batteri fa ritenere particolarmente elevato il rischio igienico

Alla luce della normativa analizzata e delle indagini condotte, sembra opportuno fare il punto della situazione anche sui protocolli manutentivi esistenti. La normativa più completa nel settore fa riferimento alla VDI 6022, alla ENV 12097 ed alla proposta definita dal Sottocomitato 5 del CTI che si ispira alla VDI: in tale documento particolarmente interessante è la definizione sia degli intervalli di frequenza manutentiva sia delle ispezioni igieniche in funzione della tipologia del componente (PAE, filtri, UTA, condotte, ecc.), sia della tipologia di interventi richiesta (sostituzione, pulizia, regolazione, ecc.), mentre per i limiti di accettabilità si richiamano i valori dello Standard NADCA.

Tabella 9 - Risultati dell'analisi della concentrazione delle polveri all'interno delle condotte

Punto di prelievo	Ispezione	Valori di concentrazione Prima della pulizia (g/m <sup>2</sup> )	Valori di concentrazione dopo la pulizia <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )	Valori limite di riferimento (standard NADCA) <sup>1</sup>
Condotta di mandata M2 preparazione Medici	n°5	100	0.06	0.1
Condotta di mandata M1 corridoio	n°4	101	0.07	0.1
Condotta di mandata M1 corridoio	n°3	15	< 0.01	0.1
Condotta di Mandata M1 Sala Chirurgica	n°2	100	0.08	0.1

<sup>1</sup>Valori di concentrazione ammissibili per condotte pulite in base allo standard NADCA

## 5. Conclusioni

La Ricerca ha evidenziato la necessità di consentire idonee ispezioni degli impianti aeraulici in generale e delle condotte in particolare: ha tal fine è stato definito un protocollo d'ispezione, testato in campo, per condotte metalliche in grado di garantire la riproducibilità delle analisi e l'attendibilità delle stesse in merito ai parametri ricercati. Tali parametri esprimono con sufficiente accuratezza la qualità igienica sulla base delle concentrazioni di polveri depositate, aerodisperse, e di microrganismi (batteri e funghi), in conformità a quanto applicato diffusamente in campo internazionale. In merito ai limiti di accettabilità dei parametri di concentrazioni di polveri e microrganismi è emerso una sensibile differenza sia nei valori da ritenersi accettabili sia prima che dopo l'eventuale pulizia. In Italia, a tal fine, si può fare riferimento sia alla Legge della Liguria che alla proposta del Sottocomitato 5 del CTI, che si ispirano sostanzialmente allo Standard NADCA. Occorre anche rilevare che dai risultati delle indagini compiute su diversi impianti, nonostante valori elevati e talora elevatissimi, delle concentrazioni di polveri e microrganismi, non è stata rilevata la presenza di alcuni specifici agenti patogeni (*Pseudomonas*, *Stafilococco Aureo*, *Coliformi fecali*).

In merito all'efficacia delle possibili metodologie di pulizia dei condotti dell'aria, è stata analizzata la pulizia a secco, mediante spazzole rotanti, di un sistema aeraulico di nuova installazione a servizio di una sala operatoria: i risultati hanno rivelato un'efficacia di rimozione molto elevata, confrontabile con quella rilevata da altri ricercatori. Ovviamente le metodiche di intervento possono variare in funzione

dell'accessibilità degli impianti, delle dimensioni delle condotte, della natura delle stesse. E' inoltre emersa la necessità di prendere in esame anche gli inconvenienti dovuti alla permanenza di sostanze oleose nelle condotte, in grado di influenzare sia l'accumulo delle polveri sia la qualità dell'aria percepita in ambiente.

In definitiva, al fine di evitare che l'impianto divenga esso stesso fonte di contaminazione, deve essere prestata attenzione in tutte le fasi del processo: dalla progettazione che deve garantire l'accessibilità ed una facile manutenzione igienica degli impianti, alla produzione, trasporto, stoccaggio in cantiere ed installazione dei vari componenti.

### **Bibliografia**

– Alfano G., Cellai G., Cennini L., Medori G.: "Results of experimental measurements about the hygiene of hvac system ductworks" in *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Espoo, Finland, vol.2, 151-156, 6-10 Agosto 2000.

– Anglesio P., Seppanen O. (chairs), WS 8 Criteria for clean ventilation and air conditioning systems for better indoor air quality", 7<sup>th</sup> REHVA World Congress "Clima 2000", Napoli, 15-18 Settembre 2001

– Bjorkroth M, Muller B, Kuchen V., Bluysen P.M., "Pollution from ducts :what is the reason, how to measure it and how to prevent it", Atti Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, vol.2, 6-10 Agosto 2000

– Carletti C., Cellai G., Raffellini G., Scurpi F.: "Air quality and ductwork contamination: state of the art and guidelines" Proceedings of the International Conference AIR Pollution XI, Vol.13, WIT Ed., 2003.

– Cellai G., "La progettazione delle condotte dell'aria ai fini della manutenzione- Documenti e riferimenti normativi in relazione all'IAQ" Parte 1<sup>a</sup> in CDA - Condizionamento dell'aria Riscaldamento , Refrigerazione, n°7, Luglio 1997; Parte 2<sup>a</sup>, n°8- Agosto 1997, PEG Ed., Milano

– Cellai G., Carletti C., Raffellini G., "IAQ in ambiente ospedaliero: definizione di una metodologia di indagine in relazione all'inquinamento degli impianti aeraulici" Parte 1<sup>a</sup> in CDA -Condizionamento dell'aria, Riscaldamento, Refrigerazione, 35-42, n°6, Giugno 2001; Parte 2<sup>a</sup>, 21-29, n°7, Luglio 2001, Elsevier Ed., Milano

– Cellai G., Carletti C., Raffellini G., Alfano G. : "Air quality and ductwork contamination: survey methodology and acceptable values" in Atti del Congresso Internazionale "Indoor Environment Technology: towards a global approach", 1-11, (on CD), Napoli, 15-18 Settembre 2001.

– Feldmann C., Ibarcq P., Barbat M., Milliere G., "Cleaning of ventilation and air conditioning plants: the European standard ENV 12097, Atti EPIC 2002 AIVC, vol. III

– Holopainen R. , Asikainen V., Tuomainen M., Bjorkroth M., Pasanen P. , Seppanen O., "Effectiveness of duct cleaning methods on newly installed duct surfaces" in Indoor Air, n°3, Vol.13, Settembre 2003

– Holopainen R. et al., "Effectiveness of duct cleaning methods applied in new air ducts", Atti 7<sup>th</sup> REHVA World Congress "Clima 2000", Napoli, 15-18 Settembre 2001

– National Air Duct Cleaners Association (1996) "*Mechanical Cleaning of HVAC systems - Specifications - Developed for Architects, Consulting Engineers, Facility Managers*" Section 15891,2/96, Washington, DC

– Norma UNI 10339 "*Impianti aeraulici a fini di benessere - Generalità classificazione e requisiti-Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura*" Giugno 1995.

- Norma UNI ENV 12097 “*Ventilazione negli edifici-Rete delle condotte-Requisiti relativi ai componenti atti a facilitare la manutenzione delle reti delle condotte*” Aprile 1999
- Pasanen P., “Emissions from filters and hygiene of air ducts in the ventilation systems of office buildings”, Kuopio University Printing Office, Kuopio 1998
- Raffellini G., Cellai G., 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.
- Regione Liguria L.R. n.24 del 02/07/2002 - *Disciplina per la costruzione, installazione, manutenzione e pulizia degli impianti aeraulici*
- Sottocomitato 5 del Comitato Termotecnico Italiano *Pr5/716 Requisiti igienici per le operazioni di manutenzione degli impianti di climatizzazione* Marzo 2001(in inchiesta pubblica)