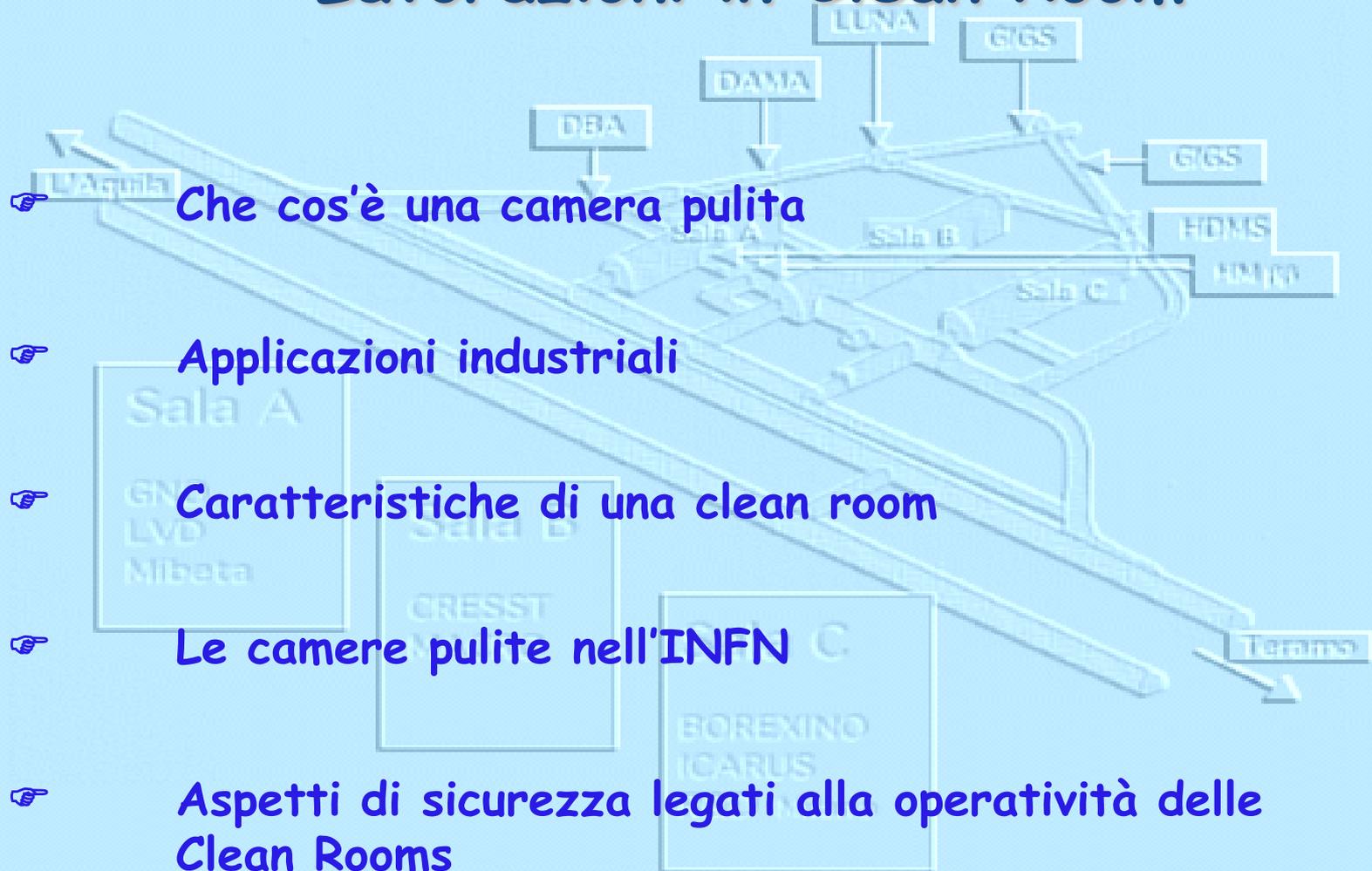


Lavorazioni in Clean Room



Cos'è una Clean Room?

Una Clean Room si può definire un ambiente a contaminazione controllata: si intende, con tale definizione, l'insieme di locali, ambienti, ed impianti atti a garantire il raggiungimento ed il mantenimento di condizioni ottimali per quel che riguarda il valore di concentrazione di polvere in aria.

L'impiantistica minima necessaria di una clean room è costituita da: pareti a basso rilascio di polvere, pavimenti flottanti, contro-soffittature "particolari", filtri piani, filtri a tasche e filtri assoluti (filtri HEPA), impianto di circolazione aria, impianto di condizionamento aria, umidificatori/deumidificatori, eventuali batterie di raffreddamento/riscaldamento, impianto di illuminazione, di telefonia, di supervisione e gestione delle condizioni operative della Clean Room.

Possibili impianti accessori:

distribuzione aria compressa, distribuzione gas tecnici, distribuzione acqua deionizzata / demineralizzata, cappe chimiche, etc.

Cos'è una camera pulita?

Come abbiamo visto, la Clean Room risulta essere un insieme di locali, impianti ed impianti accessori che, comunque, una volta realizzati, potrebbero incidere in maniera "importante" sulla operatività di una Sezione, Laboratorio e/o quant'altro. Dal punto di vista "tecnico", risulta fondamentale prevedere, fin dal momento della realizzazione, una corretta gestione della fase di manutenzione e, possibilmente, investire fin dall'inizio sulla flessibilità della Clean Room stessa.

Terminologia possibile:

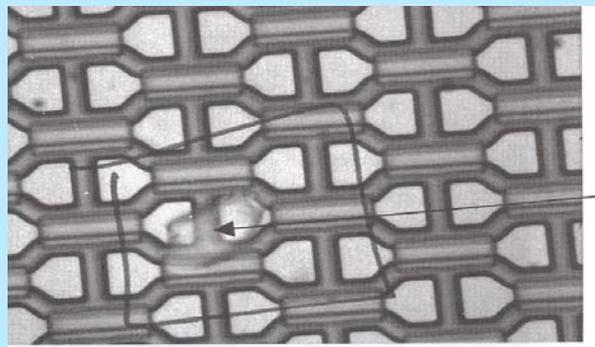
camera pulita, camera bianca, camera sterile, ambiente a contaminazione controllata, "work unit" con aria pulita

Applicazioni "industriali"

Tutte quelle applicazioni dove la polvere potrebbe compromettere la funzionalità del prodotto, ovvero causare una contaminazione "pericolosa" in determinati ambienti.

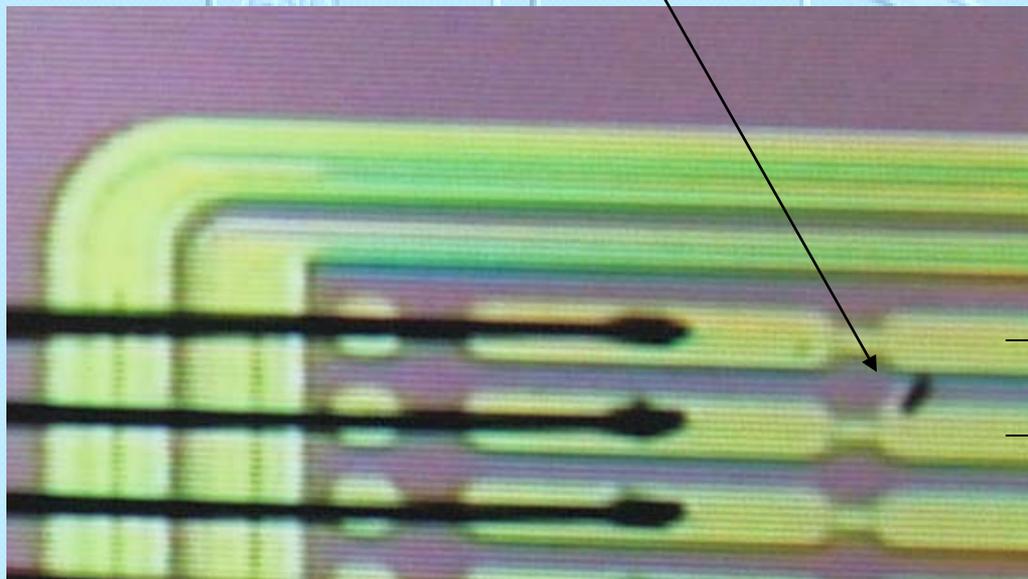
- ➔ Elettronica di produzione (chip and micro-chip)
- ➔ Assemblaggio componenti veicoli spaziali
- ➔ Industria farmaceutica (eventuale uso di radio-isotopi)
- ➔ Industria chimica
- ➔ Biologia (laboratori, etc.)
- ➔ Ospedali (batteri, anche!!)

Applicazioni "industriali" - esempi



Particella contaminante su semiconduttore

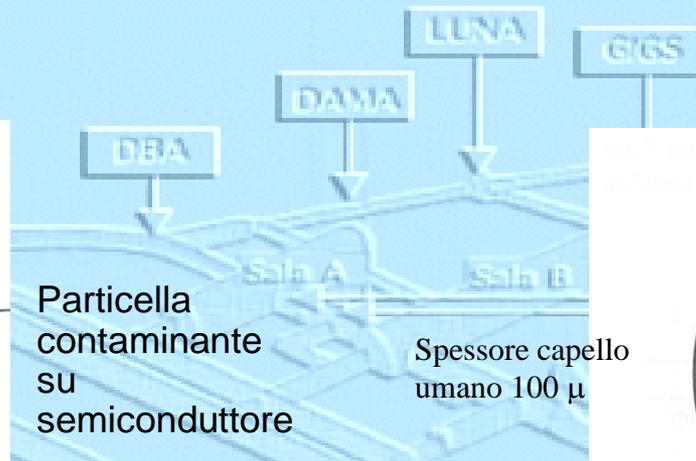
Particella contaminante



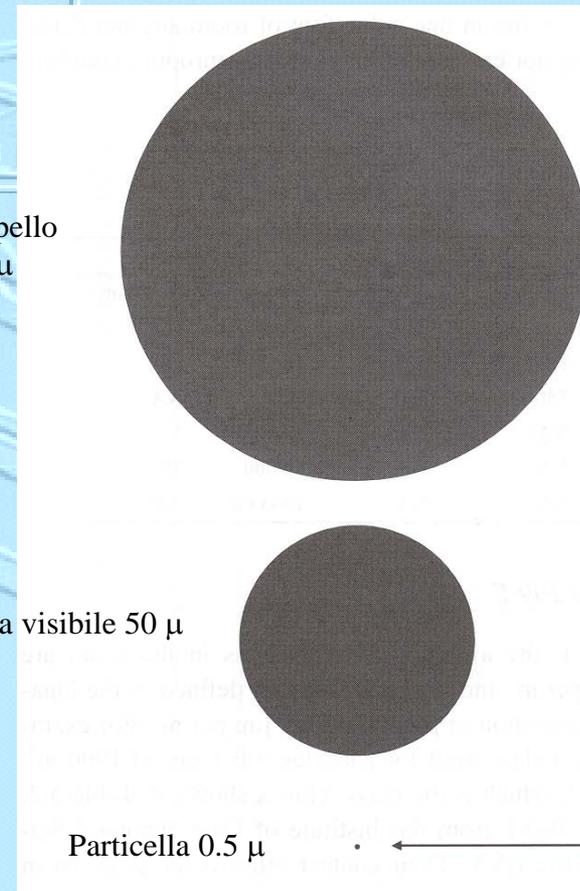
Particella visibile 50 μ

Particella 0.5 μ

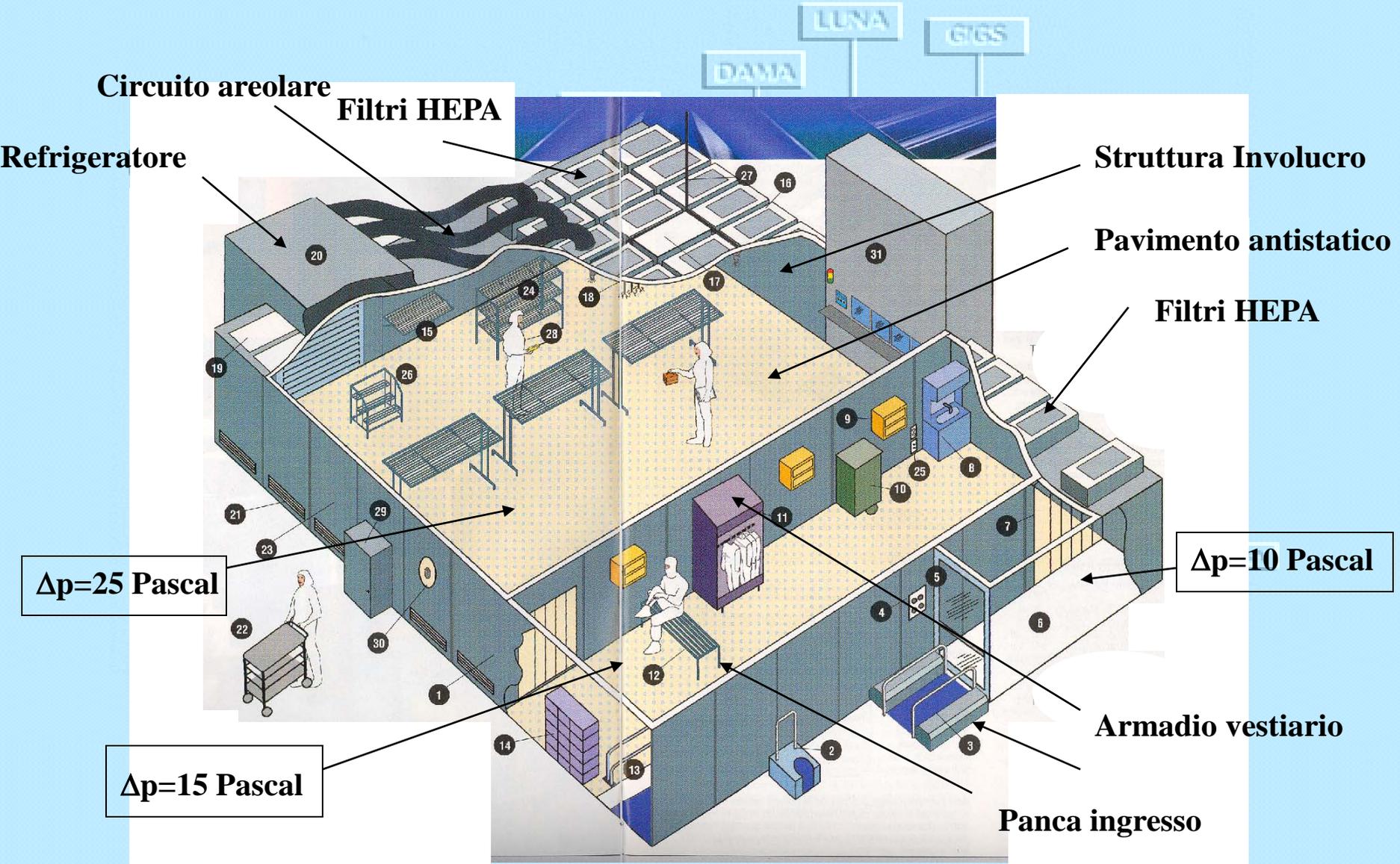
$\sim 100 \mu$



Spessore capello umano 100 μ

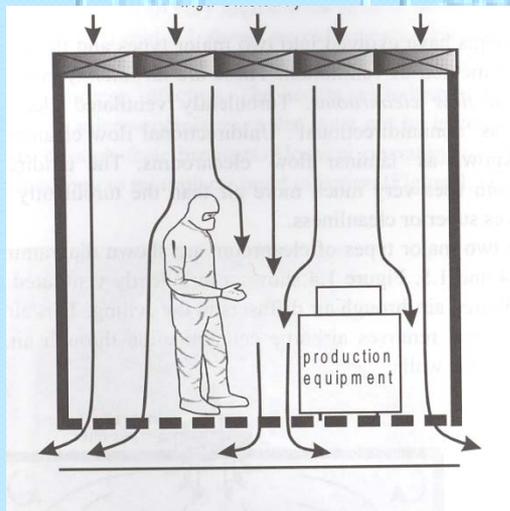
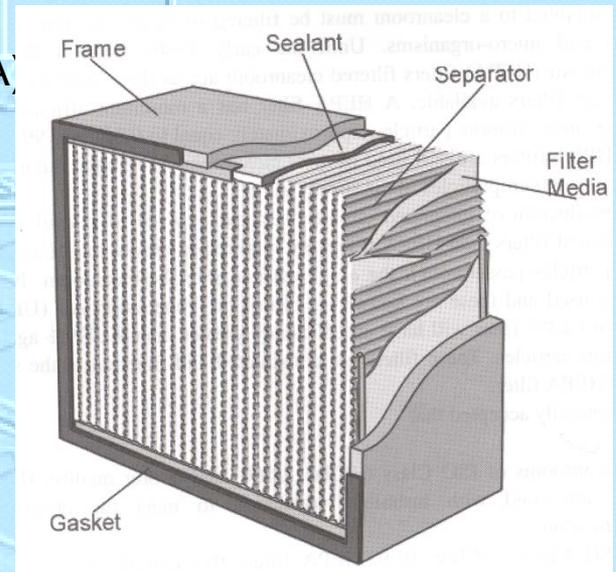
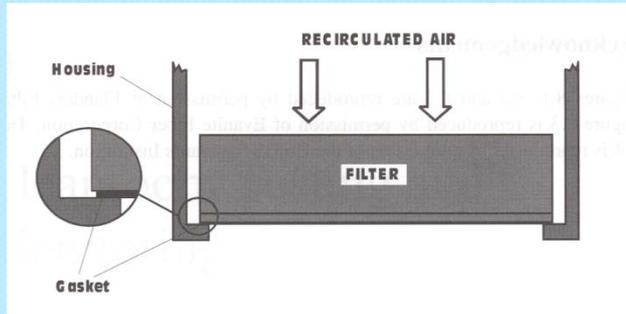


Le caratteristiche di una Clean Room- struttura

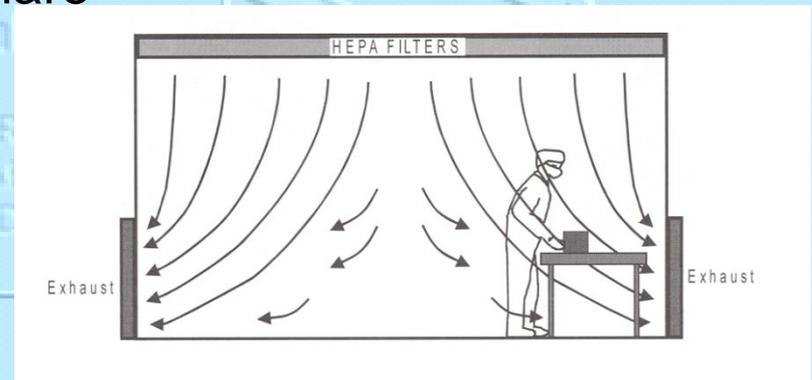


Sistemi di Filtrazione assoluta

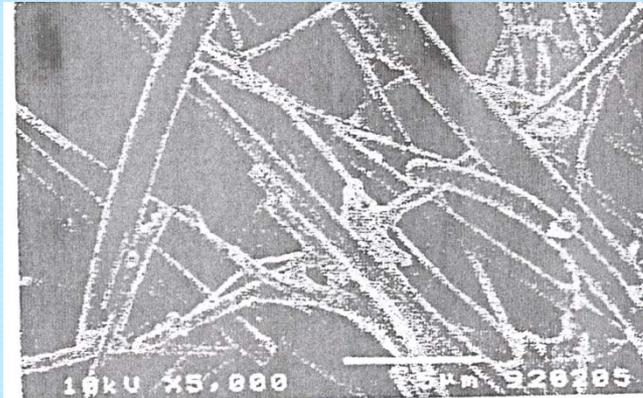
Filtro Assoluto
flusso laminare (HEPA)



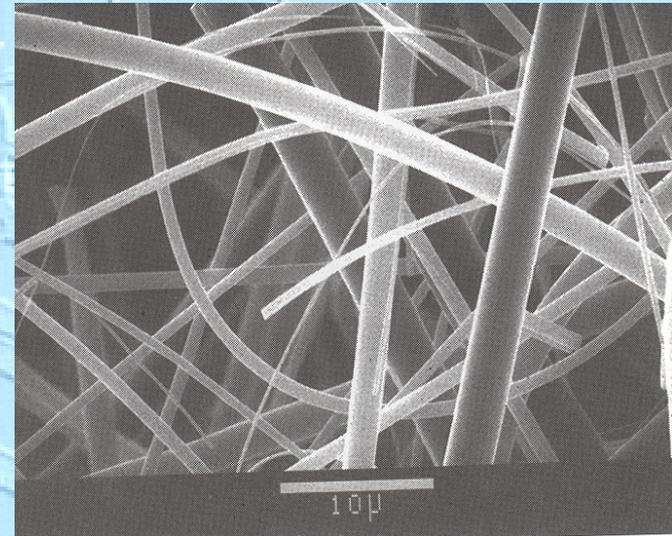
Flusso laminare



Sistemi di Filtrazione assoluta



Filtro Assoluto Pulito



Filtro Assoluto Sporco



Classificazione Clean Rooms (Int. Std.)

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 3.2 Federal Standard 209 E class limits

Class Name		Class Limits									
		≥ 0.1µm		≥ 0.2µm		≥ 0.3µm		≥ 0.5µm		≥ 5µm	
SI	English	Volume Units									
		(m ³)	(ft ³)								
M 1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	--	--
M 1.5	1	1 240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	--	--
M 2		3 500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	--	--
M 2.5	10	12 400	350	2 650	75.0	1 060	30.0	353	10.0	--	--
M 3		35 000	991	7 570	214	3 090	87.5	1 000	28.3	--	--
M 3.5	100	--	--	26 500	750	10 600	300	3 530	100	--	--
M 4		--	--	75 700	2 140	30 900	875	10 000	283	--	--
M 4.5	1 000	--	--	--	--	--	--	35 300	1 000	247	7.00
M 5		--	--	--	--	--	--	100 000	2 830	618	17.5
M 5.5	10 000	--	--	--	--	--	--	353 000	10 000	2 470	70.0
M 6		--	--	--	--	--	--	1 000 000	28 300	6 180	175
M 6.5	100 000	--	--	--	--	--	--	3 350 000	100 000	24 700	700
M 7		--	--	--	--	--	--	10 000 000	283 000	61 800	1 750

C_n = 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 Clean Rooms (Int. Std.)

FLUSSO UNIDIREZIONALE TIPO VERTICALE

Velocità e ricambi d'aria in clean rooms (IES-RP-CC012.1)

Classe di purezza dell'aria Fed. Std. 209E	Cleanliness Class Unità Inglesi	Velocità media flusso d'aria* m/s	Ricambi d'aria vol/h	Efficienza min. filtri finali %	Ubicazione dei filtri finali	Area occupata dai filtri** %
M 1 e oltre	< 1	0,30 - 0,50	360 - 600	99,999995	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 Fed. Std. 209E	Cleanliness Class Unità Inglesi	Velocità media su filtri finali m/s	Ricambi d'aria vol/h	Efficienza min. filtri finali %	Ubicazione dei filtri finali	Area occupata dai filtri** %
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 - 0,85	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.

Contaminazione

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

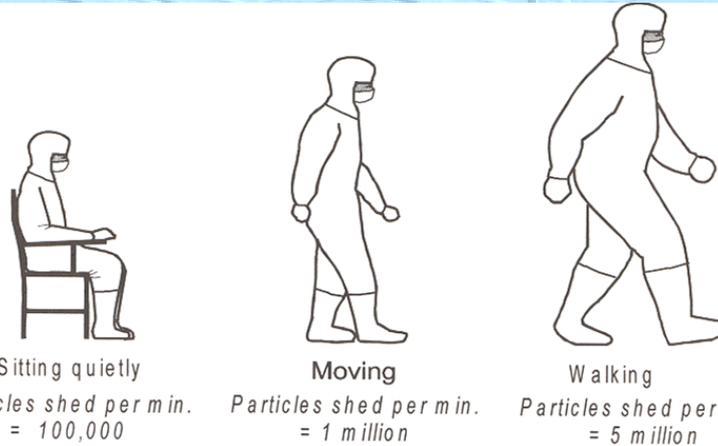
Table 1. Common cleanroom contaminants.

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 ($\geq 0.3 \mu\text{m}/\text{min}.$)

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



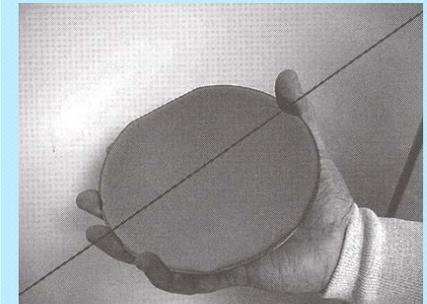
Particelle emesse
Durante uno starnuto

Danneggiamento
certo dei sensori
in assenza di
protezione



Particelle emesse
pronunciando la lettera "f"

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



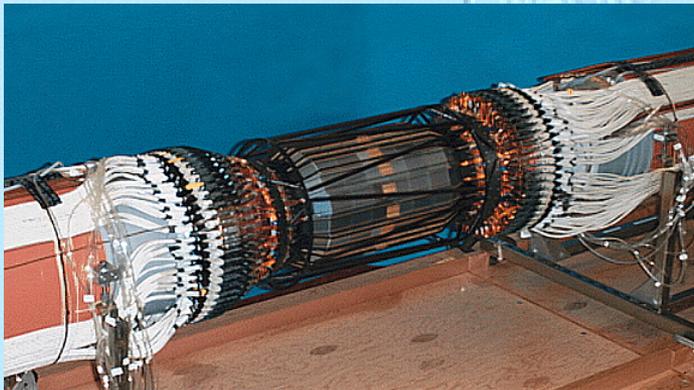
Le Clean Room nell'INFN

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, Ferrara, LNGS, etc.)

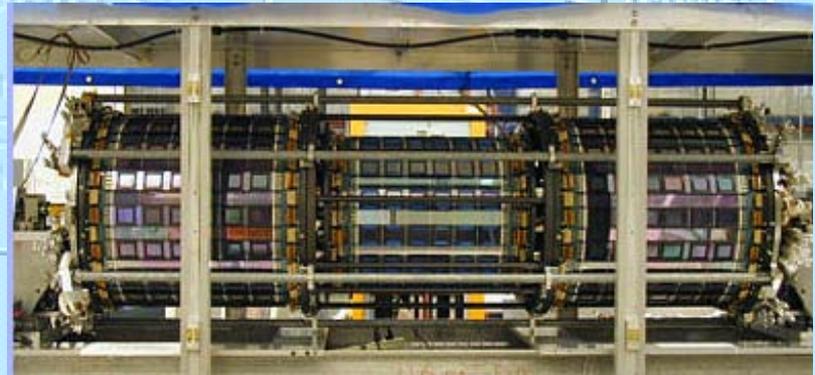
Ciò è dovuto alla utilizzazione estesa di rivelatori sofisticati (camere a fili e rivelatori a semiconduttore) negli esperimenti di fisica delle alte energie...

Oppure alla necessità di evitare la polvere in quanto contiene possibili radio-contaminanti in tracce (famiglie U, Th e K)

Alcuni esempi....



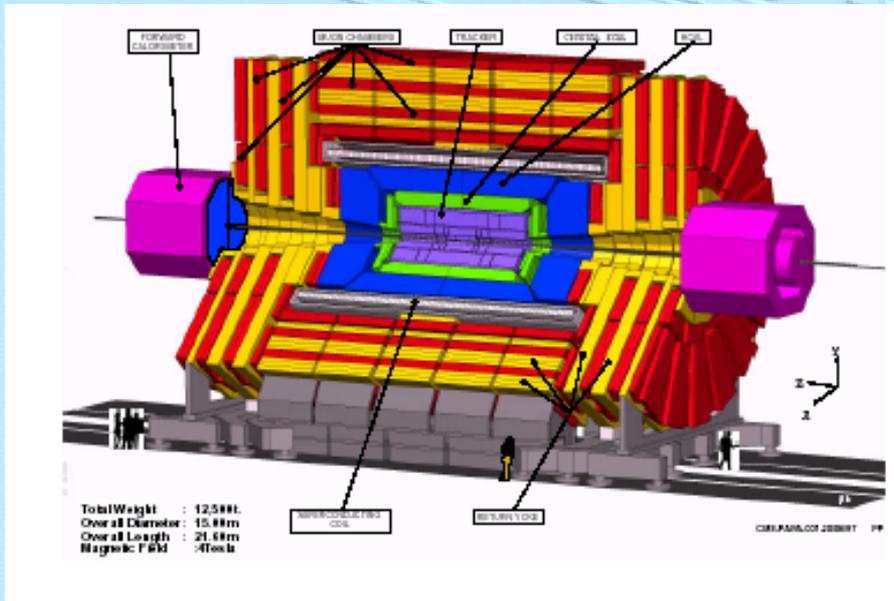
SVT (BaBar)



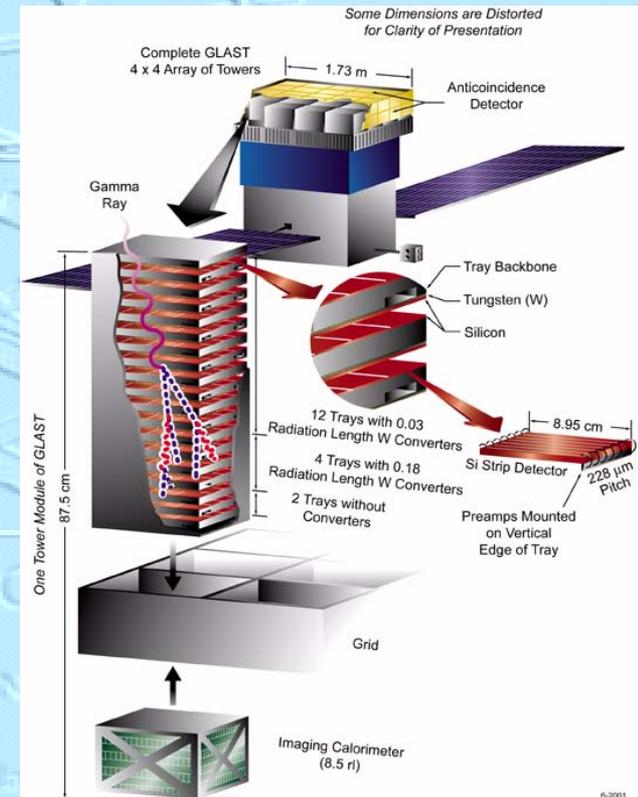
ISL (CDF)

Le Clean Room nell'INFN

Altri esempi...



CMS



GLAST

Sommario (*reprise*)



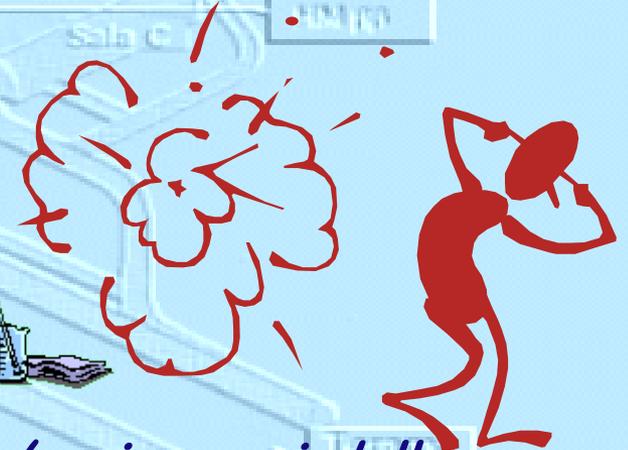
Sostanze "comunemente" adoperate ..

Di certo non è facile elencare tutte le possibili sostanze "comunemente" adoperate negli apparati sperimentali, ma di certo i parametri più importanti da valutare sono:

- ✓ - *il "range" di infiammabilità*
- ✓ - *la tossicità*
- ✓ - *le quantità in gioco*

e di conseguenza...

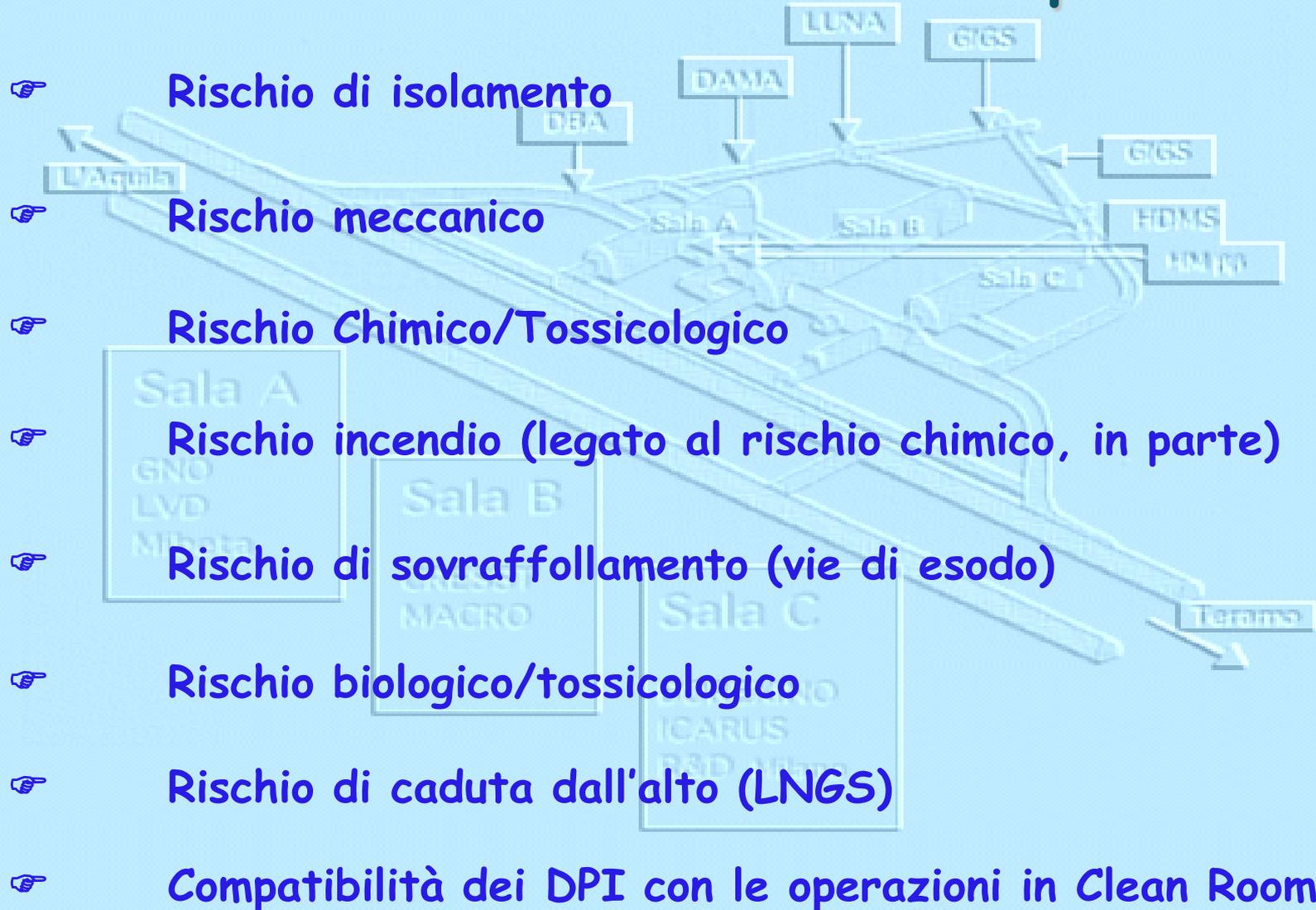
- ✓ - *il rischio di incendio*
- ✓ - *il rischio di esposizione alla sostanza e/o ai vapori della*
- ✓ *sostanza*
- ✓ - *le necessità di smaltimento nella normale operatività*
- *le necessità operative in condizioni di emergenza (incendio,*
- *sversamento, etc.)*



L'operatività nelle Clean Rooms.

-
- ➡ Procedure di accesso ben dettagliate
 - ➡ Compatibilità delle operazioni in corso
 - ➡ Sistemi di interlock ben congegnati
 - ➡ Moduli di "check-in" vs. "check-out"
 - ➡ Corretta manutenzione dei filtri (€€€€€ !!)
 - ➡ Corretta gestione del vestiario
 - ➡ Formazione del personale (Ditte fornitrici propongono corsi in merito)

Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali



Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali



Rischio di isolamento

Il problema di fondo rimane sempre la particolare configurazione delle clean rooms:

- ambienti separati e "praticamente a tenuta"
- ΔP "dinamico" predeterminato
- esistenza di "shoe-barrier" nello spogliatoio
- conformazione a volte particolarmente angusta
- possibilità di lavorare "da soli"
- creazione di "pareti fragili", ben indicate, evitando così maniglioni antipanico e porte di sicurezza
- vie di esodo all'esterno da mantenere sgombre
- procedure per assicurare il lavoro "in coppia"

Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali



Rischio meccanico

- E' strettamente legato alla movimentazione automatizzata e/o meno di determinati meccanismi in Clean Room, dove l'ambiente è sicuramente "ristretto"
- assicurarsi del funzionamento dei pulsanti di shut-down
 - "shut-down" automatico in caso di urti

Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali

Rischio chimico/tossicologico

Il problema di fondo rimane sempre la particolare tendenza dei ricercatori a lasciare il materiale adoperato sull'ultimo bancone adoperato:

- resine bi-componente
- gas compressi (azoto, etc.)
- prodotti per pulizie a base di alcool iso-propilico
- alcool e/o altri detergenti e/o acidi (in presenza di cappe chimiche)
- ricognizione di tutte le sostanze adoperate!!
- sensori carenza O_2
- utilizzo di opportuni DPI (maschere con filtro, tipo 3M)
- disponibilità autorespiratori
- limitare l'uso di tali prodotti
- utilizzare armadi all'esterno e pass-box per i vari materiali, indipendenti dall'ingresso degli operatori
- moduli di check-in / check-out con descritti i materiali che "vengono trasferiti" nella C.R.

Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali



Rischio incendio

Il problema è legato anche alla fase di progettazione iniziale:

- impianto di ventilazione generalmente sprovvisto di serrande taglia-fuoco
- quantità sostanze "pericolose" adoperate
- calcolo del "carico di incendio"
- eventuale surriscaldamento ventilatori
- utilizzo di macchine per saldature e/o laser
- comprendere "a priori" le esigenze dei vari gruppi sperimentali
- pianificare le varie attività all'interno
- assicurare la perfetta gestione delle vie di esodo

Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali



Rischio sovraffollamento

La connessione con il rischio incendio è del tutto evidente e quindi si risale alla fase di progettazione iniziale e stesura delle specifiche tecniche:

- Clean Room dimensionata correttamente
- corretta gestione degli accessi, sia per mantenere le classi di pulizia, sia per evitare eventuali problemi di esodo
- gestione gruppi sperimentali che operano in C. R.
- eventuali prove di evacuazione "locali"
- formazione del personale
- moduli di ingresso/uscita e/o prenotazione della C.R.

Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali



Rischio biologico/tossicologico

Estremamente importante per gli ambienti tipo cliniche ospedaliere, laboratori di biologia (problemi legati ai batteri), etc.

- Utilizzo di DPI errati (non più la mascherina da polvere, in determinati casi)
- "ignoranza" in materia di igiene
- formazione del personale
- procedure estremamente rigorose
- moduli di ingresso/uscita e/o prenotazione della C.R.
- decontaminazione del vestiario, ove necessario,
- docce di "lavaggio"
- ambienti decontaminazioni personale (doccia d'aria, etc.)

Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali



Rischio caduta dall'alto/ compatibilità DPI

Questa tipologia di rischio è particolarmente legata all'attività presso i LNGS. Si tratta comunque di un rischio meccanico.

- Utilizzo di DPI in concomitanza con le esigenze da camera pulita: assicurare la compatibilità dei vari DPI
- formazione del personale
- estrema attenzione alle operazioni eseguite
- precedenza/priorità alla sicurezza più che alla classe della C. R.
- acquisto e gestione di DPI "normali", pulizia degli stessi e quindi gestione degli stessi solo all'interno della C. R. (esempio: scarpe anti-infortunistiche, evitando l'uso delle sovrascarpe)

Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali

Esempi di Moduli di check-in // check-out

- Inventario sostanze chimiche (esempio di una ditta che opera nel settore chimico)

Caratteristiche dell'agente chimico													
1	2	3	4a	4b	4c	4d	4e	4f	5	6a	6b	6c	6d
Pos	Nome prodotto	Dislocazione	Motivo della presenza						Componenti chimici principali	Stato fisico			
			Materia prima	Prodotto intermedio	Prodotto ausiliario	Prodotto di formazione	Prodotto finito	Rifiuto	%	Liquido	Solido	Gas	Altro
1													
2													
3													

Caratteristiche dell'agente chimico											
7	8	9a	9b	9c	9e	9f	9g	10	11a	11b	11c
Punto di infiammabilità	pH	Incompatibilità						Reazione prevista	Classificazione ai sensi del D.Lgs 25/2002		
°C	pH	Acidi	Basi	Ossidanti	Riducenti	Metalli	Altro (specific.)	Prodotti di decomposizione	Classificazione	Fraresi di rischio R	Via di assorbimento

Caratteristiche dell'agente chimico												
12a	12b	12c	13a	13b	13c	13d	14	15a	15b	15c	15d	
Modalità di trasporto			Tipo di stoccaggio				Quantità massima stoccata	Trasferimento all'utilizzo				
Automezzi cassonati	Autocisteme	Altro (specific.)	Cisternette	Serbatoio	Sacchi/ Big Bags	Altro (specific.)	kg o litri	Automezzi cassonati	Tubazioni	Carrelle elevatori	Altro (specific.)	

Attività in Clean Rooms. Rischi potenziali

Esempi di Moduli di check-in // check-out

- orario di ingresso;
- orario di uscita;
- sostanze chimiche introdotte (tipologia e quantità, ubicazione);
- ultima pulizia ri-organizzazione avvenuta;
- firma dell'ultimo ad uscire.

IN	OUT	Pulizia (ora)	Tipo Sostanza	Fraisi (R+S)	Q (litri)	Ubicazione	Device ON	Firma

Conclusioni - 1

L'INFN è una realtà davvero particolare, per la configurazione, per la varietà di strutture, per le molteplici attività, per l'elevata tecnologia, per la peculiarità delle sostanze adoperate negli Esperimenti, per la necessità di lavorare anche all'estero.

Le linee guida possono aiutare, ma non risolvono tutti i problemi.

Quella che dovrebbe cambiare, col tempo, è l'attitudine nei confronti dell'argomento "sicurezza", da parte dei ricercatori, ma da parte di tutti... *[sad to say...]*

© 1998 Ted Goff



"Don't worry. I know what I'm doing!"

©2000 Ted Goff tedgoff@tedgoff.com <http://www.tedgoff.com>



"Lucky for us there's an electrical outlet right here!"

Physicists Attitudes...

Responsabilità "Oggettive" Datore di lavoro

"Chi accoglie nel proprio luogo di lavoro personale appartenente ad altre strutture (per contratto, per convenzione, etc.)

- ✓ deve aver cura della sua sicurezza e salute;
- ✓ non può adibirlo a lavorazioni pericolose o farlo lavorare in locali inadatti".



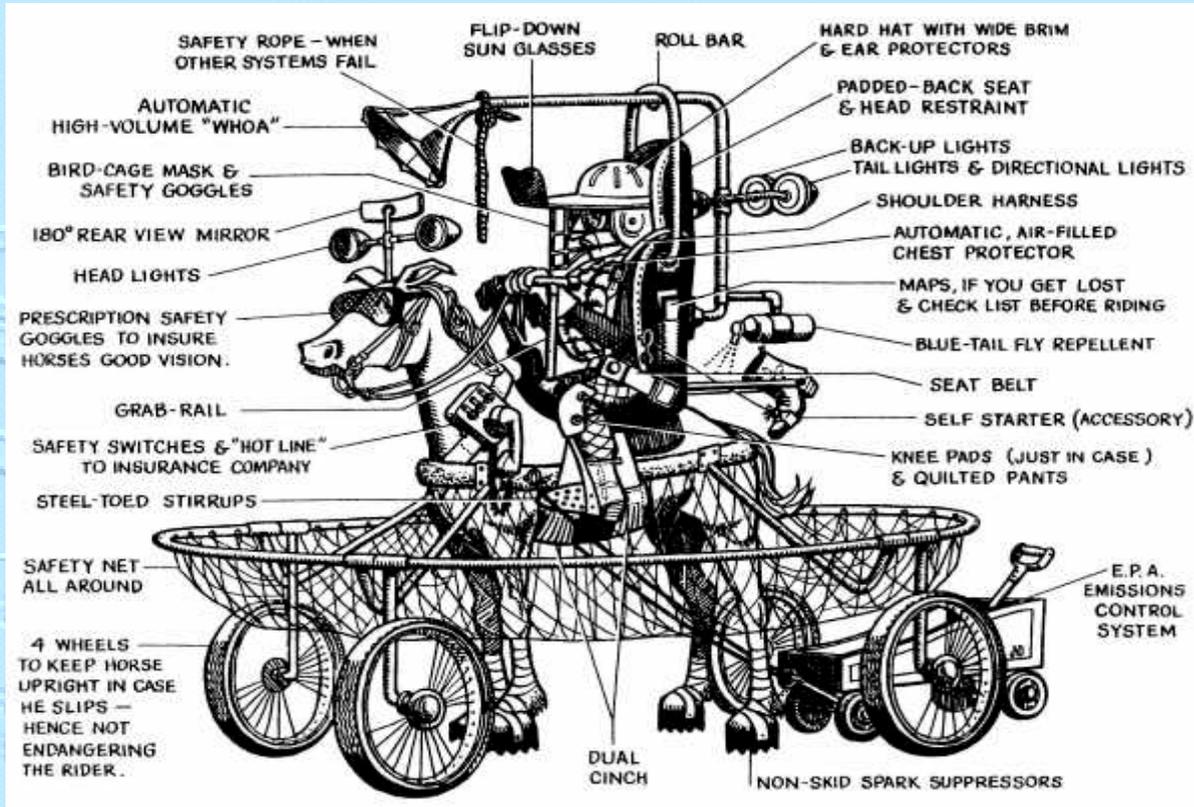
Photo The Bettmann Archive

Comics (Safety Staff) [Dispositivi di Protezione]

Non bisogna esagerare con le procedure e/o con la burocratizzazione.

Focus on "sensibilizzazione" con corsi continui ed obbligatori.

Potrebbe essere utile organizzare degli "audit" tra le varie strutture, da concretizzare nel prossimo futuro.

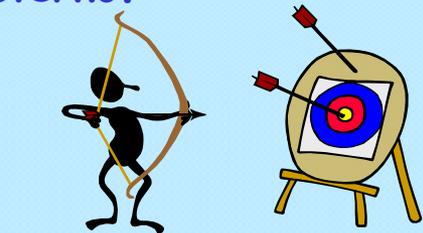


A mio avviso, assume un ruolo fondamentale la comunicazione e la capacità di comunicazione, sia all'interno dell'INFN e tra l'INFN ed il mondo esterno.

Grazie ancora dell'attenzione e della collaborazione

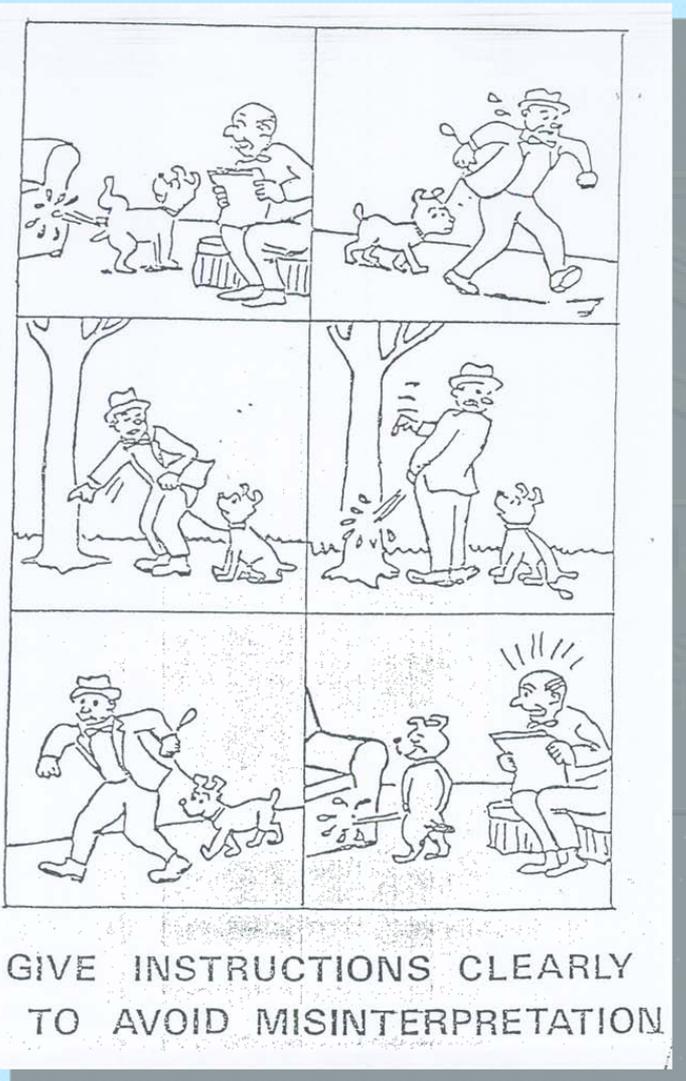
Email: andrea.papi@pg.infn.it

URL: www.pg.infn.it



Servizio SPP INFN Perugia

Conclusioni



Thanks a lot for Your attention
and co-operation!!!!