

L'Ambiente di Lavoro in Camera Pulita



Giornate di Studio INFN

Firenze 14.5.2003

Filippo Bosi
Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

L'Ambiente di Lavoro in Camera Pulita

Sommario

- Camere Pulite nell'INFN
- Che cosa è una "Camera Pulita" (Clean room)
- Caratteristiche di una Clean room
- Classificazione delle Clean room (International Standard)
- Contaminazione
- Disciplina e vestiario delle Clean room
- Attrezzature e operazioni tipiche in Clean room
- Rischi connessi
- Rischio e Prevenzione

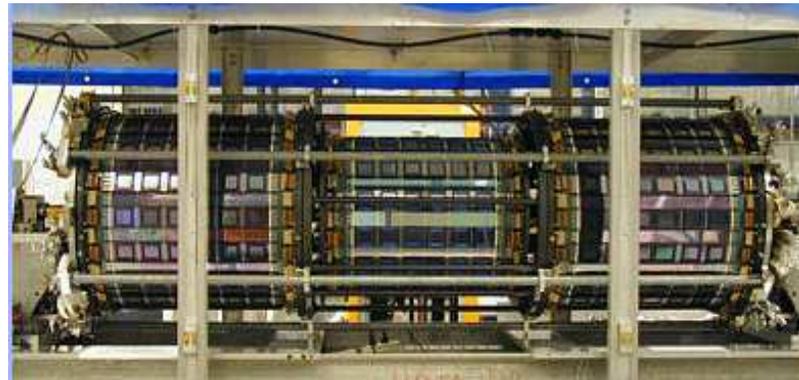
Perche' le "Camere Pulite" nell'INFN

Negli ultimi anni stiamo assistendo ad un numero crescente di realizzazioni di Clean room all'interno dell'INFN (Pisa, Firenze, Padova, Perugia, Bari, Torino, Frascati, Trieste, Catania, Udine ecc.)
Cio' e' dovuto alla utilizzazione estesa di rivelatori sofisticati (camere a fili e rivelatori a semiconduttore) negli esperimenti di fisica delle alte energie...

Alcuni realizzati.....



SVT (BaBar)



ISL (CDF)

Perche' le "Camere Pulite" nell'INFN

La realizzazione di apparati sperimentali di sistemi di rivelazione a semiconduttore necessita di ambienti di lavoro nei quali le condizioni di pulizia ambientale ed i parametri termoigrometrici siano sotto controllo.

PERCHE' ?

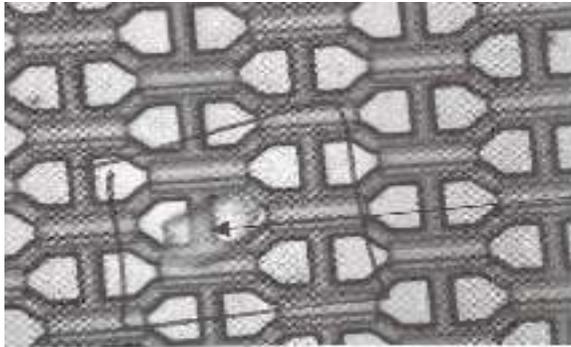
- Le dimensioni delle strutture elettroniche dei rivelatori sono confrontabili con le dimensioni delle particelle di pulviscolo presenti nell'atmosfera
- Effetti di dilatazione termica e/o di umidita' dell'atmosfera degli ambienti di lavoro hanno impatto drammatico sui componenti dei rivelatori
- Nella fabbricazione di apparati complessi a semiconduttore si utilizzano apparecchiature molto costose la cui vita media e' estremamente sensibile alle contaminazioni dell'ambiente di lavoro

Filippo Bosi

Firenze 14.5.2003

Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

Perche' le "Camere Pulite" nell'INFN

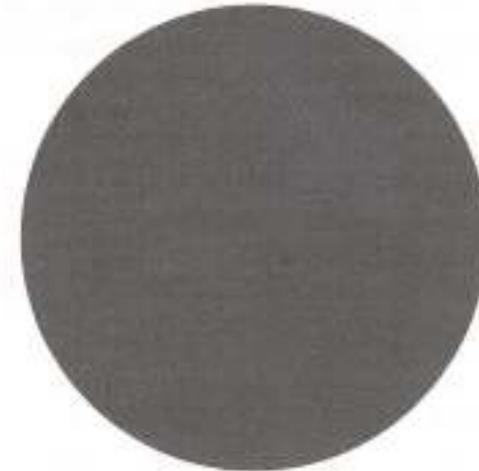


Particella contaminante
SU
semiconduttore

Particella contaminante



Spessore capello
umano 100 μ



Particella visibile 50 μ



Particella 0.5 μ



$\sim 100 \mu$

Che cosa e' una Camera Pulita

Definizione

Una Camera Pulita e' un ambiente nel quale aerazione, ventilazione, filtrazione d'aria, materiali di costruzione e procedure operative, sono regolamentate per controllare la concentrazione e la qualita' di particelle presenti nell'aria e per rispondere a livelli di pulizia adeguati.

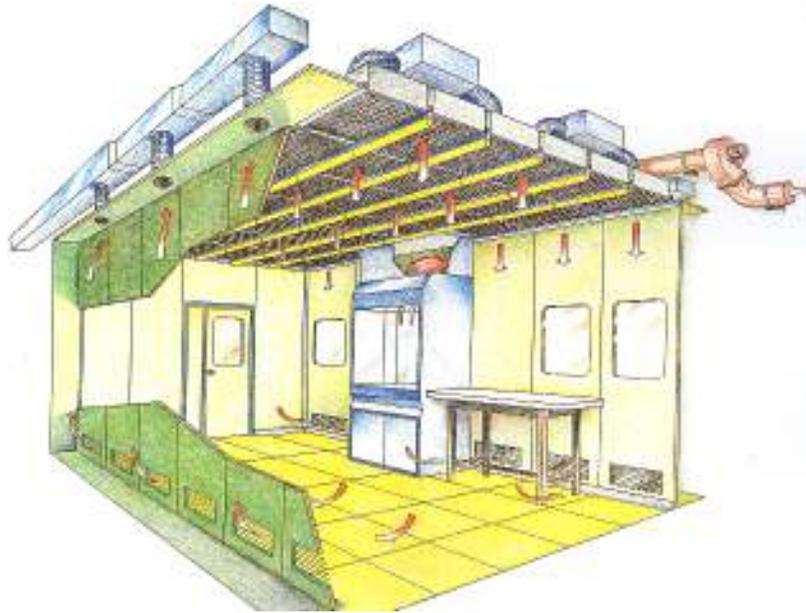
Altri identificativi:

Clean Room, Camera Bianca, Ambiente Controllato, Stazione di lavoro con aria pulita

Caratteristiche Generali

- Le camere pulite sono realizzate secondo la tecnica del “Contenimento Dinamico”, per la quale l’atmosfera dei locali è tenuta in costante sovrappressione, controllata con gradiente crescente verso le zone a maggior pulizia, allo scopo di evitare l’immissione di flussi inversi potenzialmente inquinanti.
- I componenti principali strutturali (pareti, porte, controsoffitto etc.) sono del tipo a basso rilascio particellare appositamente studiati per ambienti sterili.
- L’impianto di climatizzazione, autonomo, e l’impianto di regolazione termoigrometrica devono garantire le condizioni ottimali di pressione, temperatura e umidità atte a garantire le condizioni ottimali dei processi e di benessere per gli operatori durante, tutto l’arco dell’anno.

Componenti e Impianti di una Camera Pulita



Impianti

- Impianto Produzione acqua fredda/calda
- Impianto Unita' Trattamento Aria
- Impianto di distribuzione areolare
- Filtri Assoluti a flusso laminare
- Involucro (Pareti, controsoffitto, porte
- Pavimento)

Principio di funzionamento:

Da una serie di filtri assoluti (HEPA) integrati nel controsoffitto, emerge un flusso d'aria filtrata con efficienza migliore del 99.999 % su particelle da 0.3μ , tale da garantire un elevato numero di ricicli, e quindi un efficace lavaggio di tutto l'ambiente.

L'aria, dopo aver attraversato i locali viene ripresa attraverso griglie posizionate in basso sulle pareti perimetrali e inviata all'unita' di trattamento termoigrometrico, in parte ricircolata, previa climatizzazione e filtrazione assoluta, ed in parte espulsa.

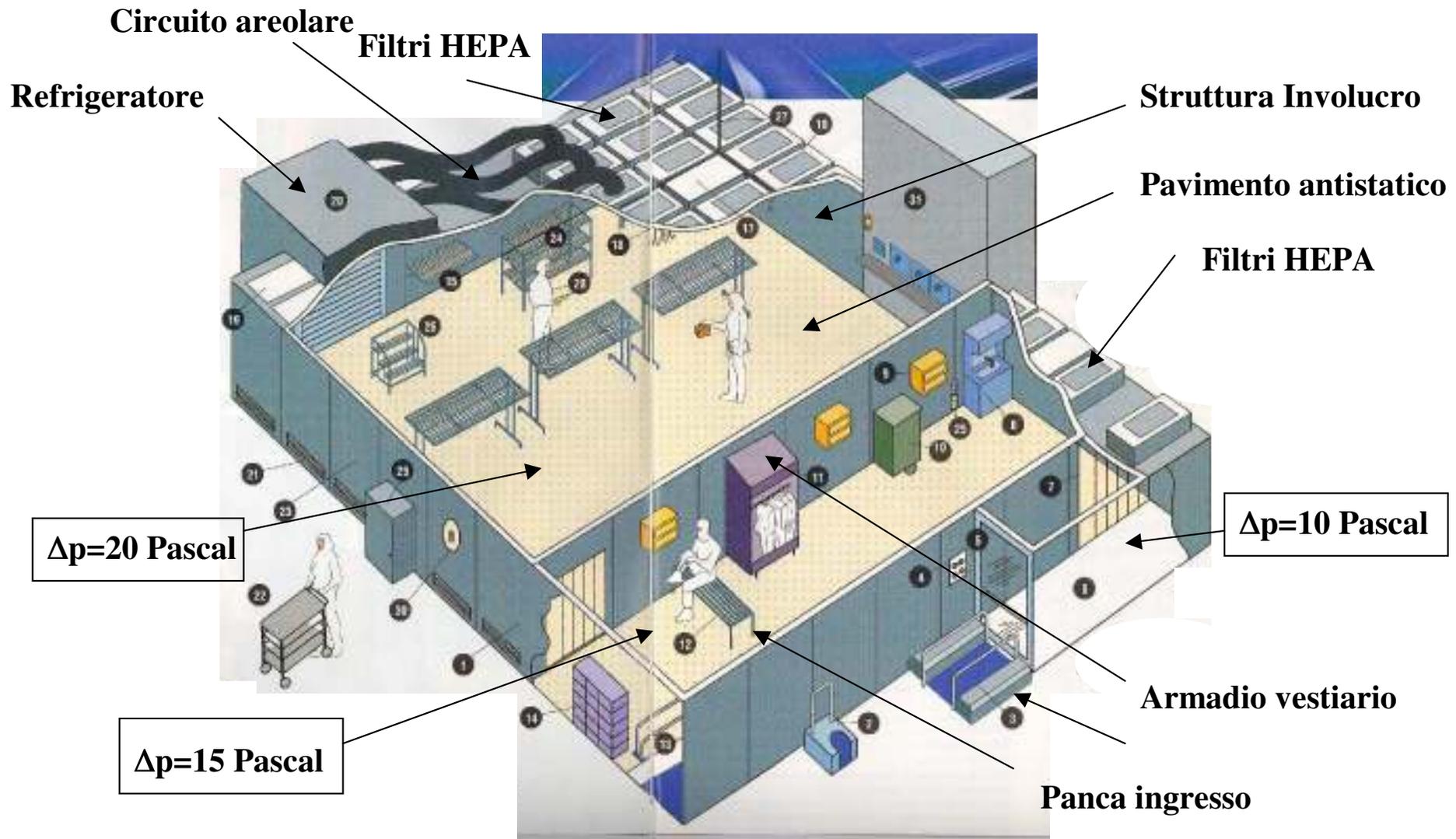
L'aria espulsa viene ripristinata da aria primaria filtrata.

Filippo Bosi

Firenze 14.5.2003

Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

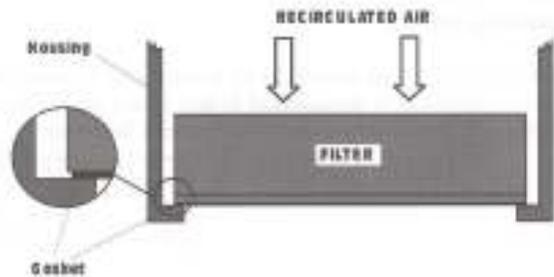
Struttura Tipica di una Clean Room



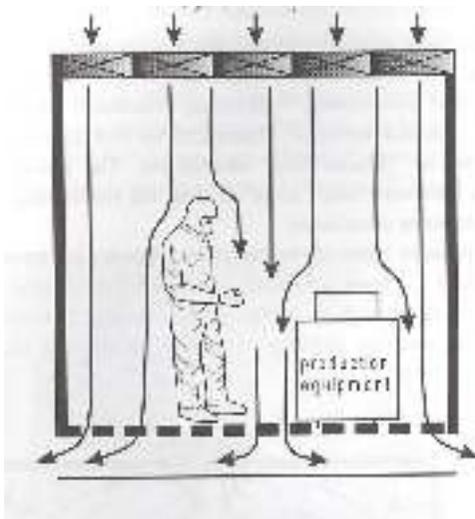
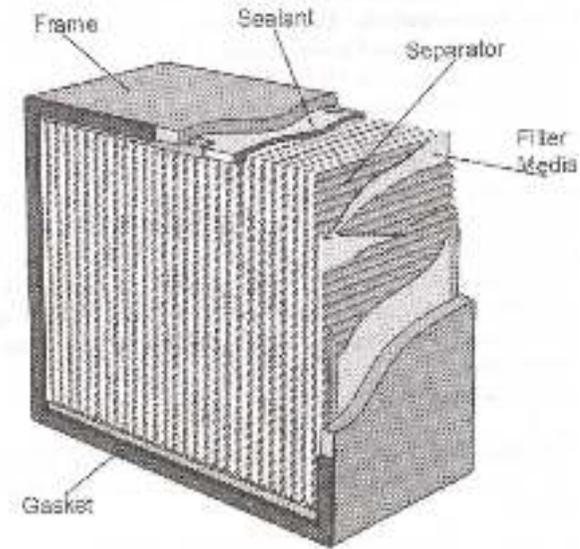
Firenze 14.5.2003

Filippo Bosi
Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

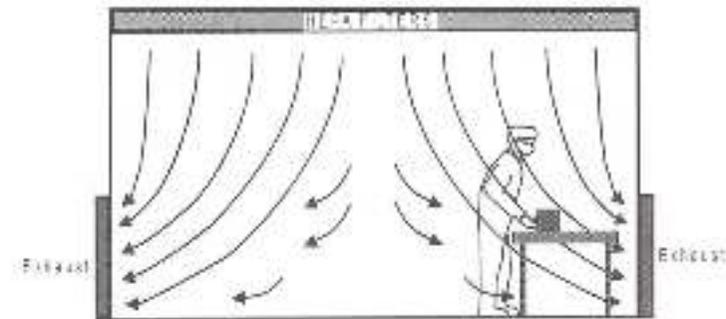
Sistemi di Filtrazione Assoluta



Filtro Assoluto
A flusso laminare
(HEPA)



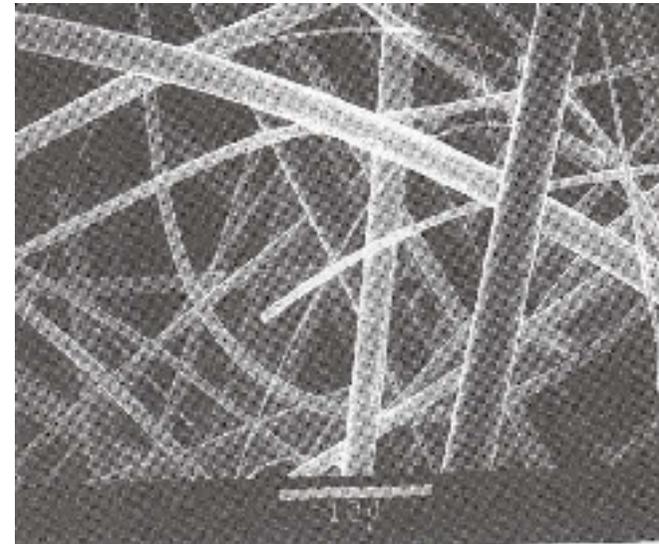
Flusso laminare



Struttura Microscopica Filtri Assoluti



**Filtro Assoluto
Pulito**



**Filtro Assoluto
Sporco**

Classificazione delle Clean room (Standard Internazionali)

ISO Classification number	Maximum concentration limits (particles/m ³ of air) for particles equal to and larger than the considered sizes shown below					
	≥0.1µm	≥0.2µm	≥0.3µm	≥0.5µm	≥1µm	≥5.0µm
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3	1 000	237	102	35	8	
ISO Class 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO Class 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO Class 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO Class 7				352 000	83 200	2 930
ISO Class 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO Class 9				35 200 000	8 320 000	293 000

Table 3.3 Federal Standard 209 class limits

Class Name	Class Limits									
	≥ 0.1µm		≥ 0.2µm		≥ 0.3µm		≥ 0.5µm		≥ 1µm	
	Volume Units	Volume Units	Volume Units	Volume Units	Volume Units	Volume Units	Volume Units	Volume Units	Volume Units	
SI	EqLit	(20)	(10)	(m ³)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
M1		10	0.1	337	3.14	500	100	1.0	0.253	—
M1.2	1	1 580	15.0	283	1.72	100	1.72	10.0	1.12	—
M1.5	10	2 520	60.0	757	3.14	200	3.15	10.0	1.81	—
M2	10	15 410	300	2 620	75.7	1 000	100	10.0	10.0	—
M2.5	100	25 200	900	1 500	1.18	3 000	300	10.0	25.2	—
M3	100	—	—	75 700	290	10 000	300	3 330	100	—
M3.5	1 000	—	—	—	—	—	—	10 000	283	—
M4	—	—	—	—	—	—	—	100 000	7 570	10.0
M4.5	10 000	—	—	—	—	—	—	250 000	10 000	10.0
M5	—	—	—	—	—	—	—	1 110 000	15 000	6 180
M5.5	10 000	—	—	—	—	—	—	2 250 000	100 000	100
M6	—	—	—	—	—	—	—	1 110 000	15 000	6 180
M6.5	10 000	—	—	—	—	—	—	2 250 000	100 000	100
M7	—	—	—	—	—	—	—	10 000 000	333 000	6 180

Cn = Concentrazione massima permessa part./m³
 N = Numero di classificazione ISO
 D = dimensione della particella in µm
 0,1 = Costante con dimensioni in µm

$$C_n = 10^N \times \left[\frac{0.1}{D} \right]^{2.08}$$

Table 3.4 Comparison between selected equivalent classes of FS 209 and ISO 14644-1

ISO 14644-1	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8
Classes						
FS 209	Class	Class	Class	Class	Class	Class 6
Classes	1	10	100	1000	10 000	100 000

Classificazione delle Clean room (Standard Internazionali)

FLUSSO UNIDIREZIONALE TIPO VERTICALE

Velocità e ricambi d'aria in clean rooms (IES-PP-CC312.1)

Classe di purezza dell'aria	Cleanliness Class	Velocità media flusso d'aria*	Ricambi d'aria	Efficienza min. filtri finali	Ubicazione dei filtri finali	Area occupata dai filtri**
Fed. Std. 209E	Unità Inglesi	m/s	volf	%		%
M 1 e oltre	< 1	0,30 - 0,50	360 - 600	99,99995	Terminale	90 - 100
M 1.5 e M 2	1 e 3	0,30 - 0,45	360 - 540	99,99995	Terminale	90 - 100
M 2.5 e M 3	10 e 30	0,25 - 0,45	300 - 540	99,9995	Terminale	90 - 100
M 3.5 e M 4	100 e 300	0,20 - 0,40	240 - 480	99,999	Terminale	90

* Per clean rooms standard con controsoffitto installato a 3 m di altezza.

**Area occupata dai filtri terminali distribuiti sul controsoffitto rispetto alla superficie totale della clean room.

FLUSSO NON UNIDIREZIONALE E MISTO TIPO VERTICALE

Numero di ricambi d'aria raccomandati in clean rooms.

Classe di purezza dell'aria	Cleanliness Class	Velocità media su filtri finali	Ricambi d'aria	Efficienza min. filtri finali	Ubicazione dei filtri finali	Area occupata dai filtri**
Fed. Std. 209E	Unità Inglesi	m/s	volf	%		%
M 3.5 e M 4	100 e 300	0,40 - 0,80	240 - 480	99,9995	Terminale	20 - 50
M 4.5 e M 5	1 000 e 3 000	0,45 - 0,95	40 - 120	99,999	Terminale	10 - 20
M 5.5 e M 6	10 000 e 30 000	0,75 - 2,50	20 - 40	99,99	Term./Canal.	10 - 20
M 6.5 e M 7	1000 000 e 3000 000	0,75 - 3,00	10 - 20	95	Canalizzata	5 - 10

**Area occupata dai filtri terminali distribuiti sul controsoffitto rispetto alla superficie totale della clean room; nel caso di filtri finali canalizzati l'area occupata è riferita a diffusori convenzionali senza filtro.

Filippo Bosi

Firenze 14.5.2003

Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

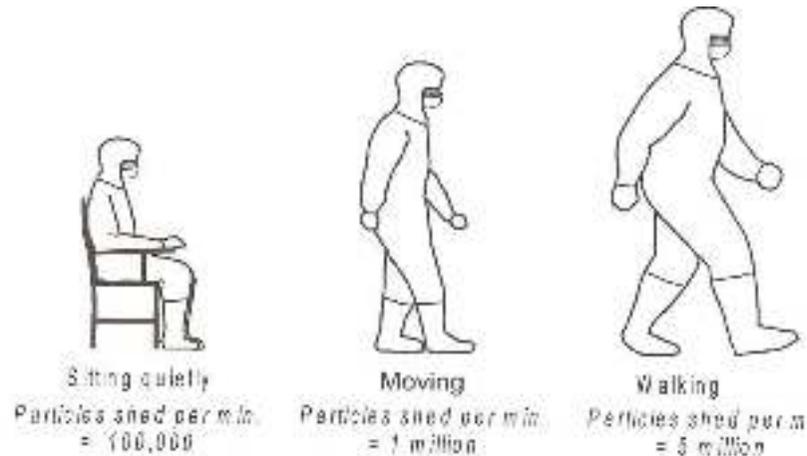
Contaminazione

Il Personale della Clean Room e' un importante sorgente di contaminazione.

Table 1. Common cleanroom contaminants.	
Contaminant	Size (μm)
Human hair	70-100
Human skin flakes	0.4-10
Pollen	5-100
Mold	2-20
Smoke	0.01-1
Household dust	0.05-100
Bacteria	0.25-10

Table 2. Particle generation rate (>0.3 $\mu\text{m}/\text{min.}$)	
Motionless/sitting/standing	100,000
Head, arm, neck, leg motion	500,000
All of the above with foot motion	1,000,000
Standing to sitting position and vice-versa	2,500,000
Walking at 2.0 mph	5,000,000
Walking at 3.5 mph	7,500,000
Walking at 5.0 mph	10,000,000

Dimensioni dei contaminanti



Quantita' di particelle prodotte / min $\geq 0,5 \mu\text{m}$



Il Controllo della Contaminazione del personale e' fondamentale per mantenere i livelli di pulizia richiesti

Contaminazione

Durante uno starnuto, un colpo di tosse o piu' semplicemente parlando, si espelle un notevole quantitativo di particelle di saliva



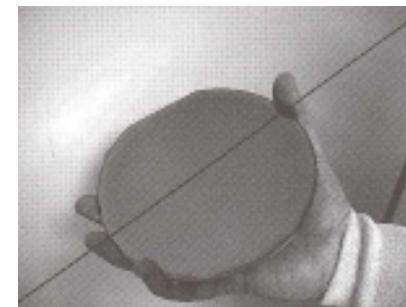
**Danneggiamento
certo dei sensori in
assenza di
protezione**



Particelle emesse durante uno starnuto

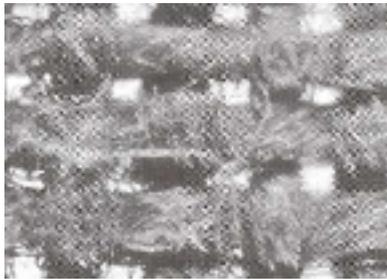
Particelle emesse pronunciando la lettera "f"

	Particelle inerti (1-100 μ m)	Microbi
Starnuto	1 000 000	39000
Colpo di tosse	5 000	700
Parlare ad alta voce	250	40



Disciplina e Vestiario del personale di Clean Room

Si rende necessario quindi un vestiario speciale per il personale della Cleanroom che frapponga una barriera fra le particelle inquinanti e l'ambiente ad alta pulizia.



Cotone

- Camice
- Sovrascarpe
- Guanti
- Cuffia
- Maschera

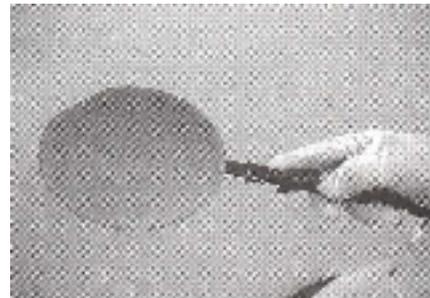


**Proprieta'
antistatiche**

**L'elettricità statica può
distruggere i
microcircuiti elettrici**



Poliestere



Attrezzature e operazioni tipiche in CleanRoom



Test sensori

- Probe station manuali
- Probe station automatiche



Firenze 14.5.2003

Filippo Bosi
Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

Attrezzature e operazioni tipiche di Clean Room



Assemblaggio moduli

- Manuale sotto CMM
- Automatico con Gantry Systems



Firenze 14.5.2003

Filippo Bosi
Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

Attrezzature e operazioni tipiche di Clean Room



- SemiAutomatica
- Completamente automatica

•Microsaldatura ad ultrasuoni



Rischi connessi alle attività' di Clean room

- Rischio connesso all'isolamento della Clean room
- Rischio di incendio
- Rischi elettrici : normale utilizzo di attrezzature e macchine con alimentazione elettrica.
- Rischi meccanici: presenza di attrezzature e macchine con parti in movimento (Gantry, CMM, Probe station automatiche e Microsaldatrici automatiche ad ultrasuoni .
- Rischi chimici: solventi per operazioni di pulizia, adesivi, liquidi di raffreddamento.
- Rischi per gas compressi: fluidi in pressione per alimentazione macchine, attrezzature o processi

Rischio e Prevenzione

- **Rischio d'isolamento:**

La Clean room e' un laboratorio "confinato" e per certi versi "ermetico".

Vi possono essere quindi difficoltà di ricognizione e di rilevazione di un qualsiasi incidente all'operatore (malore, incidente meccanico ecc.) anche da parte di operatori che lavorano contemporaneamente in clean room, ma in un altro sottoambiente.

L'installazione di telecamere in ogni sottoambiente puo' andare contro la legge sulla privacy.

Consigliabile l'installazione estensiva di visive, in maniera di mantenere contatto tra gli operatori, anche in sottoambienti con pressione differenziale diversa.

Evitare fasi e periodi di lavoro con presenze minimali o addirittura isolate di operatori.

Installazione nei sottoambienti di allarmi sonori/visivi verso un locale generale di controllo.

Filippo Bosi

Firenze 14.5.2003

Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

Rischio e Prevenzione

Rischio d'incendio:

Applicare, specialmente in fase di design, tutte le misure preventive volte a ridurre la frequenza incidentale di incendio (eliminazione dell'innesco e limitazione del materiale combustibile) e , tutte le misure protettive, tendenti alla riduzione dell'entità degli incidenti tramite per esempio la giusta scelta dei materiali delle infrastrutture.

Le Clean room sono dotate di sistema di rilevazione incendio con annusatori posizionati al soffitto che ,in caso di incendio, vanno ad agire sulle serrande di sicurezza dei canali dell'impianto di condizionamento spengendo l'impianto e alimentando contemporaneamente un avvisatore acustico.

Gli estintori sono posizionati all'interno della Clean room sono di tipo a CO₂ perche' compatibili con le attivita' operative ed idonei alla classe di fuoco della Clean room stessa.

Filippo Bosi

Firenze 14.5.2003

Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

Rischio e Prevenzione

Rischio d'incendio:

La Clean room , intesa ancora come ambiente “separato” e “confinato” , e' un laboratorio dove si deve entrare con un accesso controllato ed ostacolato (panche per la vestizione, porte atte a contenere le diverse pressioni differenziali ecc.), ma dal quale si deve poter uscire il piu' rapidamente possibile e con estrema facilita' in caso d'incendio!

Quindi le vie di fuga saranno separate dalle normali vie di accesso e dovranno essere ben segnalate e mantenute efficienti (senza ostacoli) .

Le uscite di sicurezza devono essere in un numero congruo, al di la' della compartimentazione anti incendio dell'ambiente, per poter servire in tempi abbreviati , tutti i sottoambienti della Clean room.

Rischio e Prevenzione

Rischio meccanico:

le attrezzature scientifiche con movimentazione meccanica presenti in clean room devono prevedere sistemi di separazione fisica tra operatore e macchina nel momento del ciclo operativo. (O.K. per Gantry , Probe Station e Microsaldatrici automatiche).

Le CMM, hanno basse velocità relative e comunque, non potendo prevedere condizioni di separazione uomo-macchina come quelle precedenti, possiedono sistemi che al minimo aumento di corrente sui motori , dovuto ad aumento improvviso di attrito od urto, staccano immediatamente tensione alla macchina stessa (nessun pericolo di schiacciamento).

Rischio e Prevenzione

Rischio gas compressi:

In Clean room sono presenti attrezzature scientifiche alimentate ad aria compressa “filtrata” (filtri a setaccio molecolare in cascata fino a $0,1\mu\text{m}$) e jig di attrezzature alimentati con vuoto.

Vi e' inoltre esigenza di un fluido molto secco per il controllo dell'umidita' relativa di alcuni contenitori (flow box) dove si conservano sensori a semiconduttore. In sostituzione dell'azoto, usato diffusamente in precedenza, si hanno attualmente sistemi di produzione di aria secca (dew-point -70 C), posizionati all'esterno della Clean room, alimentati ad aria compressa, in grado di assicurare la stessa efficienza .

Nessuna bombola in pressione all'interno della Clean room.

Per alcuni limitati casi si puo' utilizzare un “generatore di azoto”, alimentato ad aria compressa filtrata, posizionabile in Clean room, assolutamente non pericoloso per eventuali problemi di saturazione d'ambiente, dato le basse portate ($\sim 8\text{l/min}$) ed il considerevole numero di ricambi d'aria dell'ambiente.

Filippo Bosi

Firenze 14.5.2003

Servizio Alte Tecnologie INFN Pisa

Rischio e Prevenzione

Rischio chimico:

In Clean room sono presenti solventi per un limitato uso di pulizia di attrezzature con basso potere di attacco (alcool isopropilico).

Limitata quantità di alcool in Clean room (storage esterno alla Clean room).

Per la pulizia in generale si usano speciali panni “wet” in tessuto poliestere (anticontaminante) già leggermente inbevuti di solvente speciale.

In Clean room si usano spesso anche colle epossidiche bicomponenti, per incollaggi strutturali di parti di apparato sperimentale, talvolta in quantità non trascurabili. Si usano anche, in quantità limitata, colle conduttive termicamente ed elettricamente per uso su componenti elettronici.

In entrambi i casi i mezzi di protezione individuale di normale uso in Clean room (guanti, camici ecc.) e l'elevata ventilazione e ricambio d'aria dell'ambiente, eliminano sostanzialmente il pericolo per gli operatori.

Considerazioni Finali

La Clean room in generale e' un ambiente di lavoro dove vengono effettuate operazioni che necessitano di elevata attenzione e concentrazione.

Spesso si interviene nelle fasi finali della preparazione di apparati sperimentali molto delicati e costosi.

Il personale operante all'interno e' totalmente composto da persone che hanno avuto un training sulle tecnologie degli ambienti a contaminazione controllata.

L'ambiente quindi di per se' porta alla minimizzazione degli incidenti dovuti a distrazione (queste considerazioni sono confortate dalla statistica).

Considerazioni Finali

La conoscenza dell'ambiente di lavoro e del suo funzionamento, e' il primo e basilare principio di prevenzione incidenti e di sicurezza per i lavoratori.