

# Qualità dell'aria nel blocco operatorio dell' Ospedale di Brescia

La ricerca di nuove norme tecniche per indicare a quali specifiche debbano sottostare gli impianti speciali per il trattamento dell'aria in ambienti a contaminazione controllata, quali i blocchi operatori, al fine di garantire sia la sicurezza del processo in atto sia la salute degli operatori e dei pazienti coinvolti, nonché la concreta possibilità di ridurre lo spreco energetico hanno portato ad una scelta innovativa la cui valenza viene esposta in questo lavoro.

Pietro Apostoli, Mario Sabbadini, Marco Verga,  
Massimiliano Zotti

## Premessa

Le sale operatorie, dato il tipo di processo che si svolge al loro interno, continuano tutt'oggi a rappresentare un luogo di lavoro significativo per la sicurezza di operatori e pazienti, in cui la qualità dell'aria e non il semplice contenimento di gas anestetici, rappresenta un requisito igienico - ambientale prioritario indispensabile ed ineluttabile. In ambito sanitario particolare attenzione è stata rivolta a quei siti, ove la qualità dell'aria può minare la salute degli operatori sanitari e dei pazienti e compromettere il processo lavorativo specifico di quell'ambiente; emblematico il caso delle Sale Operatorie. Tra i sistemi e gli impianti presenti in un ospedale, assume grande importanza (ai fini del comfort termico e della depurazione dell'aria dagli inquinanti gassosi, dalle impurità particolari e biologiche) l'impianto di ventilazione.

I possibili rischi possono essere di tipo :

**Fisico** : alterazione del benessere o discomfort termico del personale ospedaliero, dei pazienti e dei visitatori, derivante da un livello inadeguato dei parametri microclimatici.

**Chimico** : alterazione dei meccanismi metabolici o di detossificazione derivante dalla contaminazione ambientale da sostanze tossiche, nocive o cancerogene.

**Microbiologico**: alterazione dei meccanismi d'organo, tissutali, cellulari ed immunitari derivanti dalla contaminazione ambientale qualitativamente e/o quantitativamente inadeguata di microrganismi.

Risulta evidente l'importanza di cercare quei parametri che possono rilevare il grado di rischio a cui l'operatore, il paziente o il processo possono essere costantemente esposti (solo in Italia i decessi per infezioni ospedaliere superano quelli per incidenti stradali).

Dopo numerosi anni di ricerche scienziati ed esperti di settore hanno individuato le seguenti cause responsabili della qualità dell'aria nelle sale operatorie:

- L'efficienza di ventilazione.
- La filtrazione dell'aria immessa.
- La gestione e la manutenzione degli impianti.
- Il comportamento del personale.

i cui effetti generano un'alterazione delle performance del Sistema Impianto/Ambiente che si possono identificare nei seguenti parametri:

- Inquinamento da gas e vapori.

- Contaminazione particellare e microbica.

- Discomfort termico.

Partendo dal presupposto che le operazioni di manutenzione ed il comportamento del personale concorrono, nella maggior parte dei casi, a modificare gli standard ottimali legati all'asepsi nelle sale operatorie, abbiamo ritenuto opportuno analizzare tutti i fattori che influenzano lo stato di salute e sicurezza e di conseguenza predisporre un sistema che consentisse il loro controllo in continuo.

## Obiettivo operativo

A fronte della volontà di realizzare le nuove sale operatorie, si è reso necessario prevedere in maniera sincrona ed integrata vari livelli di intervento:

1. perseguire elevati livelli di formazione del personale in merito sia alla asepsi che alla sterilizzazione mediante la compilazione e messa in opera di un protocollo operativo
2. garantire elevati standard realizzativi per gli impianti, in grado di soddisfare integralmente le norme vigenti:
  - mantenere condizioni termo igrometriche adeguate per l'utente e il personale;
  - mantenere un'areazione efficace dell'ambiente, in grado di contenere le concentrazioni ambientali di contaminanti chimici (ben supportato, per quanto concerne i gas anestetici, da un impianto di evacuazione attivo);
  - mantenere una concentrazione di agenti biologici e di particolato aerodisperso al di sotto dei limiti fissati in fase progettuale, mediante adeguata filtrazione dell'aria immessa, efficacia di distribuzione dell'aria, con particolare riguardo all'isola chirurgica
  - mantenere un adeguato livello di sovrappressione tra le sale operatorie ed i locali limitrofi, isolando l'ambiente chirurgico da contaminanti esterni.
3. passare dai controlli periodici, puntuali ed occasionali dell'inquinamento da gas anestetici, ad un monitoraggio in continuo ( $h_{24}/365g/g$ ) della qualità dell'aria, con valutazione complessiva e contemporanea di :
  - efficacia della ventilazione.
  - livello di pressione differenziale.
  - livelli di concentrazione delle particelle.
  - livelli di carica microbica.
  - livelli di concentrazione di contaminanti chimici.

4. predisporre tutta la documentazione tecnica necessaria a fini gestionali, amministrativi e di responsabilità giuridica, compresa la predisposizione delle procedure per le non conformità.

### Soluzione Tecnologica

Concentrando l'attenzione sul punto 3 e partendo da una considerazione preliminare :

*la necessità del superamento della ormai obsoleta impostazione di controlli periodici e puntiformi, seppure programmati, che non offrono garanzie di conoscere l'effettivo stato della qualità dell'aria e non permettono alcun pronto intervento, con passaggio ad un sistema di monitoraggio in continuo della qualità dell'aria (H24/365gg/anno): gas, vapori, polveri, pressione differenziale e studio della ventilazione e del livello di carica microbica;*

e considerando le seguenti condizioni operative

- semplicità di realizzazione;
- tempo di risposta strumentale estremamente rapido con immediata rilevazione di situazioni ambientali non accettabili, visualizzabile mediante pannelli di controllo gestibili interamente dall'utilizzatore;
- utilizzo di tecnologie all'avanguardia nella ingegnerizzazione del sistema strumentale ed impiantistico;
- utilizzo di tecnologie conformi a quanto previsto da leggi e normative tecniche in vigore (es. D.lgs. 25/02, UNI EN ISO 14644, UNI EN ISO 14698, ecc);

□ registrazione in continuo della relativa documentazione, la cui post-elaborazione dei dati avrebbe permesso di conoscere il trend di inquinamento e di programmare i cicli di manutenzione del sistema impiantistico-strumentale dei gruppi operatori;

□ funzionamento user-friendly, completamente automatico, senza ausili esterni e materiale di consumo, con necessità di manutenzione ridotta al minimo;

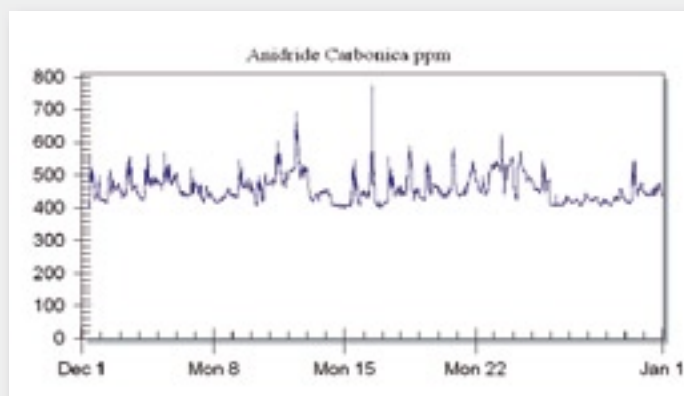
la soluzione innovativa è consistita nella realizzazione di un Sistema Centralizzato di Monitoraggio Ambientale con l'intento di :

1. Verificare quotidianamente le prestazioni dichiarate in fase di progetto e di collaudo del sistema impiantistico del gruppo operatorio, definendo :
  - Differenze operative di performance tra la fase at rest ed operational legate all'impianto HVAC
  - Scostamento procedurale da quanto previsto nel protocollo operativo da parte del personale occupante
  - Andamento storico del calo prestazionale legato all'utilizzo del sistema impiantistico (usura)
  - Livello qualitativo delle procedure di manutenzione, legato allo scostamento dalle condizioni iniziali in fase di collaudo
  - Livello di criticità raggiungibile in caso di un evento occasionale di rottura o malfunzionamento del sistema impiantistico e successivo tempo di ripristino delle condizioni standard
2. Interagire con l'impianto di ventilazione meccanica,

## Monitoraggio Gas a Vapori

*Esaminiamo a titolo di esempio alcune determinazioni effettuate presso il gruppo operatorio (Sala operatoria n. 9) particolarmente significative per attuare una gestione del rischio chimico con possibilità di intervento in tempo reale quale ottimizzazione di effettiva tutela della salute.*

Fig. A - Concentrazione del biossido di carbonio nel mese di Dicembre 2008 nella Sala di Urologia. (Valori nella Norma).





gestendo la regolazione delle portate d'aria richieste al fine sia di garantire una condizione ambientale asettica (sicurezza del paziente) e confortevole (sicurezza dell'operatore), sia un utilizzo razionale dell'aria emessa con

sensibile recupero energetico (il sistema segnala la condizione di "porta aperta" oltre il tempo programmato, per evitare un'uscita inutile di massa d'aria trattata).

### Prescrizioni

Il suddetto sistema di controllo nasce dalla fase di studio ed osservazione del binomio:

- Architettura e Geometria del Blocco Operatorio
- Sistema impiantistico adottato

Pertanto :

- La struttura doveva essere di tipo modulare, consentendo di decidere i parametri fisico-chimici ed i singoli locali da tenere sotto controllo costante, lasciando a decisioni future le possibili implementazioni del sistema.
- I punti di campionamento devono seguire una logica definita primariamente dalle prescrizioni delle normative vigenti e secondariamente da quelle fornite dal committente, integrando il concetto di esecuzione

a regola d'arte ed evoluzione scientifica della ricerca.

- La tecnologia utilizzata doveva rappresentare la massima espressione in termini di prestazione e precisione, riflettendosi nell'utilizzo di apparecchiature scientifiche e componenti impiantistici di ultima generazione, con la massima affidabilità dei dati raccolti.
- Il pacchetto Software doveva poter essere integrato nel Sistema di Supervisione dell'edificio, remotizzando i segnali in stazioni operative di controllo fisse e mobili, in modo da permettere la visualizzazione delle criticità e guidare le fasi seguenti di intervento e ripristino da parte degli organi preposti.

### Caratteristiche generali

Tale Sistema Centralizzato doveva essere in grado di misurare in continuo (24 ore/365gg) :

1. Concentrazione delle seguenti sostanze :

- Protossido d'azoto.
- Composti Alogenati.
- Alcool Isopropilico.
- Anidride Carbonica.
- Umidità.

2. Concentrazione del Particolato Aerodisperso.

3. Livello di Pressione Differenziale.

4. Temperatura e Umidità Relativa.

5. Presenze.

e, su attivazione di operatori all'uopo destinati, secondo un protocollo predefinito e standardizzato studiare :

1. Efficacia della Ventilazione.
2. Livello di Carica Batterica.

Fig. B - Concentrazione di sevofluorano nel mese di Dicembre 2008 nella Sala di Urologia. (N° 2 Valori di picco).

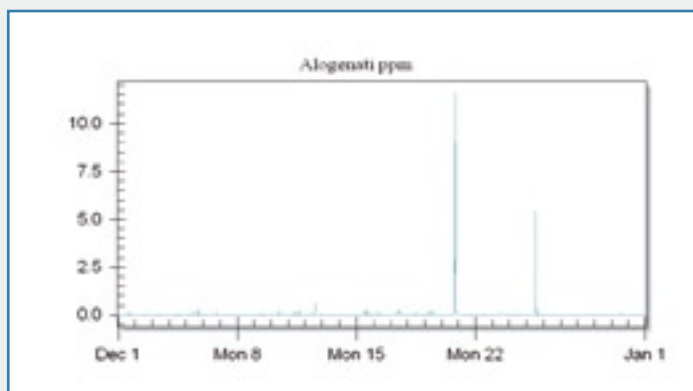
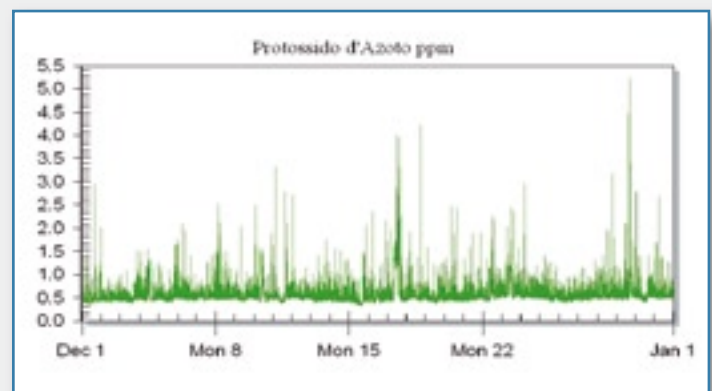


Fig. C - Concentrazione di protossido d'azoto nel mese di Dicembre 2008 nella Sala di Urologia. (Valori di allerta; possibile perdita dalle prese di distribuzione).



## Caratteristiche tecniche

### Sistema di Monitoraggio Gas Anestetici

Tecnica di Misura	Spettroscopia Fotoacustica all'Infrarosso
Tipo di Misura	In continuo
Sostanze misurabili	5 contemporaneamente + Umidità
Sensibilità	Alcuni ppb per la maggior parte dei Gas
Range dinamico	Almeno 105 volte il Detection Limit
Velocità di risposta	Entro i 60 sec./campione
Materiale di consumo	Assente
Ingombro	Rack 19"
Campionamento Multipunto	di tipo Modulare per incrementare o diminuire i punti di Campionamento a discrezione dell'utente
Impiantistica	realizzata tramite linee di campionamento dedicate in materiale inerte ai gas, centralizzate, con posizionamento dei terminali in : Pensile anestesia, Punto remoto, Sala Preanestesia/Risveglio, Canale di Ripresa

### Sistema di Misura del Particolato Aerodisperso

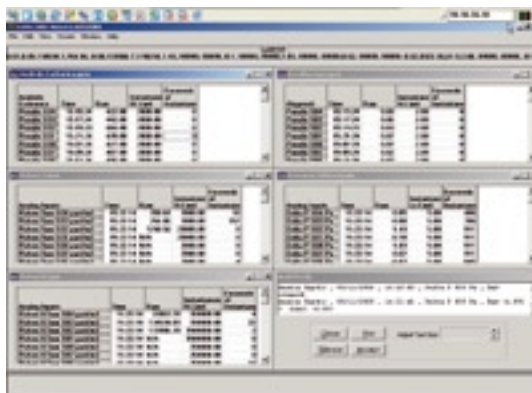
Tecnica di Misura	Sensore al Light Scattering
Tipo di Misura	In continuo
Canali Dimensionali	0,5 e 5,0 $\mu$
Flusso di aspirazione	1 cfm
Velocità di risposta	1 min
Materiale di consumo	Assente
Ingombro	10 x 7,5 x 4 cm
Campionamento Multipunto	Possibile

### Misura della Pressione Differenziale

Tipo di misura	In continuo
Range di misura	$\pm 50$ Pa
Allarmi	Limiti selezionabili in valore e delay

### Software di Supervisione

Software di acquisizione dati in grado di gestire interamente l'Impianto di Monitoraggio, interfacciarsi con Sistema di Supervisione, memorizzare tutti i dati raccolti, visualizzarli in formato numerico e/o grafico, settare i livelli di allarme per singolo ambiente.



### Sistema di Misura della Ventilazione

Con la Tecnica di Misura del Gas tracciante (Esafluoruro di Zolfo o altri) il Sistema è in grado di misurare:

- Numero di ricambi ora
- Efficienza della ventilazione
- Età dell'aria media locale
- Età dell'aria media in ogni ambiente.

Tecnica di Misura	Spettroscopia Fotoacustica all'Infrarosso
Tipo di Misura	In continuo
Sostanze misurabili	Esafluoruro di Zolfo + Umidità
Sensibilità	Alcuni ppb
Range dinamico	Almeno 105 volte il Detection Limit
Velocità di risposta	1 min
Materiale di consumo	Gas Tracciante
Ingombro	Rack 19"
Campionamento Multipunto	di tipo Modulare per incrementare o diminuire i punti di Campionamento a discrezione dell'utente
Impiantistica	realizzabile tramite linee di campionamento dedicate in materiale inerte ai gas, centralizzate, con posizionamento dei terminali in : Pensile anestesia, Punto remoto, Canale di Ripresa e Canale di Mandata

## Monitoraggio del particolato aerodisperso

Fig. D - Concentrazione di particelle rilevate nel giorno 15 di Dicembre 2008 (estrapolazione) nella Sala di Urologia. (Valori di allerta; in fase "operational" il livello di contaminazione è molto elevato).

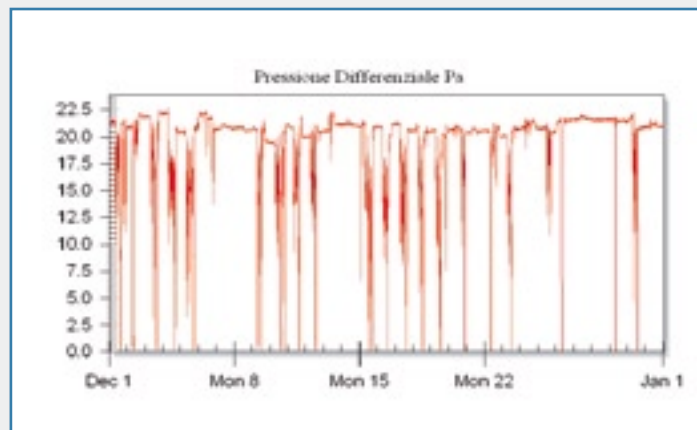
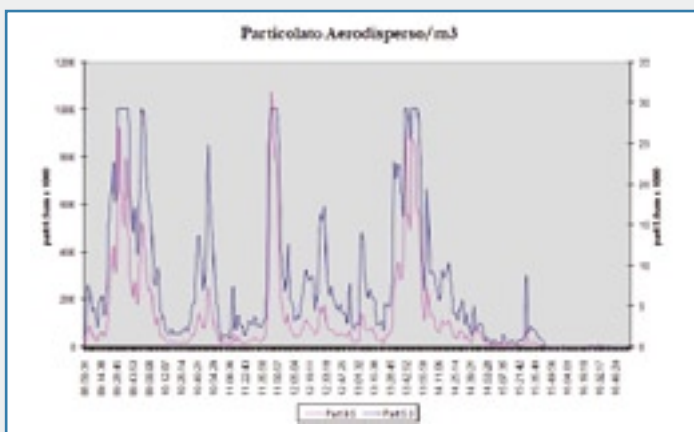


Fig. E - Valore di pressione differenziale nel mese di Dicembre 2008 nella Sala di Urologia. (Valori nella Norma con picchi caratteristici di apertura porte).

Misura della Carica Batterica	
Sistema di Campionamento	Centralizzato di tipo parallelo/sequenziale a linee indipendenti
Flusso di Impatto	Certificato a 25 l/min.
Depressione	10 mbar
Contemporaneità	Garantita
Sistema Captazione	Tramite Impattatore a flusso unidirezionale quale garanzia di NO-Stress per i Microorganismi
Impiantistica	realizzabile tramite linee di campionamento dedicate in materiale inerte, centralizzate, con posizionamento dei terminali in: Pensileanestesia

## Conclusioni

L'esperienza acquisita ha evidenziato come si possa conseguire una concreta ottimizzazione della gestione del rischio chimico, fisico e biologico mediante la selezione e la pianificazione degli interventi di prevenzione – protezione e l'utilizzo di un adeguato sistema di rilevazione in continuo; solo un corretto approccio sinergico alla problematica può realmente garantire la tutela della salute di lavoratori e pazienti, tramite opportune campagne di informazione e formazione del personale e la stesura di procedure e protocolli adeguati.

*Prof. Pietro Apostoli, Direttore dell'Unità Operativa Igiene Tossicologia e Prevenzione Occupazionale, Azienda Ospedaliera Spedali Civili di Brescia*  
*Arch. Mario Sabbadini, Direttore Area Tecnico Patrimoniale, Azienda Ospedaliera Spedali Civili di Brescia*  
*Arch. Marco Verga, Dirigente U. O. Manutenzione, Azienda Ospedaliera Spedali Civili di Brescia*

# PONZI

## Osservazioni

Nei grafici riportati sono evidenti alcuni esempi di concreta e repentina possibilità di intervento in caso di valore "alert", garantendo una gestione del rischio accurata e permanente.

Ad esempio un valore costante di Protossido d'Azoto che permane in aria sopra il livello di fondo, può indicare una perdita dalle prese di distribuzione del gas. Alcuni picchi di Alogenato verificatisi in due giorni distinti indicano o il caricamento del vaporizzatore avvenuto senza le dovute precauzioni o a disconnessioni accidentali del circuito di anestesia; in questo caso, i report dell'Anestesista sono utili ad identificare le cause del valore di allarme.

Nel caso del Particolato Aerodisperso, si nota come in fase "operational" il valore di particelle sia quasi 100 volte superiore alla fase "at rest", aumentando il rischio di contaminazione microbica dell'aria.

Il valore costante, invece, di pressione differenziale intorno a 20 Pa, indica il rispetto del gradiente pressorio ambientale indispensabile per proteggere l'ambiente sterile da contaminazioni esterne.

A tutto questo bisogna aggiungere che il valore di contaminazione microbica associato ad ogni singolo intervento (impostabile dall'impianto centralizzato), può garantire al paziente l'adeguata asepsi dell'aria.