



CAMERE BIANCHE  
BREVE DESCRIZIONE TEORICA



TRENTO Phone +39.0461.554196 Fax +39.0461.558459  
MILANO Phone +39.02.90929573 Fax +39.02.90980932

HEAD OFFICE:  
Via dell'Albi, 1 Fraz. Miola  
38042 Baselga di Piné (Tn)

**INDICE**

**INTRODUZIONE** ..... 3

**CAMERE BIANCHE DI CLASSE 100.000** ..... 7

**CAMERE BIANCHE A FLUSSO LAMINARE, CLASSE 10.000, 100, 01** ..... 9

**ADDRESS**

**HEAD OFFICE**

**TRENTINA IMPIANTI**

Via Dell'Albi n°1 – fraz. Miola  
38042 Baselga di Piné (TN)  
P.I. n° 01898800220  
Tel. +39.0461.554196 Fax +39.0461.558459

**SEDE DI MILANO**

Trezzo sull'adda  
Tel. +39.02.90929573 Fax +39.02.90980932

Email : [Info@trentinaimpanti.it](mailto:Info@trentinaimpanti.it)  
WWW: <http://www.trentinaimpanti.it>

## INTRODUZIONE

Numerosi processi produttivi e di ricerca richiedono condizioni di estrema pulizia dell'aria. E questa esigenza appare in continuo aumento e procede di pari passo con l'affermarsi di nuove e sempre più sofisticate tecnologie. Microelettronica, produzione di compact disc, pellicole fotografiche, cinescopi per colore, ottica di precisione, preparati sterili per l'industria farmaceutica... non costituiscono che i processi più comuni dai quali è richiesta una pulizia dell'aria molto elevata, non raggiungibile con approcci tradizionali. Per soddisfare i requisiti di questi processi si sono sviluppate nuove concezioni impiantistiche che hanno condotto alla realizzazione di ambienti a contaminazione controllata, le cosiddette "camere bianche", o a flusso laminare. In tali ambienti l'aria mantiene un livello di pulizia elevato o elevatissimo. Le "camere bianche" costituiscono locali, o gruppi di locali, isolati da quelli circostanti e serviti da un proprio impianto di trattamento d'aria. L'ingresso di polveri o microrganismi dall'esterno rimane così impedito. Le principali sorgenti di inquinamento da considerare sono quelle all'interno delle "camere bianche" medesime, e cioè:

- Persone presenti. Il corpo umano emette per ogni minuto di attività sedentaria almeno 450.000 particelle con diametro di 0,3 micron, e circa 100.000 particelle con diametro di 0,5 micron. Per attività più intense tali valori crescono sensibilmente (figura 14.1).
- Aria esterna di rinnovo, immessa nell'ambiente da parte dell'impianto di condizionamento; infiltrazioni da locali attigui.
- Attività svolte. La sola azione di scrivere con una matita su un foglio di carta produce nubi di aerosol con migliaia di particelle di carbonio e fibre di carta. Anche lo strofinare due superfici di metallo tra loro produce emissione di polveri metalliche.

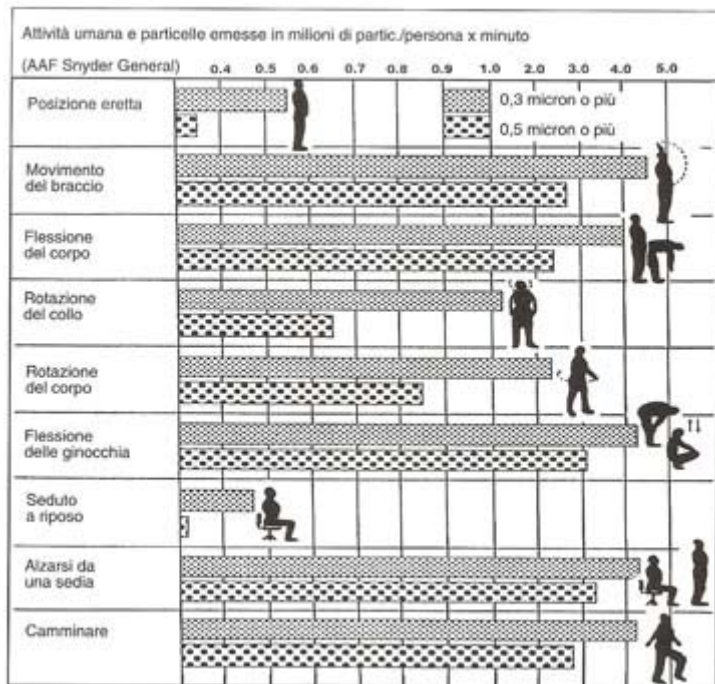


Fig. 14.1 - Attività umana e particelle emesse dall'attività delle persone. (AAF Snyder General)

Il contributo delle diverse attività che devono essere svolte non solo aumenta la produzione di polveri, bensì produce una situazione dinamica che aumenta la contaminazione da punto a punto (cross contamination). Proprio questa è responsabile del livello di contaminazione dei diversi punti di lavoro. Nel normale esercizio il numero di particelle all'interno delle camere bianche aumenta fino ad un certo valore, poi tende a stabilizzarsi. La norma Federal Standard 209 D (che sostituisce la precedente 209 C) che stabilisce le caratteristiche di questi ambienti, li definisce nel seguente modo: "Una camera bianca è un locale nel quale viene controllata la concentrazione di particelle contaminanti sostenute nell'aria entro limiti ben definiti".

Tab. 14.1 - Numero di particelle contenute per piede cubo d'aria secondo Federal Standard 209D.

Classe camera bianca	Grandezza delle particelle misurate				
	0,1	0,2	0,3	0,5	5,0
1	35	7,5	3	1	NA
10	350	75	30	10	NA
100	NA	750	300	100	NA
1.000	NA	NA	NA	1.000	7
10.000	NA	NA	NA	10.000	70
100.000	NA	NA	NA	100.000	700

(NA - Non applicabile)

Il livello della classe è definito dall'equivalente numero massimo di particelle con diametro > 0,5 micron per piede cubo. Questa norma è in grado di dare un'adeguata definizione della pulizia dell'aria dalle particelle inerti contenute, ed è applicabile solo per le camere bianche. Essa indica inoltre i metodi di monitoraggio e verifica dello stato di

purezza dell' aria, con precise definizioni date a tutte le attribuzioni. La certificazione delle classi è iniziale e periodica; la classe è determinabile strumentalmente misurando le concentrazioni delle particelle in particolari momenti specifici (per esempio a riposo oppure in funzione), e in particolari posizioni. Inoltre i parametri della prova sono ben definiti e registrati con i risultati. La normativa prescrive che per la misura della concentrazione delle particelle siano usati contatori ottici per particelle tra 0,1 e 5micron, e rilevatori a membrana per particelle di diametro superiore. È data una nuova definizione ai flussi laminari e turbolenti, i quali vengono chiamati rispettivamente "uni direzionali" e "non unidirezionali". In base al numero di particelle per unità di volume ambiente si è definita una classificazione delle "camere bianche» sintetizzata in tabella 14.1.

- La classe 1 richiede che il contenuto delle particelle, su base numerica, non superi una particella con diametro  $> 0,5$  micron per piede cubo d'aria ambiente, corrispondente ad un massimo di 35 particelle per metro cubo.
- La classe 10 impone un numero di particelle non superiore a 10 particelle con diametro  $> 0,5$  micron per piede cubo d'aria ambiente, corrispondenti a un massimo di 350 particelle per metro cubo.
- La classe 100 impone un massimo di 100 particelle con diametro  $> 0,5$  micron per piede cubo d'aria ambiente, corrispondenti a 3500 particelle per metro cubo.
- La classe 10.000 impone un numero di particelle non superiore a 10.000 particelle per piede cubo d'aria ambiente con diametro  $> 0,5$  micron, corrispondenti a 353.000 per metro cubo, o che non venga superato il numero di 2295 particelle con diametro  $> 5$  micron per metro cubo d'aria ambiente.
- La classe 100.000 infine, richiede che il contenuto delle particelle non superi 100.000 particelle con diametro  $> 0,5$  micron per piede cubo d'aria ambiente, corrispondenti a 3.531.000 particelle per metro cubo, o che non venga superato il numero di 24.700 particelle con diametro  $> 5$  micron, sempre per metro cubo d'aria ambiente.

Come si può constatare è la classe 1 la più rigorosa in fatto di purezza dell' aria. Le caratteristiche delle tre classi, sotto forma delle relazioni tra numero e diametro delle particelle, sono poste a confronto nel diagramma in figura 14.2. Per rispondere ai requisiti imposti risulta indispensabile l'impiego di filtri di classe HEPA e ULPA.

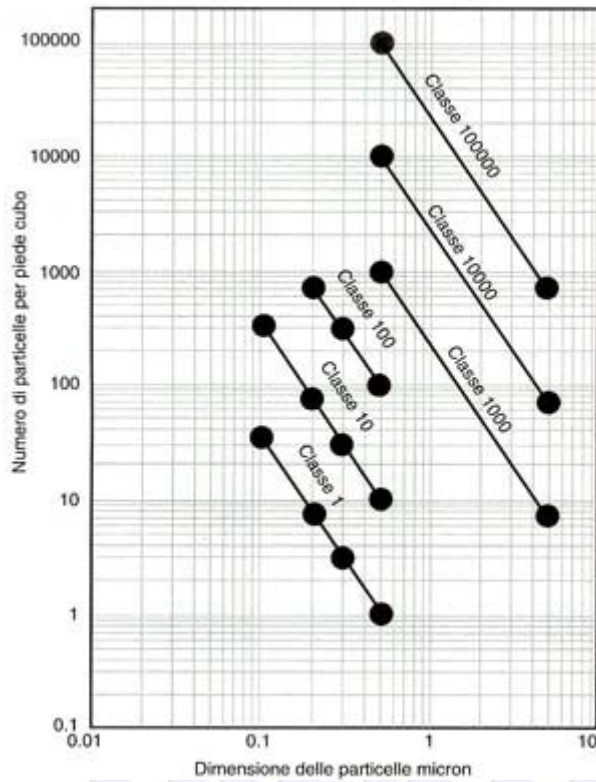


Fig. 14.2 - Contenuti di particelle ammesse per le camere bianche in funzione della classe di appartenenza secondo il Federal Standard 209 D.

**CAMERE BIANCHE DI CLASSE 100.000**

I requisiti della classe 100.000 possono venire ottenuti con un approccio impiantistico non molto dissimile da quello tradizionale. L'aria filtrata attraverso filtri di classe HEPA viene distribuita dall'alto, sopra la zona occupata, e ripresa da aperture sulle pareti, in prossimità del pavimento. Il flusso d'aria che si determina nell'ambiente ha carattere turbolento e, tale turbolenza, è espressamente voluta al fine di distribuire l'aria filtrata in ogni punto del locale (figura 14.3). Questo consente una miscela tra la stessa aria filtrata e l'aria ambiente che produce una diluizione delle polveri e dei microrganismi. E poiché il contenuto di polveri diminuisce in proporzione con l'aumentare del numero di ricambi d'aria/ora, il numero di questi ultimi è mantenuto elevato, in genere tra 20 e 50. Le velocità dell'aria, nel senso perpendicolare al flusso di mandata, dovrebbe risultare non inferiore a 0,25 m/s. A tale valore si impedisce, o rallenta notevolmente, il deposito delle particelle. Per contro, velocità più elevate (se la distribuzione avviene con metodi convenzionali) darebbero luogo a correnti fastidiose. Si può determinare la concentrazione di polveri nelle camere bianche in base al numero stimato di particelle prodotto, al volume dell'ambiente e al numero di ricambi aria assunto. A tale scopo viene usato il diagramma in figura 14.4. Ad esempio, si fa l'ipotesi di un ambiente con volume di 100 m<sup>3</sup> per il quale siano previsti 18 ricambi aria/ora. Si assume che la produzione di polveri sia determinata dalle persone presenti, in numero di 12, ciascuna delle quali emette 100.000 particelle al minuto con diametro > 0,5 micron. Il diagramma in figura 14.4 riporta sulla scala orizzontale il valore di produzione di polveri in ambiente nell'unità di tempo. Sulla scala verticale sono riportati i valori di concentrazione di polveri che si ottengono in ambiente. Le curve all'interno sono relative alle portate d'aria distribuite. Il diagramma risulta suddiviso in tre zone, corrispondenti alle tre classi: 100.000, 10.000 e 100. Nel nostro esempio, la produzione totale di polveri da parte delle 12 persone presenti risulta di  $12 \times 10^5$  particelle/min. > 0,5 micron, che equivale a  $2 \times 10^4$  part./sec. > 0,5 micron.

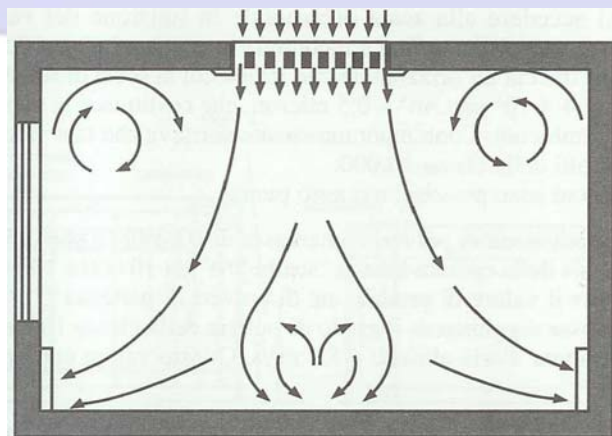


Fig. 14.3 - Distribuzione dell'aria entro una camera bianca a flusso turbolento, di classe 100.000.

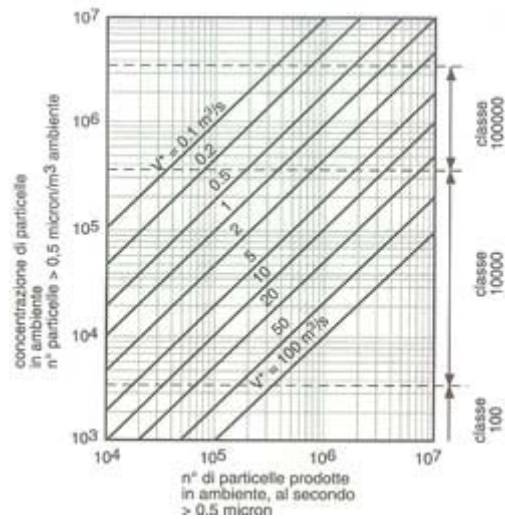


Fig. 14.4 - Diagramma per determinare la concentrazione di polveri che si produce entro le camere bianche. (Sulzer Technical Review)

La portata d'aria distribuita risulta di  $18 \times 100 \text{ m}^3/\text{h} = 1800 \text{ m}^3/\text{h}$ , corrispondente a  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Si può così accedere alla scala orizzontale in funzione del valore di  $2 \times 10^4 \text{ part./sec.}$  e tracciare una verticale fino a incontrare la curva relativa a  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dal punto di intersezione si traccia un'orizzontale che intersechi la scala di sinistra. Si legge il valore di  $4 \times 10^4 \text{ part./m}^3 > 0,5 \text{ micron}$ , che costituisce la concentrazione media di polveri nell'ambiente. Contemporaneamente si rileva che tale valore di concentrazione rientra nei limiti della classe 10.000.

Alcune considerazioni sono possibili a questo punto:

1. Se il valore di produzione di polveri aumentasse di 10 volte, a parità di altre condizioni, la classe di pulizia della camera bianca "scadrebbe" da 10.000 a 100.000.
2. Se, viceversa, per il valore di produzione di polveri di partenza ( $2 \times 10^4 \text{ part./sec.} > 0,5 \text{ micron}$ ), si volesse raggiungere il grado di pulizia della classe 100, sarebbe necessario aumentare la portata d'aria almeno a  $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Questo valore corrisponde a ben 200 ricambi/d'aria ora.

Naturalmente, la portata d'aria non può venire aumentata in modo indiscriminato (rimanendo entro le pratiche impiantistiche tradizionali) per le correnti che si creerebbero, capaci di rendere difficoltoso lo svolgimento delle previste attività lavorative. Questo pone perciò limiti al grado di pulizia dell'aria ottenibile nelle camere bianche a flusso turbolento. In tali ambienti la maggior attenzione va posta nel controllo della produzione di polveri alla fonte, con l'uso di appositi indumenti da lavoro - per gli occupanti - accorgimenti particolari per le lavorazioni da svolgere, ecc. Non infrequente è l'impiego di banchi di lavoro a flusso laminare, per quelle lavorazioni i cui requisiti di pulizia eccedano le possibilità offerte dalla classe 100.000.



## CAMERE BIANCHE A FLUSSO LAMINARE, CLASSE 10.000, 100, 01

Le camere a flusso laminare consentono di superare i limiti propri di quelle a flusso turbolento e di ottenere così livelli di purezza dell'aria estremamente elevati. Entro tali ambienti l'aria viene distribuita in modo uniforme dall'intera superficie del soffitto, verso il pavimento, o da un'intera parete verso quella opposta. Due sono infatti i sistemi di distribuzione dell'aria: verticale, dall'alto verso il basso, e orizzontale da parete a parete. La ripresa avviene, rispettivamente dal pavimento, o dalla parete opposta a quella di origine, che risultano perforate sull'intera loro superficie (figura 14.5). (La terminologia anglosassone indica come *downtlow clean room* le camere bianche a flusso verticale e come *crossflow clean room* quelle a flusso orizzontale.) L'aria viene distribuita da un banco di filtri di classe HEPA o ULPA che occupa l'intera superficie (soffitto o parete) e si muove lungo percorsi paralleli a velocità uniforme. In tal modo si mantiene il flusso laminare, non turbolento, e i rischi di contaminazione da un punto all'altro, sui piani perpendicolari a quelli del flusso (*cross contamination*), sono pressoché nulli, ad ambiente vuoto. Alcune soluzioni reali sono illustrate nella figura 14.6. La velocità dell'aria che deve essere mantenuta è di  $0,45 \text{ m/s}$ ,  $\pm 0,1 \text{ m/s}$ ; infatti si è rilevato che già con velocità inferiori a  $0,35 \text{ m/s}$  la contaminazione può avere luogo. Per contro, velocità superiori, da  $0,55$  a  $0,65 \text{ m/s}$ , arrecano vantaggi limitati ai fini del controllo della contaminazione stessa. La distribuzione dell'aria a flusso verticale produce un "lavaggio" uniforme sull'intera superficie orizzontale dell'ambiente ed è in grado di offrire le più elevate condizioni di purezza dell'aria oggi ottenibili.

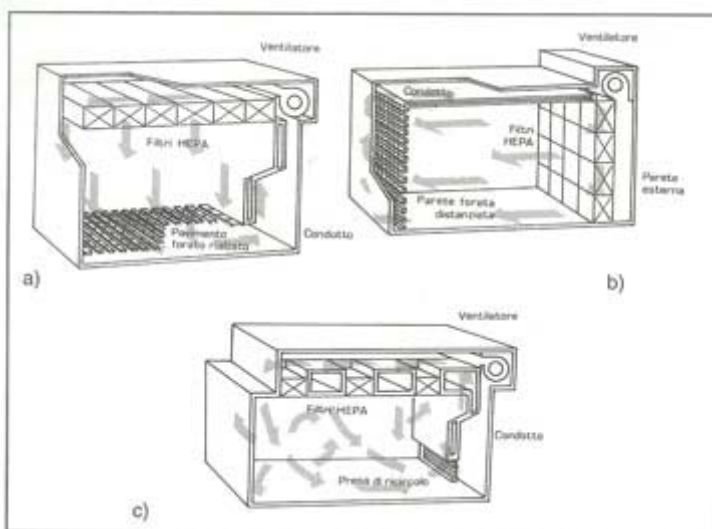


Fig. 14.5 - Camere bianche a flusso laminare con distribuzione dell'aria a) dal soffitto (verticale) e b) da parete (orizzontale). (M.D.H.)

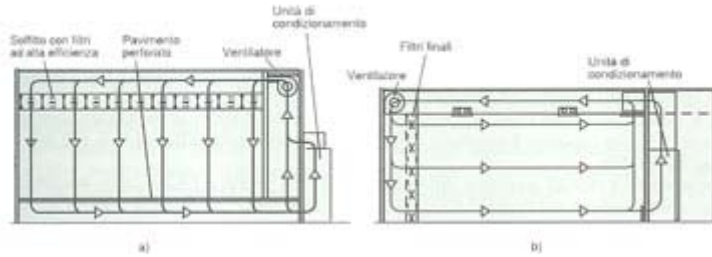


Fig. 14.6 - Soluzioni schematiche di camere a flusso laminare (a,b) e turbolento (c).

La distribuzione a flusso orizzontale si svolge con il medesimo principio. Però essa presenta il limite di contaminazione nella stessa direzione del flusso d'aria, ad esempio, a valle di punti di lavoro. In effetti, le condizioni pressoché ideali, ad ambiente vuoto, per entrambe le soluzioni vengono alterate dalla presenza delle persone, macchine, banchi di lavoro, e dallo svolgimento delle previste attività. Le ostruzioni e gli ostacoli nell'ambiente costringono il flusso d'aria a delle deviazioni che generano dei vortici immediatamente a valle degli ostacoli. I vortici favoriscono il deposito delle particelle di polveri. L'emanazione termica delle persone (che in aria immobile produce una corrente verticale verso l'alto, con velocità di 0,2 m/s), gli ostacoli da esse rappresentati e i loro possibili spostamenti, complicano ulteriormente il quadro. Un'altra causa di una certa importanza che viene ad influenzare le prestazioni delle camere a flusso laminare è costituita dalle possibili irregolarità della velocità dell'aria in uscita dai filtri. Nonostante l'elevata pressione differenziale dei filtri HEPA e ULPA, delle irregolarità nella disposizione del "pacco" filtrante possono condurre a disuniformi velocità in uscita. Questo fenomeno è aggravato nelle pareti o soffitti filtranti da una serie di altre cause, quali disallineamenti o fissaggi difettosi dei filtri nei telai. E, ancora, variazioni della pressione dell'aria entro il plenum per effetti di induzione e di recupero della pressione statica.

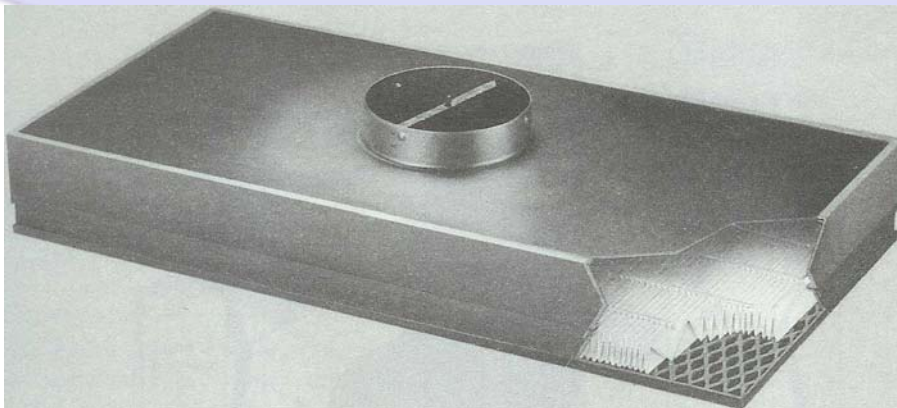


Fig. 14.7 - Filtro assoluto in cassone di contenimento. In questa esecuzione il filtro del tipo a piccole pieghe è sigillato entro il cassone stesso. Nella parte superiore è presente l'attacco per il condotto circolare flessibile di alimentazione dotato di serranda regolabile. (AAF Snyder Generali)

Possono così determinarsi delle variazioni della velocità nell'aria comprese tra 0,15 e 0,20 m/s. Per tali ragioni si è gradualmente abbandonata la soluzione basata su un plenum immediatamente a monte della parete (o soffitto) filtrante. Oggi invece si tende ad alimentare singolarmente ciascun filtro mediante opportuni cassoni di contenimento,

che risultano quindi assiemati tra loro per costituire intere superfici filtranti. Vedi figure 14.7 e 14.8. Questa soluzione offre il vantaggio di una migliore uniformità della velocità dell'aria sull'intera superficie coperta. Inoltre, essa permette una grande modularità nell'applicazione di altri elementi necessari quali, plafoniere luminose, passaggio di tubi per fluidi di processo, per cappe di estrazione ecc. Una soluzione di questo tipo è schematizzata nella figura 14.9. Nel soffitto, i filtri sono sigillati nel proprio cassone di contenimento e risultano alimentati individualmente da tronchi di canale. Sono pure regolarmente disposte, a filo con i filtri, delle plafoniere luminose e degli elementi di passaggio per tubi che trasportano fluidi di processo. Il costo di esercizio delle camere a flusso laminare è fortemente influenzato dalla direzione prescelta per il flusso d'aria. Per la richiesta velocità di 0,45 m/s, ogni metro quadro di superficie filtrante deve distribuire una portata d'aria di 1620 m<sup>3</sup>/h. Ad esempio, per un piccolo ambiente dalle dimensioni di mt 6x4 e altezza utile di mt 2,70 si hanno due possibilità:

- a) distribuzione dell'aria verticale dal soffitto. Superficie filtrante di 24 m<sup>2</sup>; portata d'aria totale di 38.900 m<sup>3</sup>/h (pari a circa 600 ricambi/oral);
- b) distribuzione dell'aria orizzontale dalla parete minore (di 4 x 2,7 mt). Superficie filtrante di 10,8 m<sup>2</sup>; portata d'aria totale di 17.500 m<sup>3</sup>/h (pari a circa 270 ricambi/ora).

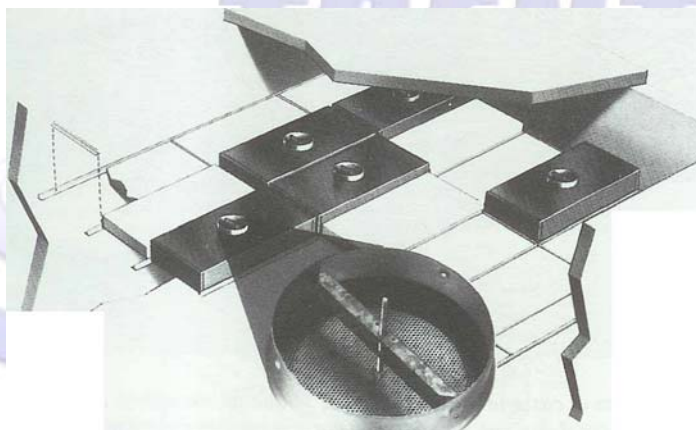


Fig. 14.8 - Sistemazione di cassoni con filtri in un soffitto con profilati a T. Sono presenti plafoniere luminose e pannelli di tamponamento. Il particolare evidenzia l'attacco di uno dei cassoni dotato di serranda regolabile. (AAF Snyder Generai)

Si può stimare facilmente il maggior onere sia di costo iniziale, sia di costo di esercizio comportato dalla prima soluzione. Non solo, ma vanno altresì considerati gli spazi necessari per la centrale di trattamento dell'aria e i canali che, date le dimensioni, vanno sovente sistemati in stretta prossimità dell'ambiente trattato.