

CAPITOLO 2

IMPIANTI PRESENTI IN UN BLOCCO OPERATORIO

2.1 Linee Guida ISPEL

Un blocco operatorio è una struttura decisamente complessa dal punto di vista impiantistico in quanto le attività che si svolgono al suo interno richiedono particolari condizioni ambientali e numerose e sofisticate apparecchiature. Inoltre, tutti gli impianti presenti, oltre a fornire, con assoluta certezza, i servizi richiesti, devono essere progettati e realizzati con particolare cura al fine di preservare la salute del personale e quella del paziente, che, data la condizione stessa nella quale si trova, risulta particolarmente esposto ad ogni tipo di pericolo. Sono presenti pertanto sia tutti gli impianti comuni agli edifici destinati ad uso civile, sia impianti specifici che consentono l'utilizzo di alcuni tipi di strumentazioni, come ad esempio quello per la fornitura di aria compressa.

Nella progettazione di un comparto operatorio e di tutti gli impianti presenti al suo interno, un utile punto di riferimento sono le Linee guida ISPEL, emanate nel luglio 1999: “Linee guida per la definizione degli standard di sicurezza e di igiene ambientale dei reparti operatori”. Tale documento non costituisce un vincolo legislativo, ma semplicemente una serie di indicazioni che il Ministero della Sanità invita a seguire per progettare blocchi operatori con caratteristiche ottimali. Le Linee Guida si occupano del reparto operatorio in ogni suo aspetto; di seguito è riportato l'indice per chiarire l'ampiezza dei temi trattati.

INDICE

- Premessa

I - Requisiti tecnici, impiantistici e tecnologico-strumentali del reparto operatorio

I - 1) Caratteristiche strutturali generali

I - 2) Caratteristiche strutturali specifiche

I - 3) Caratteristiche degli impianti

I - 4) Caratteristiche dei dispositivi e delle apparecchiature tecniche

II - Requisiti igienico-ambientali

II - 1) Qualità dell'aria

II - 2) Prevenzione e protezione da agenti infettivi

III - Requisiti organizzativi e gestionali

III - 1) Requisiti organizzativi

III - 2) Requisiti gestionali

IV - Allegati

Allegato 1 - Prospetti esplicativi delle sostanze disinfettanti: attività rispetto agli agenti biologici considerati

Ogni paragrafo è poi suddiviso in una serie di sottoparagrafi che descrivono dettagliatamente tutte le caratteristiche da rispettare in fase di progettazione ed i provvedimenti da adottare nella gestione di un comparto operatorio.

In particolare il paragrafo "I-3) Caratteristiche degli impianti" è poi così suddiviso:

1. 3.(1) Impianto elettrico

1. 3.(2) Impianto gas medicali ed anestetici

1. 3.(3) Impianto idrico

1. 3.(4) Impianto di climatizzazione

1. 3.(5) Impianto rete telematica e sistema di controllo accessi

Si vede anche da questo elenco come in un comparto operatorio siano presenti e debbano essere coordinati tra loro un elevato numero di impianti.

Riportiamo un breve esame di tutti gli impianti presenti, anche se nel seguito ci occuperemo nel dettaglio solo di quello di condizionamento. Ci sembra tuttavia opportuno fornire qualche indicazione anche sugli altri impianti, per evidenziare alcuni degli accorgimenti richiesti dalla loro particolare collocazione e per mostrare la complessità e l'integrazione degli impianti.

2.2 Impianto elettrico

Esamineremo di seguito alcuni accorgimenti e disposizioni legislative riportati dalle Linee Guida ISPESL. Questi particolari mostrano quali siano le complicazioni progettuali e costruttive quando si inserisce un impianto, anche relativamente semplice come quello elettrico, in un ambiente particolare come un blocco operatorio.

Per la progettazione generale le Linee Guida rimandano alla norma CEI 64-8/7, variante V2, che dal Settembre 2001 ha sostituito completamente la norma CEI 64-4 (III edizione); gli impianti conformi a tale norma sono ritenuti realizzati a regola d'arte.

La particolarità più evidente è *l'equalizzazione del potenziale* a cui è dedicato un apposito paragrafo:

"In ciascun locale per interventi chirurgici deve essere posizionato un nodo equipotenziale. Al nodo devono essere collegati in modo visibile, con possibilità di disinserzione individuale e permanente accessibilità:

- i conduttori equipotenziali per il collegamento a terra di tutte le masse estranee che presentano un valore di resistenza verso terra non superiore a 0,5 mΩ;
- i conduttori di protezione collegati alle masse;
- le eventuali schermature contro i campi elettrici perturbatori;
- l'eventuale rete metallica di dispersione del pavimento conduttore;

- le strutture metalliche ed i ferri di armatura del fabbricato, per quanto possibile;
- gli eventuali morsetti di equipotenzialità degli apparecchi elettromedicali.

I singoli conduttori equipotenziali devono essere chiaramente contraddistinti per funzione e provenienza. (*omissis*)

E' consentito un nodo intermedio per apparecchi elettromedicali, per prese a spina alimentate da trasformatore di isolamento e per le masse estranee vicine. Il nodo intermedio deve essere collegato al nodo equipotenziale con un conduttore di sezione non inferiore a quella più elevata tra i conduttori di protezione ed equipotenziali che confluiscono ad esso."

Si vede quindi come tutta la strumentazione elettrica vada collegata, a stella, non a terra come avviene normalmente, ma ad un nodo equipotenziale; questo accorgimento ha lo scopo di ridurre il rischio che i creino differenze di potenziale tra i vari punti del circuito di terra, che solitamente viene realizzato ad anello.

Altra importante precauzione è *l'alimentazione di sicurezza*:

"Nelle camere operatorie deve essere assicurata la continuità di esercizio, anche in caso di mancanza di rete, a mezzo di alimentazione di sicurezza per tutte le apparecchiature strettamente indispensabili per l'incolumità del paziente secondo le indicazioni del Direttore Sanitario.

Il tempo di intervento della sorgente deve essere non superiore a 15s. Per le lampade di tipo scialitico il tempo di intervento deve essere non superiore a 0,5s. Il tempo di funzionamento garantito deve essere di almeno 3 h ed il tempo di ricarica deve essere non superiore a 6 h. Il tempo di funzionamento garantito può essere ridotto ad 1 h se è possibile la commutazione almeno manuale sull'alimentazione di riserva.

La messa fuori servizio di una lampada nell'apparecchio di tipo scialitico non deve compromettere la prosecuzione del lavoro.

La sorgente di sicurezza deve essere in grado di alimentare tutte le utenze ad essa collegate.

Non possono essere usate come sorgenti batterie per auto o per trazione."

Un impianto elettrico di "sicurezza e riserva" è previsto anche per altri locali del comparto operatorio; tra gli altri quelli per il lavaggio dello strumentario, per la sterilizzazione, e quelli contenenti il frigo-emoteca e le apparecchiature per l'erogazione dei gas medicinali.

Sono poi previste protezioni contro i pericoli di esplosione e di incendio

2.3 Impianto di erogazione di gas medicinali, vuoto ed aria compressa

L'impianto di distribuzione dei gas medicinali nel comparto operatorio, come in tutto l'ospedale, deve rendere disponibili in diversi punti: ossigeno, gas anestetico, aria compressa e vuoto. L'ossigeno ed il gas anestetico vengono somministrati al paziente mediante apposite apparecchiature medicali. L'aria compressa serve per azionare alcuni strumenti come trapani pneumatici o respiratori, mentre il vuoto ha lo scopo di permettere l'aspirazione di liquidi e piccole particelle solide.¹

Gli impianti di erogazione di gas medicinali sono considerati a tutti gli effetti dispositivi medici e quindi soggetti alla direttiva CEE 93/42, recepita dallo Stato Italiano con DLgs 46/97. In base a tale direttiva i costruttori degli impianti devono certificare la conformità degli impianti ai requisiti della direttiva ed essere a ciò autorizzati da organismi di controllo, detti enti notificati.

Lo stoccaggio dei gas per uso terapeutico e la distribuzione di questi nell'ospedale possono avvenire sia con sistemi autonomi locali, sia con sistemi centralizzati.

Sistemi "autonomi locali"

Si tratta normalmente di bombole contenenti sotto pressione i gas e di aspiratori elettrici per il vuoto endocavitario. Questo modello è oggi sempre meno utilizzato negli ospedali, fatte salve situazioni particolari e per strutture di importanza minore.

Sistemi centralizzati

La centralizzazione ha avuto inizio dopo la rilevazione dello stato di fatto nei circa 1.800 presidi ospedalieri italiani, pubblici, privati e convenzionati. Questa rilevazione ha posto in evidenza, oltre ai rischi specifici strettamente connessi all'uso delle bombole, tutte le carenze di impianti che progettati, realizzati e sviluppati in un certo contesto sanitario, sociale e tecnologico, si sono trovati nel tempo a dover far fronte ad esigenze in continua progressione ed evoluzione.

La centralizzazione consente i seguenti vantaggi:

sufficiente autonomia di stoccaggio ed erogazione, con eliminazione di rifornimenti urgenti;

semplificazione nelle procedure di approvvigionamento;

possibilità di adottare stoccaggi in fase liquida quando si hanno elevati consumi.

La configurazione dei sistemi

La configurazione dei sistemi è essenzialmente formata da:

- centrale di stoccaggio: in rapporto ai consumi dello stabilimento ospedaliero, la centrale può avere due differenti configurazioni: deposito gassoso, nelle strutture con un limitato consumo, oppure deposito liquido, in appositi contenitori criogenici, negli ospedali con elevati consumi di gas medicale.

- rete di alimentazione costituita da una sezione primaria ove i gas medicali fluiscono alla stessa pressione dello stoccaggio e da sezioni secondarie ove i gas sono convogliati a pressione ridotta; le sezioni secondarie sono derivate a valle dei riduttori di pressione e terminano agli utilizzatori.
- terminali di utilizzo: si identificano nelle prese di utilizzo installate alle pareti.

Vuoto endocavitario

L'impianto per la produzione del vuoto è composto da:

- un gruppo aspirante con due elettropompe rotative che garantiscono un valore assoluto di pressione raggiungibile pari a 10 mbar;
- un serbatoio per l'accumulo dell'aria aspirata (vuoto), con capacità adeguata alla portata delle elettropompe, equipaggiato con apparecchi di regolazione (vuotostati) e misura (vuotometri) e con valvola di non ritorno;
- gruppo filtrante composto da un prefiltro a cartuccia e da un filtro batterico in modo da limitare il grado di inquinamento dell'aria spurgata nell'atmosfera.

Aria compressa medicale

L'aria compressa per uso medicale è ottenibile con due diversi metodi.

Il primo prevede la compressione dell'aria atmosferica che, opportunamente essiccata e filtrata, viene convogliata nella rete di distribuzione sino ai terminali di utilizzo.

Il secondo è adottato qualora si abbiano notevoli consumi e l'utilizzo richieda un elevato grado di purezza. Questo sistema, detto ad "*aria sintetica*", è basato su una miscela di azoto ed ossigeno liquefatti a bassa temperatura: questi liquidi risultano infatti esenti da inquinanti di natura chimico-fisica (oli, ossido di carbonio, ecc) e da carica batterica (per

effetto della tecnologia di produzione il cui punto rugiada è prossimo a -80 °C).²

Riguardo a questo impianto ed al suo inserimento all'interno di un comparto operatorio le linee guida ISPESL forniscono le seguenti indicazioni:

"I. 3. (2) - Impianto di erogazione di gas medicali ed anestetici, aria compressa e sistema di allontanamento dell'espriato

nel reparto operatorio

sistema doppio per riduzione della pressione dei gas medicali per ogni gas

sistema allarme esaurimento gas medicali per ogni gas

sistema allarme aumento pressione gas medicali per ogni gas

zona preparazione paziente

impianti per vuoto

impianti per aria compressa bassa pressione

impianti per ossigeno

impianti per protossido

sistema allontanamento dell'espriato direttamente collegato apparecchiature

zona risveglio

impianti per vuoto

impianti per aria compressa bassa pressione

impianti per ossigeno

impianti per protossido

sistema allontanamento dell'espriato direttamente collegato alle apparecchiature

locale lavaggio

impianti per aria compressa

locale sterilizzazione

impianti per aria compressa

in ogni sala operatoria

impianti per vuoto (almeno due prese)

impianti per aria compressa alta pressione (almeno due prese per letto operatorio)

impianti per aria compressa bassa pressione

impianti per ossigeno

impianti per protossido

sistema allontanamento dell'esperto direttamente collegato alle apparecchiature"

Dal paragrafo sopra riportato si vede quanti siano i punti di distribuzione richiesti all'interno del blocco operatorio. Le richieste più gravose riguardano ovviamente la sala operatoria, in cui sono previste due prese per il vuoto, prese per l'aria compressa sia ad alta che a bassa pressione, ed un sistema di allontanamento dell'esperto del paziente, oltre ovviamente alle prese per ossigeno e protossido. Si può quindi dedurre la complessità dell'impianto che deve soddisfare le richieste; ogni tipo di fornitura richiede infatti un proprio condotto che deve collegare la sorgente ad ogni singola presa.

2.4 Impianto idrico sanitario

E' volto ovviamente alla distribuzione dell'acqua potabile fredda e calda a tutti i punti appositamente predisposti all'interno del blocco operatorio.

Norma di riferimento per la realizzazione di questo impianto è la UNI 9182.

Per quanto riguarda la distribuzione dell'acqua calda è previsto che questa inizi a fluire alla temperatura desiderata dopo un intervallo non superiore ai

tre secondi dall'apertura del rubinetto. Questo, per evitare che l'acqua ferma nel tubo a monte del rubinetto chiuso si raffreddi, richiede la creazione di un circuito in cui l'acqua calda circoli continuamente, mantenendosi quindi alla temperatura desiderata. Ovviamente, anche durante la circolazione, l'acqua calda cede calore attraverso i tubi raffreddandosi, ma la potenza termica dispersa viene reintegrata quando l'acqua, nel suo moto continuo, riattraversa la caldaia di riscaldamento. Tale sistema, detto "ricircolo sanitario", è obbligatorio in tutti gli utilizzi idrici caldi di *ogni comunità*, quindi non solo nel comparto operatorio, ed in tutto l'ospedale, ma anche nelle case di riposo, negli alberghi, nei centri sportivi ecc. Serve essenzialmente per garantire entro un tempo limitato l'acqua alla corretta temperatura, (superiore a 45°C ed inferiore a 55° C), ma anche per prevenire la diffusione della legionella, che prospera a temperature leggermente inferiori. Il pericolo della legionella è particolarmente sentito negli ospedali e consiglia di mantenere la temperatura dell'acqua ai limiti superiori dell'intervallo indicato sopra.

Il dimensionamento deve essere fatto tenendo conto delle portate e della pressione in uscita richieste da ogni utenza e di un fattore moltiplicativo, minore di 1, che tiene conto della contemporaneità nell'utilizzazione delle varie utenze; tale fattore viene calcolato secondo il metodo delle unità di carico come da norma UNI 9182. Nella progettazione dell'impianto idrico-sanitario, per i diversi tipi di utenze si possono considerare le seguenti portate:

Lavabi	= 0,10 l/sec acqua calda e fredda
Docce	= 0,15 l/sec acqua calda e fredda
WC con cassetta	= 0,10 l/sec acqua fredda
Bidet	= 0,10 l/sec acqua calda e fredda
Vasche	= 0,15 l/sec acqua calda e fredda
Lavelli	= 0,20 l/sec acqua calda e fredda

Il dimensionamento dei tubi avviene quindi partendo dalle utenze e risalendo, con un progressivo aumento dei diametri, verso la condotta di derivazione principale. Chiaramente si determina il diametro minimo necessario per ogni tubo, mentre la scelta ricadrà sul tubo di diametro commerciale immediatamente superiore al valore calcolato.

Riguardo all'impianto idrico-sanitario le Linee Guida ISPESL non forniscono indicazioni di particolare interesse oltre a quanto già detto; unica particolarità è la raccomandazione di porre un punto di distribuzione per l'acqua di raffreddamento per laser in sala operatoria (almeno in una sala operatoria per comparto).

2.5 Rete fognaria e di scarico

Come ovvio, questo impianto è strettamente collegato al precedente del quale deve raccogliere le acque dopo il loro utilizzo.

Per il dimensionamento si possono considerare le seguenti portate:

Vaso	= 2,5 l/sec.
Lavabo	= 0,5 l/sec.
Doccia	= 0,5 l/sec.
Bidet	= 0,5 l/sec.
Vasche	= 0,5 l/sec.

Anche il dimensionamento di questo impianto avviene partendo dalla determinazione del diametro minimo del tubo necessario per ogni utenza e poi procedendo verso condotti di diametro sempre maggiore nei quali confluiscono più utenze; anche in questo caso i tubi adottati avranno diametri disponibili sul mercato.

Anche in questo caso è presente un coefficiente correttivo di contemporaneità, calcolato secondo il metodo delle unità di scarico come da UNI 9183.

Tutte le condotte di scarico devono presentare una pendenza minima del 5%, al fine di favorire il deflusso delle acque che hanno un moto del tipo a pelo libero.

2.6 Impianto di climatizzazione

Per l'analisi di questo impianto si rimanda ai capitoli seguenti nei quali sarà sviluppato dettagliatamente, sia dal punto di vista normativo, sia per quanto concerne il suo dimensionamento.

2.7 impianto idrico al servizio del condizionamento

L'impianto di climatizzazione necessita di un impianto idrico dedicato che assicuri la fornitura dei fluidi primari: acqua calda ad 85° C, per il riscaldamento invernale, ed acqua refrigerata a 7° C per il raffrescamento estivo, vapore per l'umidificazione invernale dell'aria.

In normali impianti di climatizzazione l'umidificazione dell'aria avviene mediante nebulizzatori di acqua, ma le più recenti norme d'igiene per le sale operatorie, impongono l'uso di vapor acqueo per scongiurare il rischio di formazione di colonie batteriche nelle condotte dell'acqua. Questo rischio si presenta non tanto durante il funzionamento dell'impianto di umidificazione, quanto durante i periodi di arresto dello stesso, ad esempio durante tutta la stagione estiva.

2.8 Impianto antincendio

L'impianto antincendio vero e proprio si inserisce in un più ampio quadro di misure volto a prevenire ed a combattere gli incendi. Al riguardo le Linee Guida ISPESL recitano:

"I - 1.1.2 SICUREZZA ANTINCENDIO

(Le presenti disposizioni di sicurezza antincendio sono contenute, in particolare, nel Decreto del Ministero dell'Interno 10 marzo 1998 e nella normativa precedente)

Considerato che:

- ai sensi del D.M. 16.2.82 - punto 86 dell'annessa Tabella B - gli "ospedali, case di cura e simili con oltre 25 posti letto" sono tra le attività per le quali è obbligatorio il possesso del C.P.I.
- ai sensi del D.M. 10.3.1998, Allegato IX, gli "ospedali, case di cura e case di ricovero per anziani" sono tra le attività a rischio di incendio elevato;

è necessario che la struttura in cui è ubicato il reparto operatorio sia in possesso del Certificato di Prevenzione Incendi (C.P.I.) oppure del Nulla Osta Provvisorio (N.O.P.). (entrambi rilasciati dal Comando dei Vigili del Fuoco).

Poiché il reparto operatorio è un luogo di lavoro vi è l'obbligo della valutazione del rischio d'incendio e la nomina dei lavoratori incaricati dell'attuazione delle misure d'emergenza.

A tale riguardo, per il reparto operatorio, sono obbligatori i seguenti punti:

A. Riduzione della probabilità d'insorgenza di un incendio ponendo particolare attenzione ai seguenti aspetti:

- deposito ed utilizzo di materiali infiammabili e facilmente combustibili;
- utilizzo di fonti di calore;
- impianti ed apparecchi elettrici;

- presenza di fumatori;
- lavori di manutenzione e di ristrutturazione;
- rifiuti e scarti combustibili.

B. Garanzia dell'efficienza dei sistemi di protezione antincendio sottoponendo a sorveglianza, manutenzione programmata e controllo periodico dell'efficacia:

- le vie d'uscita e le relative porte;
- le attrezzature per l'estinzione degli incendi;
- i sistemi di rilevazione ed allarme antincendio.

C. Informazione e formazione adeguata dei lavoratori sui rischi d'incendio curando in particolare:

l'informazione antincendio;

la formazione antincendio;

le esercitazioni antincendio;

le istruzioni scritte su le misure antincendio.

Predisposizione del piano di emergenza

Deve essere redatto un piano di evacuazione e di intervento che tenga conto dei rischi d'incendio in funzione dei rischi specifici presenti nel reparto operatorio.

Designazione degli addetti al servizio antincendio ed alle emergenze

Il datore di lavoro nomina gli addetti all'interno della propria azienda tenendo conto delle caratteristiche psico-fisiche e delle capacità dei dipendenti stessi.

F. Formazione specifica per gli incaricati della gestione della prevenzione incendi

E' necessario che tale personale sia istruito attraverso il corso specifico previsto dalla norma e consegua l'attestato di idoneità rilasciato dal Comando dei Vigili del Fuoco."

Seguono poi dettagliate indicazioni riguardo alla segnaletica che deve essere posta anche all' interno del comparto operatorio.

Allo scopo di limitare la propagazione degli incendi sono poi previsti accorgimenti di tipo strutturale quale un sistema di compartimentazione che prevede la possibilità di isolare una zona "sicura" che, in caso di incendio, garantisca protezione alle persone ed alle cose al suo interno per un dato periodo di tempo.

Per ciò che concerne le attrezzature mobili di estinzione le indicazioni sul tipo di dispositivi da adottare sono fornite dal D.M. 10.3.98 che, nella tabella 1 (riportata sotto) dell'allegato 5, definisce la superficie massima che può essere protetta da un singolo estintore, in relazione alla categoria di rischio dell'edificio in esame. Come detto, gli ospedali sono classificati da tale decreto come attività ad alto rischio di incendio; lo stesso decreto prescrive inoltre che in ogni caso il percorso per raggiungere l'estintore non possa superare i 30m.

Tipo di estintore	Superficie protetta da un estintore		
	Rischio basso	Rischio medio	Rischio alto
13 A - 89 B	100 mq	-	-
21 A - 113 B	150 mq	100 mq	-
34 A - 144 B	200 mq	150 mq	100 mq
55 A - 233 B	250 mq	200 mq	200 mq

Si ricorda il significato delle lettere relative alle classi di fuoco:

A – incendi di materiale solido combustibile;

B – incendi di liquidi infiammabili;

C – incendi di gas infiammabili;

D – incendi di metalli leggeri combustibili;

E – incendi di materiale elettrico sotto tensione.

Ad ogni classe di incendio la normativa associa poi il tipo di estintore o di impianto più adatto per l'estinzione tra le tipologie esistenti: ad acqua, a schiuma, a polvere chimica, a CO₂, a composti alogenati, a seconda dell'effetto che questi producono sulla combustione.

CAPITOLO 3

NORME PER LA PROGETTAZIONE DELL'IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO IN UNA SALA OPERATORIA

3.1 Introduzione

Come ampiamente descritto nel primo capitolo, in una sala operatoria sono richieste particolari condizioni ambientali tali da garantire che le attività al suo interno possano essere svolte in modo ottimale. Possiamo pertanto riepilogare i compiti fondamentali che deve svolgere un impianto di condizionamento dell'aria per una sala operatoria:

- ?? ridurre il più possibile, entro limiti tecnici ed economici, il pericolo di infezioni da batteri trasportati dall'aria;
- ?? creare un clima gradevole per il personale che vi lavora;
- ?? garantire un'umidità sufficiente per evitare la formazione di fenomeni elettrostatici e quindi eliminare il pericolo di esplosione in presenza di gas anestetico;
- ?? assicurare una bassa concentrazione di gas anestetici.

Per ridurre la concentrazione di batteri in una sala operatoria occorre innanzitutto esaminare le fonti da cui essi provengono. Essi possono provenire principalmente da tre fonti:

- ?? dall'aria di ventilazione;
- ?? dall'aria contaminata della stanza vicina alla sala operatoria;
- ?? dalle persone presenti all'interno della sala.

L'aria immessa in una sala operatoria deve essere evidentemente priva di batteri e, quindi, di particolato che possa esserne il veicolo. Tale aria deve quindi essere opportunamente filtrata.

Per evitare che aria non filtrata, e quindi potenzialmente contaminata, penetri nella sala operatoria è necessario mantenere la stessa in sovrappressione rispetto a tutti gli ambienti circostanti. Per ottenere questo effetto, la quantità d'aria immessa attraverso il sistema di ventilazione deve essere superiore a quella estratta.

Oltre a prendere in considerazione il problema batteriologico, si deve considerare anche quello delle condizioni di comfort del personale che opera in sala, mentre la presenza di gas anestetici è stata fortemente ridotta negli ultimi anni grazie al miglioramento delle apparecchiature dedicate alla loro erogazione.

Esigenze per molti versi simili a quelle delle sale operatorie si riscontrano in molti settori dell'industria. Storicamente le prime "*camere bianche*" sono nate negli U.S.A. per soddisfare le richieste dell'industria elettronica e, proprio in questo paese, fu scritto il primo standard relativo al controllo ed alla classificazione della pulizia dell'aria in funzione delle polveri aerotrasportate (F.S. 209 A). In Italia l'esigenza di creare camere a contaminazione controllata si è presentata prima per l'industria farmaceutica e quindi per quella elettronica, alimentare, ottica e via via per tutti quei settori industriali che devono produrre prodotti puliti ad uso delle industrie trainanti. Il dinamismo dell'industria ha portato ad un forte sviluppo tecnologico degli *impianti di ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata*, dal quale sono rimaste per lungo tempo escluse le strutture sanitarie, in Italia più ancora che altrove. Di conseguenza anche le normative Italiane in materia non si sono evolute come in altri paesi, nei quali anche gli impianti ad uso ospedaliero sono generalmente trattati come camere bianche, sia dal punto di vista costruttivo, sia della ventilazione, sia della gestione.³

In teoria, i concetti di controllo della contaminazione dell'aria nelle strutture sanitarie potrebbero essere applicati a tutti quei reparti nei quali

persone fisicamente debilitate vengono a contatto tra loro o con persone sane, compresi quelli che possono essere i servizi annessi, quali cucine, ambulatori, laboratori, lavanderie e locali sterilizzazione. Possiamo distinguere, a livello di controllo decrescente, i seguenti reparti:

- ?? sale operatorie per trapianti d'organi, per ortopedia, reparti per immunodepressi;
- ?? sale operatorie ad uso generale e rianimazioni;
- ?? sale operatorie nelle quali si svolgono interventi a carattere di urgenza ed ambulatori;
- ?? degenze.

Un discorso a parte meritano i reparti infettivi ed i laboratori per lo studio di microrganismi patogeni, nei quali il controllo della contaminazione è applicato affinché gli ambienti confinanti siano protetti.

3.2 Normative di riferimento

Riferimenti legislativi e normativi inerenti all'impianto di condizionamento e ventilazione a contaminazione controllata per le sale operatorie sono:

- ?? Circolare del Ministero LL.PP n.13011 del 22 novembre 1974
“Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, idrometriche, di ventilazione e di illuminazione”
- ?? Circolare del Ministero della Sanità n. 5 del 14 marzo 1989
“Esposizione professionale ad anestetici in sala operatoria”
- ?? D.P.R. n. 37 del 14 gennaio 1997 – G.U. n. 42 del 20 febbraio 1997
“Approvazione dell’ atto di indirizzo e coordinamento alle regioni ed alle province di Trento e Bolzano, in materia di requisiti strutturali,

tecnologici ed organizzativi minimi per l'esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture pubbliche e private”

- ?? ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineering)
- ?? 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.”
- ?? DIN 1946/Parte 4, revisione1989, “Heating, ventilation and air conditioning - HVAC system in hospitals”
- ?? Delibera Giunta Regione Lombardia - 6 agosto 1998 n° 6/38133, pubblicata il 4 settembre 1998 –“Definizione di requisiti e indicatori per l'accreditamento delle strutture sanitarie”
- ?? Linee guida ISPESL luglio 1999 – “Linee guida per la definizione degli standard di sicurezza e di igiene ambientale dei reparti operatori”
- ?? Delibera Giunta Regione Lombardia - 17 dicembre 1999 n° 6/47077, pubblicata il 4 gennaio 2000 – “Approvazione delle linee guida sulla prevenzione e sicurezza nelle sale operatorie”
- ?? Legge Regionale dell'Emilia Romagna: L.R. 34/98: " Norme in materia di autorizzazione e accreditamento delle strutture sanitarie pubbliche e private in attuazione del DPR 14/1/1997, nonché di

funzionamento di strutture pubbliche e private che svolgano attività socio-sanitaria e socio-assistenziale".

- ?? Regione Emilia Romagna, Bollettino Ufficiale n. 29 del 01/03/1999, riportante la deliberazione della giunta regionale 8 febbraio 1999 n. 125, "PRIMI PROVVEDIMENTI APPLICATIVI DELLA L.R. 34/98".

Le norme UNI 10339 e le statunitensi ASHRAE sono relative agli impianti aeraulici in genere e contengono indicazioni relative anche alle sale operatorie; mentre tutti gli altri documenti trattano delle prescrizioni relative a tutto il blocco ospedaliero, tra cui anche l'impianto aeraulico.

Dall'elenco appena fornito si può notare come, data la carenza delle normative italiane, si faccia spesso riferimento alle norme estere: americane e tedesche (DIN).

3.2.1 Tabella riepilogativa

Nella seguente tabella sono rappresentate le prescrizioni dei diversi documenti di riferimento, relative solamente alla ventilazione. Sono escluse cioè tutte le indicazioni relative alla filtrazione dell'aria ed alla classe di purezza a cui le sale operatorie devono appartenere.

Sala operatoria								
Legge	Linee Guida	Norma	Temperatura (C°)	Umidità relativa (%)	Ricambi di aria esterna (vol/h)	Ricircoli di aria interna (vol/h) ¹	Efficienza di filtrazione ²	Pressione del locale ³
DPR n.37 14.01.97			20-24	40-60	15		99,97%	
		ASHRAE (senza ricircolo)	20-24	50-60	15		99,97%	positiva
		ASHRAE (con ricircolo)	20-24	50-60	5	20	99,97%	positiva
		DIN 1946/4 Rev.1989	22-26	50-60	Minimo ⁴ 2400 m ³ /h		99,97%	positiva
	Circ.min. LLPP 13011/74				6			positiva
	Cir.min. san.5/89 ⁵							
	Linee guida ISPESL ⁶		20-24	40-60	15	Ammesso ⁷	99,97%	positiva
DGR 6/47077/99			20-24	40-60	15		99,97%	
DGR 6/38133/98			20-24	40-60	15	Ammesso ⁸		

¹ Il volume di aria è addizionale rispetto ai ricambi di aria esterna.

² I valori di efficienza della filtrazione sono calcolati secondo quanto prescritto dalla norma EN 1822.

³ Rispetto agli ambienti circostanti.

⁴ La portata minima indicata in tabella è relativa all'ipotesi di perfetta miscelazione; tale portata può scendere a 1200 m³/h se si dimostra che il sistema di diffusione dell'aria in ambiente realizza un effetto di dislocazione nelle zone critiche da proteggere.

⁵ Contiene indicazione relative solamente alla concentrazione ed alla estrazione dei gas anestetici dalle sale.

⁶ Velocità dell'aria 0,05-0,15 m/s.

⁷ Ammesso alle condizioni descritte in seguito.

⁸ Ricircolo consentito in parallelo, solo qualora si realizzi una camera a flusso laminare e vengano previsti idonei sistemi di controllo della contaminazione batterica dell'aria in rispetto della classe di purezza prevista (Federal Standard 209).

Come si vede le indicazioni fornite delle norme o leggi vigenti in Italia e all'estero propongono parametri molto simili tra loro, sia per quanto riguarda le condizioni termo-igrometriche, sia per il numero dei ricambi d'aria orari. L'unica norma che differisce è la DIN 1946/4 che impone 2 C° in più rispetto alle altre norme e non definisce il numero di ricambi/ora, ma solo una portata minima oraria da introdurre in sala. Si può notare poi come solo la ASHRAE, seguita poi dal DGR 6/38133/98 della regione Lombardia, conceda di sfruttare il ricircolo dell'aria.

Tutti i valori indicati per le portate d'aria hanno valore di minimi imposti. Le tendenze attuali suggeriscono tuttavia di elevare tali valori anche fino a 20-25 ricambi/ora, soprattutto per le sale operatorie in cui si effettuano interventi ritenuti ad alto rischio, quali interventi di chirurgia protesica. Abbiamo comunque visto come manchino evidenze scientifiche che giustifichino questa tendenza ad aumentare progressivamente il numero di ricambi d'aria; tendenza che inizia ad essere oggetto di critiche da parte di alcuni specialisti del settore.

Il D.P.R. n. 37 del 14 gennaio 1997, per quanto riguarda il tema in esame, non fornisce informazioni aggiuntive rispetto a quelle indicate in tabella. Le norme UNI 10339, che, al prospetto III, forniscono la portata d'aria esterna in $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (l/s) per persona per ogni tipologia di edifici e di locali, alla voce sale operatorie/ sale parto, rinviano alla nota D; tale nota recita: "Per questi ambienti le portate d'aria devono essere stabilite in relazione alle prescrizioni vigenti ed alle specifiche esigenze delle singole applicazioni." Si deduce quindi la non applicabilità diretta di questa norma generale al caso in esame. All'appendice C, di carattere informativo, la norma UNI fornisce poi i valori della velocità massima all'interno del volume convenzionale occupato e, per le sale operatorie, fornisce i seguenti valori: da 0,05 a 0,10 m/s per il riscaldamento; da 0,05 a 0,15 m/s per il raffrescamento. Per volume convenzionalmente occupato la norma fornisce

la seguente definizione: "Porzione del locale delimitata dalle seguenti superfici:

- il pavimento;
- una superficie orizzontale posta ad una altezza di 1,80 m al di sopra del pavimento;
- superficie verticali poste a distanza di 0,60 m da ciascuna delle pareti del locale o dalle apparecchiature per la climatizzazione ambientale."

Un passo in avanti è stato fatto con le già citate linee guida dell'ISPEL, che, oltre ad essere più dettagliate delle precedenti norme, rinvia per tutti i punti non trattati direttamente alla norma ISO 14644 parti 1, 2, 3, 4. Tale norma si intitola: "Camere bianche ed ambienti associati controllati"^{4,5,6} ed in particolare:

- ?? Parte 1: Classificazione della pulizia dell'aria;
- ?? Parte 2: Specifiche per la prova e la sorveglianza per dimostrare la conformità continua con la ISO 14644-1;
- ?? Parte 3: Metrologia e metodi di analisi;
- ?? Parte 4: Progettazione, costruzione e avviamento.

La norma EN ISO 14644, del 1999, è stata attualmente recepita dall'Ente Italiano di Unificazione solo per le parti 1 (delibera 16 marzo 2001) e 2 (delibera 1 ottobre 2001), mentre la terza è tutt'ora in fase di stesura anche in ambito internazionale.

Tale norma riprende i concetti già espressi allo stato embrionale nella norma *sperimentale* UNI ENV 1631: "Progettazione, costruzione e funzionamento delle camere sterili e dei dispositivi di depurazione dell'aria" pubblicata in Italia solo nell'Aprile del 1998, con delibera del 20 marzo 1998, ma datata, nella versione originale in lingua inglese, Luglio 1996. Questa norma sperimentale aveva validità per un periodo limitato di tempo, con scadenza inizialmente fissata dal CEN per il Luglio 1999. Si

prevedeva anche la possibilità di muovere osservazioni alla norma stessa, fissando il termine ultimo per la loro presentazione all'UNI nel Dicembre 1998.

I riferimenti normativi di particolare interesse per il caso trattato presenti nella UNI ENV 1631 sono:

- EN 779:1993 +AC:1994: "Filtri d'aria antipolvere per ventilazione generale. – Requisiti, prove marcatura"; norma recepita dall'UNI nel 1995 con la UNI En 779
- prEN 1822-1: "Filtri ad alta efficienza per particelle aeroportate (HEPA ed ULPA) – Requisiti, collaudo e marcature"; pubblicata poi, in 5 parti, tra il Marzo 1998 ed il Giugno 2000 ed ancora non recepita dall'ente normatore italiano.

Osservando le date di pubblicazione delle norme europee e quelle di recepimento da parte dell'UNI si può notare l'evidente ritardo con cui l'Italia insegue, su questo terreno, il paese più all'avanguardia.

Nella premessa della versione internazionale si afferma: "la pubblicazione della presente norma europea sperimentale è stata considerata una misura di transizione adeguata, tale da consentire l'impiego a breve termine del documento in ambito commerciale. Le norme europee sperimentali sono soggette ad inchieste, sulla base delle esperienze maturate attraverso il loro utilizzo, dopo un periodo di due anni. E' comunque previsto che la bozza di norma elaborata dall'ISO/TC 209, corrispondente alla presente norma europea sperimentale, debba essere, all'atto della sua pubblicazione come norma ISO, adottata come norma europea. In tale circostanza, la norma ENV 1631 sarebbe immediatamente ritirata."⁷

Negli anni '90, probabilmente trainati dall'esplosione del mercato dell'informatica e dalla microelettronica, i processi produttivi che dovevano essere eseguiti in ambienti puliti si erano enormemente diffusi, assumendo quindi sempre maggior peso economico, ma non avevano una

regolamentazione di riferimento. Dal paragrafo precedente, si può capire come, in ambito commerciale, la mancanza di una normativa specifica per le camere bianche fosse sentita a tal punto da spingere l'ente normatore europeo a creare un norma transitoria per colmare tale lacuna.

Il Comitato Tecnico CEN/TC 209 "Camere bianche ed ambiente controllato associato", in collaborazione con il Comitato Tecnico CEN/TC 243 "Tecnologia delle camere bianche", porterà alla pubblicazione, nel Marzo del 1999, della già citata ISO 14644.

Leggendo la UNI ENV 1631 si ritrovano quindi tutti i concetti che sono presenti, anche profondamente rivisti ed ampliati, nelle ISO 14644 che analizzeremo per le parti che possono essere estese al tema trattato.

3.3 Linee guida ISPEL e norma ISO 14644

Si ritiene opportuna un'analisi più approfondita di questo documento in quanto è il più recente e, per la prima volta in Italia, tratta i problemi di condizionamento delle sale operatorie accostandoli a quelli delle camere bianche in genere, come avviene già da tempo in altri paesi del mondo.

Come già detto ricordiamo come quelle del Ministero della Salute siano *Linee guida* e pertanto non costituiscano un vincolo legislativo da seguire obbligatoriamente. Tra i progettisti del settore più attenti vi è comunque la tendenza ad applicare le indicazioni dell'ISPEL, in previsione di una loro conversione in legge che potrebbe avvenire in tempi più o meno brevi.

Per quanto riguarda l'impianto di condizionamento, al punto I è data la seguente definizione di gruppo operatorio:

"Il gruppo operatorio é una struttura articolata in zone progressivamente meno contaminate dall'ingresso fino alle sale chirurgiche. Devono essere garantiti percorsi interni differenziati per sporco e pulito mediante interventi organizzativi e/o strutturali."

Una simile definizione potrebbe peraltro essere oggetto di discussione, visto anche quanto è stato detto nel primo capitolo e date le attuali tendenze progettuali che considerano superata una distinzione netta tra percorsi differenziati tra sporco e pulito. Di fatto non vi è una singola indicazione, in nessuno studio clinico o microbiologico che l'aria in spazi adiacenti, od anche lontani (come i corridoi delle degenze) possa aumentare il rischio di infezioni postoperatorie.

Alcune norme che specificano, ad esempio, che l'aria nei corridoi dei reparti operatori deve avere da 6 a 8 ricambi/ora (DIN 1940-4: 1999-03, tavola 1) appaiono quindi infondate dal punto di vista dell'igiene in ospedale. La necessità di sforzi per il miglioramento degli impianti di ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata che riguardino un alto numero di ricambi d'aria, alte prestazioni dei filtri e sofisticati sistemi di pressurizzazione fra singole stanze e gruppi di stanze di interi reparti, non ha quindi evidenza scientifica.⁸

Al paragrafo "I - 2.1, Analisi delle strutture", punto F, si ha la seguente definizione per la sala operatoria:

"Costituisce l'ambiente confinato dove viene eseguito l'intervento chirurgico e rappresenta l'area centrale su cui si innesta l'intera struttura del reparto operatorio e le varie attività connesse."

Allo stesso paragrafo sono riportate le caratteristiche minime che una sala operatoria deve presentare.

Nella definizione di gruppo operatorio compare quindi il concetto di sala operatoria come ambiente a *"contaminazione controllata"*, come avviene per le camere bianche, definite secondo la ISO 14644-1 come:

"Camera all'interno della quale la concentrazione di particelle aerotrasportate è controllata e che è costruita ed utilizzata in modo da minimizzare l'introduzione, la generazione e la ritenzione di particelle al"

suo interno, e in cui altri parametri di rilievo, per esempio la temperatura, l'umidità e la pressione, sono controllati a seconda delle necessità."

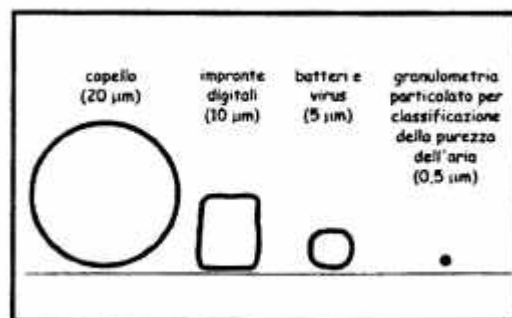
La norma ISO definisce poi il significato di "particella":

"Oggetto solido o liquido che, ai fini della classificazione dei gradi di pulizia dell'aria, ricade in una distribuzione cumulativa basata su una dimensione di soglia (limite inferiore) nella gamma compresa tra 0,1 μm e 5 μm ."

Nella versione inglese della parte 4 si definisce meglio il significato di "contaminante":

"any particulate, molecular, non-particulate and biological entity that can adversely affect the product or process" ("Ogni entità particellare, molecolare, non-particellare e biologica, che può influire negativamente sul prodotto o sul processo").

Nella figura sottostante sono riportate le sezioni tipiche di alcune entità interessanti ai fini della filtrazione dell'aria.⁹



Sempre nella parte 4, appendice A, punto 5, l'ISO 14644 descrive tre metodi per ottenere la separazione di camere e zone pulite, dove per zona pulita si intende un certo gruppo di stanze che presentano differenti esigenze nel controllo della contaminazione. Tali metodi sono:

1. Metodo dello spostamento (bassa pressione differenziale, elevato flusso di aria)

Si afferma che una bassa pressione differenziale può realmente separare zone pulite da zone adiacenti meno pulite per mezzo di un flusso d'aria a

bassa turbolenza, solitamente con velocità maggiore di 0,2 m/s, diretto dalle zone più pulite verso quelle meno pulite. La velocità del flusso deve essere stabilita in funzione di parametri importanti quali: ostacoli fisici, sorgenti di calore, sorgenti di contaminati e scarichi.

2. Metodo della pressione differenziale (alta pressione differenziale, basso flusso di aria)

Si propone di creare una pressione differenziale positiva negli ambienti più puliti rispetto a quelli meno puliti, sostenendo poi che una alta pressione differenziale tra zone adiacenti può essere facilmente controllata, ma che comunque sono raccomandate precauzioni al fine di evitare turbolenze inaccettabili. Si afferma poi che la pressione differenziale deve avere un valore stabile e sufficiente per prevenire reflussi di aria in direzione contraria a quella desiderata. Tale valore deve essere compreso nell'intervallo di 5-20 Pa, al fine di evitare anche reflussi dovuti a turbolenze anomale e transitorie, causate ad esempio dall'apertura di una porta.

Per la creazione ed il mantenimento della pressione differenziale statica tra ambienti contigui, sono genericamente indicati sistemi di bilanciamento delle portate d'aria, sia attivi/ automatizzati, sia passivi / manuali. Questi sistemi devono essere in grado di regolare la quantità di aria immessa e prelevata da ciascun ambiente e di mantenere pertanto la stabilità del sistema in ogni condizione.

3. Metodo della barriera fisica

Questo metodo prevede l'uso di una barriera impervia per prevenire il trasferimento di contaminanti ad una zona più pulita da una meno.

In una nota si precisa poi che tutti e tre i metodi esposti possono essere utilizzati in ogni ambito compreso nelle finalità della norma.

Nelle Linee Guida il concetto di contaminazione controllata viene ripreso al punto I.3.(4): "Impianto di ventilazione e condizionamento a

contaminazione controllata", nel quale si indica esplicitamente il metodo della elevata pressione differenziale. Il paragrafo inizia come segue:

"L'impianto ha la funzione di mantenere adeguate condizioni igienico-ambientali in sala operatoria. In particolare, deve essere in grado di:

- a) mantenere condizioni termo-igrometriche corrette per l'utente ed il personale;
- b) mantenere una "idonea" areazione dell'ambiente, in grado di contenere le concentrazioni ambientali di gas anestetici e/o di altri inquinanti gassosi, anche nel caso di emissioni anomale;
- c) mantenere una concentrazione di agenti biologici e di particolato totale aeroportato al di sotto di limiti prefissabili, mediante adeguata filtrazione dell'aria immessa e il mantenimento di stabili e misurabili sovrappressioni, stabilite in modo tale che l'aria passi dagli ambienti più puliti a quelli meno puliti. La differenza minima di pressione tra due locali collegati deve essere almeno di 5 Pa (Rif. ISO14644).

Le caratteristiche minime che l'impianto deve avere sono le seguenti:

In sala operatoria:

- N° ricambi con aria esterna (senza ricircolo): $N = 15/h$
- Filtrazione dell'aria: $e = \text{Efficienza} = 99,97\% \text{ H12}$ (Rif. UNI EN 1822)
- Carica microbica totale: $C_t = <1 \text{ CFU}/m^3$ (nell'aria immessa)
- Pressione differenziale verso ambienti limitrofi ed esterni: $P_a =$ Positiva e stabile a porte chiuse
- Canalizzazioni: Realizzate con materiali anticorrosione, coibentazioni esterne e perdite d'aria inferiori al 5% quando provati a 1,5 volte la pressione nominale di esercizio
- Bocchette e griglie diffusione aria: Di tipo smontabile e lavabile
- Geometria della diffusione dell'aria:

?? Flusso turbolento: Chirurgia generale o specialità

?? Flusso unidirezionale o misto: A seconda del tipo di chirurgia e del modello organizzativo del reparto operatorio."

In questo paragrafo compare un primo riferimento alla norma ISO 14644, che, come detto, prescrive una sovrappressione dell'ambiente più pulito rispetto ad ogni altro ambiente contiguo meno controllato di 5 Pa ovvero, secondo una unità di misura ancora molto diffusa tra i tecnici del settore, circa 0,51 mm_{H2O}. Si precisa poi che tale pressione positiva deve essere stabile a porte chiuse, che si suppone essere la condizione tipica della sala.

Il testo di C. Pizzetti¹⁰ riporta, in una tabella analoga a quella riprodotta qui sotto, la differenza di pressione dell'aria nella camera bianca rispetto agli ambienti limitrofi secondo le normative "*Clean Room and Work Station requirements, Controlled Enviroment*" (*Federal Standard No. 209a, August 10, 1966*) e "*Standard and Guidelines for the Design and Operation of Clean Rooms and Clean Work Stations*" (*U.S. Air Force Technical Order, T.O . 00-25-203, August 31, 1965*).

<i>Applicazione</i>	<i>Differenza di pressione</i>
Generale	1,27 mm c.a. (12,45 Pa) superiore agli ambienti limitrofi
– Tra la camera bianca e la sezione non contaminata	minimo 1,27 mm c.a. (12,45 Pa)
– Tra le sezioni non contaminate e semi-contaminate	1,27 mm c.a. (12,45 Pa)
– Tra la sezione semi-contaminata e la zona di servizio	2,54 mm c.a. (24,90 Pa)

Si può notare come la tabella sopra, ricavata da norme decisamente datate, fornisca dei valori di pressione differenziale tra ambienti limitrofi

nettamente superiori rispetto a quelle indicate dalle norme attuali. Si può pertanto ipotizzare che, con il passare del tempo, i progettisti di camere bianche, e quindi gli enti normatori, si siano resi conto di una iniziale sovrastima dei valori necessari per evitare la penetrazione di agenti contaminati nell'ambiente controllato. Si è pertanto provveduto ad una riduzione di tale valore con evidenti benefici nell'economia di gestione.

Anche nelle Linee Guida ISPEL si fissa il numero minimo di ricambi orari pari a 15, ma si introduce per la prima volta in Italia, fermo restando il numero minimo di 15 rinnovi/ora, la possibilità di ricircolare parte dell'aria per aumentare il flusso che circola nella sala, senza ulteriore dispendio di energia (vedi meglio oltre). Il tipo di flusso viene peraltro descritto e definito in relazione al tipo di chirurgia che verrà effettuata nella sala.

Di seguito, vengono definiti i ricambi orari anche per gli altri locali che compongono il reparto operatorio:

- pre-post intervento, lavaggio - preparazione chirurghi

N° ricambi con aria esterna: $N = 6/h$

Pressione differenziale verso sala/e operatoria/e: Negativa

- lavaggio strumentario chirurgico, substerilizzazione

N° ricambi con aria esterna: $N = 15/h$

Pressione differenziale verso sala/e operatoria/e: Negativa

- nei rimanenti locali

N° ricambi con aria esterna: $N = 2/h$

Il paragrafo prosegue poi:

"L'architettura del reparto operatorio, inoltre, deve essere strutturata in modo tale che non sia possibile, come già precedentemente menzionato, passare direttamente da un locale con caratteristiche igienico-ambientali non controllate ad uno controllato.

A questo scopo, si sottolinea la necessità delle zone filtro per il personale, per il materiale e per gli operandi il cui uso deve essere regolamentato."

Se fissiamo a zero la pressione degli ambienti a contaminazione non controllata esterni al blocco operatorio, e consideriamo un incremento minimo di 5 Pa tra un locale ed il successivo più pulito, seguendo il percorso più lungo verso la sala operatoria / camera bianca, potremo registrare, nelle strutture progettate correttamente, un aumento di pressione di circa 20-25 Pa a porte chiuse. In questo modo l'aria tenderà sempre ad uscire dalla sala operatoria verso i locali più sporchi e non viceversa. Senza entrare nel merito di uno specifico blocco operatorio, ma attenendosi a criteri generali di progettazione, procedendo dall'esterno incontreremo infatti: un primo filtro, un ambiente a spogliatoio del personale, un corridoio, una sala di preparazione e risveglio dei pazienti ed infine la sala operatoria.

Il paragrafo si chiude con altre importanti prescrizioni:

"Il progetto degli impianti di ventilazione deve essere tale da garantire nel tempo le prestazioni, per mezzo di interventi programmati di gestione e manutenzione. (Vedere Nota 1)

In particolare occorre:

- ?? facile ispezionabilità degli impianti;
- ?? introduzione di dispositivi d'allarme acustici/ottici che avvertano immediatamente se alcuni parametri critici sono al di sotto dei limiti di sicurezza (ad es. dispositivi con allarme di minima per la misura delle portate immesse e delle pressioni);
- ?? che i filtri ad altissima efficienza siano l'ultimo elemento della distribuzione dell'aria e siano montati direttamente nei soffitti o controsoffitti dei locali ventilati;

- ?? che esista nel progetto una procedura programmata di gestione per verificare la funzionalità degli impianti ed il perdurare delle condizioni ambientali ritenute accettabili;
- ?? che esista nel progetto una procedura programmata di manutenzione che assicuri nel tempo la funzionalità degli impianti ai valori nominali di accettazione;
- ?? che ogni sala operatoria sia isolabile per permetterne la sanificazione con altre in funzione;
- ?? che sia possibile effettuare la riduzione, in condizioni non operative, delle quantità di aria in ciclo, al fine di contenere i consumi energetici, fermo restando il mantenimento delle pressioni differenziali ambientali."

Di particolare interesse risulta anche la Nota 1:

"Deve essere particolarmente curata la geometria delle immissioni e delle espulsioni dell'aria dagli ambienti, al fine di ottimizzare le caratteristiche ambientali e minimizzare effetti dannosi, quali:

- by-pass tra immissione ed aspirazione;
- sottoraffreddamenti locali causati da troppa elevata velocità residua dell'aria immessa;
- formazione di sacche non ventilate.

Sistemi idonei per l'immissione dell'aria nelle sale di chirurgia generale, pre-post intervento, lavaggio, preparazione chirurghi e substerilizzazione possono essere rappresentati da cassonetti alloggiati filtri ad altissima efficienza muniti di distributori anemostatici, in modo da ottenere una distribuzione dell'aria totalmente turbolenta.

Nel caso che sia necessario utilizzare distribuzioni dell'aria a flusso unidirezionale verticale/orizzontale, sia parzialmente sul campo operatorio (sistema a flusso misto) o totalmente su tutta la sala (sistema a flusso unidirezionale) è utile tener presente che:

- la quantità di aria immessa è notevolmente superiore (più del doppio al minimo) ai 15 ricambi/h;
- le velocità residue dell'aria sugli operatori/operandi sono comprese tra 0,3-0,5 m/s. Velocità così elevate impongono un grado di sottoraffreddamento dell'aria immessa molto basso (3-4°C), ovvero che per avere una temperatura ambiente di 24°C l'aria immessa al minimo deve avere una temperatura di 20 - 21°C. Per comprendere appieno la differenza tra un sistema turbolento ed uno a flusso unidirezionale o misto basterà considerare che il grado di sottoraffreddamento per il turbolento può superare gli 11°C.

Le elevate quantità di aria in gioco impongono l'utilizzo, sala per sala, di dispositivi locali di ventilazione a ricircolo. In relazione al tipo di chirurgia e al modello organizzativo del reparto operatorio, fermo restando il limite minimo di 15 rinnovi/ora."

Si nota nelle ultime righe come le linee guida concedano una velocità residua dell'aria sugli operatori/operandi di 0,3-0,5 m/s, più che doppie rispetto alle velocità indicate dalla norma UNI 10339 per il flusso nel "volume convenzionalmente occupato" nel quale gli operatori evidentemente si trovano.

Nella progettazione di un sistema di condizionamento e ventilazione finalizzato al mantenimento della corretta sovrappressione nella sala operatoria, non è possibile prescindere dalla presenza della catena filtrante che assicura la qualità dell'aria desiderata dall'utente ed imposta dalle norme. Abbiamo visto poco sopra come le linee guida ISPEL impongano il montaggio dei filtri assoluti subito a monte dell'immissione in sala, al fine di evitare successive contaminazioni nei condotti tra l'ultimo filtro e le bocchette di immissione. Ogni filtro determina una caduta di pressione che non è costante, ma aumenta man mano che il filtro stesso, trattenendo

particelle aerotrasportate, si sporca. A questo proposito le Linee Guida indicano:

"Procedura per la gestione e la valutazione delle caratteristiche tecniche dell'impianto"

La valutazione delle caratteristiche dell'impianto, sia in fase di accettazione che di utilizzo, deve permettere il controllo della sua funzionalità ai fini del mantenimento dei requisiti previsti per i parametri ambientali in sede di progetto.

Le caratteristiche specifiche da prendere in esame, in fase di accettazione, e da verificare almeno semestralmente sono:

- L'efficienza di filtrazione dell'aria 99,97%

Un'efficienza di filtrazione dell'aria pari al 99,97% significa installare filtri denominati come "assoluti" o "ad altissima efficienza" (HEPA), che abbiano ovvero una capacità di ritenzione per particelle del diametro di 0,3 µm pari al 99,97%, verso i quali convogliare tutta l'aria immessa negli ambienti. Si evidenzia inoltre che il filtro assoluto va posto subito prima della griglia di immissione aria nell'ambiente considerato quando non utilizzato esso stesso come distributore. Si sottolinea, per opportuna verifica, che viene attribuita la suddetta classificazione se i filtri presentano le caratteristiche ed i requisiti indicati dalle norme tecniche Eurovent 4/4, DIN 24183 ed in particolare dalla UNI EN 1822 (per i nuovi filtri che verranno acquistati).

- La verifica della perdita dei sistemi filtranti terminali (DOP Leak Test o similari) da eseguirsi per lo meno in fase di accettazione dell'impianto. (IES-RP-CC-006;ISO 14644-3).
- Il valore della perdita di carico dei dispositivi filtranti.

E' possibile risalire alla perdita di carico dei filtri tramite un manometro differenziale preferibilmente montato sull'impianto (misurato e registrato almeno una volta la mese).

- Determinazione della carica microbica totale e dei microrganismi opportunisti e/o patogeni che possono essere presenti nell'aria immessa dalle bocchette dell'impianto di VCCC in sala operatoria. Il campionamento deve essere effettuato tramite campionatori attivi posti in modo tale da prelevare l'aria immessa dalle bocchette dell'impianto di VCCC prelevando un volume d'aria non inferiore a 2 m^3 .
- Il valore di portata di aria di rinnovo immessa (Rif. ISO 14644, IES RPCC - 006, BS 5276). Si può calcolare attraverso la lettura della velocità dell'aria all'uscita dei filtri, se terminali, o attraverso misure nei canali di immissione, mediante anemometri. Misurata la velocità dell'aria, è possibile risalire alla portata attraverso la formula: $P = V \times S$ (portata = velocità x sezione);
- Il valore del rapporto tra volumi di aria immessa e volumi di aria in sala è ricavabile dalla relazione N (n° dei ricambi d'aria/h) = P/Vol (portata/volume dell'ambiente); (Vedi Nota 2).
- I valori delle pressioni ambiente, misurate con idonei manometri posti in luogo facilmente visibile.

Si sottolinea, anche quando non espressamente menzionato, che tutti i test di misura vanno eseguiti secondo quanto evidenziato dalla norma ISO 14644-1-2-3-4.

Nota 2: Nel caso di camere a flusso unidirezionale o misto, la portata misurata sui filtri terminali sarà costituita in parte da aria ricircolata e in parte da aria di rinnovo. In questo caso, la formula esposta non dà più il numero dei rinnovi (N), ma bensì il numero delle ricircolazioni (R). Per

valutare N sarà poi necessario misurare l'aria di rinnovo nelle canalizzazioni di adduzione."

Nel presente estratto sono stati sottolineati i passaggi che riguardano gli strumenti di misura che sono presenti in una moderna sala operatoria e che insieme concorrono all'acquisizione di dati che una centralina elettronica sfrutta per il mantenimento delle corrette condizioni ambientali interne. E' da evidenziare anche l'ulteriore richiamo alla norma ISO 14644 in tutte le sue parti per quello che riguarda i test, *"anche quando non espressamente menzionato"*; questo evidenzia, secondo noi, l'intenzione del legislatore di equiparazione tra sale operatorie e camere bianche, a cui la norma ISO si riferisce esplicitamente. Tale indirizzo è ripreso anche nel paragrafo successivo, nel quale le sale operatorie vengono collocate nell'ambito della classificazione ISO e della classificazione statunitense Federal Standard 209 E.

"Per quanto riguarda la sala operatoria, quale verifica finale del corretto funzionamento dell'intero sistema (tra l'altro utilizzabile come indice di procedure operative e comportamentali non adeguate e/o di standard igienico-ambientali non osservati), è raccomandabile una classificazione dell'ambiente seguendo quanto indicato nella normativa tecnica di riferimento Fed. Std 209 E o ISO 14644 e l'Annex I of EU Guide to GMP "Manufacture of sterile medicinal products" - European Commission, Directorate General III (1997).

Le metodologie di campionamento sono indicate nella normativa tecnica sopra menzionata.

Si può ipotizzare che, impiegando tale metodologia di classificazione, siano attribuibili almeno ad una classe M 3,5 (Fed. Std 209 E) o ISO 5 (ISO 14644 - 1) la sala operatoria destinata ad interventi "puliti" (ortopedia, trapianti, cardiocirurgia, neurochirurgia, chirurgia vascolare, etc.) ed almeno ad una classe M 5,5 (Fed. Std 209 E) o ISO 7 (ISO

14644 - 1) quella per interventi di chirurgia generale, o similare, in condizioni di riposo."

Possiamo riepilogare quanto appena citato nella seguente tabella.

Federal Standard 209 E 1992	ISO 14644 1999	Guida ISPESL 2000
	ISO 1	
	ISO 2	
M 1,5	ISO 3	
M 2,5	ISO 4	
M 3,5	ISO 5	Chirurgia "pulita"
M 4,5	ISO 6	
M 5,5	ISO 7	Chirurgia " generale"
M 6,5	ISO 8	
	ISO 9	

Si vede come le sale operatorie, se comparate con le camere bianche a cui le ISO 14644 fanno esplicitamente riferimento, presentino una contaminazione relativamente elevata.

Abbiamo visto che il principale elemento di contaminazione di una sala operatoria, e quindi di una camera bianca, è la presenza di persone al suo interno. Per risolvere questo problema, il personale che lavora nelle camere bianche con un controllo più spinto della contaminazione deve indossare uno speciale abbigliamento che lasci scoperti solamente gli occhi, al fine di abbattere drasticamente la dispersione di scaglie cornee. In tali sale, inoltre, il numero di ricambi d'aria risulta molto più alto di quello considerato per le sale operatorie, superando abbondantemente la soglia dei 40 ricambi /ora.

Le linee guida proseguono poi:

"E' da rilevare che le concentrazioni di particolato aeroportato, sia microbiologico che inerte, presenti nelle camere operatorie, oltre che dai

parametri prima visti, dipendono anche dalle geometrie della immissione e ripresa dell'aria e dai percorsi che l'aria effettua negli ambienti.

Alla luce di ciò potrebbe essere utile, per una corretta gestione degli impianti, valutare in sede di accettazione anche il numero di ricircoli efficaci, attraverso la misura del coefficiente di pulizia (Recovery Time). Questo parametro non è tanto importante per il valore che può assumere in sede di accettazione, bensì è importante che rimanga invariato nel tempo.

Quanto sopra testimonia della corretta gestione dell'impianto, sia per quanto riguarda le caratteristiche di ventilazione (portata, pressione, efficienza di filtrazione), che delle operazioni di pulizia degli ambienti (corretta asportazione anche del particolato fine depositato sulle pareti, pavimenti e suppellettili, nonché dell'utilizzo di detergenti/sanificanti che non lasciano deposito solido).

Sarebbe opportuno, quindi, eseguire questo test per lo meno semestralmente ed ogni qual volta avvengano variazioni architettoniche, variazioni della geometria dei sistemi di ventilazione, variazioni delle apparecchiature di processo.

Tale test deve essere eseguito come indicato nella norma tecnica ISO 14644 - 3. Per maggiori spiegazioni in merito al Recovery Time. (Vedi Nota 3).

Nota 3:

Valutazione dei ricircoli/rinnovi efficaci

E' possibile calcolare in prima approssimazione la concentrazione media massima di particolato presente in una sala operatoria a flusso misto, mediante la procedura qui di seguito illustrata.

La concentrazione media del particolato in regime stazionario è calcolabile attraverso la seguente formula:

$$C_m = \frac{R \cdot M \cdot S \cdot (h + 1) \cdot G}{R \cdot A \cdot (1 + S) \cdot (1 + h)}$$

dove:

V	=	volume della sala operatoria
W _t	=	portata totale in ciclo
R	=	rapporto di ricircolazione: W/v
We	=	portata aria di rinnovo
M	=	concentrazione delle particelle nell'aria di rinnovo
h	=	efficienza totale di collezionamento dei sistemi filtranti
S	=	rapporto di rinnovo: We/W _t
G	=	sorgente interna totale di particelle per unità di tempo e di volume
N	=	rapporto di rinnovo: We/V=SR

Se l'aria viene immessa con filtri Hepa terminali con efficienza 99,997%,

$h = 1$, e C_m può essere approssimato: $C_m \approx \frac{G}{R}$

Il "recovery time" (coefficiente di pulizia o recupero) che rappresenta il tempo necessario per abbattere la concentrazione interna di particelle di un fattore 100;

in assenza di sorgenti ($G = 0$) può essere espresso teoricamente in forma semplificata, mediante la seguente relazione:

$$t(100) \approx \frac{\ln(100)}{R} \approx \frac{4,6}{R}$$

Nella realtà, le ipotesi che portano alla formula sopra scritta non sono verificate (immediata distribuzione delle particelle nell'intero volume), per cui il valore sperimentale differisce da quello teorico.

Si può allora scrivere:

$$t_s(100) \approx \frac{4,6}{R_{eff}}$$

dove R_{eff} rappresenta i ricircoli efficaci, per cui:

$$R_{eff} = \frac{4,6}{t_s(100)}$$

quando $t(100)$ s è misurato secondo le modalità riportate nella ISO 14644/3.

La concentrazione media massima interna diviene quindi:

$$C_{mM} = \frac{G}{4,6} \cdot t(100) \cdot s$$

Si rammenta che $t(100)$ s dipende dalle caratteristiche aerodinamiche della sala operatoria e dalla portata di aria attiva nei confronti del contaminante.

Concettualmente, si può quindi applicare questo fattore anche alla valutazione della concentrazione dei gas anestetici, tenendo presente che la portata di aria da considerare è quella di rinnovo (We) e che G rappresenta la sorgente dei gas.

Si possono distinguere due casi:

- impianto a tutta aria esterna con distribuzione anemostatica ($S = 1$)

$$C_{mM} = \frac{G \cdot V}{We} = \frac{G}{N}$$

- impianto con ricircolo e distribuzione con flussi unidirezionali a protezione delle zone critiche.

$$\text{Sotto flusso} \quad C_{mM} = (1 - S) \cdot \frac{G}{N} = (1 - S) \cdot \frac{G}{S \cdot R}$$

$$\text{Fuori flusso} \quad C_{mM} = \frac{G}{4,6} \cdot t(100) \cdot s$$

Questo sistema dunque, a parità di N (per es. 15 volumi/h), permette di avere una concentrazione di gas anestetici nelle zone critiche più bassa del sistema ad anemostati. Per questo è opportuno che i flussi unidirezionali siano posti in modo tale da "lavare" anche la equipe chirurgica."

I vantaggi della ricircolazione di aria filtrata sono evidenti: a parità di concentrazione di particelle aerotrasportate in sala, si può ridurre il numero di ricambi di aria esterna; questo comporta ovviamente un risparmio energetico. Infatti, l'aria esterna, prima di essere immessa nel blocco operatorio, oltre ad essere filtrata, viene riscaldata ed umidificata d'inverno e raffreddata e deumidificata d'estate. Senza il ricircolo, una volta che l'aria ha attraversato la sala cedendo calore per riscaldare l'ambiente (o riscaldandosi per raffreddarlo), l'aria viene espulsa ad una temperatura comunque superiore (inferiore) a quella esterna, con evidente dissipazione di potenza termica d'inverno (e frigorifera d'estate). Questo problema si attenua ovviamente ammettendo il ricircolo dell'aria. In assenza di ricircolo, per effettuare un recupero di calore, viene montato uno scambiatore di calore tra il flusso d'aria che sta per essere espulso in atmosfera e l'aria che è appena stata prelevata dalla bocca di aspirazione.

3.4 Norme sulla filtrazione dell'aria

Una camera bianca non rappresenta necessariamente un ambiente la cui contaminazione (particellare, biologica o da sostanze aeriformi) è molto bassa, ma piuttosto uno spazio in cui essa viene mantenuta sotto stretto controllo e ad un livello opportuno in relazione alle necessità delle attività svolte al suo interno.

La purezza dell'aria viene normalmente espressa per mezzo di concentrazioni di inquinanti indesiderati. Nel caso di inquinamento particellare le concentrazioni sono espresse come numero di particelle aventi diametro superiore ad una certa dimensione per metro cubo di aria. La concentrazione espressa come massa per unità di volume non sarebbe infatti in grado di esprimere in maniera affidabile la contaminazione particellare per particelle di diametro pari a pochi micrometri o nel campo

submicronico. Se la purezza richiesta è maggiore di quella con cui è possibile fornire l'aria all'interno di uno spazio, è necessario rimuovere le impurità contenute nell'aria proveniente dall'esterno dell'ambiente del quale si vuole mantenere sotto controllo la contaminazione. Il controllo dell'inquinamento particellare, avente un legame non univocamente definito con la contaminazione di tipo biologico, viene effettuato pertanto mediante l'uso di un filtro o, più spesso, di una serie di filtri, che costituiscono la cosiddetta catena filtrante.

I filtri per particelle risultano quindi l'elemento qualificante di un qualsiasi sistema atto al controllo della contaminazione particellare e per questa ragione si è andata via via affermando nel corso degli anni la necessità di mettere a punto metodi di prova sempre più affidabili per la prova e la classificazione dei filtri per l'aria.

I filtri per particelle vengono di solito divisi in due grandi tipologie:

- per la ventilazione generale, classi G ed F, trattati nella norma EN 779;
- assoluti, HEPA ed ULPA, trattati nella EN 1822, parti 1-5.

Un concetto comune a tutti i tipi di filtri, e quindi sfruttato per la loro classificazione, è quello di efficienza, definito come "il rapporto tra il numero di particelle trattenute dal filtro ed il numero di particelle che impattano sul filtro stesso."

Per i filtri per ventilazione generale si ricorre ad una classificazione basata sull'efficienza media di filtrazione con due metodi di prova distinti:

- i filtri di tipo G, grossolani, cioè adatti per particelle grandi (efficienza trascurabile per particelle di diametro inferiore ad 1 μm), vengono classificati sulla base di una misura ponderale espressa in % (A);
- i filtri di tipo F, fini, cioè adatti a catturare particelle fine, vengono classificati sulla base di una misura di concentrazione in numero, basata sulla trasmissione della luce. Tale misurazione definisce l'efficienza colorimetrica (E) ed è espressa in %.

Per definire l'efficienza dei filtri assoluti sono stati storicamente adottati diversi metodi di misura indiretti e solo negli ultimi anni lo sviluppo di strumenti informatici più potenti e la disponibilità di contatori ottici di particelle a luce laser e di contatori a nuclei di condensazione hanno consentito di passare a metodi di misura diretta. Tali sistemi forniscono la concentrazione basandosi sul conteggio diretto delle particelle campionate dal flusso di aria a monte e a valle del filtro.

Nella seguente tabella forniamo la classificazione delle varie tipologie di filtri.

Classe del filtro	Efficienza ponderale media A_m (%)	Efficienza colorimetrica media E_m (%)	Efficienza (%)		
			Valore integrale	Valore locale	
G 1	$50 \leq A_m < 65$				
G 2	$65 \leq A_m < 80$				
G 3	$80 \leq A_m < 90$				
G 4	$90 \leq A_m$				
F 5		$40 \leq E_m < 60$			
F 6		$60 \leq E_m < 80$			
F 7		$80 \leq E_m < 90$			
F 8		$90 \leq E_m < 95$			
F 9		$95 \leq E_m$			
H 10					85
H 11					95
H 12					99,5
H 13					99,95
H 14		99,995	99,975		
U 15		99,9995	99,9975		
U 16		99,99995	99,99975		
U 17		99,999995	99,99999		

Bisogna poi notare che un filtro di classe H10 potrebbe a prima vista possedere una efficienza inferiore ad un filtro di classe F9. In pratica non è così perché i valori di efficienza nel caso di filtri assoluti sono sempre riferiti alla particella per cui si ha la massima penetrazione (MPPS: Most Penetrating Particle Size). È opportuno osservare poi come nel caso dei filtri assoluti di classe superiore ad H 12 sia prevista sia la misura dell'efficienza integrale (cioè riferita all'intera superficie frontale del filtro), sia la misura dell'efficienza locale (cioè su di una zona limitata). Infatti quando le efficienze richieste sono molto elevate, le disuniformità del materiale filtrante e piccole imperfezioni e/o microfori possono causare seri problemi all'utente finale.¹¹

Per quanto concerne l'efficienza della filtrazione dell'aria le UNI 10339, al prospetto VI, impongono una catena filtrante di tipo "M + A + AS" per le sale operatorie e sale anestesia ed una catena di tipo "M + A" per gli altri locali di "ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili". Le definizioni dell'efficienza di filtrazione sono riportate al paragrafo 9.1.2; in particolare M indica media efficienza, A alta e AS "altissima efficienza e filtri assoluti".

Una catena filtrante del tipo "M + A + AS", oltre ad un congruo numero di ricambi d'aria, permette, con l'adozione di un filtro assoluto di classe H14 di ottenere una purezza dell'aria tale da collocare la sala nelle classi ISO 5-7.

Riportiamo a pagina seguente una tabella riepilogativa di tutte le norme relative alla filtrazione ed alla qualità dell'aria.

Sala operatoria				
Legge	Linea Guida	Norma	Efficienza di filtrazione	Note
DPR n.37 14.01.97			99.97%	
		ASHRAE	99.97%	Concentrazioni massime ammissibili N2O: 22 ppm
		DIN 1946/4	99.97%	
	Circ.min. LLPP 13011/74 ⁹			
	Cir.min. san. 5 /89			Concentrazioni massime ammissibili dei gas: ?? sale operatorie in uso: inferiore 100 ppm ?? sale operatorie nuove o ristrutturate: 50 ppm Sono indicate le modalità di estrazione anestetici dalla sala: aspirazione localizzata gas provenienti dal circuito di alimentazione anestetico e adeguato numero ricambi orari
	Linee guida ISPESL		99,97%	Carica microbica totale Ct=< 1 CFU/m3 (nell'aria immessa) Velocità dell' aria 0,05-0,15 m/s
DGR 6/47077/99			99.97%	La letteratura internazionale raccomanda la misurazione della contaminazione microbica dell' aria nelle sale operatorie. Vengono specificate le modalità di raccolta dei campioni.
DGR 6/38133/98 ¹				

⁹ Questa norma non contiene indicazione relative alla filtrazione od alla qualità dell'aria.

Esaminiamo poi nel dettaglio quanto viene prescritto dalle ISPESL.

Riguardo alla qualità dell'aria, la nuova bozza delle ISPESL, oltre a quanto già citato, fornisce i valori di riferimento per la valutazione dell'efficacia degli impianti di VCCC (Ventilazione e Condizionamento a Contaminazione Controllata) al paragrafo II.1:

"Valori di Contaminazione Microbica

A tal proposito si ritiene opportuno seguire quanto già stabilito nell'ambito del GISO (Gruppo Italiani di Igiene Ospedaliera nell'ambito della SITI) e di utilizzare le indicazioni contenute nello specifico standard inglese (National Health Service – Health Technical Memorandum Ventilation in Health Care Premises, 1994) e nelle norme ISO 14644 e l'Annex I of EU Guide to GMP "Manufacture of sterile medicinal products" – European Commission, Directorate General III (1997).

- **nell'aria immessa dall'impianto di VCCC (CFU/m3)** < 1
- **nell'aria ambiente in prossimità del tavolo operatorio(CFU/m3):**
a sala operatoria pronta < 35

Metodi

Per la valutazione delle prestazioni e delle caratteristiche dell'impianto di VCCC, si rimanda al paragrafo 1.3.(4)"caratteristiche degli impianti".

(omissis)

- **a sala operatoria in attività:**
 - a flusso turbolento 180 CFU/m3
 - a flusso laminare 20 CFU/m3

Metodi

Si esegue la determinazione della carica microbica totale a 37 C° e dei microrganismi opportunisti e/o patogeni che possono essere presenti nell'aria della sala operatoria.

Il campionamento deve essere effettuato tramite campionatori attivi posti ad un'altezza di un metro nelle vicinanze del tavolo operatorio; il campionamento deve cominciare all'inizio di un intervento chirurgico (inizio taglio) e rappresentare il valore medio ottenuto dai campionamenti condotti ogni 5-10 minuti per un'ora durante un intervento chirurgico.

Il campionamento può essere fatto con più piastre o con un'unica piastra con prelievi ripetuti. Il risultato è espresso in CFU/m³.

Devono essere inoltre verificate le caratteristiche microbiologiche ambientali riferite a patogeni ed opportunisti che per problematiche particolari possono essere presenti e rappresentare un rischio per l'operando e/o il personale entro il reparto operatorio.

(omissis)

– **sulle superfici della sala operatoria (CFU/cm²)**

- | | |
|----------------------|-----|
| - delle pareti | 0,5 |
| - di piani di lavoro | 0,5 |

Metodi

Si esegue la determinazione della carica microbica totale e dei microrganismi opportunisti e/o patogeni che possono essere presenti nell'aria della sala operatoria e sulle superfici.

Per la determinazione della carica microbica totale a delle superfici, il campionamento può avvenire per contatto diretto di una piastra sulla superficie da analizzare. Il risultato è espresso in CFU/cm²."

Alla luce di quanto visto nel primo capitolo si capisce come anche questa parte delle Linee Guida possa essere oggetto di discussione. La descrizione del metodo di campionamento dell'aria appare decisamente vaga, mentre il metodo di misura della contaminazione sulle superfici risulta addirittura poco comprensibile. Questa scarsa chiarezza contrasta con l'imprescindibile

necessità di definire, in casi simili, rigide procedure di misura, per garantire la riproducibilità della stesse in tempi ed in luoghi diversi.

3.5 Indicazioni sulla formazione del personale

Abbiamo già visto al capitolo 1 quale sia il ruolo del personale nella prevenzione delle infezioni postoperatorie.

A questo proposito le ISPESL forniscono importanti indicazioni.

Il paragrafo II.2 "Prevenzione e protezione da agenti infettivi" recita:

II. 2.1. Generalità

La prevenzione e la protezione da patologie infettive nell'ambito del reparto operatorio finalizzata a garantire una adeguata ed efficace tutela del personale e dell'operando si considera attualmente di particolare interesse per il contenuto tecnico-scientifico della normativa correlata (D.Lgs. 626/94 e succ. modifiche ed integrazioni) estremamente innovativo.

La messa a punto e l'ottimizzazione degli interventi e procedure operative necessarie, nonché la loro successiva pianificazione, è strettamente dipendente dall'eseguire una corretta valutazione del rischio biologico. A tal riguardo si ritiene opportuno osservare la linea di indirizzo ed i criteri procedurali indicati dall'ISPESL nell'apposite Linee Guida "Il rischio biologico: procedura applicativa per la valutazione del rischio e la pianificazione degli interventi di prevenzione e protezione" (AA.: F. Benvenuti, R. Lombardi del Dip. Igiene del Lavoro - ISPESL e F. Pastoni del Lab. di Microbiologia - Centro Comune di Ricerca CEE ISPRA) recentemente inviata in stampa.

II.2.2 Requisiti e caratteristiche tecniche degli interventi e delle procedure di prevenzione - protezione

E' indispensabile per la salvaguardia delle integrità della salute del paziente e degli operatori un'accurata determinazione dei requisiti e delle caratteristiche tecniche, che devono poi mantenersi tali nel tempo, per l'individuazione di ogni protezione collettiva, procedura, dispositivo e/o accessorio strumentale, e di tutti i DPI necessari (dispositivi di protezione individuale generalmente impiegati a salvaguardia del personale, ma è doveroso sottolineare che alcuni sono di fondamentale importanza anche per la tutela dell'operando)."

Al paragrafo II.1.A.2 "COMPORTAMENTO DEGLI OPERATORI E CONTAMINAZIONE AMBIENTALE" si dice invece:

"Il livello di contaminazione microbica dell'aria in S.O. è direttamente proporzionale al numero di persone presenti, alle loro caratteristiche comportamentali, nonché alle caratteristiche dell'impianto di VCCC, è quindi importante che vengano rispettati i requisiti organizzativo-gestionali riportati nel capitolo III. A tal fine , è determinante che in ogni struttura sia attivato un processo di formazione continua per minimizzare i rischi di contaminazione ambientale e promuovere l'osservanza delle procedure comportamentali opportune. La determinazione della carica microbica in aria nella sala in attività può rappresentare uno degli strumenti, nell'ambito di programmi di formazione del personale, per aumentare la percezione degli operatori stessi su quali siano gli effetti della loro non adesione agli standard comportamentali."

Il terzo e conclusivo capitolo delle ISPEL recita invece:

"III - REQUISITI ORGANIZZATIVI E GESTIONALI

Sono correlati alle caratteristiche comportamentali dell'equipe chirurgica e dell'intero staff operatorio ed alle modalità di gestire la funzionalità di

tutto il reparto operatorio attraverso protocolli scritti per il personale, per le verifiche generali, per la sala operatoria.

III.1-Requisiti organizzativi

L'analisi comportamentale dell'equipe chirurgica e dello staff operatorio richiede che il numero di persone presenti in sala operatoria debba essere il più contenuto possibile e l'equipe operatoria di norma debba essere adeguata al tipo di intervento

Le comunicazioni sala operatoria/reparto operatorio devono essere chiuse.

Non devono essere presenti persone estranee all'equipe operatoria.

Il personale non deve entrare ed uscire dalla sala operatoria durante l'intervento.

Il personale non deve uscire dal reparto operatorio prima del termine della seduta operatoria.

Non devono essere indossati monili, orologi, etc. In sala operatoria.

Non è consentito introdurre telefoni cellulari in sala operatoria.

Devono essere impiegati i seguenti dispositivi di protezione individuale idonei in accordo con la normativa di settore (D. Lgs 475/92, D Lgs 626/94 e succ. mod e integr.) e/o le Linee Guida ISPESL. (rif. Citazione II.2.1, II.2.2, lett f.)

Si ritiene opportuno che tutti i presenti debbano indossare:

- dispositivi di protezione per le vie respiratorie per l'operatore e/o di contenimento dell'esperto
- cuffia
- soprascarpe - scarpe sterili

– stivali in caso di interventi bagnati (come da protocollo organizzativo)

Tutti i componenti dello staff operatorio devono indossare in base a quanto previsto dalla normativa vigente:

– guanti e visori o occhiali di protezione se si indossano dispositivi di protezione delle vie respiratorie che lasciano solo gli occhi non protetti.

III. 2 - Requisiti gestionali

A. Devono essere presenti i protocolli scritti per l'organizzazioni delle funzioni nel reparto operatorio; in particolare riguardano l'analisi dei protocolli in uso per l'organizzazione del personale del reparto operatorio.

(omissis)

B. I protocolli e le procedure scritte devono essere mirati ad assicurare un'assistenza corrispondente agli standard per quanto concerne : a) misure generali di buona gestione del blocco operatorio; b) procedure di manutenzione e di verifica degli impianti; c) procedure igienico-ambientali; d) misure di protezione dell'operatore sanitario dalla esposizione ad agenti chimici, biologici e fisici; e) misure di protezione dei pazienti dalla esposizione a rischi biologici.

Di seguito vengono riportati per ciascuno di questi aspetti una lista di protocolli che vuole essere solo indicativa, non pretendendo di essere esaustiva:

(omissis)

c. procedure igienico-ambientali

?? sanificazione ambientale

?? disinfezione

?? sterilizzazione

?? smaltimento dei rifiuti

d. misure di protezione dell'operatore sanitario

?? monitoraggio biologico dei gas anestetici in sala operatoria

?? monitoraggio delle caratteristiche chimiche dell'aria nel reparto operatorio

?? monitoraggio delle caratteristiche microclimatiche dell'aria

?? uso dei dispositivi di protezione

?? monitoraggio degli incidenti del personale di sala operatoria

?? gestione del rischio biologico e chimico dei lavoratori in accordo con le Linee Guida ISPESL

e. misure di protezione dei pazienti dalla esposizione a rischi biologici

?? preparazione del paziente (controllo delle condizioni cliniche di rischio, tricotomia, preparazione del campo, ecc.)

?? preparazione dell'equipe chirurgica (antisepsi di mani ed avambracci, abbigliamento, ecc.)

?? comportamenti del personale in sala operatoria (accesso, comportamenti, tecnica chirurgica, ecc.)

?? antibiotico profilassi perioperatoria

?? sorveglianza delle infezioni della ferita chirurgica."

Da quanto riportato appare evidente l'importanza che il legislatore, anche se ricordiamo che queste Linee Guida non hanno valore di leggi, attribuisce giustamente al comportamento del personale che opera in un blocco operatorio. Particolare rilievo è da attribuire alle procedure che consentono di mantenere gli impianti, i dispositivi medici e quant'altro viene utilizzato nelle condizioni di funzionamento per le quali sono stati progettati.

CAPITOLO 4

ANALISI DI UN PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE DI UN BLOCCO OPERATORIO

4.1 Introduzione

In questo capitolo presenteremo le caratteristiche del comparto operatorio per il quale verrà realizzato il progetto dell' impianto aeraulico.

Il blocco operatorio sarà costruito al piano terreno di una casa di cura privata in provincia di Rimini, e si inserisce in un piano di ristrutturazione della stessa.

Applicheremo al presente progetto quanto esposto nel capitolo precedente, analizzando brevemente gli impianti diversi da quello aeraulico, anche se questi non sono strettamente oggetto del presente elaborato.

4.2 Presentazione dell'esistente

Nell'area interessata dal progetto di creazione del Blocco Operatorio in esame sono attualmente presenti alcuni studi medici ed un bar .

4.3 Presentazione della soluzione edile desiderata

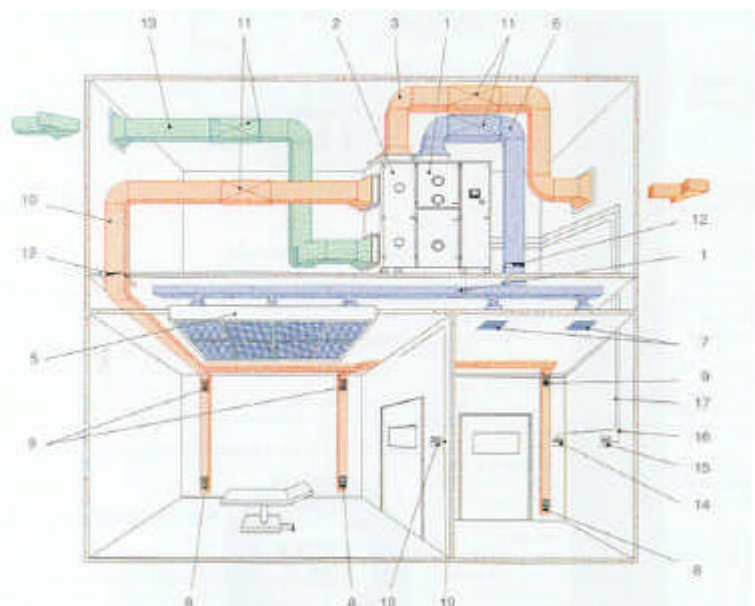
La soluzione edile desiderata è stata fornita in questo caso direttamente dal committente e non è quindi oggetto del nostro studio.

La progettazione degli impianti di un blocco operatorio deve essere perfettamente inserita nella struttura edilizia e, quando non avviene in modo contestuale ed integrato con la progettazione architettonica interna,

come sarebbe auspicabile, non può prescindere dalla sua totale conoscenza. Chiaramente una progettazione perfettamente integrata, volta ad ottimizzare l'utilizzazione degli spazi interni, una disposizione degli ambienti razionale sia per l'utilizzatore finale sia per la progettazione degli impianti, il disegno dei condotti, può avvenire solo in una struttura creata ex novo. In una ristrutturazione, chi traccia la disposizione degli ambienti interni, non può realizzare liberamente la soluzione che ritiene ottimale, ma deve tenere conto di tutti quei vincoli edilizi che la struttura esistente presenta, quali colonne portanti e muri esterni con geometria ben definita. Deve quindi realizzare la disposizione migliore possibile, compatibile con i vincoli iniziali, possibilmente tenendo conto anche delle esigenze di spazio richieste dagli impianti che dovranno innestarsi sul suo progetto.

Il caso preso in esame non parte da presupposti particolarmente favorevoli, sia per la conformazione edilizia, sia per la collocazione del comparto operatorio all'interno dell'edificio. La collocazione ottimale per un blocco operatorio è all'ultimo piano di un edificio o in una struttura a sé stante; questa disposizione garantisce infatti ampi spazi vicini al blocco, ad esempio il tetto dell'edificio, in cui collocare le voluminose apparecchiature richieste dal particolare impianto di condizionamento.

Una soluzione ottimale è rappresentata anche dall'utilizzo di un interpiano tecnico, come rappresentato nella figura a lato.



Nella Casa di Cura in esame l'area destinata alla creazione del blocco operatorio è limitata su tre lati da muri esterni, ma essendo attigua all'entrata della casa di cura stessa, due dei tre lati non possono essere utilizzati per posizionarvi l'Unità di Trattamento dell'Aria per ovvii motivi estetici. Questo, oltre alla problematiche legate ad una struttura vecchia e sicuramente non concepita per ospitare impianti aeraulici, crea ovviamente problemi di tipo logistico a chi deve progettare l'impianto.

4.4 Indicazioni legislative

La conformazione interna di un reparto operatorio deve rispondere a requisiti funzionali e di sicurezza che sono stati definiti con esattezza nelle Linee guida ISPESL, che al paragrafo "I - 2) Caratteristiche strutturali specifiche" recita come segue:

"Sono state prese in considerazione le caratteristiche del reparto operatorio nel suo complesso poiché al livello di qualità della sala operatoria contribuiscono oltre alle caratteristiche strutturali delle stesse anche quelle di tutte le strutture che costituiscono il reparto operatorio. Questo deve poter disporre di una serie di zone tecniche, locali, spazi operativi che possono essere classificati come segue:

A) Porte di accesso

B) Zone tecniche

- a. Zona filtro operandi
- b. Zona filtro personale
- c. Zona preparazione operandi
- d. Zona risveglio
- e. Zona lavaggio strumentario chirurgico (sporco)

- f. Zona sub-sterilizzazione
- g. Zona preparazione staff chirurghi
- h. Zona lavaggio staff chirurghi

C) Locali

- a. Locale per caposala
- b. Locale per anestesisti e chirurghi
- c. Locale riposo personale
- d. Locale analisi estemporanee anatomo-patologiche

D) Spazi operativi: Depositi

- a. Armamentario chirurgico
- b. Strumenti particolari
- c. Materiale sterile
- d. Materiale pulito
- e. Materiale sporco

E) Caratteristiche architettoniche funzionali

- a. Corridoi
- b. Percorsi
- c. Distanze
- d. Collegamenti
- e. Spazi attrezzati ed accessori

F) Sale operatorie"

Seguono poi, per ogni singola struttura, zona o locale, un'analisi dettagliata ed un elenco di prescrizioni costruttive.

Vengono poi definite le caratteristiche ottimali degli aspetti distributivi degli ambienti nella seguente tabella:

Ambienti tra loro	adiacenti	comunicanti
S.O./ preparazione paziente	si	si/ no
S.O./ area di risveglio	si	si/ no
S.O./ preparazione chirurghi	si	si
S.O./ substerilizzazione	si	si
preparazione paziente /area di risveglio	si	si/ no
preparazione paziente/ preparazione chirurghi	si	si/ no
preparazione chirurghi/sterilizzazione locale	si	no

Seguono poi anche le indicazioni relative ai tempi di percorrenza, espressi in secondi, consigliabili tra il blocco operatorio ed altri reparti o servizi della struttura ospedaliera.

Va comunque precisato che non tutti i progettisti del settore sono in perfetto accordo con tutte le indicazioni fornite dalle linee guida, in quanto l'esperienza sul campo suggerisce loro alcune variazioni. Riportiamo, tra gli altri, due esempi. Riguardo alla tabella riportata sopra è ritenuto discutibile che la substerilizzazione debba essere posta in comunicazione diretta con la Sala Operatoria.

Si ritiene poi opportuno aumentare la dimensione delle porte da cui passano i pazienti ad almeno 1,5 m, al posto della larghezza genericamente indicata > 1,2 m; tale dimensione potrebbe causare infatti difficoltà nel manovrare i letti.

Anche la progettazione di reparti operatori risente probabilmente di *mode*, di tendenze, che variano nel tempo. A questo riguardo ad esempio si può far rilevare come le Linee Guida ISPESL suggeriscano alla voce "F) Sale Operatorie" del paragrafo in esame, punto h:

"finestre devono essere assenti (possibilità di vetrate non apribili nelle strutture esistenti) e prive di cassettoni per avvolgibili;"

quando invece le più moderne tendenze auspicano l'illuminazione naturale con adeguati infissi ermetici ed oscurabili.

Altro esempio di queste tendenze, diverse tra paese e paese, è la separazione tra zone sporche e pulite. Storicamente, soprattutto in Italia, si è ritenuta una soluzione ideale quella di creare vie differenziate di accesso/allontanamento per materiale pulito-sterile e sporco, al fine di evitare la contaminazione di quello pulito, seguendo l'esempio di quanto avviene nelle camere bianche. Le più moderne tendenze progettuali rinunciano completamente a questa divisione: si tende ad individuare come unica zona "pulita" quella circostante al letto operatorio mentre tutto il resto del comparto operatorio è da considerarsi "sporco". I materiali effettivamente sporchi, per poter essere trasportati senza particolari precauzioni, vengono infatti inscatolati o imbustati in appositi contenitori puliti: si trasforma cioè lo "sporco" in "pulito". Questo avviene in un locale contiguo a quello di produzione dello sporco in modo da minimizzare il percorso compiuto dal materiale ancora "sporco".

Questa rivisitazione del problema permette notevoli economie nella disposizione dei locali all'interno del comparto operatorio ed un sensibile riduzione della superficie occupata.

4.5 Analisi della soluzione edile proposta

La complessità edilizia ed impiantistica richiesta da una sala operatoria ha portato all'esigenza di creare "blocchi operatori" e non sale operatorie isolate al fine di ridistribuire i costi di installazione e manutenzione di strutture, impianti e locali comuni su più sale. In questo modo si garantisce una conveniente utilizzazione dei locali che devono comunque essere presenti e delle apparecchiature di supporto quali la sterilizzatrice e di tutti gli impianti necessari. La pratica ha poi determinato la convenienza di

considerare sempre una unità fondamentale costituita da due sale affiancate l'una all'altra; per cui, anche in presenza di più di due sale, si può generalmente distinguere una ripetizione dell'unità fondamentale.

Anche nel caso in esame, all'interno del blocco operatorio, sono presenti due sale operatorie affiancate e, separate da queste, in zona meno pulita, ma comunque controllata, una sala per le medicazioni chirurgiche ed una sala gessi. Nel corso dello sviluppo del progetto ci sono state proposte due diverse soluzioni edilizie; con la seconda si è riusciti ad ottenere un notevole miglioramento per quello che riguarda la funzionalità della sala gessi e della sala medicazioni.

Osservando la tavola "PIANTA ORGANIZZAZIONE FUNZIONALE", che riporta la prima soluzione architettonica proposta, si può notare come nel reparto siano presenti tutte le zone ed i locali indicati dalle Linee Guida.

L'accesso dei pazienti dai reparti di degenza è prevista attraverso un montalettighe ad uso esclusivo del comparto operatorio; da questo si accede all'area di cambio letto del paziente, indicata nell'indice sopra riportato come "Zona filtro operandi". Le zone indicate con c. e d. tra le zone tecniche sono accorpate, come avviene frequentemente nella pratica, in un unico locale che viene indicato come: "area preparazione e risveglio pazienti"; in tale locale è prevista l'ubicazione di un numero sufficiente di letti tale da soddisfare le esigenze delle due sale operatorie che gravitano su tale zona. Si suppone infatti la condizione più sfavorevole di due pazienti in fase di preparazione e di due in fase di risveglio, oltre ad un paziente in ciascuna sala. La condivisione della stessa zona di preparazione/risveglio tra due sale è pratica diffusa al fine di contenere i costi, anche se non mancano perplessità al riguardo; da tale zona si accede quindi indifferentemente ad entrambe le sale operatorie. Dallo stesso ambiente si accede anche ad un locale dedicato al lavaggio dello staff dei chirurghi"; da questa si accede direttamente ad entrambe le sale operatorie. Tramite apposite bussole le

due sale operatorie sono messe in comunicazione con la medesima zona di lavaggio dello strumentario chirurgico sporco; sempre mediante bussole la sala operatoria è messa in comunicazione con la zona di sub sterilizzazione. Seguendo il percorso del personale in uscita dalla sala operatoria vediamo come, attraversata la zona di preparazione/risveglio dei pazienti, si acceda ad un corridoio pulito, "connettivo pulito del comparto operatorio", dal quale si accede alla zona di preparazione dello staff di chirurghi, che consiste in un spogliatoio provvisto di doccia e servizi igienici, ovviamente diviso per sesso. Attraversata questa zona che funge da filtro, il personale che opera un sala operatoria si trova in un corridoio indicato come "disimpegno / filtro equipe"; da questo, attraversato un ulteriore disimpegno ed un ultimo filtro, si esce dal comparto operatorio. Sul "connettivo pulito del comparto operatorio" si affacciano altri locali previsti dalle linee guida: "relax equipe e refertazione", "box caposala", "deposito attrezzature", "deposito sterile", "deposto pulito" e la centrale di sterilizzazione. Alla fine di questo corridoio vi è poi una porta dalla quale si accede al "disimpegno / filtro equipe", indicato anche nella revisione del progetto come: "connettivo sporco di servizio"; da questo si accede alla "cucinetta e locale lavoro personale" ed al "deposito sporco e vuotatoio". Confrontando i locali presenti con quelli previsti dalle linee guida ISPESL si può notare l'assenza in questo blocco operatorio di un locale adibito a "analisi estemporanee anatomico-patologiche", ma il tipo di chirurgia prettamente ortopedica che si intende effettuare in queste sale lo renderebbe di fatto inutile; le stesse linee guida indicano che tale locale "deve essere presente se le caratteristiche funzionali del reparto operatorio e della struttura sanitaria lo richiedono". La collocazione di tale locale è peraltro prevista al di fuori della zona pulita, ma raggiungibile in un tempo inferiore ai tre minuti.

In questa prima versione "l'ambulatorio chirurgico e medicazioni" e la "sala gessi" si affacciano su un disimpegno, collegato ad un altro disimpegno al quale si accede dall'area di cambio letto. Dal disimpegno si accede anche al deposito gessi ed attrezzature e ad un bagno con antibagno, oltre che ad un ulteriore disimpegno che conduce fuori dal comparto operatorio. Anche da una prima analisi si capisce come tutta l'area su cui gravitano l'ambulatorio e la sala gessi, presenti una disposizione poco razionale; pertanto la revisione del progetto edilizio si è concentrata soprattutto su questa zona ottenendo una disposizione degli ambienti molto più funzionale.

L'area interessata dal comparto operatorio è stata leggermente estesa a danno di un corridoio e di un bagno esterni. L'area di cambio letto paziente è stata notevolmente ampliata a danno di un disimpegno, completamente eliminato; il bagno è stato spostato verso le scale interne e questo ha permesso di creare un'area di attesa per la medicazione chirurgica dalla quale si accede direttamente alla sala di medicazione e ed alla sala gessi. Le due sale sono comunicanti tra loro. Sono stati ricavati, a ridosso della parete esterna, un locale di lavaggio per i chirurghi a cui si accede dal connettivo sporco e comunicante con la sala di medicazione ed un locale adibito a deposito gessi ed attrezzature comunicante con la sala gessi. Questa disposizione appare immediatamente più razionale della precedente e permette di ottimizzare lo spazio a disposizione.

Si vede poi come, nella creazione di pareti per suddividere gli ambienti, sia stato fatto largo uso di pareti fittizie non in muratura, ma costituite semplicemente da un supporto metallico per i pannelli di rivestimento. E' interessante poi notare i raccordi al posto degli angoli retti tra le pareti; questa è una attenzione diffusissima volta ad evitare accumuli di sporco negli angoli che risulterebbero poi le zone più complesse da pulire.

Sulla pianta della revisione del progetto, denominata "PLANIMETRIA DI PROGETTO R1", sono riportate, locale per locale, tutte le indicazioni

relative alle finiture: tipo di pavimenti, di pareti e di controsoffitti. Anche la scelta di questi particolari è guidata dalle indicazioni fornite dalle Linee Guida che specificano, per ogni ambiente o zona, la tipologia del rivestimento delle pareti o del pavimento che devono essere tali da consentire un facile e frequente lavaggio e disinfezione degli stessi. A titolo di esempio, si riportano le prescrizioni al riguardo relative alla "Zona filtro operandi":

- pavimento raccordato con le pareti, liscio uniforme, resistente ad agenti chimici e fisici;
- pareti raccordate con soffitto, lisce uniformi, lavabili, disinfettabili fino ad $h = 2\text{m}$, ignifughe;
- soffitto liscio, continuo.

Queste prescrizioni si ripetono molto simili tra loro per tutti i locali della zona pulita, mentre per le sale operatorie si hanno indicazioni leggermente più severe:

- pavimenti raccordati con le pareti lisci uniformi, antisdrucchiolevoli e liberi da ingombri di condutture, resistenti ad agenti chimici e fisici;
- pareti raccordate con soffitto, lisce uniformi, lavabili, disinfettabili a tutta altezza, ignifughe;
- soffitto liscio, continuo.

Dall'analisi delle piante presentate si vede quindi come siano state seguite le indicazioni fornite dalle Linee Guida ISPESL; questo vale sia per la disposizione dei locali sia per quanto riguarda la dimensione delle porte, destinate al transito dei letti e non, sia per la tipologia delle finiture.

4.6 Realizzazione degli impianti

Di seguito verranno esaminati brevemente secondo quanto scritto al capitolo 2 gli impianti di competenza dello studio di progettazione a cui si è fatto riferimento. Mancano pertanto l'analisi degli impianti elettrico e di distribuzione dei gas medicinali. L'impianto di climatizzazione verrà invece sviluppato dettagliatamente nei capitoli seguenti.

Per quanto concerne l'impianto idrico al servizio di quello di climatizzazione, si osserva solamente che i fluidi termovettori sono già presenti all'interno dell'area ospedaliera e vengono forniti con tubazioni già predisposte ed intercettate in prossimità della centrale di trattamento dell'aria.

Progetto dell'impianto idrico sanitario

Da un'analisi delle planimetrie, vediamo come siano presenti lavabi per la preparazione dei chirurghi, lavabi nella zona di preparazione e risveglio del paziente, i bagni negli spogliatoi del personale, vuotatoi per la pulizia delle padelle e di quant'altro possa essere scaricato nella rete fognaria. Richiedono punti per la distribuzione dell'acqua anche le sterilizzatrici ed ovviamente la cucinetta per il personale.

L'acqua potabile fredda, l'acqua potabile calda ed il ricircolo sanitario sono presenti all'interno dell'area ospedaliera e forniti con tubazioni già predisposte ed intercettate in adiacenza alla porzione di edificio da ristrutturare.

Dall'elaborato grafico M05 -Impianto idrico sanitario e tubazioni a soffitto- si nota come l'impianto progettato sia prevalentemente del tipo a pettine, anche se al suo interno è stata realizzata una maglia al fine di garantire una erogazione più sicura anche alle ultime utenze della linea. Nello stesso disegno appare chiaramente anche il raddoppio delle condotte per l'acqua calda necessario per effettuare il ricircolo sanitario.

Progetto della rete fognaria e di scarico

Osservando le planimetrie si vede come le utenze fornite dall'impianto idrico-sanitario coincidano con quelle che deve supportare l'impianto di scarico, ad eccezion fatta per il vuotatio del deposito sporco che non prevede la fornitura diretta di acqua.

Come si vede dall'elaborato grafico M04 –Impianto idrico sanitario: scarichi a pavimento, la rete progettata è interamente del tipo a pettine e corre esternamente al muro esterno dell'edificio, con ramificazioni che raggiungono tutte le utenze. Questa disposizione, con la presenza di pozzetti di ispezione in cemento armato in corrispondenza di ogni raccordo, assicura una perfetta manutenibilità dell'impianto, mettendo così il cliente al riparo dai danni dovuti ad un possibile intasamento della condotta.

Le condotte sono posate interrato e, come detto, devono presentare una pendenza minima del 5%, al fine di favorire il deflusso delle acque di scarico. Tutte le condotte sono in polietilene, ad eccezione di quelle che raccolgono le acque di scarico delle sterilizzatrici che sono di acciaio inox; data l'elevata temperatura dello scarico le condotte di plastica sarebbero infatti rapidamente danneggiate. Particolare attenzione va prestata poi al dimensionamento dei tubi dei vuotatoi nei quali potrebbero essere scaricati, soprattutto dalla sala gessi, anche detriti solidi di dimensioni tali da ostruire una condotta non ben progettata: è per questo motivo che sono stati indicati tubi di 110 mm di diametro.

Progetto dell'impianto antincendio

Nel progetto in esame la zona sicura è individuata nell'area prospiciente al montalettighe, quella di accesso al blocco operatorio per chi proviene dai reparti di degenza. L'isolamento è ottenuto mediante la creazione di muri e porte di tipo REI 120: tali strutture devono garantire la stabilità strutturale, la tenuta al passaggio di fiamme o fumo e l'isolamento termico per un periodo di 120 minuti primi. Le porte sono azionate automaticamente per

effetto di una centralina che riceve le indicazioni da sensori rilevatori di fumo opportunamente posizionati. Un completo isolamento della zona può essere ottenuto solo bloccando anche i canali per il passaggio dell'aria previsti per l'impianto di condizionamento. Per questo motivo si sono predisposte sui canali, in corrispondenza degli attraversamenti di muri di tipo REI, serrande tagliafuoco motorizzate con resistenza al fuoco anch'esse di 120'.

Nel caso in esame si realizzerà un impianto idrico antincendio di tipo fisso alimentato dalla rete esistente all'interno della Clinica. Tale impianto prevede l'installazione di cassette a muro UNI 45 predisposte all'interno del blocco operatorio in corrispondenza delle uscite di sicurezza e nel luogo sicuro. Tutte le cassette saranno complete di vetro tipo "safe crash", lancia con frazionatore e canapa da 25 metri. Ogni cassetta sarà alimentata con tubazioni da 1"1/2; la tubazione generale di alimentazione avrà diametro 2"1/2. La posizione delle cassette è rilevabile dalla planimetria: M05 - Impianto idrico sanitario e tubazioni a soffitto.

Per ciò che concerne la attrezzature mobili di estinzione è stata studiata con cura l'ubicazione dei vari estintori in modo da consentire una facile reperibilità degli stessi e quindi poter effettuare un rapido intervento; infatti essi saranno installati in prossimità degli accessi, in prossimità dei locali a maggior rischio ed in prossimità dei luoghi sempre presidiati. Tale criterio ha portato ad avere una densità di estintori pari ad uno ogni 200mq. di superficie. Gli estintori installati saranno del tipo a polvere da 6 Kg con capacità estinguente 55 A - 233 B, secondo quanto prescritto dal D.M. 10.3.98, e riportato al paragrafo 2.8.

4.7 Scelte impiantistiche

Nel progetto in esame la progettazione impiantistica è stata elaborata nella ricerca delle migliori condizioni ambientali, intese come parametri complessivi nei quali deve svolgersi l'attività, considerando prima quegli aspetti sui quali possono incidere gli impianti e cioè:

- Sicurezza
- Confort
- Ottimizzazione della resa delle attività lavorative
- Ottimizzazione dell'organizzazione del lavoro
- Microclima
- Rumore
- Manutenibilità, costi gestionali, normative.

Si sono adottate le soluzioni impiantistiche che consentono una economicità gestionale, intesa come perseguimento dei minimi livelli di spesa necessari per un utilizzo completo degli impianti al massimo delle loro prestazioni, adottando le soluzioni che consentano di prevedere una gestione impiantistica controllata dai competenti operatori, ma esercibile in modo automatizzato.

Nella progettazione dell'impianto aeraulico si è tenuta in considerazione anche l'importanza del risparmio energetico, installando uno scambiatore di calore tra l'aria espulsa e quella in ingresso.

CAPITOLO 5

IMPOSTAZIONE DEL PROGETTO DELL'IMPIANTO AERAUICO

5.1 Schema dell'impianto aeraulico

L'impianto aeraulico che si intende realizzare per questo comparto operatorio è del tipo a tutta aria esterna, e non prevede quindi la possibilità di ricircolare una parte dell'aria.

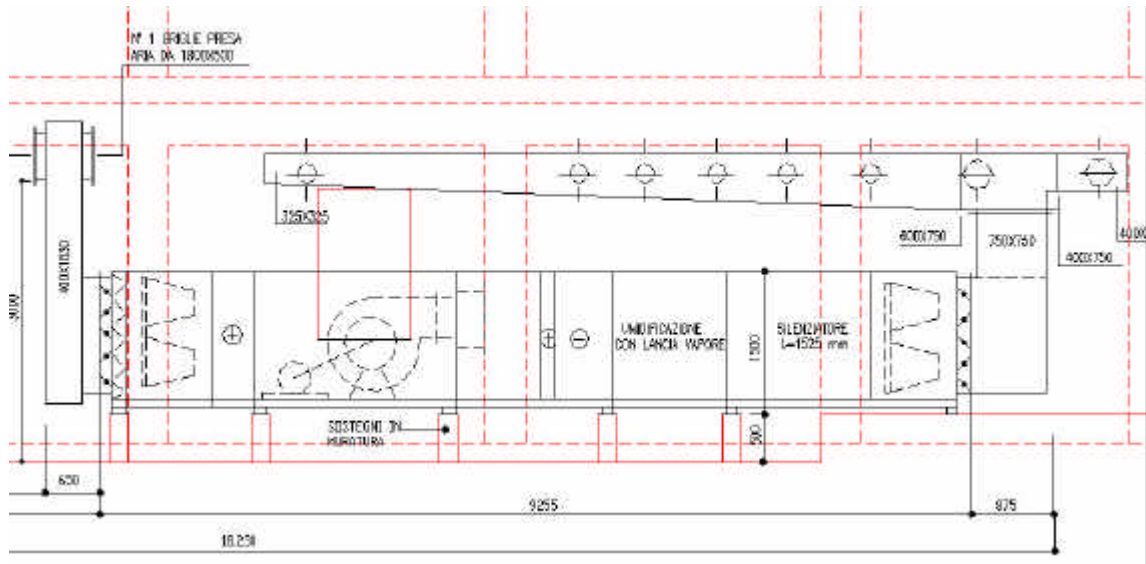
L'aria viene prelevata dall'atmosfera, opportunamente elaborata nell'UTA (Unità di Trattamento dell'Aria) e quindi immessa, mediante appositi condotti e dispositivi di immissione, direttamente nei vari ambienti del comparto operatorio. La portata d'aria e le sue condizioni termoigrometriche devono garantire il mantenimento del microclima desiderato all'interno degli ambienti stessi ed assicurare un numero di ricambi orari sufficiente a determinare una contaminazione batteriologica compatibile con le attività che si svolgono al suo interno, nel rispetto delle norme già trattate al Capitolo 3. L'aria viene quindi estratta dagli ambienti del blocco operatorio mediante griglie e condotti di estrazione, appositamente creati.

Il moto dell'aria nei condotti, sia di immissione che di estrazione, è assicurato mediante ventilatori centrifughi rispettivamente detti di mandata e di ripresa.

Nel caso preso in esame i condotti di mandata e di ripresa sono disposti nell'intercapedine che si presenta tra il soffitto ed il controsoffitto; l'aria viene poi immessa negli ambienti da dispositivi del tipo a soffitto. Le griglie di ripresa sono invece collocate in parte a soffitto ed in parte lungo le pareti, come nelle sale operatorie, per assicurare una migliore circolazione dell'aria.

5.2 UTA di mandata

Nel disegno sottostante è raffigurata l'unità di trattamento dell'aria per l'aspirazione dell'aria dall'ambiente esterno e la mandata verso il canali di distribuzione.



Si distinguono, procedendo da sinistra verso destra:

- ?? le griglie di aspirazione dell'aria che devono essere collocate ad un'altezza di almeno tre metri dal piano stradale e lontano dagli scarichi del blocco operatorio stesso, di cucine o affini. Questo accorgimento si rende necessario per evitare di aspirare aria già fortemente contaminata dal punto di vista microbico, particellare od olfattivo;
- ?? i filtri piani di tipo G3, subito dopo la fine del canale verticale;
- ?? i filtri a tasche di tipo F8, che sono schematizzati con due coni tronchi;
- ?? la batteria di recupero del calore, contraddistinta con "+". Questo dispositivo, obbligatorio per legge, è volto al risparmio energetico e consente di recuperare parte del calore che possiede ancora l'aria espulsa dall'impianto. E' costituito essenzialmente da due scambiatori di calore collocati sui canali di aspirazione e di espulsione e collegati tra loro da un circuito idraulico, nel quale l'acqua viene movimentata da una apposita pompa;

?? il ventilatore centrifugo che garantisce la prevalenza necessaria per assicurare una corretta portata d'aria in tutti i locali, vincendo tutte le perdite, distribuite o concentrate. che l'aria subisce durante il suo percorso;

?? la batteria di preriscaldamento, contrassegnata con "+", che ha lo scopo di elevare la temperatura dell'aria appena aspirata, qualora ve ne sia la necessità, fino a 13 °C;

?? la batteria di refrigerazione, indicata con "-", che ha lo scopo, durante il condizionamento estivo, di abbassare la temperatura dell'aria fino a 13 °C; questa trasformazione comporta una variazione dell'umidità relativa, fino alla formazione di condensa. Si realizza cioè con questa batteria una deumidificazione dell'aria, indispensabile per rispettare le richieste fatte dalle norme per quanto concerne l'umidità relativa, che deve essere compresa tra il 40 ed il 60 % (paragrafo 3.2.1);

?? la stazione di umidificazione dell'aria, utilizzata, durante l'inverno, per elevare l'umidità relativa dell'aria fino ai valori richiesti. Durante il riscaldamento invernale infatti il grado igrometrico dell'aria crolla a valori particolarmente bassi, e necessita quindi di essere elevato ai valori desiderati;

?? un silenziatore per contenere l'inquinamento acustico nelle sale⁹²;

?? i filtri a tasche F9.

L'aria esce poi dall'UTA vera e propria ed entra nel plenum di mandata. A valle di questo, l'aria viene suddivisa tra 7 canalizzazioni separate che la distribuiranno ai vari locali. Questa suddivisione è necessaria per garantire la possibilità di isolare una parte del comparto operatorio, per la manutenzione, o semplicemente per il mancato utilizzo, garantendo una piena funzionalità ai restanti locali del blocco. Questa soluzione, oltre che dal buon senso, è espressamente auspicata dalle Linee Guida ISPESL, al paragrafo I.3.(4).

Prima di essere immessa nelle condotte di mandata l'aria attraversa le batterie di post-riscaldamento che hanno il compito di elevare la temperatura dell'aria dai 13 °C in ingresso al valore richiesto per mantenere nei locali serviti la temperatura desiderata. Le batterie di post-riscaldamento collocate a valle della separazione delle portate d'aria permettono di avere temperature di immissione diverse nei vari locali, assicurando la temperatura desiderata anche con portate d'aria molto diverse tra loro.

La suddivisione delle portate d'aria è stata effettuata secondo la tabella seguente.

Sezione dell'impianto	TIPOLOCALE	N°
CASSETTA M1	Sala operatoria 1	2,3,5
CASSETTA M2	Sala operatoria 2	4,6,7
CASSETTA M3	Risveglio	8
CASSETTA M4	Sterilizzazione	21 22
CASSETTA M5	Sala operatoria 3	27,29,30
CASSETTA M6	Sala gessi	28,31
CASSETTA M7	Supporti	9,10,11,12, 13,14,15,17,18,20,23, 25,26

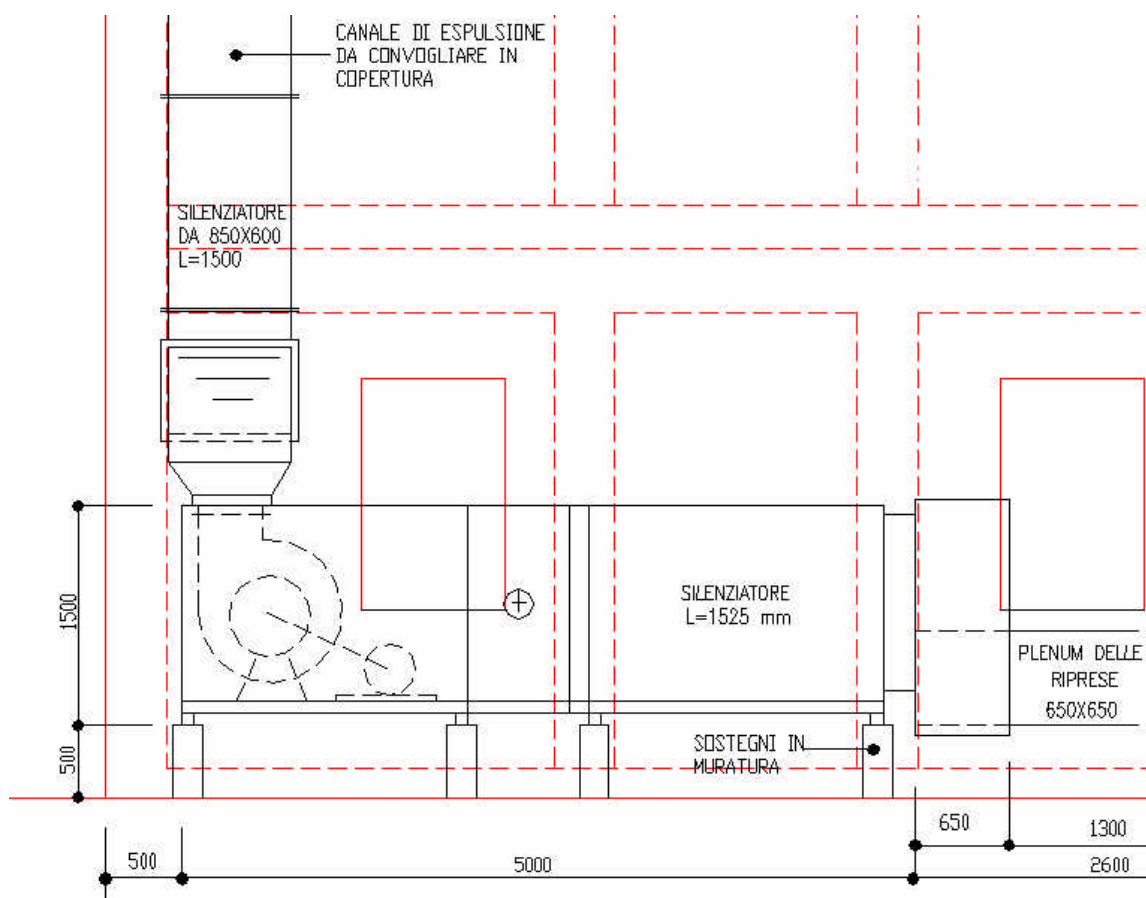
Nella terza colonna sono indicati i numeri identificatori di ogni locale che sono riportati per comodità sui disegni di progetto allegati. Si vede come la cassetta di post-riscaldamento dei "supporti" serva un numero di locali decisamente più elevato di tutte le altre che sono sostanzialmente dedicate ad un singolo ambiente.

5.3 Canali, dispositivi di immissione e di ripresa

Per l'analisi di questi dispositivi si rimanda ai capitolo seguenti nei quali saranno ampiamente descritti.

5.4 UTA di ripresa

I canali di ripresa confluiscono in un plenum "delle riprese", visibile in basso a destra nel disegno sottostante.



Il plenum delle riprese convoglia l'aria proveniente dall'interno del blocco operatorio nell'UTA di ripresa vera e propria. Qui attraversa un silenziatore e poi la batteria di scambio termico del circuito di recupero del calore, a cui cede parte del proprio calore prima di essere espulsa nell'atmosfera.

Quindi l'aria viene aspirata dal ventilatore centrifugo di ripresa ed inviata nel condotto di scarico che la espellerà lontano dal punto di aspirazione;

nello specifico il condotto viene convogliato verso la copertura dell'edificio.

5.5 Condizioni di progetto

Le condizioni di progetto sono state ottenute dalle norme UNI 10349 per il riscaldamento invernale e dalle UNI 10339 per il condizionamento estivo, e sono definite, tenendo conto della zona climatica, in base alle massime richieste dell' impianto.

Temperatura di progetto invernale: -5 °C

Condizioni di progetto estive:

I dati da utilizzare per questo tipo di dimensionamento sono indicati dalla norma UNI 10339 all' appendice D, prospetto XI.

Per la zona di Rimini tali dati sono:

Temperatura a bulbo asciutto dell'aria esterna	$T_{bse} = 30 \text{ °C}$
Intervallo giornaliero di escursione termica della temperatura	$?T_{ge} = 10 \text{ °C}$
Umidità relativa dell'aria esterna	$UR_e = 60 \%$
Contenuto igrometrico assoluto	$X = 16,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg/kg}$
Altitudine sul livello del mare	$H = 13 \text{ m s.l.m.}$
Latitudine Nord	$44^{\circ}01'$
Longitudine Est Greenwich	$12^{\circ}39'$
Mesi più caldi	luglio-agosto

5.6 Calcolo delle dispersioni termiche invernali

Tali dispersioni sono state ottenute, ambiente per ambiente, mediante appositi programmi di calcolo e sono indicate nella tabella sottostante.

TIPO LOCALE	N°	SUPERFICIE mq	ALTEZZA	DISPER. Kcal/h
Vuota	1	3,80	2,4	154
Connettivo sporco	2	15,30	2,4	754
Area lavaggio sporca	3	4,70	2,4	212
Sub sterilizzazione	4	12,70	2,7	653
Sala operatoria 1	5	36,80	3	2.223
Preparazione chirurghi	6	9,50	2,7	516
Sala operatoria 2	7	36,80	3	2.189
Preparazione pazienti	8	39,80	3	2.353
Cambio letto	9	25,50	3	1.532
Deposito gessi	10	17,50	2,7	926
Relax	11	9,60	3	583
Caposala	12	12,00	2,7	649
Deposito attrezzi	13	7,70	2,7	410
Corridoi pulito	14	15,40	2,7	853
2° Filtro femminile	15	5,70	2,7	299
WC	16	2,80	2,7	159
1° filtro femminile	17	5,70	2,7	302
2° filtro maschile	18	5,70	2,7	302
WC	19	2,80	2,7	159
1° filtro maschile	20	5,70	2,7	301
Sterilizzazione	21	25,50	3	1.537
Lavaggio sterilizzazione	22	9,10	3	539
Cucinetta	23	5,40	3	340
Vuota	24	3,80	2,7	203
Connettivo sporco	25	6,80	2,7	355
Connettivo sporco	26	9,60	2,7	518
Sala operatoria 3	27	24,90	3	1.496
Sala gessi	28	28,60	3	1.731
Disimpegno medicazioni	29	18,90	3	589
TOTALE Reparto		408		22.837

Nella seconda colonna sono indicati i numeri identificativi di ciascun locale.

Dalla somma dei disperdimenti dei singoli ambienti si ottiene la potenzialità totale richiesta all'impianto nel momento di maggior dispersione termica del blocco operatorio.

CAPITOLO 6

DIMENSIONAMENTO E STESURA DELL'IMPIANTO AERAUICO "ULTRACLEAN"

6.1 Tabella delle portate d'aria

Nella seguente tabella sono riportati tutti i dati utili per il dimensionamento dell'impianto aeraulico e per la valutazione dei costi fissi dell'impianto.

Nella prima colonna è riportata la funzione dei locali che, per facilità di identificazione, sono identificati dal numero riportato nella seconda colonna che è indicato anche su tutte le planimetrie del progetto. Nelle colonne terza, quarta e quinta sono riportate rispettivamente la superficie, l'altezza ed il volume di ciascun locale. Nella sesta colonna è indicato il numero di ricambi orari di aria che si è deciso di imporre per ogni singolo locale. Moltiplicando tale valore per il volume del locale stesso si ottiene ovviamente la portata di aria, riportata nella colonna successiva in m^3/h , che è necessario inviare in ogni singolo ambiente. Nelle ultime due colonne sono indicate le portate di aria estratta da ogni ambiente; l'ultima è riservata, per comodità di calcolo, unicamente all'aria estratta dai servizi igienici per agevolare il bilanciamento aeraulico e per valutare l'eventuale estensione ed incidenza di una rete separata con un opportuno estrattore dedicato per la ripresa da tali ambienti, come spesso richiesto dai locali Regolamenti di Igiene; per altro non è il caso esaminato in questo lavoro di tesi. Si può vedere come la portata estratta differisca quasi sempre dalla portata introdotta nel singolo ambiente; tale differenza è il mezzo attraverso il quale si intende mantenere le zone pulite in sovrappressione rispetto a quelle più sporche.

TIPO DI LOCALE	N°	SUP. m ²	ALTEZZA m	VOL. AMB. m ³	RIC mand	ARIA MANDATA m ³ /h	ARIA RIPRESA m ³ /h	ARIA RIP.WC m ³ /h
Vuota	1	3,80	2,4	9	/	/	/	140
Connettivo sporco	2	15,30	2,4	37	6	230	165	/
Area lavaggio sporca	3	4,70	2,4	11	6	70	/	/
Sub sterilizzazione	4	12,70	2,7	34	15	520	380	/
Sala operatoria 1	5	36,80	3	110	30	3.320	2.760	/
Preparazione chirurgi	6	9,50	2,7	26	6	160	135	/
Sala operatoria 2	7	36,80	3	110	30	3.320	2.760	/
Preparazione pazienti	8	39,80	3	119	15	1.800	1.440	/
Cambio letto	9	31,33	3	94	6	570	520	/
Deposito attrezzature	10	8,89	2,7	24	6	150	140	/
Relax	11	9,60	3	29	8	240	200	/
Caposala	12	12,00	2,7	32	6	200	170	/
Deposito attrezzi	13	7,70	2,7	21	8	170	200	/
Corridoi pulito	14	15,40	2,7	42	6	250	230	/
2° Filtro femminile	15	5,70	2,7	15	6	100	100	/
WC	16	2,80	2,7	8	/	/	/	120
1° filtro femminile	17	5,70	2,7	15	6	100	/	/
2° filtro maschile	18	5,70	2,7	15	6	100	100	/
WC	19	2,80	2,7	8	/	/	/	120
1° filtro maschile	20	5,70	2,7	15	6	100	/	/
Sterilizzazione	21	25,50	3	77	20	1.530	1.230	/
Lavaggio sterilizzazione	22	9,10	3	27	20	550	440	/
Cucinetta	23	5,40	3	16	8	130	170	/
Vuota	24	3,80	2,7	10	/	/	/	150
Connettivo sporco	25	6,80	2,7	18	6	120	/	/
Connettivo sporco	26	11,11	2,7	30	6	180	120	/
Sala operatoria 3	27	24,90	3	75	30	2.250	1870	/
Sala gessi	28	22,67	3	68	20	1.360	1090	/
Disimpegno medicazioni	29	24,67	3	74	6	450	300	/
Preparazione chirurgi	30	6,00	3	18	6	110	90	/
Deposito gessi	31	4,67	3	14	6	90	70	/
AWC	32	3,00	3	9	/	/	/	/
WC	33	3,00	3	9	/	/	/	150
TOTALE Reparto		423		1.221		18.170	14.680	680

6.2 Considerazioni sul numero di ricambi d'aria adottati

Come detto il numero di ricambi orari di aria è riportato nella sesta colonna.

I valori assegnati portano certamente ad un dimensionamento generoso, ma assolutamente compatibile con alcuni progetti effettivamente realizzati. Nell'intento di chi adotta tali valori per i ricambi d'aria, vi è il desiderio di mantenere in condizioni di perfetta asepsi l'intero comparto operatorio, asportando con ingenti portate d'aria i batteri introdotti nel comparto stesso dagli operatori. L'ostacolo all'introduzione accidentale di batteri dall'esterno è ottenuto mantenendo l'intero blocco ad una pressione superiore a quella presente nei locali circostanti. L'adozione per tutta l'aria immessa di una catena filtrante che si conclude con filtri assoluti assicura al contempo una bassissima presenza di particolato che possa costituire un supporto per i batteri stessi.

Particolarmente curata è anche la distribuzione dei flussi d'aria, finalizzata alla creazione di una scala delle pressioni che presenti il suo valore minimo nelle zone più "sporche" ed il suo valor massimo nella sala operatoria. L'aumento di pressione deve essere graduale; quindi tra ambienti con differente grado di pulizia vi deve essere un Δp in grado di far fluire l'aria da quello a minor grado di contaminazione verso quello a contaminazione maggiore.

Che l'intero blocco operatorio sia a pressione maggiore degli ambienti circostanti è dimostrabile

osservando l'ultima riga della tabella:

Portata in mandata = $18170 \text{ m}^3/\text{h}$

Portata totale estratta = $14680 + 680 = 15360 \text{ m}^3/\text{h}$

Al fine di creare la sovrappressione, ogni ora si lasciano intenzionalmente all'intero blocco 2810 m^3 d'aria, pari a circa 2,3 volte il volume del blocco operatorio stesso.

L'esperienza suggerisce poi che per ottenere una differenza di pressione tra un ambiente e l'altro dell'ordine di quella prescritta dalle norme, cioè superiore ai 5 Pa (ISO 14644, vedi Capitolo 3), e per garantire una adeguata sovrappressione rispetto all'esterno, è necessario estrarre una portata d'aria pari a quella di mandata diminuita di circa 1/5 o 1/6. Tale relazione è espressa dalla seguente:

$$Q_{OUT} = Q_{IN} - a Q_{IN} = Q_{IN} (1 - a)$$

dove $a = 1/5 \div 1/6$.

Il valore della pressione differenziale di un ambiente rispetto ad uno attiguo, può essere calcolato risolvendo il seguente sistema di equazioni:

$$\begin{cases} Q^* = A_p v \\ p = A_c \frac{v^2}{16} \end{cases}$$

Dove: $Q^* = Q_{IN} - Q_{OUT}$;

A_p area di possibile fuga dell'aria;

v velocità di fuga dell'aria dall'ambiente a pressione maggiore;

A_c coefficiente legato alla forma della sezione di passaggio, compreso tra 0,5 e 0,9;

p pressione differenziale tra gli ambienti;

La prima equazione è l'usuale equazione di continuità della meccanica dei fluidi, mentre la seconda è di carattere prettamente empirico, anche se è chiaramente riconducibile alle perdite di carico concentrate per i fluidi in moto.

Applicando tale formula alla sala operatoria, si può calcolare l'effettiva sovrappressione rispetto a tutti gli ambienti circostanti.

A_p può essere calcolata misurando e sommando tra loro tutte le aree delle possibili vie di fuga dell'aria; nelle sale operatorie 1 e 2 si ha una porta di 1200x2100 mm che le mette in comunicazione con la preparazione pazienti e una porta da 800x2100 mm per il collegamento con il locale lavaggio

chirurgi. Considerando una luce di 0,5 mm su tutto il perimetro si può calcolare un'area di 6200 mm². In entrambe le sale è poi presente anche una bussola per il collegamento con il connettivo sporco, di dimensioni 900x600mm, con luce di passaggio pari a 0,2 mm. Le bussole dovrebbero essere a tenuta teoricamente perfetta, realizzata con opportuni cuscinetti di gomma espanribili a pressione; tuttavia si inserisce nel calcolo, a scopo prudenziale, anche questa possibile via di fuga dell'aria pur con una luce di spessore modesto. L'area di passaggio per l'aria della bussola risulta pertanto: $(900 + 600) \times 2 \times 0,2 = 600 \text{ mm}^2$.

A_P totale risulta quindi $600 + 6200 = 6800 \text{ mm}^2 = 0,0068 \text{ m}^2$

A_C può essere fissato in questo caso pari a 0,7

$Q^* = Q_{IN} - Q_{OUT} = 3320 - 2760 = 560 \text{ m}^3/\text{h} = 0,155 \text{ m}^3/\text{s}$

Dalla prima equazione si ricava: $v = Q^*/A_P = 22,87 \text{ m/s}$

Svolgendo la seconda si ottiene poi:

$$p \approx 0,7 \frac{22,87^2}{16} \approx 22,88 \text{ Pa}$$

Si evidenzia poi come la sovrappressione debba assicurare l'impossibilità di ingresso di contaminanti esterni anche durante l'apertura delle porte, evento di breve durata e possibilmente molto raro durante il pieno funzionamento delle sale, ma non escludibile a priori. In tali istanti la pressione differenziale in pratica si annulla, mentre si crea un forte flusso di aria in uscita dalla sala verso gli ambienti limitrofi.

Osservando le portate di mandata e di estrazione per i vari locali, vediamo che:

- la sub sterilizzazione (4) è in forte depressione rispetto alle due sale operatorie a cui è contigua, essendo un ambiente sporco nel quale vengono depositati alcuni strumenti chirurgici dopo il loro utilizzo; abbiamo infatti: $Q_{IN} = 520 \text{ m}^3/\text{h} > Q_{OUT} = 380 \text{ m}^3/\text{h}$. L'elevata portata d'aria, oltre che dalla tendenza indicata dalle linee guida ISPESL, 15

ricambi/ora per le sterilizzazioni vere e proprie, è motivata dalla necessità di allontanare la notevole quantità di calore prodotta dagli apparecchi di sterilizzazione;

- le sale operatorie 1 e 2 (ambienti 5 e 7), presentano 30 ricambi/ora e risultano ovviamente in sovrappressione rispetto a tutti gli ambienti circostanti con 3320 m³/h in ingresso e 2760 m³/h in uscita;
- ovviamente anche la sala operatoria 3 (indicata con 27) e la sala gessi risultano in sovrappressione rispetto agli ambienti contigui;
- il locale lavaggio chirurghi (6) è in leggera depressione rispetto agli ambienti circostanti;
- la zona preparazione e risveglio dei pazienti (8) è invece in sovrappressione, essendo $Q_{IN} > Q_{OUT}$;
- in leggera sovrappressione sono le zone di cambio letto (9), relax (11), caposala (12), corridoio pulito (14), la preparazione chirurghi (30) ed il disimpegno medicazioni (29);
- nei locali adibiti alla sterilizzazione vera e propria (21 e 22), trattandosi materiale sporco, è prevista una depressione rispetto ai locali adiacenti, come conferma l'analisi della portata in uscita maggiore di quella in ingresso. L'elevata portata d'aria è motivata, come detto, dal notevole carico termico che si ha all'interno di questi ambienti;
- i locali che presentano le maggiori depressioni sono i WC (16, 19, 33) dai quali è prevista la sola estrazione.

6.3 Dimensionamento dell'impianto

Per effettuare il dimensionamento dell'impianto seguiremo il percorso che l'aria compie nell'attraversamento di tutto l'impianto, secondo lo schema illustrato nel capitolo precedente.

Occorre ricordare che il dimensionamento dell'intero impianto viene effettuato tenendo conto delle condizioni di utilizzo più gravose, quelle con i picchi di richiesta; in tutti gli altri istanti l'impianto funzionerà quindi in modo parzializzato.

6.4 Circuito di recupero calore

Questo circuito funziona in modo ottimale solamente nel periodo invernale, in quanto in estate, con l'impianto di refrigerazione in funzione, la differenza di temperatura tra l'aria in ingresso da raffreddare e quella in uscita è talmente modesta da compromettere il buon funzionamento del sistema che può anche essere disinserito dall'apposita centralina di controllo. Il dimensionamento avviene quindi sui dati di funzionamento invernale.

Batteria lato mandata

Si considera quindi una temperatura minima aria entrante nello scambiatore di calore della mandata pari a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e si impone una temperatura di uscita di circa $8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nota la portata di aria aspirata dall'impianto, pari a $18170\text{ m}^3/\text{h}$, possiamo calcolare la potenzialità richiesta dall'impianto, secondo la nota formula valida per le trasformazioni di un fluido a pressione costante:

$$Q = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot (t_2 - t_1)$$

dove $\rho = 1,2\text{ Kg/m}^3$ è la densità dell'aria alla temperatura di $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

$c_p = 0,237 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} = 0.992 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ è il calore specifico a pressione costante dell'aria

Avremo quindi:

$$Q = 1,2 \cdot 0,24 \cdot 18170 \cdot 8 \cdot (25) = 68.500 \text{ kcal/h} = 286.330 \text{ kJ/h}$$

Lo scambiatore di calore è costituito da tubi di rame con alettatura a pacco in alluminio; la portata d'acqua necessaria per scambiare una simile potenza è ottenibile dalla stessa formula inserendo la densità ed il calore specifico relativi all'acqua. Ipotizzando una variazione di temperatura per l'acqua di $3,2 \text{ } ^\circ\text{C}$, si ottiene:

$$V_a = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta t} = \frac{68500}{1000 \cdot 3,2} = 21,40 \text{ m}^3 / \text{h} = 21.400 \text{ l/h}$$

Batteria lato espulsione

Questa batteria è chiaramente incaricata di sottrarre calore all'aria in uscita dall'impianto; il calore ceduto dall'aria viene quindi acquisito dall'acqua del circuito di recupero.

Si ipotizza una temperatura massima di ingresso nella batteria dell'aria di $+24 \text{ } ^\circ\text{C}$ con il 50 % di umidità. Dalle tabelle o dal diagramma psicrometrico si ha $H_{IN} = 11,5 \text{ kcal/kg} = 48,12 \text{ kJ/kg}$

Nota la potenzialità dell'impianto, appena calcolata, è possibile calcolare la temperatura di uscita dell'aria sfruttando il diagramma psicrometrico e l'equazione:

$$Q = m \cdot H = \dot{V} (H_{IN} - H_{OUT})$$

Da cui:

$$H_{OUT} = H_{IN} - \frac{Q}{\dot{V}}$$

Noto che la portata d'aria uscente è pari a $15360 \text{ m}^3/\text{h}$, si può calcolare

$$H_{OUT} = 11,5 - \frac{68.500}{1,2 \cdot 15.360} = 7,78 \text{ kcal/kg} = 32,53 \text{ kJ/kg}$$

H_{OUT} e quindi la temperatura di uscita dell'aria.

Dal diagramma psicrometrico, procedendo dal punto di ingresso, lungo la verticale, si ottiene, per un salto entalpico di 32,5 kJ/kg una temperatura di uscita di 11 °C con umidità relativa pari al 100% e quindi con formazione di condensa.

E' da notare che nel circuito idraulico, che collega i due scambiatori di calore montati sul condotto di mandata e su quello di espulsione, è opportuno far circolare acqua glicolata e non semplice acqua per evitare il rischio di congelamento invernale nel caso in cui il dispositivo di recupero del calore non sia in funzione. Bisogna poi dimensionare correttamente tale circuito, valutando le perdite nei tubi in funzione del loro diametro ed adottando di conseguenza la pompa più adatta. Su tale circuito conviene montare due pompe in parallelo, la qual cosa, se opportunamente dimensionate, assicura anche un certo grado di riserva in caso di guasto di una delle due pompe.

Da appositi grafici si ricava poi il corretto diametro per i tubi.

Nota la sezione del condotto di immissione dell'aria, si può calcolare la velocità di attraversamento della batteria da parte dell'aria stessa; con una sezione $S = 1,6 \text{ m}^2$ si ha una velocità pari a:

$$v = \frac{V}{S} = \frac{18170}{3600 \cdot 1,6} = 4,5 \text{ m/s}$$

6.5 Batterie di preriscaldamento

La richiesta che si fa in questo caso alle batterie di preriscaldamento è quella di elevare la temperatura di tutta la massa d'aria dal valore esterno fino a 13 °C.

$$Q = 1,2 \cdot 0,237 \cdot 18170 \cdot 13 \cdot (5) = 94.850 \text{ kcal/h} = 396.460 \text{ kJ/h}$$

Procedendo esattamente come fatto per le batterie di recupero calore, si ottiene:

Imponendo una variazione di temperatura all'acqua delle batterie di 15 °C, in modo cioè che entri nello scambiatore a 80 °C e ne esca a 65 °C, si calcola come sopra la portata di acqua calda necessaria a riscaldare nel modo voluto tutta la massa d'aria. Si ha quindi:

$$V_a = \frac{Q}{c_p \cdot t} = \frac{94850}{1000 \cdot 15} = 6,320 \text{ m}^3/\text{h} = 6320 \text{ l/h}$$

Il dimensionamento dei tubi è svolto esattamente come sopra e porta alla determinazione di un diametro ottimale di 2".

6.6 Batteria di raffreddamento

Anche nel caso del condizionamento estivo si richiede alla batteria di refrigerazione, nelle condizioni più sfavorevoli, di generare aria in uscita a 13 °C, con umidità relativa pari al 95 %, che dovrà poi essere nuovamente riscaldata alla temperatura desiderata prima dell'immissione in ambiente, riscaldamento a cui si associa un calo dell'umidità relativa a valori ottimali.

Osservando i dati di progetto riportati al paragrafo 5.5, si può osservare come la batteria di raffreddamento debba trasformare la miscela di aria secca e vapor acqueo da 30 °C con il 60 % di umidità relativa a 13 °C con il 95 %. La trasformazione in questo caso porta ad una variazione del titolo del sistema e quindi l'equazione per la trasformazione a pressione costante di un gas perfetto non è chiaramente applicabile; infatti, il vapor acqueo presente nell'aria si condensa sottraendo a sua volta il calore latente di vaporizzazione che gli compete.

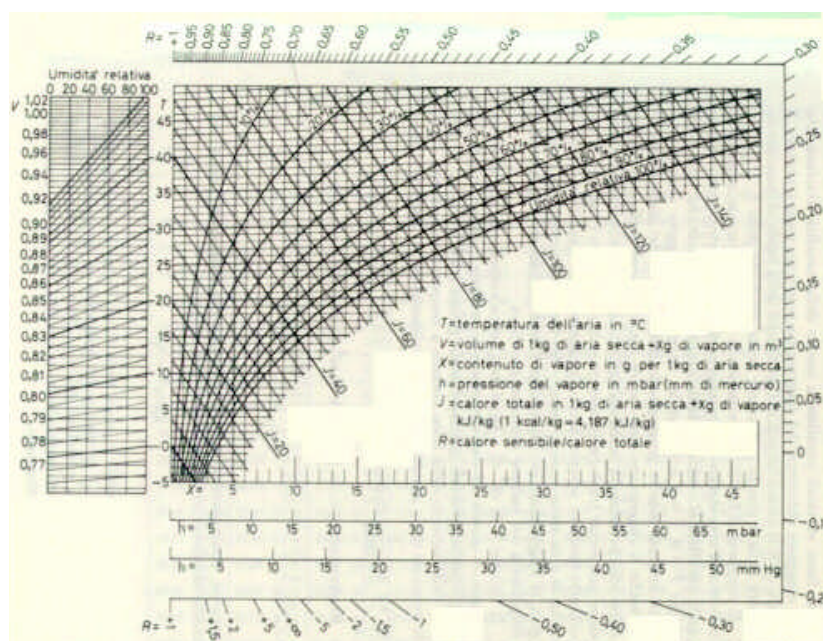
Il dimensionamento della batteria di raffreddamento è quindi volto a trasformare la miscela di aria secca e vapor acqueo da 30 °C con il 60 % di umidità relativa a 13 °C con il 95 %. La trasformazione in questo caso porta ad una variazione del titolo del sistema e quindi l'equazione per la trasformazione a pressione costante di un gas perfetto non è chiaramente applicabile, infatti il vapor acqueo presente nell'aria si condensa sottraendo a sua volta il calore latente di vaporizzazione che gli compete.

E' quindi necessario sfruttare il diagramma psicrometrico per misurare la variazione di entalpia tra i due stati fisici di ingresso e di uscita dell'aria, e quindi calcolare la potenza termica dell'impianto secondo l'equazione:

$$Q = \dot{m} \Delta H$$

Come si vede dal grafico psicrometrico¹² riportato di seguito $\Delta H = 8,72$ kcal/kg = 36,44 kJ/kg

Si ha quindi: $Q = 8,72 \cdot 1,2 \cdot 18170 = 190.860 \text{ kcal/h}$



6.7 Impianto di produzione vapore

Anche per il calcolo della quantità di vapore, e quindi di acqua, necessari per umidificare la portata d'aria si utilizza il diagramma psicrometrico dal quale si ricava la variazione del titolo della miscela aria-vapore tra gli stati fisici di ingresso e di uscita. La portata d'acqua, g , è poi fornita dall'equazione:

$$g = \dot{m}(x_{OUT} - x_{IN})$$

dove i valori del titolo x sono espressi in grammi di vapore per grammo di aria

Condizioni di ingresso: l'aria è già stata riscaldata dalla batteria di preriscaldamento fino a 13 °C, la qual cosa ha portato l'umidità relativa a circa il 25 %, con un titolo pari a 2,07.

Condizioni in uscita: l'aria in uscita dalla sezione di umidificazione dovrà poi essere nuovamente riscaldata fino alla temperatura di immissione in ambiente, a questa trasformazione si associa un nuovo calo dell'umidità relativa. Si impone quindi all'aria in uscita un'umidità relativa pari al 95%, esattamente come avviene nel condizionamento estivo. A queste condizioni corrisponde un titolo x pari a 8,5.

$$g = V \dot{V} (x_{OUT} - x_{IN}) = 18.170 \cdot 1,2 (8,5 - 2,1) = 139546 \text{ g} = 140 \text{ kg}$$

Per soddisfare la richiesta di una tale portata d'acqua è necessario collocare all'interno della UTA due moduli, ciascuno dei quali è in grado di fornire 76 kg/h di vapore.

6.8 Cassette terminali monocondotto di mandata con batterie di post-riscaldamento

Come abbiamo visto, dal plenum dell'UTA si dipartono i condotti che portano l'aria alle singole sezioni nelle quali è suddiviso il blocco operatorio; su ciascuna di esse è presente una batteria di post riscaldamento che ha il compito di elevare la temperature dell'aria da quella presente nel plenum a quella idonea per l'immissione nei diversi ambienti.

I dati relativi alle varie cassette di mandata sono riepilogati nella tabella sottostante; si noti come l'aria in ingresso alle diverse cassette abbia sempre la medesima temperatura, mentre come in uscita la temperatura vari per compensare le dispersioni termiche che differiscono da locale a locale.

Nelle ultime due colonne sono indicate la potenza richiesta allo scambiatore di calore e la portata d'acqua necessaria per soddisfarla.

TIPO LOCALE	N°	ARIA MAN. m³/h	DISPER. Kcal/h	ARIA ENTR. °C	ARIA USC. °C	POTENZ. Kcal/h	H2O 80°C
<u>CASSETTA M1</u> SO 1	2,3,5	3.620	3.160	13	27,01	14.708	1.471
<u>CASSETTA M2</u> SO 2	4,6,7	4.000	3.400	13	26,93	16.160	1.616
<u>CASSETTA M3</u> RISVEGLIO	8	1.800	2.380	13	28,56	8.122	812
<u>CASSETTA M4</u> STERILIZZAZIONE	21	1.530	1.540				
STERILIZZAZIONE	22	550	540				
STERILIZZAZIONE		2.080	2.080	13	27,45	8.715	872
<u>CASSETTA M5</u> SO 3	27,29,30	2.810	3.340	13	28,10	12.304	1.230

TIPO LOCALE	N°	ARIA MAN. m³/h	DISPER. Kcal/h	ARIA ENTR. °C	ARIA USC. °C	POTENZ. Kcal/h	H2O 80°C
<u>CASSETTA M6</u> SALA GESSI	28,31	1.450	1.640	13	27,90	6.266	627
<u>CASSETTA M7</u> SUPPORTI	9,10,11,12, 13,14,15, 17,18,20,23, 25,26	2.410	7.500	13	34,73	15.188	1.519
	TOTALI	18.170	23.500			81.462	8.146

E' opportuno notare poi come le portate per cassetta indicate nella terza colonna coincidano con la somma delle portate relative agli ambienti elencati nella seconda colonna ed indicate nella tabella generale; questo avviene in quanto su una stessa cassetta gravano più locali. Tale distribuzione è facilmente ricavabile anche da una analisi del disegno che illustra la disposizione delle canalizzazioni dell'aria (M01-CANALI).

A titolo di esempio si riporta il calcolo per la cassetta M2.

Ambiente di destinazione	N°	Portata (m ³ /h)
Sala operatoria 2	7	3.320
Preparazioni chirurgici	6	160
Sub sterilizzazione	4	520
		Portata totale 4.000

Le batterie di post riscaldamento sono progettate per il funzionamento con acqua a 80 °C e ciascuna, per soddisfare le potenze richieste, è provvista di due ranghi.

a) Le batterie sono inserite nelle cassette terminali monocondotto a portata variabile, dotate di regolatore tipo DDC, servomotore, silenziatore integrato, isolamento termoacustico, protetto da lamiera forata a

materiale isolante in fogli di polietilene. Il regolatore DDC è un regolatore di tipo digitale che, in base agli impulsi ricevuti da una sonda ambiente, da un pressostato differenziale e dal centro di controllo nel caso di chiusura della cassetta per sterilizzazione od altre procedure, interviene sugli elementi motorizzati a bordo cassetta quali il motorino per la serranda ed il motorino agente sulla valvola a tre vie sulla rete in alimento alla batteria.

6.9 Cassette terminali monocondotto di ripresa

Il dimensionamento di queste cassette deve avvenire valutando le portate di aria estratta da ogni singola sezione dell'impianto. Anche in questo caso, come avveniva per le cassette di mandata, una stessa cassetta estrae aria da più ambienti, elencati nella seconda colonna; le portate sono riepilogate nella tabella seguente.

TIPO DI LOCALE	N°	ARIA RIPRESA m³/h
<u>CASSETTA R1</u>		
SO 1	1,2,5	3.065
<u>CASSETTA R2</u>		
SO 2	4,6,7	3.275
<u>CASSETTA R3</u>		
RISVEGLIO	8	1.440
<u>CASSETTA R4</u>		
STERILIZZAZIONE	21	
STERILIZZAZIONE	22	1.670
<u>CASSETTA R5</u>		
SO 3	27,29,30	2.260
<u>CASSETTA R6</u>		
SALA GESSI	28,31	1.160
<u>CASSETTA R7</u>		
SUPPORTI	9,10,11,12,13,14,15,16, 18,19,23,24,26,33	2.490
Totale aria estratta		15360

Le cassette sono scelte da catalogo in base alla portata d'aria che devono estrarre.

6.10 Dimensionamento dei canali

Per dimensionare e disegnare correttamente i canali è opportuno tenere conto di un certo numero di fattori oltre che dell'esperienza di un progettista.

Noto che la portata è data dalla velocità moltiplicata per la sezione, si ricorda che, all'aumentare della velocità, aumentano le perdite distribuite e quindi la potenza richiesta al ventilatore di mandata, oltre alla rumorosità dell'impianto, che deve essere contenuta entro limiti fissati dalle norme. Ridurre la sezione dei canali comporta quindi una riduzione sul costo fisso degli stessi, ma un aumento dei costi variabili e, oltre una certa variazione, un aumento nei costi fissi per l'acquisto di un motore con potenza superiore. Oltre a questi parametri, è poi necessario anche tenere conto della disponibilità di spazi nei quali alloggiare i condotti stessi: condotti di sezioni più generose richiedono ovviamente spazi maggiori non sempre disponibili, soprattutto in un progetto di ristrutturazione come quello trattato.

Nella pratica si utilizzano grafici che, data la portata e le perdite per metro lineare che si è disposti ad accettare, forniscono direttamente la sezione commerciale più adatta alle nostre esigenze.

Per definire la prevalenza che devono assicurare i ventilatori di mandata e di ripresa è necessario conoscere le perdite totali che si hanno sui condotti di mandata e di ripresa.

Per come sono stati dimensionati i tubi, mantenendo cioè costanti le perdite per unità di lunghezza, per ottenere le perdite distribuite totali, è sufficiente moltiplicare le perdite per metro lineare per la lunghezza dei condotti. Alle

perdite distribuite è poi necessario sommare quelle concentrate, dovute ai filtri, ai diffusori, a curve a 90°, all'attraversamento delle batterie di preriscaldamento o delle serrande tagliafuoco. Essendo i condotti in parallelo è sufficiente calcolare le perdite di carico totali del condotto più sfavorito, in tal senso, dalla sua lunghezza o dalla sua geometria. Ovviamente il calcolo, in fase di progetto, viene effettuato per tutti i condotti al fine di rilevare eventuali squilibri tra i diversi condotti che determinerebbero vie preferenziali per l'aria.

Le perdite di carico, concentrate o distribuite, che si generano all'interno dell'UTA non saranno computate in quanto già considerate dal produttore dell'UTA stessa che garantirà una prevalenza netta all'uscita della macchina di sua competenza.

Si riporta, a titolo di esempio, il calcolo per uno dei condotti di mandata e di ripresa e per le parti di impianto comuni a tutta la portata d'aria elaborata dall'impianto.

1) Canale di presa aria esterna per $Q = 18.170 \text{ m}^3/\text{h}$

?? Griglia di presa aria esterna per $Q = 18.170 \text{ m}^3/\text{h}$? p = 3 mm c.a.

?? Canale di presa aria esterna $Q = 18.170 \text{ m}^3/\text{h}$

sezione 500x1200 mm

$v = 8,41 \text{ m/s}$

Resistenza lineare al metro = 0,1

Lunghezza canale = 3 m

Perdite di carico totali: $3 \times 0,1$

? p = 0,3 mm c.a.

?? Curva 90° canale di presa aria esterna

? p = 2 mm c.a.

TOTALE

5,3 mm c.a.

2) Plenum di mandata sino alle batterie di post-riscaldamento per $Q = 18.170 \text{ m}^3/\text{h}$

?? Plenum di mandata $Q = 18.170 \text{ m}^3/\text{h}$

sezione variabile

$v_{\text{media}} = 4,2 \text{ m/s}$

Resistenza lineare al metro = 0,06

Lunghezza canale = 9 m

Perdite di carico totali: $9 \times 0,06$

? p = 0,6 mm c.a.

?? Curva 90°

? p = 2 mm c.a.

TOTALE

2,6 mm c.a.

3) Canale di mandata alla sala operatoria 3 per $Q = 2.810 \text{ m}^3/\text{h}$

?? Perdita batteria di post-riscaldamento

? p = 5 mm c.a.

?? Canale $Q = 2.810 \text{ m}^3/\text{h}$

sezione 400x300

$v = 6,5 \text{ m/s}$

Resistenza lineare al metro = 0,06

? p = 1,2 mm c.a.

Lunghezza canale = 20 m

Perdite di carico totali: $20 \times 0,06$

?? N° 4 curve 90° 400x300 con perdita unitaria di 0,6

? p = 2,4 mm c.a.

?? Canale $Q = 2.360 \text{ m}^3/\text{h}$

sezione 300x300

$v = 7,2 \text{ m/s}$

Resistenza lineare al metro = 0,06

? p = 0,1 mm c.a.

Lunghezza canale = 2 m

Perdite di carico totali: $2 \times 0,06$

?? Canale $Q = 1.235 \text{ m}^3/\text{h}$	
sezione 200x300	
$v = 5,7 \text{ m/s}$	
Resistenza lineare al metro = 0,06	? p = 0,1 mm c.a
Lunghezza canale = 1,5 m	
Perdite di carico totali: $1,5 \times 0,06$	
?? Canale $Q = 1.235 \text{ m}^3/\text{h}$	
sezione 100x150	
$v = 2,0 \text{ m/s}$	
Resistenza lineare al metro = 0,06	? p = 0,2 mm c.a
Lunghezza canale = 2,5 m	
Perdite di carico totali: $2,5 \times 0,06$	
?? N° 1 curve 90° 100x150 con perdita unitaria di 0,4	? p = 0,4 mm c.a.
?? Filtri assoluti	? p = 25 mm c.a.
?? Intasamento dei filtri assoluti	? p = 25 mm c.a.
?? Imbocco del diffusore	? p = 1 mm c.a.
?? Diffusore	? p = 2 mm c.a.
 TOTALE PERDITE	 62,4 mm c.a.

Totale perdite mandata

TOTALE PERDITE	70,3 mm c.a.
----------------	--------------

Per poter far lavorare i ventilatori con un certo grado di sicurezza si maggiore questo valore del 10 ÷ 20%. Si ottiene quindi una prevalenza pari a circa 80 mm c.a.

6.11 Dimensionamento dei motori per i ventilatori

Note le perdite distribuite e concentrate in tutto il circuito aeraulico, è possibile calcolare la potenza necessaria ad assicurare le portate richieste e, quindi, le potenze assorbite dai motori dei ventilatori centrifughi di mandata e di ripresa. Tale calcolo viene effettuato dai produttori delle UTA, sulla base di calcoli teorici e dell'esperienza, una volta note la portata d'aria e la prevalenza, calcolata come sopra.

Per il presente caso ci è stata indicata una potenza assorbita dal motore di mandata pari a 28 kW.

Tale potenza difficilmente può essere soddisfatta da un unico motore elettrico, conviene quindi adottare due motori in grado ciascuno di fornire il 70 % della potenza totale. Con questo sistema si crea quindi una riserva del 70 % che, in caso di guasto di uno dei due motori, consente comunque il funzionamento dell'impianto, anche se ovviamente non in condizioni ottimali. Questa soluzione comporta ovviamente un aggravio dei costi fissi ed un aumento della richiesta di spazio, però assicura la continuità del servizio, abbattendo drasticamente i costi dovuti al rischio di mancata erogazione delle prestazioni sanitarie. Si possono quindi scegliere due motori da 20 kW che in condizioni di normale funzionamento contribuiscono ciascuno a fornire il 50 % della potenza richiesta.

Sulla ripresa è richiesta una potenza di 10,42 kW che può essere soddisfatta da un unico motore da 11 kW.

6.12 Considerazioni sulla scelta dei dispositivi di immissioni ed estrazione dell'aria






Nelle sale operatorie, nell'ottica di adottare le tecnologie più sofisticate che offre il mercato, si è scelto di adottare dei dispositivi di immissione dell'aria a soffitto filtrante. Tali dispositivi hanno lo scopo di creare un flusso laminare d'aria che investa l'intera zona operatoria, cioè il lettino operatorio e tutto lo staff chirurgico, nell'intento di allontanare dalla zona a rischio di infezioni tutti i batteri presenti. Come già detto, manca totalmente ogni prova scientifica della validità di questi sistemi.



Nella fotografia¹³ sopra è raffigurato il soffitto filtrante completamente installato in una sala operatoria: si vede come al centro manchi un pannello di materiale filtrante per permettere l'ubicazione della lampada scialitica. Tale dispositivo di illuminazione, infatti, deve essere posizionato esattamente sopra il campo operatorio.

Il montaggio e la sostituzione periodica dei filtri viene effettuata dal basso, senza la necessità di rimuovere i pannelli del controsoffitto.

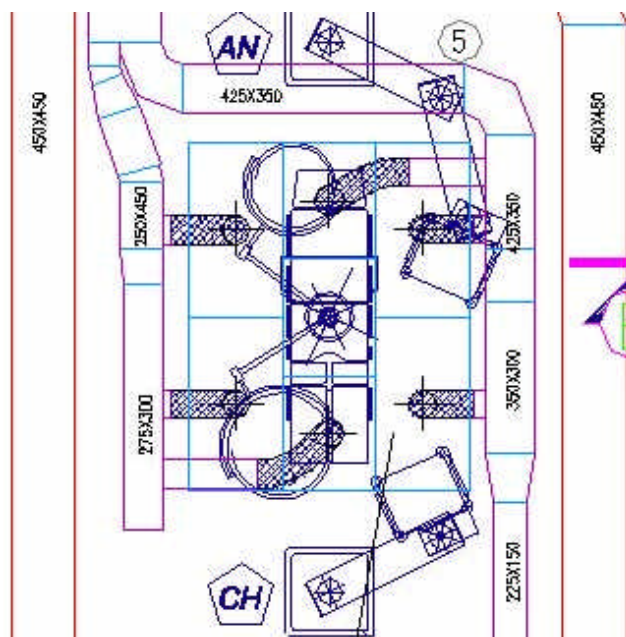
Il dimensionamento di questi dispositivi viene effettuato direttamente dai costruttori che forniscono a catalogo una serie di modelli utilizzabili per diversi intervalli di portata. Si riporta di seguito un esempio di un simile catalogo.⁹⁸

Modello/Tipo	Dimensioni BxH mm	q.		Diffusori filtranti mm	Numero filtri n.	Disposizione geometrica degli elementi filtranti	Peso* kg
		m ³ /h	m/s				
BST 26	1950x2000	2600	0,72	600x 600 600x 905	2 4		25
BST 36	2550x2000	3600	1,00	600x 905 600x1210	2 4		30
BST 45	1950x3300	4500	1,25	600x 600 600x 905	2 8		35
BST 55	2550x3300	5500	1,53	600x 905 600x1210	2 8		40
BST 88	2550x4600	8800	2,44	600x 905 600x1210	2 12		55

* Escluso diffusori filtranti.

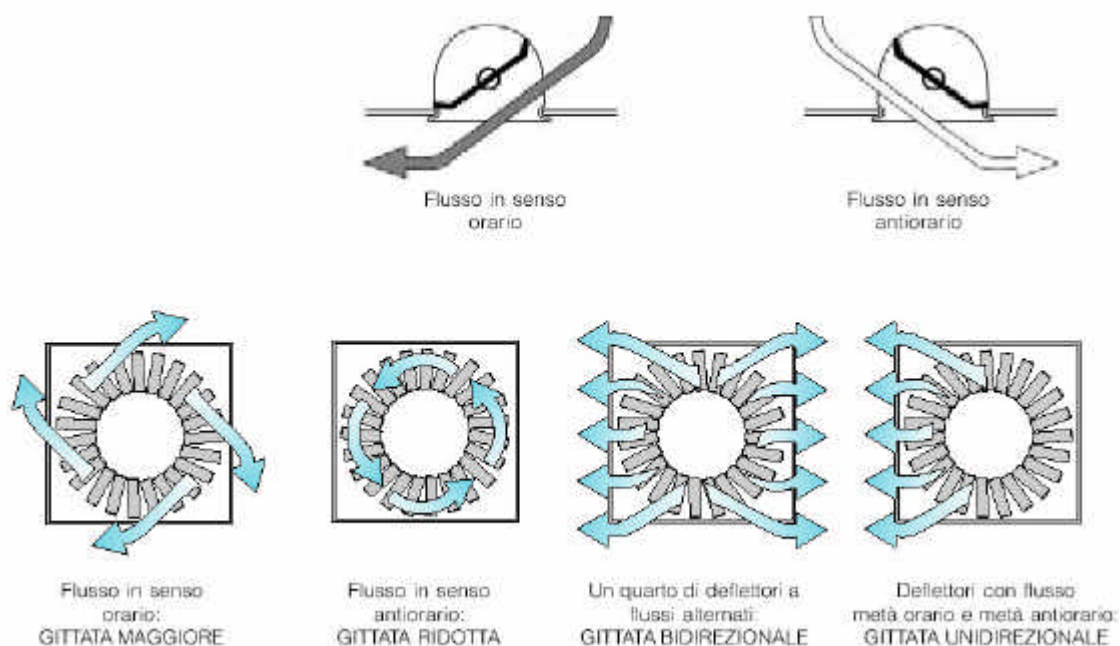
Per le sale 1 e 2 si sceglierà pertanto il modello con dimensioni 2550x2000 mm, indicato per portate fino a 3600 m³/h, mentre per la sala 3 si potrà adottare il modello di dimensioni inferiori 1950x2000 mm, indicato per portate fino a 2600 m³/h.

Nella figura a lato è rappresentata l'installazione del soffitto filtrante nella sala operatoria 1.



In tutti gli altri ambienti si adottano normali diffusori a soffitto.⁹⁸

In particolare, negli ambienti destinati a preparazione e risveglio (8), sala gessi (28), sterilizzazione (21, 22), sub sterilizzazione (4) e preparazione chirurgici (6), si utilizzano terminali con filtro assoluto integrato e griglia di diffusione a flusso elicoidale, per garantire la massima uniformità di distribuzione nell'ambiente ed il minor disturbo per il personale. Uno schema di tali diffusori è riportato nella figura seguente, nella quale sono indicate anche le possibilità di regolazione dei diffusori stessi. Questi dispositivi realizzano una rapida miscela tra l'aria immessa e quella indotta, permettendo di raggiungere un elevato numero di ricambi d'aria (fino a 30 ricambi ore) in locali alti fino a 4 metri con differenziali di temperatura compresi tra +10 °C e -10 °C.

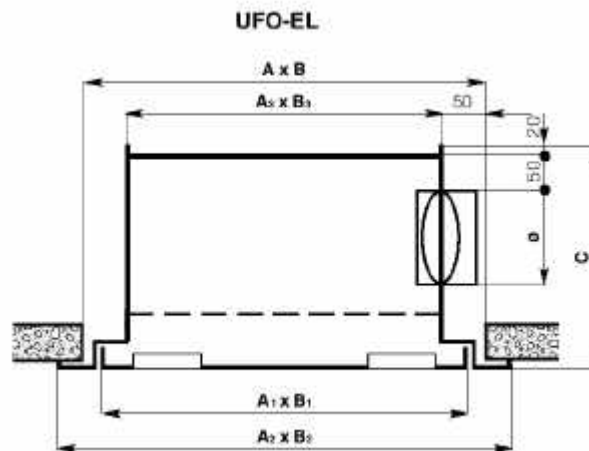


Si riportano di seguito quelle parti del catalogo che risultano utili per effettuare la scelta del diffusore più appropriato alle specifiche esigenze di ogni locale.

Dalla seguente tabella , nota la portata totale da immettere nel locale, si sceglie il diffusore più appropriato; chiaramente se la portata è eccessiva per un solo diffusore si suddivide la portata su più diffusori. In ambienti di una certa superficie è comunque opportuno posizionare più diffusori in modo da distribuire l'aria in modo omogeneo.

UFO-E, UFO-EL Dimensioni (mm)			Portata (m ³ /h)	
Grandezza	D. nom.	Dim. est.	Minima	Massima
1	200	450x450	150	400
2	250	550x550	200	600
3	250	595x595	200	600
4	315	595x595	300	800
5	250	650x650	200	600
6	315	650x650	300	800

Selezionato il modello di diffusore più appropriato mediante la precedente tabella, il disegno e la tabella seguenti ne forniscono dimensioni e caratteristiche salienti, utili per realizzare il progetto ed il montaggio.



Grandezza	UFO-E diffusore	DT-7E serranda	UFO-EL diffusore con serranda e imbocco laterale	dimensione foro A x B mm	A ₁ x B ₁ mm	dimensione esterna A ₂ x B ₂ mm	A ₃ x B ₃ mm	Numero di deflettori n°	Dn mm	ø mm	C mm	DT-7E H max. mm
1	193 ♦	26 ♦	262	400 x 400	387 x 387	450 x 450	373 x 373	20	200	198	318	105
2	232	30	302	500 x 500	487 x 487	550 x 550	473 x 473	24	250	248	368	125
3	271 ♦	30 ♦	353	545 x 545	532 x 532	595 x 595	518 x 518	24	250	248	368	125
4	271 ♦	33 ♦	353	545 x 545	532 x 532	595 x 595	518 x 518	36	315	248	368	150
5	271	30	361	600 x 600	587 x 587	650 x 650	573 x 573	24	250	248	368	125
6	285	33	361	600 x 600	587 x 587	650 x 650	573 x 573	36	315	248	368	150

N.B.: le grandezze 3 e 4 sono integrabili in controsoffitti a quadrati da 600x600 mm.

Il catalogo riporta poi, in una terza tabella, le caratteristiche aerauliche dei diffusori.

Eseguiamo, a titolo di esempio, il dimensionamento dei diffusori collocati nei locali della sterilizzazione, ritenuti un unico ambiente in quanto separati solamente da un muro non a tutta altezza.

La portata d'aria da immettere complessivamente negli ambienti è: $1530 + 550 = 2080 \text{ m}^3/\text{h}$.

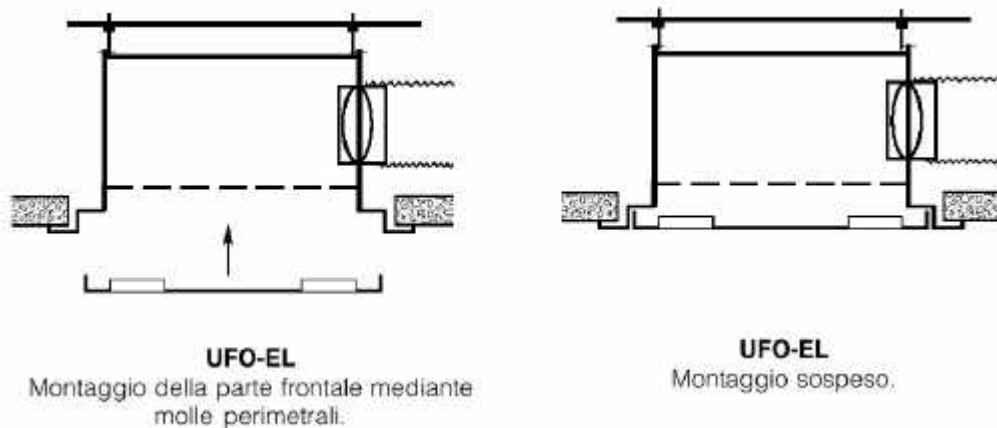
Data l'ingente portata e le dimensioni del locale, si è deciso di suddividere la portata su 5 diffusori; la portata immessa da ciascun diffusore risulta pertanto: $2080 / 5 = 416 \text{ m}^3/\text{h}$.

La prima tabella indica che il diffusore più idoneo da adottare, modello UFO-EL, e quello di grandezza 3, con diametro nominale pari a 250 mm, dimensioni esterne pari a 595x595 mm e consigliato per portate comprese tra i 200 ed i 600 m^3/h .

Il disegno e la seconda tabella ci forniscono le dimensioni del diffusore e il numero di deflettori, pari a 24, per il modello scelto.

Dalla terza tabella, non riportata, otteniamo la gittata, variabile tra 1,9 e 3,9 m, a seconda della velocità di immissione, l'indice di rumorosità e la caduta di pressione, pari a 18 Pa, indispensabile per il corretto dimensionamento del ventilatore di mandata.

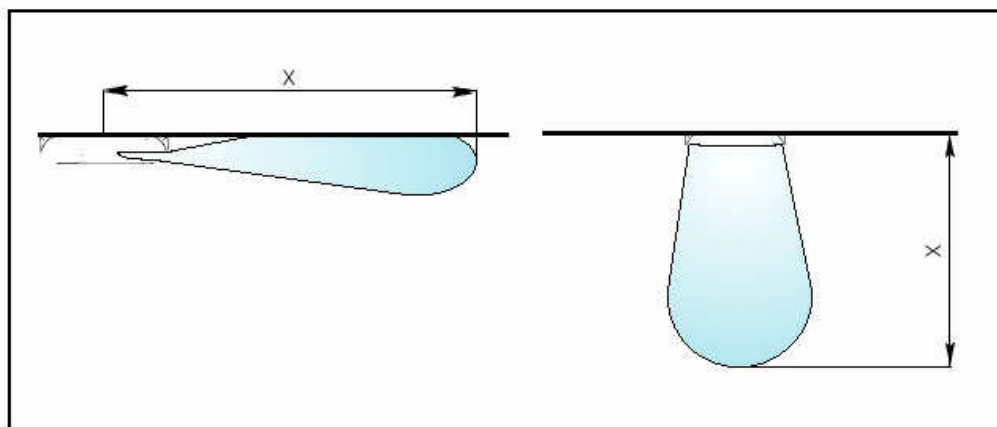
Seguono due possibili schemi di montaggio dei diffusori stessi in presenza di controsoffitti.



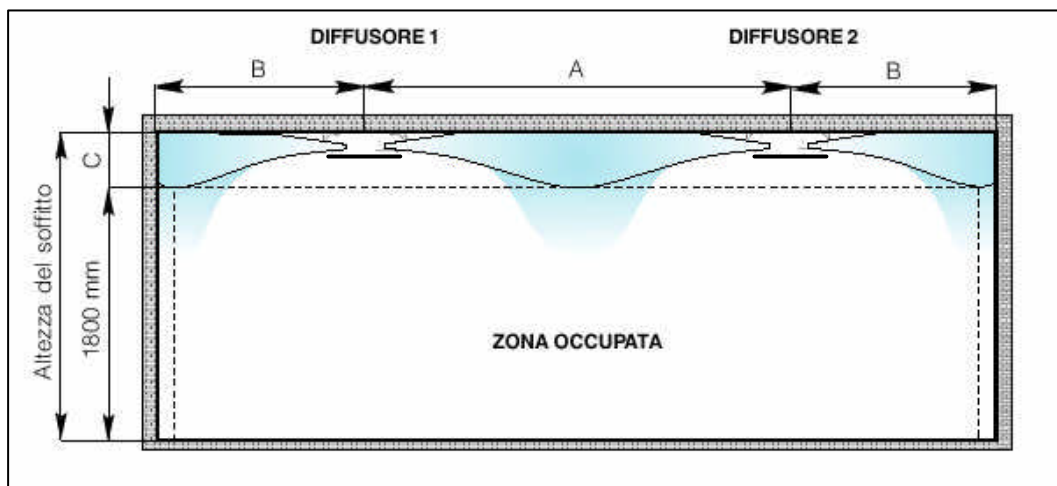
Per tutti gli altri ambienti sono previsti diffusori circolari a cono regolabili ad alta induzione, che sfruttano l'effetto Coanda per garantire una distribuzione ottimale dell'aria immessa.

L'effetto Coanda si realizza quando l'aria viene diffusa a contatto di una superficie piana, ad esempio un controsoffitto; in questo caso si determina una depressione tra il getto e il piano del controsoffitto che provoca l'aderenza del getto. Questo fenomeno ha grande importanza soprattutto nella diffusione di aria fredda. Per ottenere l'effetto Coanda più efficace possibile, l'aria deve essere immessa in piccole quantità per diffusore, con la maggiore ampiezza e con la massima velocità possibile. L'effetto scompare totalmente per velocità inferiori a 0,35 m/s. Il massimo effetto Coanda si ottiene sempre quando l'aria è diffusa su un fronte di 360° senza alcuna ostruzione.⁹⁸

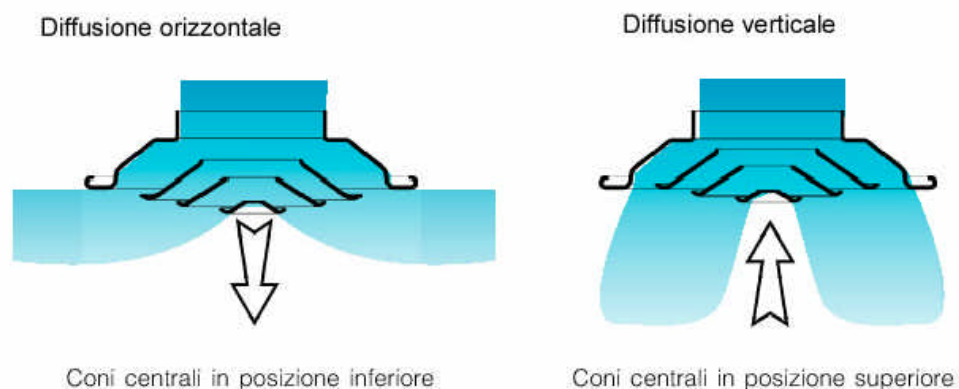
Nella figura sottostante è riportato, a sinistra, un diffusore che sfrutta l'effetto Coanda, confrontato con uno ad immissione verticale, a destra. E' facilmente intuibile come diffusori del primo tipo, soprattutto nel condizionamento estivo, siano molto più apprezzati dal personale rispetto ai secondi.



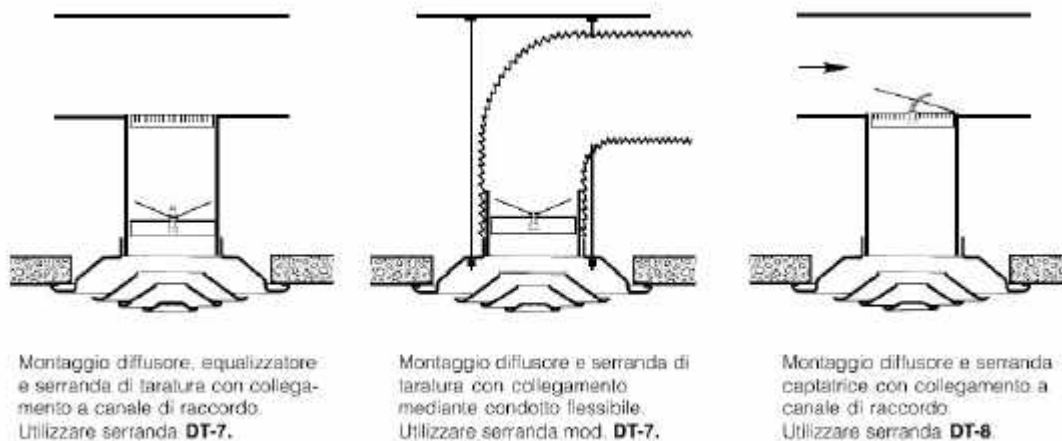
Di seguito è riportato uno schema di installazione di due diffusori che sfruttano l'effetto Coanda; si nota come la zona occupata non venga interessata da getti diretti di aria.



Sotto è riportato uno schema di funzionamento dei dispositivi di immissione a cono regolabile nelle possibili condizioni estreme di funzionamento.



I tre schemi riportati sotto mostrano tre possibili soluzioni di montaggio e di collegamento con i canali di mandata.⁹⁸

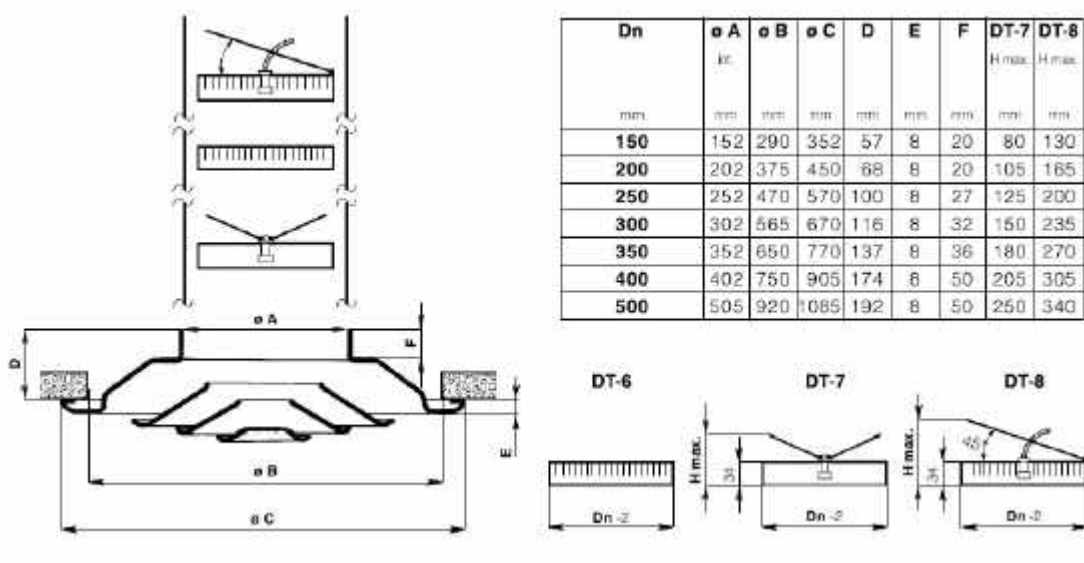


Come per i diffusori elicoidali, anche per questo tipo di dispositivi, i cataloghi forniscono una tabella che, data la portata da immettere mediante ciascun diffusore, indicano le dimensioni del diffusore da adottare.

Riportiamo di seguito tale tabella.

Dimensioni (mm)		Portata (m ³ /h)	
D. nom.	D. est.	Minima	Massima
150	352	150	350
200	450	300	600
250	570	450	900
300	670	700	1200
350	770	900	1800
400	905	1200	2000
500	1085	1500	4000

Riportiamo anche i disegni tratti dal listino contenenti i disegni e tutte le dimensioni dei diffusori stessi.



Dalle planimetrie di progetto si nota poi la presenza di filtri assoluti anche sui condotti che immettono aria nei locali di servizio. Questo accorgimento è dovuto, più che alla necessità di bilanciare le perdite tra i vari condotti, al bisogno di immettere in ambiente aria perfettamente filtrata. Non montando questi filtri si creerebbe infatti una via preferenziale a bassa resistenza per il deflusso dell'aria dal plenum di mandata, il che provocherebbe un aumento della portata nei locali forniti da questi canali e una riduzione verso tutti gli altri ambienti.

6.13 Valutazione puntuale dei costi fissi di impianto

Il computo metrico estimativo è quel documento che chi esegue il progetto fornisce al committente per permettere a quest'ultimo di valutare i preventivi che gli saranno proposti durante la gara d'appalto per la realizzazione del progetto stesso.

Più precisamente il computo metrico è un elenco dettagliato e descrittivo di tutti i componenti necessari per la completa realizzazione del progetto. Il computo metrico estimativo comprende inoltre una valutazione di ogni

componente, comprensiva di costo di installazione; la somma dei costi in opera dei singoli componenti fornisce il valore stimato del progetto completamente realizzato.

La stima del prezzo unitario in opera è il risultato di un calcolo nel quale si tiene conto di un considerevole numero di fattori. Tale calcolo parte ovviamente dal costo aggiornato di listino del componente in esame, diminuito dello sconto medio che si presume possa ottenere l'azienda che realizza il progetto; a questo si deve aggiungere il costo della manodopera per il montaggio, dato da una stima del tempo impiegato moltiplicato per il costo orario di una coppia di montatori. Si devono poi sommare ancora il costo di trasporto e noli per permettere il montaggio, la quota di spese generali che si ripercuote sul componente stesso, il costo delle eventuali assistenze murarie e l'utile che deve poter ricavare l'azienda che realizza il progetto.

Di seguito si riporta una sintesi del computo metrico estimativo che contiene unicamente le stime dei prezzi in opera, senza IVA.

POS. /COD.	DESCRIZIONE	UNITA' DI MISURA	QUANT.	PREZZO UNITARIO IN OPERA	PREZZO TOTALE IN OPERA
A	IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO E RISCALDAMENTO BLOCCO OPERATORIO				
1	Condizionatore di trattamento aria	n°	1	39.557,06	39.557,06
2	Estrattore d'aria	n°	1	20.580,74	20.580,74
3	Silenziatori rettilinei a piu' settori	n°	1	911,33	911,33
4	Termometro a quadrante	n°	4	18,24	72,96
5	Saracinesche di intercettazione pn 10 e.m.	n°	5	192,10	960,48
6	Filtri raccoglitori di impurita' pn 10-16	n°	1	173,90	173,90
7	Coibentazione valvole calde e fredde a vista	n°	7	68,70	480,90
8	Valvole a sfera in ottone pn 16	n°	1	12,97	12,97
9	Elettropompe in linea	n°	2	959,45	1.918,90
10	Saracinesche di intercettazione pn 10 e.m.	n°	8	164,85	1318,84
11	Giunti antivibranti in gomma pn 10	n°	4	205,25	821,00
12	Valvole di ritegno a disco tipo wafer pn 16-40	n°	2	140,13	280,26
13	Manometro a quadrante	n°	4	20,11	80,42
14	Tubazione in acciaio nero senza saldatura	Kg.	300	4,39	1.316,51
15	Coibentazione tubazioni calde a vista	mq.	20	38,20	764,06

16	Pompa a mano per caricamento glicole	n°	1	99,03	99,03
17	Cassette terminali monocondotto di mandata (totale delle 7)	n°	7		15.230,80
18	Cassette terminali monocondotto di ripresa (totale delle 7)	n°	7		5.942,58
19	Contentitore a canale per filtri assoluti	n°	2	733,87	1467,75
20	Filtri in bronzo pn 16	n°	8		180,20
21	Valvole a sfera in ottone pn 16	n°	19		461,82
22	Coibentazione valvole calde a vista	n°	35		1835,27
23	Regolatori di portata	n°	2	198,36	396,72
24	Soffitto filtrante (per sala 3)	n°	1	4.822,56	4.822,56
25	Soffitto filtrante (per sale 1 e 2)	n°	2	6.429,83	12.859,67
26	Terminale con filtro assoluto	n°	15		8.731,19
27	Griglie di ripresa aria a maglia quadrata	n°	50		2.133,93
28	Griglie di transito in alluminio anodizzato	n°	4	35,34	141,37
29	Diffusori circolari a soffitto in alluminio	n°	21	46,34	973,08
30	Valvole di aspirazione in alluminio	n°	4	22,35	89,39
31	Serrande tagliafuoco rettangolari (motor.)	n°	23		11.408,17
32	Condotti flessibili per aria isolati	ml.	70	21,14	1.479,68
33	Canali di mandata o ripresa aria	Kg.	7.000	4,74	33.195,25
34	Coibentazione dei canali a vista	mq.	120	38,41	4.609,32
35	Coibentazione dei canali non a vista	mq.	480	24,43	11.728,62
36	Radiatori di tipo ospedaliero in ghisa	Cal.	1.000	0,12	115,69
37	Detentori a squadra	n°	4	5,42	21,68
38	Valvoline di sfogo aria	n°	4	2,03	8,10
39	Mensole di sostegno	n°	4	3,29	13,14
40	Valvole termostatiche	n°	4	6,76	27,05
41	Tubazione in acciaio nero senza saldatura	Kg.	800		3.948,17
42	Saracinesche di intercettazione pn 10 e.m.	n°	4		643,74
43	Coibentazione valvole calde e fredde a vista	n°	4		251,12
44	Coibentazione tubazioni fredde a vista	mq.	25	35,36	883,99
45	Coibentazione tubazioni calde a vista	mq.	30	38,20	1.146,09
46	Griglia di presa aria esterna o espulsione	n°	2		1.538,65
47	Sfogo dei punti alti	n°	6	125,55	753,31
48	Scarico dei punti bassi	n°	8	125,55	1.004,41
	TOTALE IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO				197.391,89
B	REGOLAZIONE AUTOMATICA				28.106,91
	TOTALE IN EURO				225.498,81
	TOTALE IN LIRE				436.626.575

Sommando anche l'IVA, calcolata pari al 20%, si ottiene: 270.600 €
ovvero 523.955.000 £

TOTALE CON IVA

270.600 €

523.955.000 £

Si conclude quindi che il costo fisso della realizzazione di tutto l'impianto di condizionamento, completo di regolazione automatica, è stimato pari a 270.600 €, esclusa la redazione del presente progetto.

6.14 Valutazione dei costi variabili

Definizione dei parametri di funzionamento

Per l'impianto fin ad ora esaminato si possono individuare due condizioni tipiche di funzionamento: quella a pieno regime, che mantiene le condizioni ottimali di lavoro all'interno di tutto il comparto operatorio, e quella in regime di attenuazione. Questa seconda modalità di funzionamento è prevista anche dalle linee guida ISPESL che recitano: "occorre che sia possibile effettuare la riduzione, in condizioni non operative, delle quantità di aria in circolo, al fine di contenere i consumi energetici, fermo restando il mantenimento delle pressioni differenziali ambientali" (paragrafo I.3.4). In questo regime di attenuazione del funzionamento, non essendo presente il personale all'interno del blocco operatorio, non è necessario mantenere condizioni termoigrometriche ottimali per le persone.

L'esperienza suggerisce di considerare occupate le sale operatorie per un periodo di 10 ore giornaliere, per ogni giorno lavorativo; circa 6 ÷ 7 ore dedicate agli interventi veri e propri, mentre le restanti 3 ÷ 4 sono dedicate alla pulizia delle sale a fine giornata. Si può considerare l'impianto funzionante a pieno regime dalle ore 6 alle 16 circa. In questo intervallo di tempo l'impianto deve mantenere le condizioni termoigrometriche richieste dal personale all'interno del blocco, mentre al di fuori di tale intervallo di

tempo, si possono imporre temperature minori in inverno e maggiori in estate, al fine di ridurre il consumo energetico.

Vi sono poi anche altri aspetti da considerare per definire la condizioni di funzionamento a riposo. Una prima considerazione è che all'interno del blocco operatorio sono sempre presenti delicati e costosi strumenti elettronici che mal sopportano le variazioni di temperatura e di umidità.

Seconda, e non meno rilevante, è che il comparto operatorio è collocato all'interno di un edificio nel quale si ha ininterrotta presenza di personale e che quindi deve essere mantenuto a temperatura costante durante tutto l'arco della giornata. Mantenere nel comparto operatorio una temperatura di riposo eccessivamente bassa in inverno significherebbe quindi creare una zona di dispersione termica per le parti attigue dell'edificio stesso, con conseguente aumento della potenza termica richiesta all'impianto di riscaldamento della clinica. Un discorso analogo potrebbe essere fatto per il condizionamento estivo.

In condizioni di riposo si imporranno quindi 18 °C nel periodo invernale e 26 °C in quello estivo.

Per quanto riguarda la riduzione della portata dovrà essere tale da garantire una pressione differenziale minima di 5 Pa tra le sale operatorie e gli ambienti circostanti (Linee guida ISPESL e ISO 14644), e saranno ridotte della stessa percentuale sia la mandata sia la ripresa.

Applicando il sistema di equazione riportato al paragrafo 6.2 ed imponendo un $\Delta p = 5 \text{ Pa}$, si ottiene una portata di mandata minima, atta a garantirlo, pari a 1560 m³/h, con una riduzione di circa il 47 % della portata totale in ingresso alla sala.

Non è del resto pensabile di ridurre del 50% la portata immessa in tutto il blocco operatorio, infatti avremmo temperature di immissione in tutti gli ambienti inaccettabilmente elevate, anche per mantenere la temperatura di 18 °C.

Si può quindi considerare ragionevole una riduzione della portata del 60 % della portata nominale, con una portata ridotta in mandata pari a 10.900 m³/h e pari a 8.810 m³/h in ripresa.

Nei calcoli che seguono si è scelto di trascurare la presenza dell'impianto di recupero calore, data la sua efficienza complessivamente modesta per la presenza del fluido termovettore intermedio e il suo scarso utilizzo riscontrato nella pratica corrente. Fatta questa ipotesi, si capisce come parte del calore fornito alla massa d'aria introdotta in ambiente, venga poi estratto dall'ambiente stesso e scaricato all'esterno; il calore che è necessario fornire all'aria per il buon funzionamento dell'impianto risulta quindi maggiore di quello strettamente necessario per soddisfare il fabbisogno termico del comparto operatorio. Le norme UNI 10379 "Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato", Maggio 1994, e UNI EN 832: "Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento", Giugno 2001, (sostitutiva della UNI 10344) non sono perciò applicabili al caso in esame.

Un discorso del tutto analogo può essere svolto per il condizionamento estivo, ma in questo caso, manca completamente una normativa di riferimento, ad eccezione della UNI 10339 che fornisce però solo i dati di progetto.

Per il periodo invernale si è scelto di effettuare il calcolo della potenza termica fornita all'aria, considerando come temperatura esterna quella media relativa a ciascun mese; tali dati sono stati ricavati dalla norma: UNI 10349: "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici Dati climatici" Aprile 1994.

Per definire il periodo di riscaldamento ci si è avvalsi della norma UNI 10379, che include Rimini nella zona climatica "E" per la quale il periodo di riscaldamento va dal 15 Ottobre al 15 Aprile (prospetto X ed appendice C).

Si è poi osservato che utilizzare la temperatura media mensile anche per il periodo estivo non avrebbe alcun senso in quanto l'utilizzo delle sale avviene nelle ore più calde della giornata e quindi si avrebbe una fortissima sottostima della potenza refrigerante richiesta, quando non addirittura l'esigenza di fornire calore. In Maggio, ad esempio, la temperatura media per la zona di Rimini indicata dalla norma, è di 16,5 °C; considerando che la temperatura interna deve essere compresa tra i 20 ed i 24 °C, parrebbe evidente l'esigenza di riscaldare l'aria immessa. Questo contrasta palesemente con l'esperienza che indica un utilizzo, seppur saltuario, dell'impianto di condizionamento estivo già alla fine del mese di Aprile.

Riportiamo di seguito le temperature medie mensili indicate dalla UNI 10349, al prospetto VI, relative alla città di Rimini, altitudine sul mare pari a 5m:

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
3,1	4,9	8,5	12,4	16,5	20,8	23,4	22,7	19,9	15,0	9,6	5,3

Questi dati sono ovviamente aggiornati al 1994 e non possono tenere conto di eventuali variazioni successive delle temperature medie; d'altra parte questo aspetto risulta irrilevante ai fini del confronto tra i costi variabili di due impianti in quanto si utilizzano gli stessi dati per entrambi i progetti.

Nella seguente tabella si riportano i giorni lavorativi stimati mese per mese, in modo da poter facilmente distinguere tra periodi di funzionamento a pieno regime, in attenuazione o ad impianto fermo. Questi dati rispecchiano abbastanza fedelmente il funzionamento di un blocco operatorio in una clinica privata come quella che ha commissionato l'impianto.

Mese	Giorni totali	Giorni lavorati	Giorni di attenuazione del sistema	Giorni di arresto del sistema
Gennaio	31	20	11	/
Febbraio	28	20	8	/
Marzo	31	20	11	/
Aprile	30	20	10	/
Maggio	31	20	11	/
Giugno	30	20	10	/
Luglio	31	20	11	/
Agosto	31	5	2	24
Settembre	30	20	10	/
Ottobre	31	20	11	/
Novembre	30	20	10	/
Dicembre	31	18	13	/
Totali	365	223	118	24

Totale ore a pieno regime	2230 h	25,5 %
Totale ore in regime di attenuazione	$2832 + 223 \times 14 = 5954$ h	75 %
Totale ore impianto spento	576 h	4,5 %
Totale ore annue	8760 h	

Si è deciso inoltre di ignorare il fenomeno dei transitori in riscaldamento e raffrescamento relativi al passaggio dell'impianto dal funzionamento a pieno regime a quello in attenuazione. Si può ragionevolmente considerare la potenza aggiuntiva, da fornire per portare alla temperatura di regime il blocco operatorio, circa uguale a quella risparmiata quando, all'inizio del

regime di attenuazione, il blocco operatorio si porta ad una temperatura diversa di quella ottimale.

Energia annua spesa per i ventilatori di mandata

Si è visto, paragrafo 6.11, che la potenza richiesta ai motori dei ventilatori di mandata per il funzionamento a pieno regime è pari a 28 kW. Moltiplicando tale potenza per il numero di ore di funzionamento a pieno regime si ottiene l'energia necessaria per il periodo di funzionamento a pieno carico.

$$E_{Mr} = 28 \times 2.230 = 62.440 \text{ kW h}$$

I pedici M ed r indicano rispettivamente "mandata" e "regime"

In regime di attenuazione la riduzione della portata è affidata all'inverter che regola i motori. Sappiamo che per i ventilatori centrifughi valgono le seguenti relazioni:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}$$

dove i pedici 1 e 2 indicano due diversi e generici punti di funzionamento del ventilatore. Dalle due precedenti si ottiene:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3 \text{ e quindi } : P_2 = P_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^3$$

La relazione che lega le potenze richieste nei due casi è pertanto:

$$P_2 = 28 \left(\frac{10.900}{18.170}\right)^3 = 6 \text{ kW}$$

$$E_{Ma} = 6 \times 5.954 = 35.990 \text{ kW h}$$

Il pedice a indica il funzionamento in regime di attenuazione relativo alla mandata, pedice M.

L'energia totale annua richiesta dai ventilatori di mandata è pertanto:

$$E_M = 62.440 + 35.990 = 98.430 \text{ kW h}$$

Energia annua spesa per i ventilatori di ripresa

Al paragrafo 6.11 si è indicata una potenza richiesta a questi dispositivi pari a 10,4 kW.

Procedendo come al paragrafo precedente si avrà quindi:

$$E_{Rr} = 10,4 \times 2.230 = 23.192 \text{ kW h}$$

La potenza richiesta in regime di attenuazione sarà:

$$P_2 = 10,4 \times \frac{8810}{14.680} = 2,3 \text{ kW}$$

$$\text{Da cui: } E_{Ra} = 2,3 \times 5.954 = 13.695 \text{ kW h}$$

Il pedice maiuscolo R indica il ventilatore destinato alla ripresa, mentre r ed a conservano i significati di funzionamento a regime o in attenuazione.

L'energia totale annua richiesta dai ventilatori di ripresa è pertanto:

$$E_R = 23.192 + 13.695 = 36.887 \text{ kW h}$$

Energia annua richiesta per il riscaldamento dell'aria

Come detto, eseguiremo un conteggio, mese per mese, dell'energia richiesta. Per il periodo invernale si considera una temperatura ambiente in condizioni di occupazione da parte del personale di 22 °C, valore intermedio dell'intervallo indicato dalle norme. La potenza termica totale, per ogni situazione, sarà data dalla somma della potenza assorbita dalla batteria di preriscaldamento e da quelle assorbite da tutte le batterie di postriscaldamento.

mese	T _m	Batteria di preriscaldamento				Batterie di postriscaldamento		
		°C	h	°C	kcal	kcal	kcal	
gennaio	3,1	h a reg.	200	? T a reg.	10	En a reg,	10.538.600	14.184.800
		h in att.	544	? T in att.	10	En in att.	17.195.840	21.390.080
febbraio	4,9	h a reg.	200	? T a reg.	8	En a reg,	8.430.880	14.184.800
		h in att.	472	? T in att.	8	En in att.	11.935.936	18.559.040
marzo	8,5	h a reg.	200	? T a reg.	5	En a reg,	5.269.300	14.184.800
		h in att.	544	? T in att.	5	En in att.	8.597.920	21.390.080
aprile	12,4	h a reg.	100	? T a reg.	1	En a reg,	526.930	7.092.400
		h in att.	260	? T in att.	1	En in att.	821.860	10.223.200
maggio								
giugno								
luglio								
agosto								
settembre								
ottobre	15	h a reg.	110	? T a reg.	/	En a reg,	/	7.801.640
		h in att.	274	? T in att.	/	En in att.	/	10.773.680
novembre	9,6	h a reg.	200	? T a reg.	3	En a reg,	3.161.580	14.184.800
		h in att.	520	? T in att.	3	En in att.	4.931.160	20.446.400
dicembre	6,3	h a reg.	180	? T a reg.	7	En a reg,	6.639.318	12.766.320
		h in att.	564	? T in att.	7	En in att.	12.479.628	22.176.480
							90.528.952	209.358.520
Totale						299.887.472 kcal		
Totale						1.253.529.633 kJ		

Gli ultimi valori riportati rappresentano l'energia richiesta annualmente per il riscaldamento nel periodo che va dal 15 Ottobre al 15 Aprile. Per il mese di Ottobre, avendosi una temperatura media mensile di 15 °C, la

temperatura di ingresso alle batterie di post riscaldamento è in teoria maggiore dei 13 °C definiti a progetto e quindi il calcolo dell'energia fornita dalle batterie di postriscaldamento dovrebbe tenere conto di questo fatto. In realtà non si è variata la temperatura di ingresso alle batterie di postriscaldamento rispetto ai 13 °C di progetto, tenendo conto del fatto che il riscaldamento è acceso nella seconda metà del mese, quando è lecito attendersi una temperatura media esterna più bassa. Si è in pratica arbitrariamente considerata una temperatura media, per la seconda metà del mese di 13 °C.

L'energia è fornita all'aria immessa nel blocco operatorio da scambiatori di calore ad acqua, riscaldata a sua volta dalla caldaia della clinica. Sia l'impianto di distribuzione del calore che la caldaia sono caratterizzati da un proprio rendimento.

Il rendimento del circuito, che tiene conto delle dispersioni termiche dei tubi nei quali circola l'acqua calda, può essere posto pari al 95%; infatti tutte le reti sono isolate termicamente, per evitare dispersioni, secondo quanto prescritto dalla Legge 10/91.

Il rendimento di una caldaia è definito come segue:

$$\eta = \frac{\text{calore effettivamente prodotto}}{\text{calore producibile dal combustibile}} = \frac{C}{q \times K_i}$$

Con q massa del combustibile e K_i potere calorifero inferiore.

Per caldaie a metano, come quella in uso nella clinica in esame, i manuali forniscono un rendimento η pari a 0,83, mentre per il potere calorifico inferiore si ha: $K_i = 8500 \text{ kcal/Nm}^3 = 35,58 \text{ MJ/Nm}^3$.

Si ha quindi:

$$C = \frac{E_{\text{annua}}}{\eta_{\text{caldaia}} \cdot \eta_{\text{circuito}}} = \frac{1.253.529.633 \text{ kJ}}{0,83 \cdot 0,95} = 1.589.764.911 \text{ kJ}$$

$$q = \frac{1.589.764.911 \text{ kJ}}{35,58 \text{ MJ} / \text{m}^3} = 44.681 \text{ m}^3$$

Per riscaldare l'aria nel periodo invernale servono quindi circa 44.700 m³ di metano.

Moltiplicando la potenzialità dell'impianto per il numero di ore di funzionamento totale dell'impianto di riscaldamento, si ottiene:

potenzialità totale = potenzialità preriscaldamento + potenzialità postriscaldamento

$$\text{potenzialità totale} = 94.850 + 81.462 = 176.312 \text{ kcal}$$

L'impianto di riscaldamento rimane in funzione per 182 giorni l'anno.

Ore totali di funzionamento: 182 gg x 24 h = 4368 h

Energia totale richiesta = potenzialità totale x ore di funzionamento

$$\text{Energia totale richiesta} = 176.312 \times 4368 = 770.130.000 \text{ kcal}$$

Si può notare come tale valore sia pari a circa 2,6 volte quello calcolato con il metodo precedente.

Energia richiesta per la produzione del vapore

E' possibile sfruttare l'ultima osservazione fatta al paragrafo precedente per stimare l'energia necessaria per la produzione del vapore per l'umidificazione dell'aria. Si può cioè calcolare l'energia che servirebbe con l'impianto sempre funzionante al massimo della sua potenzialità e quindi dividere tale valore per 2,6.

A pressione ambiente il calore latente di vaporizzazione dell'acqua è di 540 kcal/kg

Per vaporizzare 140 kg/h di acqua sono quindi necessarie 75.600 kcal/h

Abbiamo visto che l'impianto rimane in funzionamento per 5112 h.

L'energia richiesta per il funzionamento a pieno regime è quindi pari a:

$$Q_{\text{VAP MAX}} = 75.600 \text{ kcal/h} \times 4368 \text{ h} = 330.220.000 \text{ kcal} = 1.380.320.000 \text{ kJ}$$

Supponendo un rendimento del riscaldatore elettrico pari allo 0,9, si può calcolare la richiesta di potenza elettrica:

$$E_{\text{VAP MAX}} = 1.380.320.000 \text{ kJ} / 0,9 = 1.533.690.000 \text{ kJ}$$

L'energia realmente richiesta si può ottenere dividendo per 2,6 tale valore:

$$E_{\text{VAP}} = 1.533.690.000 / 2,6 = 589.881.000 \text{ kJ} = 163.856 \text{ kWh}$$

Energia annua richiesta per il condizionamento estivo

Come appare evidente dalle considerazioni svolte all'inizio di questo paragrafo, determinare la potenza richiesta per il raffrescamento dell'aria nel periodo estivo risulta alquanto più complesso rispetto al calcolo dell'energia richiesta per il riscaldamento invernale.

Possiamo sfruttare, anche in questo caso, la relazione trovata tra l'energia richiesta calcolata mese per mese e quella calcolata supponendo l'impianto sempre a pieno carico.

Supponiamo quindi l'impianto di condizionamento estivo in funzione dal 1 Giugno al 20 Settembre, cioè per 88 giorni di attività dell'impianto, calcolati in base alla tabella posta all'inizio del presente paragrafo.

Si hanno cioè: $88 \times 24 = 2112$ ore di funzionamento.

Nell'impianto di condizionamento estivo si hanno due distinti assorbimenti di energia: quello del compressore per la refrigerazione dell'acqua che raffredda e deumidifica l'aria e quello delle batterie di postriscaldamento che riportano la temperatura ai valori adatti all'immissione in ambiente.

Energia elettrica

$$E_{RAF} = \frac{Q_{MAX} \cdot \text{ore}}{3 \cdot \eta_{COMPRESSORE}}$$

Dove: Q_{MAX} è la potenzialità dell'impianto indicata al paragrafo 6.2;

"ore" indicano le ore di funzionamento;

$\eta_{COMPRESSORE}$ è il rendimento del compressore che si può porre uguale a 3

Si ha quindi:

$$E_{RAF} = \frac{190.860 \text{ kcal/h} \cdot 2112 \text{ h}}{2,6 \cdot 3} = 51.679.000 \text{ kcal} = 216.018.000 \text{ kJ} = 60.000 \text{ kWh}$$

Energia termica postriscaldamento

Supponiamo un aumento di temperatura nel postriscaldamento estivo di 9°C .

La potenza termica richiesta è:

$$Q = 0,29 \cdot 18170 \cdot 9 = 47.424 \text{ kcal/h}$$

L'energia richiesta sarà quindi:

$$E_{POST} = \frac{Q \cdot ore}{2,6} = \frac{47.424 \cdot 2112}{2,6} = 38.522.880 kcal = 161.025.000 kJ$$

Ripetendo il ragionamento fatto per il riscaldamento invernale avremo:

$$q = \frac{E_{POST}}{\eta_{CALDAIA} \cdot \eta_{CIRCUITO} \cdot K_i} = \frac{161.025.000 kJ}{0,95 \cdot 0,83 \cdot 35.580 kJ/m^3} = 5.740 m^3$$

Costo annuo impianto di climatizzazione

I prezzi unitari di un metro cubo di metano e di un kWatt ora di energia elettrica riportati nella tabella seguente sono stati ricavati da fatture commerciali e quindi non comprensivi di IVA.

TIPO DI ENERGIA	FINALITA'	QUANTITA'	PREZZO UNITARIO	PREZZO TOTALE
TERMICA	ricaldamento inv.	44.700 mc	0,29	12.963
	pot estivo	5.740 mc	0,29	1.665
ELETTRICA	ventilatori di man.	98.430 kWh	0,08	7.874
	ventilatori di rip.	36.887 kWh	0,08	2.951
	vaporizzatore	163.856 kWh	0,08	13.108
	condizionatore	60.000 kWh	0,08	4.800
			Totale €	43.361
			Totale con IVA al 20% €	52.034
			£	100.751.347

Costo annuo filtri

Ricordiamo che la catena filtrante è costituita da tre tipi di filtri disposti in serie lungo il percorso che l'aria compie da quando è prelevata in atmosfera fino al momento dell'immissione in ambiente.

Filtri G3

Il primo tipo di filtri che l'aria incontra nel suo percorso, appena entrata nell'UTA, è quello più grossolano a cui è affidato il compito di trattenere le particelle di dimensioni maggiori. Tali filtri appartengono alla classe G3, secondo la classificazione EN 779, hanno una efficienza media ponderale, a catalogo, dell'82 % e sono costituiti da uno spessore di 20 ± 2 mm di fibra sintetica. Comportano una caduta di pressione pari a circa 25 Pa.

Questo tipo di media filtrante è venduto in rotoli con dimensioni 1,5 x 20 m, dai quali gli addetti alla manutenzione ritagliano dei pannelli rettangolari di opportune dimensioni che vengono inseriti in appositi telai. Questi ultimi, di rete metallica e quindi perfettamente permeabili all'aria, sono collocati nel canale di aspirazione dell'impianto.

L'ispezione e la verifica della capacità filtrante di questi filtri è raccomandata con frequenza settimanale dal Dipartimento di Prevenzione, Servizio Psal, della città di Milano¹⁴, anche se nelle procedure di manutenzione di alcune cliniche tale operazione viene effettuata con cadenza bisettimanale. I filtri non vengono tuttavia sempre sostituiti, ma il più delle volte semplicemente puliti e lavati, non avendo ancora compromesso le proprie capacità filtranti.

Supponendo di dover ricoprire una sezione di passaggio di circa 1 m^2 , un rotolo di 1,5 x 20 m, cioè 30 m^2 , è sufficiente per creare 30 filtri completi. Il costo di un rotolo di materiale filtrante è di 96 €, e quindi il costo per filtro è pari circa 3 €. Tenuto conto anche del fatto che la pulizia e la saltuaria sostituzione dei filtri G3 viene effettuata indipendentemente dalla portata dell'impianto, si decide di trascurare completamente il costo annuo di questi filtri.

Filtri a tasche

Sono previste due sezioni filtranti con questo tipo di filtri: la prima subito dopo l'ingresso nell'UTA e la seconda subito a monte del plenum di mandata. I filtri disposti nella prima sezione filtrante appartengono alla

classe F8, mentre quelli della seconda alla classe F9, secondo la definizione EN 779. In questo tipo di filtri, detti a tasche per la loro conformazione, il media filtrante è carta in fibra di vetro, e garantiscono una efficienza colorimetrica pari al 90÷95 % per gli F8 e superiore al 95% per gli F9.

Nell'UTA di questo progetto è previsto l'impiego di 8 pezzi 592x592 mm classe F8 e di altrettanti pezzi delle stesse dimensioni della classe F9. Da listino si ricavano i seguenti prezzi unitari: 128 €

per i filtri di classe F8 e 130 € per quelli di classe F9.

L'esperienza dei tecnici di manutenzione indica una vita utile per questi filtri di circa un anno, per impianti con portate d'aria analoghe a quella del presente progetto.

Filtri assoluti

Questi dispositivi filtranti devono essere collocati immediatamente a monte dell'immissione dell'aria nei vari ambienti, in modo da assicurare l'asportazione dall'aria anche di tutto quello che potrebbe essere raccolto dall'aria stessa nei canali.

Questo tipo di filtri, classificati secondo la EN 1822, presenta una media filtrante di carta in fibra di vetro ed assicura una efficienza di filtrazione integrale >99,995 % e locale > 99,975 per la classe H 14. Questa classe è imposta dalle UNI 10339, e quindi adottata, per le sale operatorie e per la preparazione e risveglio pazienti. Per gli altri ambienti, per i quali non è fornita alcuna indicazione e nei quali i filtri sono installati unicamente per equilibrare il circuito, si sono adottati dei filtri H13 che presentano una perdita di carico simile, ma risultano leggermente più economici.

Anche per questi filtri si può realisticamente ipotizzare una sostituzione annuale.

Il costo annuale dei filtri per l'intero comparto operatorio può essere riassunto nella seguente tabella. I prezzi riportati sono quelli indicati a

catalogo e non comprensivi dell'IVA; sommando al totale il valore dell'IVA si ottiene il prezzo finale dei filtri.

Classe dei filtri	Posizione	Dimensioni mm	Quantità n ^{ro}	Prezzo unitario €	Prezzo totale €
F8	ingresso UTA	592x592	8	128	1.024
F9	uscita UTA	592x592	8	130	1.040
H13	cassette canali	610x610	2	190	380
H14	diffusori	305x305	6	97	582
H14	diffusori	515x515	9	180	1.620
H14	soffitto filtrante	600x600	2	197	394
H14	soffitto filtrante	600x905	8	268	2.144
H14	soffitto filtrante	600x1210	8	317	2.536
Prezzo totale					9.720
Prezzo totale con IVA al 20%					11.644

A tale valore si deve aggiungere anche il costo di montaggio dei filtri. Per eseguire tale operazione sono richiesti due montatori con un costo orario complessivo di 70.000€. Si può ipotizzare un tempo di sostituzione di 30 minuti per il filtri presenti nei diffusori e nell'UTA, mentre per i soffitti filtranti delle sale operatorie si stima una tempo di 3 ore. Per la chiamata dei tecnici si impone un tempo di 1,5 ore.

Abbiamo quindi un costo annuo di sostituzione pari a:

	Tempo di sostituzione ore	N ^{ro} filtri	N ^{ro} ore
Richiesta intervento			1,5
Soffitti filtranti	3 x	3 =	9
Altri filtri	0,5 x	33 =	16,5
Totale			27

Il costo di sostituzione sarà quindi dato da: $27 \times 70.000 \times 1,26 = 2.381.400$
 $\text{£} = 1.230 \text{ €}$

Dove 1,26 è un coefficiente che tiene conto degli utili di impresa.

Per la sostituzione dei filtri avremo quindi un costo annuo di 12.874 €

Costo annuo di gestione

Sommando il costo annuo dei filtri con quello annuo dell'impianto di climatizzazione, si ottiene il costo annuo di gestione totale:

Costo annuo impianto di climatizzazione	52.034 €
Costo annuo filtri	12.874 €
Costo annuo totale	64.131 €
	124.174.000 £

CAPITOLO 7

ANALISI DEL PROGETTO MINIMO AMMISSIBILE

7.1 Determinazione della soluzione progettuale minima ammissibile per legge

Le indicazioni normative vigenti per il dimensionamento degli impianti di ventilazione e condizionamento per le sale operatorie sono già state riportate al paragrafo 3.2.

Considerando solo il caso di ventilazione con tutta aria primaria, quindi senza ricircolo, appare chiaro che le norme analizzate forniscono indicazioni relative unicamente alle sale operatorie, sia per quanto riguarda il numero di ricambi, sia per la pressione differenziale rispetto ad ambienti circostanti, sia per la filtrazione dell'aria immessa. Nessuna indicazione è fornita riguardo a tutti gli altri ambienti del blocco operatorio serviti dall'impianto che stiamo progettando, se si fa eccezione per le linee guida ISPESL. Queste ultime suggeriscono di assicurare 6 ricambi/ora nel locale di preparazione e risveglio dei pazienti e in quelli di preparazione per i chirurghi, 15 ricambi/ora nelle sterilizzazioni e 2 ricambi orari in tutti gli altri ambienti del comparto. I 15 ricambi nelle sterilizzazioni sono motivati essenzialmente da esigenze di smaltimento del calore prodotto negli ambienti stessi dalle macchine sterilizzatrici; queste producono anche una notevole quantità di vapor acqueo che deve essere allontanato per mantenere un grado igrometrico compatibile con il benessere degli operatori. Tale valore non verrà quindi mai modificato nelle considerazioni che seguono.

Linee guida ISPESL a parte, il riferimento normativo per l'impianto di condizionamento degli altri locali resta la già citata norma UNI 10339, relativa agli impianti aeraulici in genere.

Mantenendo lo schema di impianto già visto per il progetto ottimale, si sono calcolate le portate richieste nei vari ambienti seguendo tale normativa. Per questo calcolo gli ambienti in cui si prevede la permanenza di personale sono stati considerati alla stregua di "sale mediche/ soggiorni", per le quali le UNI 10339 prevedono una portata d'aria di 8,5 l/s per persona (Prospetto VI), con un indice di affollamento di 0,20 persone/ m² (Appendice A). Tutti gli altri ambienti, corridoi e depositi, sono stati considerati come corsie per le quali si prevedono 11 l/s per persona, con indice di affollamento di 0,12 persone/ m². La norma prevede poi una aspirazione dai bagni, a cui sono stati assimilati anche i vuotatoi, di 8 vol/h (Prospetto III, nota A). Come già detto, la norma UNI 10339 non può essere utilizzata per il calcolo delle portate d'aria in sala operatoria; infatti: "per questi ambienti le portate d'aria devono essere stabilite in relazione alle prescrizioni vigenti ed alle specifiche esigenze delle singole applicazioni." (Prospetto III, nota D).

E' evidente che la portata oraria per ogni ambiente si ottiene moltiplicando la portata/ persona per l'indice di affollamento per la superficie dell'ambiente stesso. I risultati di questi calcoli sono riportati nella tabella a pagina seguente.

Tabella delle portate d'aria secondo la UNI 10339

TIPO LOCALE	N°	SUP. m ²	ALT. m	VOL. AMB m ³	Portata l/s pers.	Indice di Aff. pers./ m ²	ARIA MAN. m ³ /h	ARIA RIP.WC m ³ /h	N° di ricambi
Vuota	1	3,80	2,4	9	/	/	/	72	
Connettivo sporco	2	15,30	2,4	37	11,00	0,12	73	/	2,0
Area lavaggio sporca	3	4,70	2,4	11	8,50	0,20	29	/	2,6
Sub sterilizzazione	4	12,70	2,7	34			280	/	8,2
Sala operatoria 1	5	36,80	3	110			1.660	/	15,0
Preparazione chirurgi	6	9,50	2,7	26	8,50	0,20	58	/	2,3
Sala operatoria 2	7	36,80	3	110			1.660	/	15,0
Preparazione pazienti	8	39,80	3	119	8,50	0,20	244	/	2,0
Cambio letto	9	31,33	3	94	8,50	0,20	192	/	2,0
Deposito attrezzature	10	8,89	2,7	24	11,00	0,12	42	/	1,8
Relax	11	9,60	3	29	8,50	0,20	59	/	2,0
Caposala	12	12,00	2,7	32	8,50	0,20	73	/	2,3
Deposito attrezzi	13	7,70	2,7	21	11,00	0,12	37	/	1,8
Corridoi pulito	14	15,40	2,7	42	11,00	0,12	73	/	1,8
2° Filtro femminile	15	5,70	2,7	15	11,00	0,12	27	/	1,8
WC	16	2,80	2,7	8	/	/	/	64	8,5
1° filtro femminile	17	5,70	2,7	15	11,00	0,12	27	/	1,8
2° filtro maschile	18	5,70	2,7	15	11,00	0,12	27	/	1,8
WC	19	2,80	2,7	8	/	/	/	64	8,5
1° filtro maschile	20	5,70	2,7	15	11,00	0,12	27	/	1,8
Sterilizzazione	21	25,50	3	77			1.150	/	15,0
Lavaggio sterilizzazione	22	9,10	3	27			410	/	15,0
Cucinetta	23	5,40	3	16	8,50	0,20	33	/	2,0
Vuota	24	3,80	2,7	10	/	/	/	80	7,8
Connettivo sporco	25	6,80	2,7	18	11,00	0,12	32	/	1,8
Connettivo sporco	26	11,11	2,7	30	11,00	0,12	53	/	1,8
Sala operatoria 3	27	24,90	3	75			1.130	/	15,1
Sala gessi	28	22,67	3	68			1.020	/	15,0
Disimpegno medicazioni	29	24,67	3	74	8,50	0,20	151	/	2,0
Preparazione chirurgi	30	6,00	3	18	8,50	0,20	37	/	2,0
Deposito gessi	31	4,67	3	14	11,00	0,12	22	/	1,6
AWC	32	3,00	3	9	/	/	/	/	/
WC	33	3,00	3	9	/	/	/	72	8,0
TOTALE Reparto		423		1.221			8.626	352	

Le caselle barrate in diagonale della tabella sono quelle alle quali non sono applicabili le indicazioni delle UNI 10339.

In questa prima fase di studio del problema non sono state calcolate le portate d'aria da estrarre dai singoli locali.

Nell'ultima colonna si è calcolato il numero di ricambi orari che si determina nei singoli ambienti applicando le indicazioni delle UNI 10339. Si nota che, per quasi tutti i locali interessati, il numero di ricambi ottenuti è compreso in un intorno di due; si ha quindi una sostanziale convergenza con quanto prescritto dalle linee guida ISPESL. L'unica differenza rilevante è data dal numero di ricambi nel locale di preparazione pazienti, in questo caso pari a due, mentre le linee guida ne prescrivono sei. Questa indicazione è dovuta alla necessità di assicurare una bassa concentrazione dei gas anestetici in ambiente.

Il calcolo delle portate richieste è stato poi effettuato anche secondo le prescrizioni delle ISPESL.

Tabella delle portate d'aria secondo le ISPESL

TIPO LOCALE	N°	SUPERFICIE m ²	ALTEZZA m	VOL. AMB. m ³	Ricambi imposti	ARIA MAN. m ³ /h
Vuota	1	3,80	2,4	9	/	/
Connettivo sporco	2	15,30	2,4	37	2	80
Area lavaggio sporca	3	4,70	2,4	11	2	30
Sub sterilizzazione	4	12,70	2,7	34	8	280
Sala operatoria 1	5	36,80	3	110	15	1.660
Preparazione chirurgi	6	9,50	2,7	26	6	160
Sala operatoria 2	7	36,80	3	110	15	1.660
Preparazione pazienti	8	39,80	3	119	6	720
Cambio letto	9	31,33	3	94	6	570
Deposito attrezzature	10	8,89	2,7	24	2	50
Relax	11	9,60	3	29	2	60
Caposala	12	12,00	2,7	32	2	70
Deposito attrezzi	13	7,70	2,7	21	2	50
Corridoi pulito	14	15,40	2,7	42	2	90
2° Filtro femminile	15	5,70	2,7	15	2	40
WC	16	2,80	2,7	8	/	/
1° filtro femminile	17	5,70	2,7	15	2	40
2° filtro maschile	18	5,70	2,7	15	2	40
WC	19	2,80	2,7	8	/	/
1° filtro maschile	20	5,70	2,7	15	2	40
Sterilizzazione	21	25,50	3	77	15	1.150
Lavaggio sterilizzazione	22	9,10	3	27	15	410
Cucinetta	23	5,40	3	16	2	40
Vuota	24	3,80	2,7	10	/	/
Connettivo sporco	25	6,80	2,7	18	2	40
Connettivo sporco	26	11,11	2,7	30	2	60
Sala operatoria 3	27	24,90	3	75	15	1.130
Sala gessi	28	22,67	3	68	15	1.020
Disimpegno medicazioni	29	24,67	3	74	6	450
Preparazione chirurgi	30	6,00	3	18	6	110
Deposito gessi	31	4,67	3	14	2	30
AWC	32	3,00	3	9	/	/
WC	33	3,00	3	9	/	/
TOTALE Reparto		423		1.221		10.080

La decisione di imporre sei ricambi orari anche nel locale "disimpegno medicazioni" (29), è dovuta al desiderio del committente di considerare questo locale come un locale di "preparazione e risveglio dei pazienti", che manca per la sala operatoria 3 (27). Allo stato attuale l'utilizzo della sala 3 è finalizzato unicamente a medicazioni chirurgiche e non ad interventi veri e propri, quindi non necessita di un ambiente dedicato alla preparazione e risveglio dei pazienti. Non è stata però esclusa l'ipotesi di effettuare in futuro interventi anche in questa sala. E' chiaramente compito dell'impiantista realizzare un progetto che tenga conto anche delle possibili evoluzioni funzionali della struttura; si cerca infatti di creare impianti con una vita utile di almeno 15 ÷ 20 anni.

Confrontando le due tabelle, si nota un incremento di circa il 17% della portata d'aria totale introdotta nel blocco operatorio con il calcolo secondo le ISPESL, rispetto al calcolo secondo le UNI 10339. Come già detto, quando si progetta un impianto si tende a garantire allo stesso una vita utile di 15 ÷ 20 anni; tenendo conto della possibilità che le ISPESL vengano convertite in legge. Oltre che delle più attuali tendenze, abbiamo scelto di procedere nell'analisi del progetto minimo seguendo le indicazioni fornite dalla seconda tra le tabelle presentate sopra.

Si è poi valutata la possibilità di mantenere le condizioni termoigrometriche del comparto operatorio a valori ottimali. Data la complessità delle operazioni svolte, si ritiene infatti condizione imprescindibile quella di assicurare condizioni ambientali ottimali per il personale che lavora all'interno del blocco operatorio. In letteratura non mancano studi che mostrano un aumento delle infezioni quando l'equipe chirurgica si è trovata ad operare in condizioni disagiate per un malfunzionamento dell'impianto di climatizzazione.⁸²

Nella terz'ultima colonna della tabella sottostante si riportano i valori a cui dovrebbe essere immessa l'aria in ambiente per assicurare la corretta

temperatura nel periodo invernale, considerando le portate d'aria ottenute secondo i dettami delle linee ISPESL.

TIPO DI LOCALE	N°	ARIA MAN. m ³ /h	DISPER. kcal/h	ARIA ENTR. °C	ARIA USC. °C	POTENZ. kcal/h	H20 80°C
<u>CASSETTA M1</u>							
SO 1	2,3,5	1.770	3.160	13	30,16	8.806	881
<u>CASSETTA M2</u>							
SO 2	4,6,7	2.100	3.400	13	29,58	10.099	1.010
<u>CASSETTA M3</u>							
RISVEGLIO	8	720	2.380	13	35,40	4.677	468
<u>CASSETTA M4</u>							
STERILIZZAZIONE	21	1.150	1.540				
STERILIZZAZIONE	22	410	540				
STERILIZZAZIONE		1.560	2.080	13	28,60	7.056	706
<u>CASSETTA M5</u>							
SO 3	27,29,30	1.690	3.340	13	30,81	8.731	873
<u>CASSETTA M6</u>							
SALA GESSI	28, 31	1.050	1.640	13	29,39	4.990	499
<u>CASSETTA M7</u>							
SUPPORTI	9,10,11,12 13,14,15,17, 18,20,23, 25,26	1.190	7.500	13	45,73	11.296	1.130
TOTALI		10.080	23.500			55.655	5.566

Osservando la tabella riportata sopra, si può notare il primo problema che sorge con un impianto di tipo tradizionale e con portate basse come quelle impostate: per mantenere alla temperatura voluta in condizioni di massimo

carico invernale si è costretti ad immettere aria a temperature inaccettabilmente elevate. Sono evidenziati in grassetto i valori superiori ai 30 °C, ma nei locali di supporto, che gravitano sulla cassetta M7 e che richiedono portate modeste d'aria, l'aria immessa supererebbe abbondantemente i 40 °C.

Quando si devono immettere negli ambienti portate così modeste d'aria, un altro problema è rappresentato dall'inservibilità, per portate inferiori a circa 100 m³/h, dei diffusori a soffitto. A portate basse corrispondono infatti basse velocità di uscita dell'aria che non permettono di realizzare il desiderato effetto Coanda; questo rappresenta un problema perché, nel condizionamento estivo, l'aria trattata uscente dai diffusori, avendo densità minore di quella ambiente, "cadrebbe" sul personale. Questo fenomeno, in impianti mal progettati, è fonte di forti lamentele da parte delle persone interessate e perciò assolutamente da evitare.

Si potrebbe superare l'inconveniente adottando bocchette con griglie di diffusione a parete, ma nel caso del presente progetto l'utilizzo di tali dispositivi non è realizzabile data la presenza, in tutti i locali, di controsoffitti necessari per occultare alla vista gli stessi canali dell'aria. Simili situazioni limitative delle libertà di scelte del progettista di impianti sono tipiche quando si affrontano progetti di ristrutturazione, come nel presente caso; si devono infatti inserire impianti voluminosi in strutture datate e non concepite per ospitarli.

7.2 Analisi di possibili soluzioni alternative per l'impianto e relative valutazioni economiche

Nell'ottica di quanto detto nel primo capitolo, si potrebbe pensare di considerare il comparto operatorio alla stregua di un qualunque altro

reparto ospedaliero, ad eccezione delle sale operatorie e dei locali di preparazione per la presenza dei gas anestetici.

In sostanza i vincoli da rispettare sono:

1. 15 ricambi/ora nelle sale operatorie e relativa sovrappressione;
2. 6 ricambi/ora nella preparazione e risveglio;
3. 2 ricambi ora in tutti gli altri ambienti;
4. estrazione di 8 volumi/ora dai bagni e/o vuotatoi;
5. filtrazione dell'aria con filtri assoluti nelle sale operatorie e filtri ad alta efficienza negli altri locali;
6. mantenimento delle condizioni termoigrometriche ottimali: 20-24 °C, 40-60 % U.R. per sale operatorie, preparazione, risveglio, lavaggio e preparazione staff chirurghi; 20-27 °C, 40-60 % U.R. per tutti gli altri locali (ISPEL II.1.C, tabella riepilogativa paragrafo 3.2.1).

Per soddisfare i punti 1, 2, 3 e 4 appare chiara l'esigenza di creare un impianto di ventilazione forzata che interessi tutti i locali. Una ovvia conseguenza è collocare la catena filtrante, prevista al punto 5, all'interno di tale impianto.

Per risolvere le esigenze di cui al punto 6, o si immette aria con condizioni tali da modificare le condizioni presenti in ambiente, come avviene nel progetto già esaminato, oppure si modificano le condizioni dell'aria presente in ambiente. Per percorrere la seconda via indicata, è necessario introdurre negli ambienti radiatori o fan-coil per il riscaldamento invernale e fan-coil o dispositivi analoghi per il condizionamento estivo. Con questi dispositivi risulta tuttavia difficoltoso il controllo dell'umidità, soprattutto in ambienti nei quali si ha grossa produzione di vapore come le sterilizzazioni.

Analizzeremo ora i vari dispositivi disponibili sul mercato.

Radiatori

Questi dispositivi sono decisamente poco apprezzabili all'interno di un comparto operatorio; infatti sporgono dalle pareti e possono costituire intralcio alla circolazione nei corridoi, mentre negli ambienti di permanenza sottraggono spazi che potrebbero essere più utilmente sfruttati. Incassarli all'interno dei muri, se di larghezza sufficiente, potrebbe costituire una soluzione nei corridoi, non nei locali dove sarebbero probabilmente occlusi con mobilio o affini. L'utilizzo dei radiatori appare inoltre decisamente in contrasto con quanto indicato dalle linee guida ISPESL che consigliano per tutto il comparto pareti "lisce, uniformi e lavabili a tutt'altezza, ignifughe", raccordate con soffitto e pavimento; problematica appare infatti anche la raccomandata pulizia periodica di tali dispositivi di riscaldamento.

Fan-coil

Anche per i fan-coil si possono ripetere molte delle osservazioni fatte per i radiatori, con l'aggravante della loro rumorosità, ovviamente poco gradita dal personale, oltre che limitata dalle norme riguardanti la rumorosità negli ambienti (D.P.C.M. del 1 Marzo 1991: "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno").

Travi fredde

Vengono così chiamati quei particolari induttori, di forma parallelepipedica allungata, che sono appesi a soffitto e che sfruttano l'effetto induttivo generato dell'aria primaria per modificare la temperatura dell'aria in ambiente. Questa tipologia impiantistica, da anni utilizzata con successo nei paesi del Nord Europa, è in via di diffusione anche in Italia.

Le caratteristiche ed i vantaggi che il sistema presenta ne suggerisce l'impiego anche in campo ospedaliero, benché permangano ancora alcuni dubbi e perplessità, se non altro legati alla novità del prodotto. Rispetto ad

altri componenti impiantistici, le travi fredde non danno origine a condensazioni superficiali e sono prive di filtro, ma presentano comunque una batteria di scambio termico più o meno complessa, che può presentare qualche difficoltà di periodica sanitizzazione. Esperti del settore ritengono "che, in attesa di più precise referenze circa l'impiego in campo ospedaliero di questi componenti, lo stesso possa essere installato solo dopo specifica autorizzazione da parte della Direzione Sanitaria dell'Ospedale".¹⁵

L'esperienza mostra che i pannelli freddi, radianti o ad induzione, rappresentano una soluzione decisamente valida per il condizionamento estivo in quanto la maggior densità dell'aria fredda favorisce i moti convettivi dell'aria stessa e consente quindi una uniforme distribuzione della temperatura all'interno dell'ambiente. Sfruttando i pannelli a soffitto anche per il riscaldamento invernale si ottiene invece l'effetto opposto: l'aria riscaldata dai pannelli, e quindi meno densa di quella presente in ambiente, tende a stratificarsi nella parte superiore degli ambienti. La componente di calore introdotta per irraggiamento sembra essere inoltre poco percepita da chi lavora in ambienti attrezzati con sistemi simili.

Dispositivi ad induzione

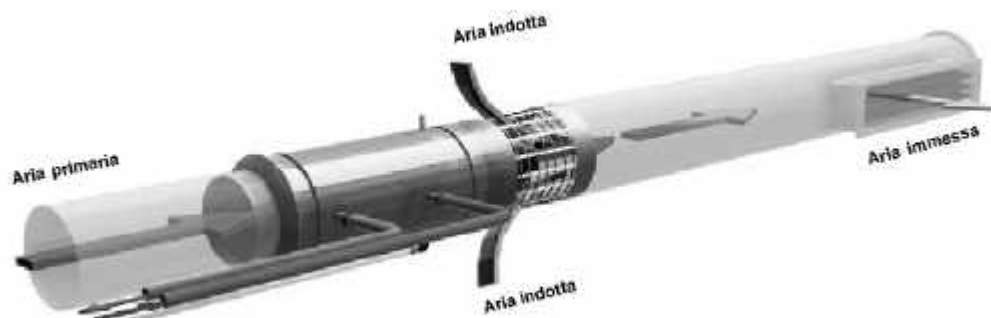
Questo genere di dispositivo, da montare su impianti di tipo tradizionale, permetterebbe di risolvere il problema dell'immissione di aria primaria a temperatura troppo elevata in un ambiente di cui si è trattato al termine del precedente paragrafo. Consente infatti una miscelazione dell'aria primaria con aria già presente in ambiente, la qual cosa abbassa drasticamente la temperatura dell'aria in uscita dalle bocchette di mandata aumentando al contempo la portata che fuoriesce dalle stesse.

Questo tipo di componente, particolarmente diffuso in Francia, è caratterizzato dall'impiego di speciali induttori di forma cilindrica, montati sui condotti di mandata, nei quali l'aria primaria entra ad una pressione di circa 350 Pa e attraversa una batteria calda o fredda costituita da un doppio

foglio di rame avvolto a spirale e munito di alette longitudinali, il tutto rivestito di resina epossidica. L'aria, raffreddata o riscaldata dalla batteria, esce in filetti paralleli verso un cono di immissione nel quale la velocità aumenta fino a $15 \div 20$ m/s e diventa tale da esercitare, per effetto Venturi, una notevole induzione sull'aria ambiente, aria che viene aspirata attraverso una griglia perforata direttamente dal controsoffitto, o preferibilmente, nel caso ospedaliero, mediante un raccordo a T collegato con una bocchetta di ripresa. L'aria indotta crea all'interno di un condotto, detto di automiscelazione, una miscela omogenea che viene poi diffusa in ambiente attraverso una bocchetta a parete od un diffusore a soffitto.

Grazie all'elevato coefficiente di induzione, la portata d'aria immessa in ambiente è pari a $2 \div 2,5$ volte quella primaria che alimenta il terminale e permette quindi una adeguata ventilazione in tutte le parti dell'ambiente. Contrariamente ai tradizionali induttori, l'aria indotta proveniente dall'ambiente viene aspirata in un punto posto a valle della batteria che risulta così sempre attraversata solo dall'aria primaria pulita. Questo specifico accorgimento rende il sistema idoneo per le applicazioni in ambienti ospedalieri, evitando i noti e poco igienici problemi di condensazione sulla batteria fredda tipici dei ventilconvettori.

La regolazione della temperatura ambiente avviene variando la portata del fluido termovettore alla batteria per mezzo di una valvola a 3 vie (per



impianti a portata costante) o a 2 vie (per impianti a portata variabile), comandate da una sonda ambiente ed apposito regolatore.

L'involucro cilindrico che racchiude la batteria di scambio termico ha anche funzione di raccogliitore per l'eventuale condensa, condensa che viene evacuata attraverso un orifizio di scarico del diametro di 6 mm, sottoposto ad una pressione continua di 200 Pa.

I componenti ad induzione garantiscono quindi:

- purezza dell'aria: i filtri ad alta efficienza devono essere installati in centrale anziché celle filtranti in ambiente;
- pulizia e decontaminazione: tutte le parti a contatto con l'aria indotta in acciaio inox:
- assenza di proliferazione batterica: l'evacuazione immediata della condensa è continua e garantita in quanto sotto pressione;
- assenza di mobiletti in ambiente: si ottiene più spazio e non è necessaria nessun tipo di manutenzione locale.

Questa soluzione, per una corretta miscelazione tra le due portate d'aria a temperature diverse, richiede un tratto di condotto, cilindrico e lineare, a valle dell'induttore stesso di lunghezza variabile al variare della portata di aria primaria. Per fornire un esempio, con portate d'aria simili a quelle del progetto in esame, per portate fino a 80 m³/h è richiesta dai costruttori una lunghezza di almeno 750mm. Se a questa lunghezza aggiungiamo quella propria del dispositivo di induzione, variabile da 500 ad 800 mm, otteniamo la necessità di ricavare un tratto di condotto lineare di almeno 1300 mm. Questo potrebbe risultare una forte limitazione all'impiego di questo sistema in un caso di locali di dimensioni modeste, come molti all'interno del comparto in ristrutturazione.

L'utilizzo di simili dispositivi ad induzione potrebbe quindi brillantemente risolvere il problema del riscaldamento invernale, abbattendo la temperatura dell'aria in ingresso in ambiente pur con basse portate d'aria

primaria, mentre potrebbe rivelarsi inutile nel condizionamento estivo. Durante il condizionamento, infatti, la differenza di temperatura disponibile tra aria immessa ed aria ambiente è molto minore di quella che è possibile realizzare in fase di riscaldamento; per sottrarre notevoli quantità di calore è quindi indispensabile aumentare la portata di aria primaria raffreddata. Questo problema non si presenta nei reparti di degenze dove i carichi termici presenti all'interno degli ambienti sono modesti, ma appare non trascurabile in un comparto operatorio nel quale sono presenti numerosi dispositivi medicali che dissipano calore.

La pressione richiesta da questi dispositivi per un corretto funzionamento, pari come detto a 350 Pa, non rende il loro impiego compatibile con un sistema di immissione dell'aria di tipo tradizionale, nel quale la pressione nei canali di mandata risulta inferiore di almeno un ordine di grandezza. Per utilizzare questi dispositivi sarebbe quindi necessario creare un apposito circuito di mandata ad alta pressione.

Conclusioni

Una forte limitazione all'uso di questi dispositivi è data dalla necessità di creare i circuiti per l'adduzione del fluido termovettore alle singole utenze disperse su tutta la superficie del blocco operatorio in esame, questo senza tuttavia poter eliminare l'UTA principale che deve soddisfare interamente le esigenze delle sale operatorie.

La creazione di un impianto con sistemi di induzione o pannelli radianti, porterebbe sicuramente quindi ad un incremento dei costi fissi rispetto al progetto con solo aria primaria, anche se potrebbe teoricamente dar luogo ad una riduzione dei costi variabili di gestione.

7.3 Definizione del progetto minimo realizzabile

In base alle considerazioni svolte nei paragrafi precedenti si è deciso, anche per non introdurre variabili aggiuntive rispetto al problema trattato, di realizzare l'impianto minimo per legge secondo lo schema di quello ottimale analizzato al capitolo 6. Rispetto a tale progetto verranno applicate le portate minime prescritte per legge per sale operatorie, sterilizzazioni e preparazione/risveglio pazienti, mentre per gli altri ambienti, si determineranno le portate minime necessarie per assicurare un corretto smaltimento dei carichi termici estivi e delle dispersioni invernali.

I dati necessari per il dimensionamento e la valutazione economica dell'impianto sono riportati nella tabella seguente che riproduce quella già presentata al paragrafo 6.1

Dalla tabella si ricavano i seguenti valori:

portata totale immessa: $12.030 \text{ m}^3/\text{h}$

portata totale estratta: $9.965 \text{ m}^3/\text{h}$.

TIPO DI LOCALE	N°	SUP. m ²	ALT.	VOL. AMB.	RIC Mand	ARIA MAN. m ³ /h	ARIA RIP. m ³ /h	ARIA RIP.WC m ³ /h
Vuota	1	3,80	2,4	9	/	/	/	100
Connettivo sporco	2	15,30	2,4	37	6	230	165	/
Area lavaggio sporca	3	4,70	2,4	11	6	70	/	/
Sub sterilizzazione	4	12,70	2,7	34	8	280	235	/
Sala operatoria 1	5	36,80	3	110	15	1.660	1.325	/
Preparazione chirurghi	6	9,50	2,7	26	6	160	135	/
Sala operatoria 2	7	36,80	3	110	15	1.660	1.325	/
Preparazione pazienti	8	39,80	3	119	10	1.200	950	/
Cambio letto	9	31,33	3	94	6	570	520	/
Deposito attrezzature	10	8,89	2,7	24	6	150	130	/
Relax	11	9,60	3	29	8	240	200	/
Caposala	12	12,00	2,7	32	6	200	170	/
Deposito attrezzi	13	7,70	2,7	21	8	170	180	/
Corridoi pulito	14	15,40	2,7	42	6	250	230	/
2° Filtro femminile	15	5,70	2,7	15	6	100	100	/
WC	16	2,80	2,7	8	/	/	/	100
1° filtro femminile	17	5,70	2,7	15	6	100	/	/
2° filtro maschile	18	5,70	2,7	15	6	100	100	/
WC	19	2,80	2,7	8	/	/	/	100
1° filtro maschile	20	5,70	2,7	15	6	100	/	/
Sterilizzazione	21	25,50	3	77	15	1.150	920	/
Lavaggio sterilizzazione	22	9,10	3	27	15	410	330	/
Cucinetta	23	5,40	3	16	8	130	150	/
Vuota	24	3,80	2,7	10	/	/	/	100
Connettivo sporco	25	6,80	2,7	18	6	120	/	/
Connettivo sporco	26	11,11	2,7	30	6	180	120	/
Sala operatoria 3	27	24,90	3	75	15	1.130	900	/
Sala gessi	28	22,67	3	68	15	1.020	820	/
Disimpegno medicazioni	29	24,67	3	74	6	450	300	/
Preparazione chirurghi	30	6,00	3	18	6	110	90	/
Deposito gessi	31	4,67	3	14	6	90	70	/
AWC	32	3,00	3	9	/	/	/	/
WC	33	3,00	3	9	/	/	/	100
TOTALE Reparto		423		1.221		12.030	9.465	500

Procedendo per il dimensionamento come si è fatto per il progetto "ultaclean", di cui al capitolo 6, si ottengono i dati per la scelta di tutti i componenti dell'impianto, in base alla quale potrà essere effettuata una stima del costo del nuovo impianto.

Nel seguito, non si ripeteranno le considerazioni fatte al capitolo 6 riguardo al dimensionamento, ma si riporteranno unicamente le formule matematiche utilizzate per ottenere i valori finali.

Circuito di recupero calore

Batteria lato mandata

In condizioni di perfetto funzionamento del sistema di recupero calore si è scelto di imporre una temperatura all'aria in uscita di 11 °C. La potenzialità di questo sistema deve essere pertanto:

$$Q = 1,2 \cdot 0,24 \cdot 12030 \cdot (11 - 5) = 55.400 \text{ kcal/h} = 231.570 \text{ kJ/h}$$

La portata volumica dell'acqua del circuito di recupero calore sarà pertanto pari a:

$$V_a = \frac{Q}{c_p \cdot t} = \frac{55400}{1000 \cdot 16} = 3,460 \text{ m}^3/\text{h} = 3460 \text{ l/h}$$

Batteria lato espulsione

Si ipotizza, anche in questo caso, una temperatura massima di ingresso nella batteria dell'aria di +24 °C con il 50 % di umidità. Dalle tabelle o dal diagramma psicrometrico si ha $H_{IN} = 11,5 \text{ kcal/kg} = 48,12 \text{ kJ/kg}$

Nota la potenzialità dell'impianto Q è possibile calcolare la temperatura di uscita dell'aria sfruttando, come già visto, il diagramma psicrometrico e l'equazione:

$$Q = m \cdot H = \dot{V} (H_{IN} - H_{OUT})$$

Da cui:

$$H_{OUT} = H_{IN} - \frac{Q}{\dot{V}}$$

In questo caso, la portata d'aria uscente è 9965 m³/h; si può quindi calcolare H_{OUT}:

$$H_{OUT} = 11,5 \cdot \frac{55.400}{1,2 \cdot 9.965} = 6,867 \text{ kcal/kg} = 28,704 \text{ kJ/kg}$$

Dal diagramma psicrometrico, si ottiene, per un salto entalpico di 28,7 kJ/kg una temperatura di uscita di circa 10 °C con umidità relativa pari al 100% e quindi con formazione di condensa.

Batterie di preriscaldamento

Anche in questo caso si impone una temperatura in uscita dalle batterie di preriscaldamento di 13 °C, con temperatura di ingresso di 5 °C; si ha quindi:

$$Q = 0,29 \cdot 12030 \cdot (13 - 5) = 62.800 \text{ kcal/h} = 262500 \text{ kJ/h}$$

Imponendo all'acqua riscaldata a 80 °C una variazione di temperatura di 15

$$V_a = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta t} = \frac{94850}{1000 \cdot 15} = 4,200 \text{ m}^3/\text{h} = 4200 \text{ l/h}$$

°C, la portata richiesta sarà:

Batteria di refrigerazione

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta H = \dot{V} \cdot \rho \cdot \Delta H$$

Come si vede dal diagramma psicrometrico riportato al paragrafo 6.5:

$$\Delta H = 8,72 \text{ kcal/kg} = 36,44 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Si ha quindi: } Q = 8,72 \cdot 1,2 \cdot 12030 = 125.880 \text{ kcal/h}$$

Impianto di produzione vapore

Anche per il calcolo della quantità di vapore, e quindi di acqua, necessari per umidificare la portata d'aria si utilizzano il diagramma psicrometrico o apposite tabelle. La portata d'acqua, g, è fornita dall'equazione:

$$g \cdot m(x_{OUT} - x_{IN})$$

dove i valori del titolo x sono espressi in grammi di vapore per grammo di aria

Come abbiamo già visto nel caso precedente, le condizioni di ingresso dell'aria sono:

$$T = 13 \text{ }^\circ\text{C},$$

U.R. = 25 %, con titolo pari a 2,07.

Le condizioni di uscita sono imposte pari a:

U.R. = 95%, a cui corrisponde un titolo x pari a 8,5.

$$g \cdot V(x_{OUT} - x_{IN}) = 12.030 \cdot 1,2 \cdot (8,5 - 2,1) = 92.390 \text{ g} \approx 90 \text{ kg}$$

Anche in questo caso, per soddisfare la richiesta di una tale portata d'acqua è necessario collocare all'interno della UTA due moduli, da 76 kg/h di vapore ciascuno.

Batterie di post-riscaldamento

Come nel caso precedente, riportiamo nella seguente tabella i dati relativi alle 7 cassette di mandata che contengono al loro interno le batterie 7 di postriscaldamento; nella terzultima colonna è riportata la temperatura di uscita dell'aria dalla cassetta, nella penultima la potenzialità di ciascuna delle batterie, nell'ultima i litri di acqua riscaldata ad 80 °C necessari per fornire tale potenza.

TIPO DI LOCALE	N°	ARIA MAN. mc/h	DISPER. Kcal/h	ARIA ENTR. °C	ARIA USC. °C	POTENZ. Kcal/h	H₂O 80°C l
<u>CASSETTA M1</u>							
SO 1	2,3,5	1.960	3.160	13	29,56	9.412	941
<u>CASSETTA M2</u>							
SO 2	4,6,7	2.100	3.400	13	29,58	10.099	1.010
<u>CASSETTA M3</u>							
RISVEGLIO	8	1.200	2.380	13	30,84	6.208	621
<u>CASSETTA M4</u>							
STERILIZZAZIONE	21	1.150	1.540				
STERILIZZAZIONE	22	410	540				
STERILIZZAZIONE		1.560	2.080	13	28,60	7.056	706
<u>CASSETTA M5</u>							
SO 3	27,29,30	1.690	3.340	13	30,81	8.731	873
<u>CASSETTA M6</u>							
SALA GESSI	28, 31	1.110	1.640	13	29,09	5.181	518
<u>CASSETTA M7</u>							
SUPPORTI	9,10,11,12 13,14,15,17, 18,20,23, 25,26	2.410	7.500	13	34,73	15.188	1.519
TOTALI		12.030	23.500			61.876	6.188

Cassette terminali monocondotto di ripresa

Nella tabella sottostante sono riportati le portate orarie di aria estratta da ciascuna delle sezioni in cui è diviso l'impianto.

TIPO DI LOCALE	N°	ARIA RIPRESA m³/h
<u>CASSETTA R1</u>		
SO 1	1,2,5	1.590
<u>CASSETTA R2</u>		
SO 2	4,6,7	1.695
<u>CASSETTA R3</u>		
RISVEGLIO	8	950
<u>CASSETTA R4</u>		
STERILIZZAZIONE	21	
STERILIZZAZIONE	22	1.250
<u>CASSETTA R5</u>		
SO 3	27,29,30	1.290
<u>CASSETTA R6</u>		
SALA GESSI	28,31	890
<u>CASSETTA R7</u>		
SUPPORTI	9,10,11,12,13,14,15 16,18,19,23,24,26,33	2.300
TOTALE ARIA ESTRATTA		9.965

Dimensionamento dei canali

Il dimensionamento dei canali è eseguito esattamente come descritto al paragrafo 6.10.

Dimensionamento dei motori per i ventilatori

Anche per il dimensionamento dei motori dei ventilatori si rimanda al paragrafo 6.11.

In questo caso affinché i ventilatori di mandata soddisfino le richieste di portata e di prevalenza, si stima una richiesta di potenza di 8 kW. Si adotta quindi un motore in grado di fornire 9kW.

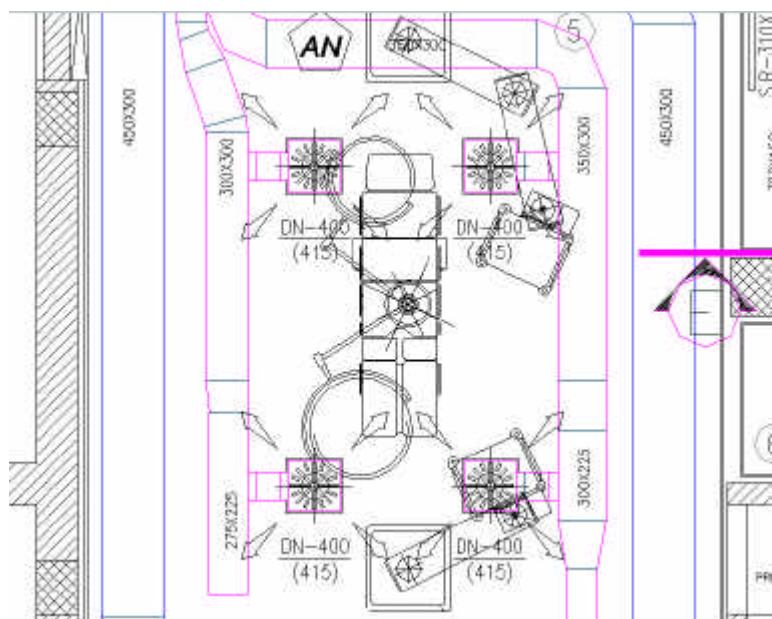
Rispetto al caso precedente si nota la possibilità di soddisfare la richiesta di potenza con un solo motore elettrico invece di due (vedi paragrafo 6.11).

La potenza richiesta dai ventilatori di ripresa è calcolata pari a 4,5 kW, che si pensa di soddisfare con un motore da 5 kW.

Considerazioni sulla scelta dei dispositivi di immissioni ed estrazione dell'aria

La principale differenza rispetto al progetto esaminato nel sesto capitolo risiede nell'utilizzazione anche in sala operatoria di diffusori a soffitto con immissione elicoidale dell'aria. Mancando ogni dimostrazione scientifica dell'efficacia dei sistemi a flusso laminare, quantomeno per la chirurgia di tipo generale, si è scelto di utilizzare questi normali diffusori in quanto decisamente più economici dei primi.

Nell'immagine a lato è rappresentata l'installazione dei diffusori elicoidali nelle sale operatorie.



7.4 Valutazione puntuale dei costi fissi di impianto

POS. /COD.	DESCRIZIONE	UNITA' DI MISURA	QUANT.	PREZZO UNITARIO IN OPERA	PREZZO TOTALE IN OPERA
A	IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO E RISCALDAMENTO BLOCCO OPERATORIO				
1	Condizionatore di trattamento aria	n°	1	26.731,47	26.731,47
2	Estrattore d'aria	n°	1	14.774,39	14.774,39
3	Silenziatori rettilinei a piu' settori	n°	1	911,33	911,33
4	Termometro a quadrante	n°	4	18,24	72,96
5	Saracinesche di intercettazione pn 10 e.m.	n°	5	192,10	960,48
6	Filtri raccoglitori di impurita' pn 10-16	n°	1	173,90	173,90
7	Coibentazione valvole calde e fredde a vista	n°	7	68,70	480,90
8	Valvole a sfera in ottone pn 16	n°	1	12,97	12,97
9	Elettropompe in linea	n°	2	959,45	1.918,90
10	Saracinesche di intercettazione pn 10 e.m.	n°	8	164,85	1318,84
11	Giunti antivibranti in gomma pn 10	n°	4	205,25	821,00
12	Valvole di ritegno a disco tipo wafer pn 16-40	n°	2	140,13	280,26
13	Manometro a quadrante	n°	4	20,11	80,42
14	Tubazione in acciaio nero senza saldatura	Kg.	300	4,39	1.316,51
15	Coibentazione tubazioni calde a vista	mq.	20	38,20	764,06
16	Pompa a mano per caricamento glicole	n°	1	99,03	99,03
17	Cassette terminali monocondotto di mandata (totale delle 7)	n°	7		12.126
18	Cassette terminali monocondotto di ripresa (totale delle 7)	n°	7		5.208
19	Contentitore a canale per filtri assoluti	n°	2	733,87	1467,74
20	Filtri in bronzo pn 16	n°	8		180,20
21	Valvole a sfera in ottone pn 16	n°	19		461,82
22	Coibentazione valvole calde a vista	n°	35		1835,27
23	Regolatori di portata	n°	2	198,36	396,72
25	Terminale con filtro assoluto	n°	27		8.731,19
25	Griglie di ripresa aria a maglia quadrata	n°	50		2.133,93
26	Griglie di transito in alluminio anodizzato	n°	4	35,34	141,37
27	Diffusori circolari a soffitto in alluminio	n°	21	46,34	973,08
28	Valvole di aspirazione in alluminio	n°	4	22,35	89,39
29	Serrande tagliafuoco rettangolari (motor.)	n°	23		11.408,17
30	Condotti flessibili per aria isolati	ml.	70	21,14	1.479,68
31	Canali di mandata o ripresa aria	Kg.	7.000	4,74	33.195,25
32	Coibentazione dei canali a vista	mq.	120	38,41	4.609,32
33	Coibentazione dei canali non a vista	mq.	480	24,43	11.728,62
34	Radiatori di tipo ospedaliero in ghisa	Cal.	1.000	0,12	115,69
35	Detentori a squadra	n°	4	5,42	21,68
36	Valvoline di sfogo aria	n°	4	2,03	8,10
37	Mensole di sostegno	n°	4	3,29	13,14

38	Valvole termostatiche	n°	4	6,76	27,05
39	Tubazione in acciaio nero senza saldatura	Kg.	800		3.948,17
40	Saracinesche di intercettazione pn 10 e.m.	n°	4		643,74
41	Coibentazione valvole calde e fredde a vista	n°	4		251,12
42	Coibentazione tubazioni fredde a vista	mq.	25	35,36	883,99
43	Coibentazione tubazioni calde a vista	mq.	30	38,20	1.146,09
44	Griglia di presa aria esterna o espulsione	n°	2		1.538,65
45	Sfogo dei punti alti	n°	6	125,55	753,31
46	Scarico dei punti bassi	n°	8	125,55	1.004,41
	TOTALE IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO				156.656,26
B	REGOLAZIONE AUTOMATICA				25.641,30
	TOTALE IN EURO				182.297,57
	TOTALE IN LIRE				352.977.300

Considerando anche l'IVA, si ottiene il costo di realizzazione dell'impianto pari a:

TOTALE CON IVA **218.760 €**
423.572.000 £

7.5 Valutazione dei costi variabili

Definizione dei parametri di funzionamento

Per la definizione dei parametri di funzionamento dell'impianto in questa seconda versione progettuale, si sono adottati i medesimi criteri già espressi al paragrafo 6.14; unica eccezione è data dalla percentuale di riduzione dell'aria immessa nel blocco operatorio nelle condizioni di attenuazione del funzionamento. Una riduzione del funzionamento al 60 % della portata nominale non sarebbe sufficiente, infatti, per garantire il mantenimento della differenza di pressione tra le sale operatorie e gli ambienti attigui.

Si calcola perciò, sfruttando il sistema di equazioni al paragrafo 6.14, che la portata minima necessaria per garantire un Δp pari a 5 Pa è pari a 1300 m³/h, con una riduzione al 78 % del valore di progetto.

Per concedere un margine di sicurezza e per garantire l'immissione dell'aria in tutti i locali a temperature ragionevolmente basse, si impone una riduzione dell'aria immessa in regime di attenuazione del 15 % rispetto al valore di progetto.

In regime di attenuazione la portata d'aria immessa nel comparto operatorio sarà pertanto:

$$Q_a = 12.030 \cdot 0,85 = 10.230 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Si nota come tale portata sia relativamente vicina al valore della portata ridotta calcolata per il progetto "ultraclean", pari a 10.900 m³/h. Questo appare, tuttavia, abbastanza ovvio in considerazione del fatto che, in condizioni di attenuazione del funzionamento, le prestazioni richieste ai due impianti divengono praticamente coincidenti.

Nello stesso modo si calcola la portata estratta in regime di attenuazione:

$$Q_a = 9.465 \cdot 0,85 = 8.050 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Per la definizione di tutti gli altri dati utili per il calcolo dei costi variabili, si rimanda al paragrafo 6.14.

Possiamo quindi procedere secondo quanto indicato nel capitolo 6.

Energia annua spesa per i ventilatori di mandata

Abbiamo visto che la potenza richiesta ai motori dei ventilatori di mandata per il funzionamento a pieno regime è pari a 8 kW, paragrafo 7.3.

L'energia necessaria per il periodo di funzionamento a pieno carico sarà pertanto:

$$E_{Mr} = 8 \times 2.230 = 17840 \text{ kW h}$$

I pedici M ed r indicano rispettivamente "mandata" e "regime"

Sfruttando ancora il sistema di equazioni riportato al paragrafo 6.14 si ottiene la potenza necessaria in regime di attenuazione:

$$P_2 = P_1 \frac{Q_2^3}{Q_1^3} = 8 \frac{10.230^3}{12.030^3} = 5 \text{ kW}$$

$$E_{Ma} = 5 \times 5.954 = 29.770 \text{ kW h}$$

Il pedice *a* indica il funzionamento in regime di attenuazione relativo alla mandata, pedice M.

L'energia totale annua richiesta dai ventilatori di mandata è pertanto:

$$E_M = 17.840 + 29.770 = 47.610 \text{ kW h}$$

Energia annua spesa per i ventilatori di ripresa

Al paragrafo 7.3 si è indicata una potenza richiesta a questi dispositivi pari a 4,4 kW.

Procedendo come al paragrafo precedente si avrà quindi:

$$E_{Rr} = 4,4 \times 2.230 = 9.812 \text{ kW h}$$

La potenza richiesta in regime di attenuazione sarà:

$$P_2 = 4,4 \frac{8.050^3}{9.465^3} = 2,7 \text{ kW}$$

$$\text{Da cui: } E_{Ra} = 2,7 \times 5.954 = 16.076 \text{ kW h}$$

Il pedice maiuscolo R indica il ventilatore destinato alla ripresa, mentre r ed a conservano i significati di funzionamento a regime o in attenuazione.

L'energia totale annua richiesta dai ventilatori di ripresa è pertanto:

$$E_R = 9.812 + 16.076 = 25.888 \text{ kW h}$$

Energia annua richiesta per il riscaldamento dell'aria

Riportiamo di seguito la tabella riassuntiva dell'energia richiesta per il riscaldamento invernale analoga a quella al paragrafo 6.14, e per la quale valgono quindi le stesse considerazioni.

mese	T _m	Batteria di preriscaldamento					Batterie di postriscaldamento	
		unità	°C	h	°C	kcal	kcal	kcal
gennaio	3,1	h a reg.	200	? T a reg.	10	En a reg,	6.977.400	10.979.600
		h in att.	544	? T in att.	10	En in att.	16.138.848	20.411.968
febbraio	4,9	h a reg.	200	? T a reg.	8	En a reg,	5.581.920	10.979.600
		h in att.	472	? T in att.	8	En in att.	11.202.259	17.710.384
marzo	8,5	h a reg.	200	? T a reg.	5	En a reg,	3.488.700	10.979.600
		h in att.	544	? T in att.	5	En in att.	8.069.424	20.411.968
	12,							
aprile	4	h a reg.	100	? T a reg.	1	En a reg,	348.870	5.489.800
		h in att.	260	? T in att.	1	En in att.	771.342	9.755.720
maggio								
giugno								
luglio								
agosto								
settembre								
ottobre	15	h a reg.	110	? T a reg.	/	En a reg,	/	6.038.780
		h in att.	274	? T in att.	/	En in att.	/	10.281.028
novembre	9,6	h a reg.	200	? T a reg.	3	En a reg,	2.093.220	10.979.600
		h in att.	520	? T in att.	3	En in att.	4.628.052	19.511.440
dicembre	6,3	h a reg.	180	? T a reg.	7	En a reg,	4.395.762	9.881.640
		h in att.	564	? T in att.	7	En in att.	11.712.532	21.162.408
						75.408.329	184.573.536	
					Totale	259.981.865	kcal	
					Totale	1.086.724.195	kJ	

Ricordando che il rendimento della caldaia può essere posto pari a 0,83, quello del circuito idraulico pari a 0,95 e che per il potere calorifico inferiore del metano si ha: $K_i = 8500 \text{ kcal/Nm}^3 = 35,58 \text{ MJ/Nm}^3$.

Si ha quindi:

$$C = \frac{E_{\text{annua}}}{\eta_{\text{caldaia}} \cdot \eta_{\text{circuito}}} = \frac{1.086.724.195 \text{ kJ}}{0,83 \cdot 0,95} = 1.378.217.115 \text{ kJ}$$

$$q = \frac{1.378.217.115 \text{ kJ}}{35,58 \text{ MJ/m}^3} = 38.736 \text{ m}^3$$

Per riscaldare l'aria nel periodo invernale servono quindi 38.736 m³ di metano.

Possiamo poi ripetere le considerazioni fatte sul rapporto tra l'energia richiesta, calcolata come sopra, e quella richiesta dall'impianto di riscaldamento se funzionante sempre al massimo della sua potenzialità.

Si ha in questo caso:

potenzialità totale = potenzialità preriscaldamento + potenzialità postriscaldamento

$$\text{potenzialità totale} = 62.800 + 61.876 = 124.676 \text{ kcal}$$

Ore totali di funzionamento: 182 gg x 24 h = 4368 h

Energia totale richiesta = potenzialità totale x ore di funzionamento

$$\text{Energia totale richiesta} = 124.676 \times 4368 = 544.584.000 \text{ kcal}$$

In questo caso l'energia così calcolata è pari a 2,1 volte quella calcolata con il metodo mensile.

Per procedere coerentemente con il caso trattato nel precedente capitolo si sceglie di utilizzare tale valore per il calcolo dell'energia necessaria per la produzione di vapore e per il condizionamento estivo.

Energia richiesta per la produzione del vapore

Calcoleremo pertanto l'energia che servirebbe con l'impianto sempre funzionante al massimo della sua potenzialità e quindi divideremo il valore ottenuto per 2,1.

A pressione ambiente il calore latente di vaporizzazione dell'acqua è di 540 kcal/kg

Per vaporizzare 90 kg/h di acqua sono quindi necessarie 48.600 kcal/h

Abbiamo visto che l'impianto rimane in funzionamento per 4368 h.

L'energia richiesta per il funzionamento a pieno regime è quindi pari a:

$$Q_{VAP\ MAX} = 48.600\ kcal/h \times 4368\ h = 212.284.000\ kcal = 887.347.000\ kJ$$

Supponendo un rendimento del riscaldatore elettrico pari allo 0,9, si può calcolare la richiesta di potenza elettrica:

$$E_{VAP\ MAX} = 887.347.000\ kJ / 0,9 = 985.941.000\ kJ$$

L'energia realmente richiesta si può ottenere:

$$E_{VAP} = 985.941.000 / 2,1 = 469.495.000\ kJ = 130.416\ kWh$$

Energia annua richiesta per il condizionamento estivo

Ricordiamo che è supposto l'impianto di condizionamento estivo in funzione dal 1 Giugno al 20 Settembre, cioè per 88 giorni, calcolati in base alla tabella del paragrafo 6.14.

Si hanno cioè: $88 \times 24 = 2112$ ore di funzionamento.

Nell'impianto di condizionamento estivo si hanno due distinti assorbimenti di energia: quello del compressore per la refrigerazione dell'acqua che raffredda e deumidifica l'aria e quello delle batterie di postriscaldamento che riportano la temperatura ai valori adatti all'immissione in ambiente.

Energia elettrica

$$E_{RAF} = \frac{Q_{MAX} \cdot \text{ore}}{3 \cdot \eta_{COMPRESSORE}}$$

Dove: Q_{MAX} è la potenzialità dell'impianto indicata al paragrafo 7.3;

"ore" indicano le ore di funzionamento;

$\eta_{COMPRESSORE}$ è il rendimento del compressore che si può porre uguale a

3.

Si ha quindi:

$$E_{RAF} = \frac{125.880\ kcal/h \cdot 2112\ h}{2,1 \cdot 3} = 42.199.771\ kcal = 176.395.000\ kJ = 49.000\ kWh$$

Energia termica postriscaldamento

Supponiamo un aumento di temperatura nel postriscaldamento estivo di 9 °C.

La potenza termica richiesta è:

$$Q = 0,29 \cdot 12030 \cdot 9 = 31.398 \text{ kcal/h}$$

L'energia richiesta sarà quindi:

$$E_{POST} = \frac{Q \cdot \text{ore}}{2.1} = \frac{31.398 \cdot 2112}{2.1} = 31.577.417 \text{ kcal} = 131.993.000 \text{ kJ}$$

Ripetendo il ragionamento fatto per il riscaldamento invernale avremo:

$$q = \frac{E_{POST}}{V_{CALDAIA} \cdot \eta_{CIRCUITO}} = \frac{1}{K_i} = \frac{131.993.000 \text{ kJ}}{0,95 \cdot 0,83 \cdot 35.580 \text{ kJ/m}^3} = 4.700 \text{ m}^3$$

Costo annuo impianto di climatizzazione

TIPO DI ENERGIA	FINALITA'	QUANTITA'		PREZZO UNITARIO	PREZZO TOTALE
TERMICA	riscaldamento inv.	38.736	m ³	0,29	11.233
	post estivo	4.700	m ³	0,29	1.363
ELETTRICA	ventilatori di man.	47.610	kWh	0,08	3.809
	ventilatori di rip.	25.888	kWh	0,08	2.071
	vaporizzatore	130.416	kWh	0,08	10.433
	condizionatore	49.000	kWh	0,08	3.920
				Totale €	32.830
				Totale con IVA €	39.395
					£ 76.280.271

Costo annuo dei filtri

L'unica differenza rispetto al progetto già esaminato, per quanto concerne la disposizione dei filtri risiede nell'assenza, in questa seconda versione, dei soffitti filtranti nelle sale operatorie, sostituiti da normali diffusori, come già descritto al paragrafo 6.14.

Per quanto riguarda invece il periodo di vita utile dei filtri, bisogna notare che le dimensioni dei filtri sono proporzionali alle portate d'aria che li attraversano. Si può quindi supporre il rapporto:

$$\frac{\text{m}^3/\text{h d'aria}}{\text{m}^2 \text{ di superficie filtrante}} = \text{circa costante.}$$

Questo significa che la durata di filtri è grossomodo indipendente dalla portata che li attraversa, mentre varia invece la loro dimensione e quindi il loro costo.

Possiamo quindi supporre, anche in questo secondo caso, la vita utile dei filtri pari a circa un anno.

Il costo annuale dei filtri per l'intero comparto operatorio può essere riassunto nella seguente tabella.

Classe dei filtri	Posizione	Dimensioni mm	Quantità n ^{ro}	Prezzo unitario €	Prezzo totale €
F8	ingresso UTA	592x592	6	128	768
F9	uscita UTA	592x592	6	130	780
H13	cassette canali	610x610	2	190	380
H14	diffusori	305x305	6	97	582
H14	diffusori	515x515	21	180	3.780
Prezzo totale					6.290
Prezzo totale con IVA al 20%					7.548

Anche in questo caso è necessario tenere conto del costo della manodopera per la sostituzione dei filtri. Mantenendo le ipotesi fatte al paragrafo 6.14, avremo in questo caso:

	Tempo di sostituzione ore	N ^{ro} filtri	N ^{ro} ore
Richiesta intervento			1,5
Soffitti filtranti	3 x	0 =	0
Altri filtri	0,5 x	41 =	20,5
Totale			22

Il costo di sostituzione sarà quindi dato da:

$$22 \times 70.000 \times 1,26 = 1.940.400\text{£} = 1000 \text{ €}$$

Per la sostituzione dei filtri avremo quindi un costo annuo di 8.548 €

Costo annuo di gestione

Sommando il costo annuo dei filtri con quello annuo dell'impianto di climatizzazione, si ottiene il costo annuo di gestione totale:

Costo annuo impianto di climatizzazione	39.395 €
Costo annuo filtri	8.548 €
Costo annuo totale	47.943 €
	92.830.000 £

Confrontiamo di seguito i costi fissi di realizzazione dei due progetti esaminati che, si ricorda, presentano schemi del tutto simili:

Impianto "ultraclean": 225.500 €

Impianto minimo: 182.300 €

Con il secondo impianto si ottiene quindi un risparmio di 43.200 €, pari ad una riduzione del 19 % sul costo totale dell'impianto "ultraclean".

Si ricorda che tali prezzi stimati tengono conto unicamente dell'impiantistica meccanica, completo di regolazione automatica.

CAPITOLO 8

CONFRONTO ECONOMICO TRA LE DUE SOLUZIONI PROGETTUALI

8.1 Dati di progetto

Riepiloghiamo nelle seguenti tabella i principali dati di progetto e le differenze che intercorrono tra le due soluzioni progettuali proposte.

Superficie dell'intero blocco:	423 m ²
Superficie sala 1 e 2:	36,80 m ²
Superficie sala 3:	24,90 m ²
Superficie sala gessi:	22,70 m ²

	Progetto ai minimi di legge	Progetto "ultaclean"	Variazione %
Ricambi orari nelle sale operatorie	15	30	+100
Portata oraria totale di mandata	12.030 m ³ /h	18.170 m ³ /h	+ 51
Portata oraria totale di ripresa	9.965 m ³ /h	15.360 m ³ /h	+ 54
Dispositivi di immissione dell'aria nelle sale operatorie	Diffusori a flusso elicoidale con filtri assoluti	Soffitti filtranti a flusso laminare	

8.2 Analisi dei costi fissi

Riassumiamo il costo di realizzazione delle due soluzioni progettuali riportati rispettivamente ai paragrafi 6.13 e 7.4. Come detto, i costi indicati

comprendono la realizzazione dell'intero impianto aeraulico (UTA, canali, diffusori, filtri, impianto di regolazione automatica) e sono comprensivi di IVA.

	Progetto ai minimi di legge	Progetto "ultaclean"	Variazione %
Costi di realizzazione dell'impianto	218.760 €	270.600 €	+ 23
	423.572.000 £	523.955.000 £	
Costo / mq	517 €/mq	640 €/mq	

Il primo progetto comporta quindi un aggravio dei costi fissi di circa il 23 %.

Un particolare rilievo assume, per una attenta analisi dei costi fissi, l'ultima riga della tabella in cui si evidenzia il costo dell'impianto di climatizzazione rapportato alla superficie del blocco operatorio. Il pur importante incremento percentuale del costo di realizzazione dell'impianto di climatizzazione si estrinseca in un valore reale di circa 120€/mq che assume un peso minimo in rapporto al costo globale di un blocco operatorio non attrezzato (circa 2000 €/mq).

La voce di spesa che può variare maggiormente tra un progetto ottimizzato dal punto di vista igienico sanitario ed uno ai minimi di legge pare essere quella relativa al rivestimento delle pareti, siano esse in muratura o pareti tecniche di separazione. Il costo di tali rivestimenti varia dai circa 90 €/m² di parete per rivestimenti di PVC a circa 500 €/m² di parete per rivestimenti con i materiali attualmente ritenuti all'avanguardia, con un incremento di oltre il 500%/m².

E' da notare che le pareti di PVC rispondono perfettamente ai requisiti di lavabilità e sanitizzazione richiesti delle Linee Guida ISPESL e non mostrano particolari controindicazioni al loro impiego.

Un'altra variazione del costo fisso dell'impianto è rappresentato dal maggior spazio richiesto dall'UTA per il progetto "ultaclean"; tale

differenza risulta di difficile valutazione, ma è comunque stimabile come percentualmente molto modesta.

8.3 Analisi dei costi annuali di gestione

Riassumiamo nella seguente tabella il costo annuale di gestione per le due soluzioni progettuali, già riportati ai paragrafi 6.14 e 7.4.

Si ricorda che l'acqua calda e fredda per il riscaldamento ed il raffrescamento dell'aria immessa nel blocco operatorio è fornita da impianti già presenti all'interno della clinica e che i costi dell'energia termica ed elettrica del condizionatore sono relativi alla frazione dell'energia totale effettivamente utilizzata dal comparto operatorio.

			Progetto a norma	Progetto "ultraclean"	? %
Costo annuo energia	termica	riscaldamento inv.	13.480 €	15.556 €	+15
		post. estivo	1.636 €	1.998 €	+22
	elettrica	ventilatori di mand.	4.571 €	9.449 €	+107
		ventilatori di rip.	2.485 €	3.541 €	+42
		vaporizzatore	12.520 €	15.730 €	+26
		condizionatore	4.704 €	5.760 €	+22
Costo annuo totale impianto di climatizzazione			39.395 €	52.034 €	+32
Costo annuo dei filtri			8.548 €	12.874 €	+51
Totale costi di gestione annuali			47.943 €	64.131 €	+34
			92.830.000 £	124.174.000 £	

Il primo progetto comporta quindi un aggravio dei costi variabili annuali di circa il 34 %.

Osservando il costo dell'energia, si può notare come le due voci più rilevanti siano quella per l'acquisto del metano per il riscaldamento invernale e quella per la produzione del vapore per l'umidificazione dell'aria.

Mentre il primo dato appare del tutto normale, il secondo può destare alcune perplessità. Bisogna tuttavia notare che l'impianto per la produzione del vapore è elettrico e ha un basso rendimento. Ove disponibile, è di gran lunga preferibile utilizzare un impianto centralizzato alimentato a metano. Sfortunatamente, la clinica non dispone di un simile impianto e realizzarne appositamente uno per la produzione del vapore necessario al solo comparto operatorio comporterebbe un aggravio inaccettabile dei costi fissi.

Si può notare una differenza percentualmente significativa (+22%), ma relativamente modesta in valore assoluto, nella spesa per il condizionamento estivo tra i due impianti, pari a poco più di 1000€

Non bisogna poi dimenticare che i costi riportati sopra vanno spalmati sui costi di gestione complessivi della clinica, portando ad una variazione degli stessi presumibilmente molto modesta.

E' opportuno anche considerare che un aumento del fabbisogno di energia termica può portare ad una ottimizzazione delle risorse già presenti all'interno della clinica. Il compressore del gruppo frigorifero, in presenza del primo progetto, potrebbe, ad esempio, trovarsi ad operare in punto di funzionamento caratterizzato da un più alto rendimento. Questo comporterebbe un aumento del lavoro prodotto non accompagnato da un proporzionale aumento dell'energia assorbita. Addentrarsi in simili valutazioni appare tuttavia improponibile, sia per la mancata conoscenza degli impianti già presenti all'interno della clinica, sia perché si finirebbe per privare di ogni generalità il presente lavoro.

8.4 Funzionamento senza regime di attenuazione

Durante la preparazione di questo lavoro si è scoperto che, nella realtà, non sempre gli impianti di climatizzazione vengono fatti funzionare in regime

di attenuazione al di fuori degli orari di effettiva presenza del personale. Questo può essere dovuto ad uno scostamento tra il progetto concepito dall'impiantista e la sua effettiva realizzazione, quando non sia il progettista stesso a curarne la realizzazione o ad una manutenzione non appropriata. Ma l'ostacolo principale alla realizzazione di un funzionamento con periodi di attenuazione sembra essere dovuto alla mancanza dei programmi nelle centraline elettroniche di gestione in grado di attuare ciclicamente le opportune regolazioni.

Si è deciso pertanto di valutare le variazioni dei costi di gestione anche in caso di funzionamento privo di regolazione.

8.4.1 Costi variabili progetto "ultraclean" senza attenuazione

Ripeteremo di seguito i calcoli per valutare i costi annui di gestione considerando l'impianto funzionante sempre a pieno regime.

Energia annua spesa per i ventilatori di mandata

Moltiplicando la potenza assorbita dai motori dei ventilatori di mandata, pari a 28 kW, per il numero di ore di funzionamento annuo si ottiene l'energia necessaria:

$$E_{Mr} = 28 \times 8.184 = 229.152 \text{ kW h}$$

I pedici M ed r indicano rispettivamente "mandata" e "regime"

Energia annua spesa per i ventilatori di ripresa

Al paragrafo 6.11 si è indicata una potenza richiesta a questi dispositivi pari a 10,4 kW; si avrà quindi:

$$E_{Rr} = 10,4 \times 8.184 = 85.114 \text{ kW h}$$

Energia annua richiesta per il riscaldamento dell'aria

Procedendo come al paragrafo 6.14:

mese	t media		Batteria di preriscaldamento			Batterie di postriscaldamento	
	°C	h	°C			kcal	Kcal
gennaio	3,1	744	? T 10	En. richiesta	39.203.592	52.767.456	
febbraio	4,9	672	? T 8	En. richiesta	28.327.757	47.660.928	
marzo	8,5	744	? T 5	En. richiesta	19.601.796	52.767.456	
aprile	12,4	360	? T 1	En. richiesta	1.896.948	25.532.640	
maggio							
giugno							
luglio							
agosto							
settembre							
ottobre	15	384	? T /	En. richiesta	/	27.234.816	
novembre	9,6	720	? T 3	En. richiesta	11.381.688	51.065.280	
dicembre	6,3	744	? T 7	En. richiesta	27.442.514	52.767.456	
					127.854.295	309.796.032	
				Totale	437.650.327	kcal	
				Totale	1.829.378.368	kJ	

Si ha quindi:

$$C \approx \frac{E_{\text{annua}}}{\eta_{\text{caldaia}} \cdot \eta_{\text{circuito}}} \approx \frac{1.829.378.368 \text{ kJ}}{0,83 \cdot 0,95} \approx 2.320.074.024 \text{ kJ}$$

$$q \approx \frac{2.320.074.024 \text{ kJ}}{35,58 \text{ MJ} / \text{m}^3} \approx 65.210 \text{ m}^3$$

Per riscaldare l'aria nel periodo invernale servono quindi 65.210 m³ di metano.

Abbiamo già visto che, moltiplicando il numero di ore di funzionamento per la potenzialità dell'impianto, si ottiene l'energia totale richiesta = 176.312 x 4368 = 770.130.000 kcal

Si può notare come tale valore sia circa 1,8 volte quello calcolato con il metodo precedente.

Energia richiesta per la produzione del vapore

Come già fatto in precedenza, si può ipotizzare di calcolare l'energia che servirebbe con l'impianto sempre funzionante al massimo della sua potenzialità e quindi dividere tale valore per 1,8.

A pressione ambiente il calore latente di vaporizzazione dell'acqua è di 540 kcal/kg

Per vaporizzare 140 kg/h di acqua sono necessarie 75.600 kcal/h (paragrafo 6.7)

L'energia richiesta per il funzionamento a pieno regime è pari a:

$$\begin{aligned} Q_{\text{VAP MAX}} &= 75.600 \text{ kcal/h} \times 4368 \text{ h} = \\ &= 330.220.000 \text{ kcal} = \\ &= 1.380.320.000 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Con un rendimento del riscaldatore elettrico pari a 0,9, la potenza elettrica richiesta è:

$$E_{\text{VAP MAX}} = 1.380.320.000 \text{ kJ} / 0,9 = 1.533.690.000 \text{ kJ}$$

L'energia realmente richiesta si può ottenere dividendo per 1,8 tale valore:

$$E_{\text{VAP}} = 1.533.690.000 / 1,8 = 852.050.000 \text{ kJ} = 236.680 \text{ kWh}$$

Energia annua richiesta per il condizionamento estivo

Procedendo come già visto ai paragrafi 6.14 e 7.4, calcoliamo l'energia richiesta considerando l'impianto sempre a pieno regime e poi dividendo tale valore per 1,8.

Energia elettrica

$$E_{\text{RAF}} = \frac{Q_{\text{MAX}} \cdot \text{ore}}{3 \cdot \text{COMPRESSORE}}$$

Dove: Q_{MAX} è la potenzialità dell'impianto indicata al paragrafo 6.6;

"ore" indicano le ore di funzionamento;

$\eta_{\text{COMPRESSORE}}$ è il rendimento del compressore che si può porre uguale a 3

Si ha quindi:

$$E_{RAF} = \frac{190.860 \text{ kcal/h} \cdot 2112 \text{ h}}{1,8 \cdot 3} = 74.647.467 \text{ kcal} = 312.026.000 \text{ kJ} = 86.670 \text{ kWh}$$

Energia termica postriscaldamento

Supponiamo un aumento di temperatura nel postriscaldamento estivo di 9 °C.

La potenza termica richiesta è:

$$Q = 0,29 \cdot 18170 \cdot 9 = 47.424 \text{ kcal/h}$$

L'energia richiesta sarà quindi:

$$E_{POST} = \frac{Q \cdot \text{ore}}{1,8} = \frac{47.424 \cdot 2112}{1,8} = 55.644.160 \text{ kcal} = 232.592.000 \text{ kJ}$$

Ripetendo il ragionamento fatto per il riscaldamento invernale avremo:

$$q = \frac{E_{POST}}{\eta_{\text{CALDAIA}} \cdot \eta_{\text{CIRCUITO}} \cdot K_i} = \frac{1}{0,95 \cdot 0,83 \cdot 35.580 \text{ kJ/m}^3} = 8.290 \text{ m}^3$$

Costo annuo impianto di climatizzazione

I prezzi unitari di un metro cubo di metano e di un kWatt ora di energia elettrica riportati nella tabella seguente sono stati ricavati da fatture commerciali e quindi non comprensivi di IVA.

TIPO DI ENERGIA	FINALITA'	QUANTITÀ	PREZZO UNITARIO	PREZZO TOTALE
TERMICA	ricaldamento inv.	65.210 m ³	0,29	18.911
	post estivo	7.460 m ³	0,29	2.404
ELETTRICA	ventilatori di man.	229.152 kWh	0,08	18.332
	ventilatori di rip.	85.114 kWh	0,08	6.809
	vaporizzatore	236.680 kWh	0,08	18.934
	condizionatore	86.670 kWh	0,08	6.934
Totale €				72.324
Totale con IVA €				86.789
£				168.047.000

Costo filtri

Il mantenimento dell'impianto sempre nelle sue condizioni nominali di funzionamento comporta ovviamente un aumento della portata annuale d'aria che attraversa i filtri. L'esperienza dei tecnici del settore aveva indicato in un anno il periodo di vita utile dei filtri per situazioni analoghe a quelle di funzionamento con periodi di attenuazione. Per stimare la vita utile dei filtri nelle condizioni di funzionamento attualmente in esame, possiamo supporre costante il prodotto:

Portata annua x vita utile

Dimensionalmente si ha: $m^3/\text{anno} \times \text{anno} = m^3$

Si lega cioè la vita utile di un filtro al numero di metri cubi che lo attraversano.

Portata d'aria con regime di attenuazione:

Ore a pieno regime x portata a pieno regime + Ore in attenuazione x portata in attenuazione =

$$= 2.230 \times 18.170 + 5954 \times 10.900 =$$

$$= 105.417.000 \text{ m}^3/\text{anno}$$

Portata d'aria senza regime di attenuazione:

Ore di funzionamento x portata a pieno regime =

$$= (2.230 + 5.954) \times 18.170 =$$

$$= 148.703.000 \text{ m}^3/\text{anno}$$

Secondo l'equazione appena vista, si ha:

$$105.417.000 \text{ m}^3/\text{anno} \times 1 = 148.703.000 \text{ m}^3/\text{anno} \times X$$

$$\text{Da cui: } X = \frac{105.417.000}{148.703.000} \approx 0,7 \text{anni}$$

E' ragionevole quindi supporre la necessità di una sostituzione dei filtri ogni:

$$0,7 \times 12 = 8,4 \text{ mesi}$$

ovvero $1 / 0,7 = 1,4$ sostituzioni /anno.

Il costo annuo dei filtri si può quindi ottenere moltiplicando il valore ottenuto al paragrafo 6.14 per 1,4.

Si ha: $12.874 \times 1,4 = 18.132 \text{ €}$

Costo annuo di gestione

Sommando il costo annuo dei filtri con quello annuo dell'impianto di climatizzazione, si ottiene il costo annuo di gestione totale:

Costo annuo impianto di climatizzazione	86.789 €
Costo annuo filtri	18.132 €
Costo annuo totale	104.921 €
	203.155.000 £

8.4.2 Costi variabili progetto ai minimi di legge senza attenuazione

Energia annua spesa per i ventilatori di mandata

La potenza richiesta ai motori dei ventilatori di mandata per il funzionamento a pieno regime è pari a 8 kW, paragrafo 7.3 .

L'energia necessaria per il periodo di funzionamento a pieno carico sarà:

$$E_{Mr} = 8 \times 8.184 = 65.472 \text{ kW h}$$

I pedici M ed r indicano rispettivamente "mandata" e "regime"

Energia annua spesa per i ventilatori di ripresa

Al paragrafo 7.3 si è indicata una potenza richiesta a questi dispositivi pari a 4,4 kW.

Procedendo come già visto si avrà:

$$E_{Rr} = 4,4 \times 8.184 = 36.010 \text{ kW h}$$

Energia richiesta per il riscaldamento dell'aria

mese	t media		Batteria di preriscaldamento		Batterie di postriscaldamento	
	°C	h	°C		kcal	Kcal
gennaio	3,1	744	? T 10	En. richiesta	25.955.928	40.844.112
febbraio	4,9	672	? T 8	En. richiesta	18.755.251	36.891.456
marzo	8,5	744	? T 5	En. richiesta	12.977.964	40.844.112
aprile	12,4	360	? T 1	En. richiesta	1.255.932	19.763.280
maggio						
giugno						
luglio						
agosto						
settembre						
ottobre	15	384	? T /	En. richiesta	/	21.080.832
novembre	9,6	720	? T 3	En. richiesta	7.535.592	39.526.560
dicembre	6,3	744	? T 7	En. richiesta	18.169.150	40.844.112
					84.649.817	239.794.464
				Totale	324.444.281	kcal
				Totale	1.356.177.094	kJ

Ricordando che il rendimento della caldaia può essere posto pari a 0,83, quello del circuito idraulico pari a 0,95 e che per il potere calorifico inferiore del metano si ha: $K_i = 8500 \text{ kcal/Nm}^3 = 35,58 \text{ MJ/Nm}^3$, si ha:

$$C = \frac{E_{\text{annua}}}{\eta_{\text{caldaia}} \cdot \eta_{\text{circuito}}} = \frac{1.356.177.094 \text{ kJ}}{0,83 \cdot 0,95} = 1.633.948.305 \text{ kJ}$$

$$q = \frac{1.633.948.305 \text{ kJ}}{35,58 \text{ MJ} / \text{m}^3} = 45.923 \text{ m}^3$$

Per riscaldare l'aria nel periodo invernale servono quindi 45.923 m^3 di metano.

Calcoliamo ora il rapporto tra l'energia calcolata come sopra e quella calcolata considerando l'impianto funzionante sempre al massimo delle sue potenzialità.

Si ha in questo caso:

$$\text{potenzialità totale} = \text{potenzialità preriscaldamento} + \text{potenzialità postriscaldamento}$$

$$\text{potenzialità totale} = 62.800 + 61.876 = 124.676 \text{ kcal}$$

$$\text{Ore totali di funzionamento: } 182 \text{ gg} \times 24 \text{ h} = 3.468 \text{ h}$$

$$\text{Energia totale richiesta} = \text{potenzialità totale} \times \text{ore di funzionamento}$$

$$\text{Energia totale richiesta} = 124.676 \times 3.468 = 544.584.000 \text{ kcal}$$

In questo caso l'energia così calcolata è pari a 1,7 volte quella calcolata con il metodo mensile.

Energia richiesta per la produzione del vapore

Come fatto in precedenza, calcoleremo l'energia che servirebbe con l'impianto sempre funzionante al massimo della sua potenzialità e quindi divideremo il valore ottenuto per 1,7.

Abbiamo visto che per vaporizzare 90 kg/h di acqua sono necessarie 48.600 kcal/h e che l'impianto rimane in funzionamento per 4.368 h.

L'energia richiesta per il funzionamento a pieno regime è quindi pari a:

$$Q_{\text{VAP MAX}} = 48.600 \text{ kcal/h} \times 4.368 \text{ h} = 212.284.000 \text{ kcal} = 887.347.000 \text{ kJ}$$

Supponendo un rendimento del riscaldatore elettrico pari a 0,9, la richiesta di potenza elettrica è:

$$E_{\text{VAP MAX}} = 887.347.000 \text{ kJ} / 0,9 = 985.941.000 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{VAP}} = 985.941.000 / 1,7 = 579.965.000 \text{ kJ} = 161.100 \text{ kWh}$$

Energia annua richiesta per il condizionamento estivo

Ricordiamo che l'impianto di condizionamento estivo è supposto in funzione dal 1 Giugno al 20 Settembre, cioè per 88 giorni, calcolati in base alla tabella del paragrafo 6.14.

Si hanno cioè: $88 \times 24 = 2112$ ore di funzionamento.

Energia elettrica

$$E_{RAF} = \frac{Q_{MAX} \cdot ore}{3 \cdot \eta_{COMPRESSORE}}$$

Dove: Q_{MAX} è la potenzialità dell'impianto indicata al paragrafo 7.3;

"ore" indicano le ore di funzionamento;

$\eta_{COMPRESSORE}$ è il rendimento del compressore che si può porre uguale a 3.

Si ha quindi:

$$E_{RAF} = \frac{125.880 \text{ kcal/h} \cdot 2112 \text{ h}}{1,7 \cdot 3} = 52.129.130 \text{ kcal} = 217.899.000 \text{ kJ} = 60.528 \text{ kWh}$$

Energia termica postriscaldo

Supponiamo un aumento di temperatura nel postriscaldo estivo di 9 °C.

La potenza termica richiesta è:

$$Q = 0,29 \cdot 12030 \cdot 9 = 31.398 \text{ kcal/h}$$

L'energia richiesta sarà quindi:

$$E_{POST} = \frac{Q \cdot ore}{1,7} = \frac{31.398 \cdot 2112}{1,7} = 39.007.398 \text{ kcal} = 163.050.000 \text{ kJ}$$

Ripetendo il ragionamento fatto per il riscaldamento invernale avremo:

$$q = \frac{E_{POST}}{\eta_{CALDAIA} \cdot \eta_{CIRCUITO}} \cdot \frac{1}{K_i} = \frac{163.050.000 \text{ kJ}}{0,95 \cdot 0,83 \cdot 35.580 \text{ kJ/m}^3} = 5.810 \text{ m}^3$$

Costo annuo impianto di climatizzazione

TIPO DI ENERGIA	FINALITA'	QUANTITA'	PREZZO UNITARIO	PREZZO TOTALE
TERMICA	ricaldamento inv.	45.923 m ³	0,29	13.318
	post estivo	4.940 m ³	0,29	1.685
ELETTRICA	ventilatori di man.	65.472 kWh	0,08	5.238
	ventilatori di rip.	36.010 kWh	0,08	2.881
	vaporizzatore	161.100 kWh	0,08	12.888
	condizionatore	51.450 kWh	0,08	4.842
Totale €				40.851
Totale con IVA €				49.022
				£ 94.919.139

Costo filtri

Ripetendo il ragionamento fatto al paragrafo 8.4.1 si può effettuare la seguente valutazione dei costi dei filtri.

Portata d'aria con regime di attenuazione:

Ore a pieno regime x portata a pieno regime + Ore in attenuazione x portata in attenuazione =

$$= 2.230 \times 12.030 + 5954 \times 10.230 =$$

$$= 87.736.320 \text{ m}^3/\text{anno}$$

Portata d'aria senza regime di attenuazione:

Ore di funzionamento x portata a pieno regime =

$$= (2.230 + 5.954) \times 12.030 =$$

$$= 98.453.520 \text{ m}^3/\text{anno}$$

Secondo l'equazione già esaminata si ha:

$$87.736.320 \text{ m}^3/\text{anno} \times 1 = 98.453.520 \text{ m}^3/\text{anno} \times X$$

$$\text{Da cui: } X = \frac{87.736.320}{98.453.520} = 0,9 \text{anni}$$

E' ragionevole quindi supporre la necessità di una sostituzione dei filtri ogni:

$$0,9 \times 12 = 10,8 \text{ mesi}$$

ovvero $1 / 0,9 = 1,1$ sostituzioni /anno.

Il costo annuo dei filtri si può quindi ottenere moltiplicando il valore ottenuto al paragrafo 7.5 per 1,1.

$$\text{Si ha: } 8.548 \times 1,1 = 9.403 \text{ €}$$

Costo annuo di gestione

Sommando il costo annuo dei filtri con quello annuo dell'impianto di climatizzazione, si ottiene il costo annuo di gestione totale:

Costo annuo impianto di climatizzazione	49.022 €
Costo annuo filtri	9.403 €
Costo annuo totale	58.425 €

113.126.000 £

8.5 Riepilogo dei costi di gestione

Nelle due tabelle seguenti mettiamo a confronto tra loro i costi dei due progetti con i due tipi di gestione.

Progetto a norma

			Con attenuazione	Senza attenuazione	? %
Costo annuo energia	termica	riscaldamento inv.	13.480 €	15.982 €	+19
		post. estivo	1.636 €	2.022 €	+ 24
	elettrica	ventilatori di mand.	4.571 €	6.286 €	+ 38
		ventilatori di rip.	2.485 €	3.457 €	+ 39
		vaporizzatore	12.520 €	15.466 €	+ 23
		condizionatore	4.704 €	5.810 €	+ 23
Costo annuo totale impianto di climatizzazione			39.395 €	49.022 €	+ 25
Costo annuo dei filtri			8.548 €	9.403 €	+ 10
Totale costi di gestione annuali			47.943 €	58.425 €	+ 22
			92.830.000 £	113.126.000 £	

Senza attenuazione si ha quindi un aumento dei costi del 22%, aumento che sale al 25 % se si considera solo il costo annuo dell'energia per l'impianto di climatizzazione. Particolarmente rilevanti sono gli aumenti percentuali relativi all'energia assorbita dai ventilatori.

Progetto "ultraclean"

			Con attenuazione	Senza attenuazione	? %
Costo annuo energia	termica	riscaldamento inv.	15.556 €	22.693 €	+ 45
		post. estivo	1.998 €	2.885 €	+ 44
	elettrica	ventilatori di mand.	9.449 €	21.998 €	+ 132
		ventilatori di rip.	3.541 €	8.171 €	+ 130
		vaporizzatore	15.730 €	22.721 €	+ 44
		condizionatore	5.760 €	8.321 €	+ 44
Costo annuo totale impianto di climatizzazione			52.034 €	86.789 €	+ 67
Costo annuo dei filtri			12.874 €	18.132 €	+ 40
Totale costi di gestione annuali			64.131 €	104.921 €	+ 63
			124.174.000 £	203.155.000 £	

Senza attenuazione si ha quindi un aumento dei costi del 63%, aumento che sale al 67% se si considera solo il costo annuo dell'energia per l'impianto di climatizzazione.

Ancora più di prima colpiscono gli aumenti, in questo caso superiori al 100%, dell'energia destinata ai ventilatori di mandata e di ripresa. Questo aumento non deve stupire se si pensa che la potenza richiesta da un ventilatore centrifugo aumenta proporzionalmente con il cubo della portata. Il maggiore aumento percentuale dei costi di gestione in questo secondo caso è dovuto alla maggior differenza che per questo impianto vi è tra le condizioni di funzionamento a pieno regime e quelle in attenuazione.

Confrontando poi le due tabelle tra loro, si vede come, in assenza di regolazione, la differenza dei costi annuali di gestione salga dal 34 all'80%.

CONCLUSIONI

In letteratura medica è tuttora aperto il dibattito sulla reale utilità dell'uso dei sistemi ultraclean nelle diverse branche chirurgiche, soprattutto in considerazione del sempre maggiore impiego di tecniche chirurgiche minimamente invasive.

L'analisi dei costi dei due progetti eseguiti (a norma ed “ultraclean”), indica un incremento del costo dell' impianto “ultraclean” rispetto a quello a norma del 23% per la realizzazione e del 34% per la gestione annuale. Quest' associazione di importante aumento dei costi di realizzazione e di gestione rapportata ad un non “evidence based” vantaggio per la prevenzione delle infezioni postoperatorie potrebbe indurre a considerare negativo il rapporto costo/beneficio della sofisticazione dell' impiantistica. Nella realtà il pur importante incremento percentuale del costo di realizzazione dell' impianto di climatizzazione si estrinseca in un valore reale di circa 120€/mq che assume un peso minimo, appena il 6%, in rapporto al costo complessivo di un blocco operatorio non attrezzato, pari a circa 2000€/mq.

Per quale motivo, quindi, gli autori anglosassoni parlano di “...costi proibitivi dei sistemi ultraclean”? La risposta probabilmente risiede nelle offerte chiavi in mano di questi sistemi che associano agli impianti “ultraclean” anche pareti modulari in metallo/ceramica/... che in realtà non hanno alcun rapporto con l' impianto di ventilazione. Il costo di una parete standard in PVC è di circa 100 €/m², contro i 500 €/m² dei moduli sopraindicati.

In conclusione, ancorché non sia scientificamente determinata con certezza la reale necessità di tecnologie speciali (es. flussi laminari) nei blocchi operatori, l' incidenza sui costi appare così modesta da rendere preferibile un atteggiamento ancora prudente in questo delicato settore.

BIBLIOGRAFIA

- ¹ Conti A., Giulianini A., Giulianini G., Plicchi G.: Il blocco operatorio ospedaliero: inquadramento architettonico, impiantistico e strumentale. GPS Guida Pratico-Scientifica, Chirurgia 1993 EDITECH
- ² Cespa F. "I gas per uso medico" da: L'ospedale, Società Editrice Universo Roma, 1994, CAP. 3 "Servizi generali dell'ospedale" pagg. 129-131.
- ³ Sabatini L: Il progetto degli impianti di ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata. Progettare per la Sanità N° 40; 1997.
- ⁴ UNI EN ISO 14644-1 Camere bianche ed ambiente associato controllato. Classificazione della pulizia dell'aria. Maggio 2001.
- ⁵ UNI EN ISO 14644-2 Camere bianche ed ambienti associati controllati. Specifiche per la prova e la sorveglianza per dimostrare la conformità continua con la Iso 14644-1. Ottobre 2001
- ⁶ BS EN ISO 14644-4 Cleanrooms and associated controlled environments. Part 4: Design, construction and start-up. 2001.
- ⁷ UNI ENV 1631: "Tecnologia delle camere sterili. Progettazione, costruzione e funzionamento delle camere sterili e dei dispositivi di depurazione dell'aria" Aprile 1998.
- ⁸ Meierhans R.: Nuove norme per gli impianti HVAC, a seguito delle nuove raccomandazioni per l'igiene negli ospedali. Seminario sulla Sanità 16 Aprile 2002 Politecnico San Matteo di Pavia
- ⁹ Dubini F, La Mura S, Costantino C, Dubini S. La gestione dell'aria nei locali a contaminazione controllata. Progettare per la sanità 68: 36-45; 2002.
- ¹⁰ Pizzetti C.: Condizionamento dell'aria e refrigerazione Teoria e calcolo degli impianti Masson, Volumi I e II, seconda edizione, 1980.

¹¹ Tronville P. Filosofia ispiratrice e ricadute in termini pratici del nuovo metodo di prova EN 1822 per filtri assoluti HEPA e ULPA. Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino.

¹²Rumor C. Strohmenger G.: "Riscaldamento Ventilazione Condizionamento Ricupero energetico Impianti sanitari" tredicesima edizione aggiornata ed ampliata secondo la legge 373 per il razionale consumo energetico, HOEPLI, 1990.

¹³ FCR Catalogo tecnico – Listino Prezzi 2002.

¹⁴ Atti del Seminario: La gestione e la manutenzione degli impianti per ospedali più sicuri Dipartimento di prevenzione, Servizio PSAL (Prevenzione e Sicurezza negli Ambienti di Lavoro); Milano, 3 Aprile 2001

¹⁵ Ing Matteo Bo, Seminario sulla Sanità –16 Aprile 2002 – Policlinico S. Matteo – Pavia