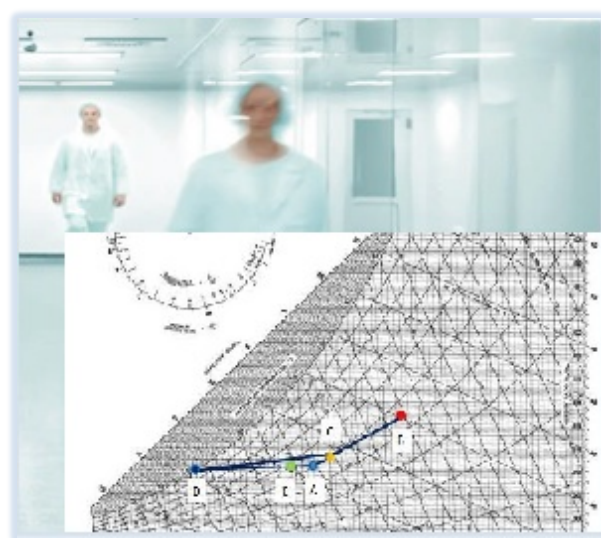


# Camera pulita

Energy saving



F. Schiavone, A. Basili, F. Prescimone\*

**Rapporto Interno INAF/IASF-Bologna n. 697/2016**

\* *Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati Consiglio Nazionale delle Ricerche*

## Sommario

|   |    |
|---|----|
| Premessa .....  | 4  |
| Scopo .....   | 5  |
| Normative .....   | 5  |
| Tecniche .....  | 6  |
| Pianificazione e attività della facility IASF Bologna ..... | 7  |
| Stima dei consumi .....                                     | 7  |
| Conoscenza impianti CNR.....                                | 8  |
| Identificazione strategia perseguibile.....                 | 11 |
| Futuro prossimo venturo.....                                | 12 |
| Conclusioni .....   | 13 |
| Appendice 1 Planimetria locale Camera pulita .....          | 15 |

## Lista acronimi

AE – Aria Esterna

AHU - AIR HANDLING UNIT =UTA

CFD - Computational Fluid Dynamics

GMP - Good Manufacturing Practices

HVAC - Heating, Ventilating and Air Conditioning/riscaldamento, ventilazione e condizionamento

HEPA - High Efficiency Particulate Air Filter

ISO - International Organization for Standardization

TRMS - True Root Mean Square

ULPA - Ultra-low particulate air

UTA – Unità Trattamento Aria

VCCC – Impianto di Ventilazione e Condizionamento a Contaminazione Controllata

VDI - Verein Deutscher Ingenieure

VSD - Variable Speed Drive

### *Altri identificativi:*

Clean Room, Camera Bianca, Ambiente Controllato.

Desideriamo ringraziare tutti coloro che ci hanno aiutato nello sviluppo e nella realizzazione di questo progetto e in particolare:

-i colleghi del settore tecnologico, Natalia Auricchio, Enrico Franceschi, Luca Valenziano e Fabrizio Villa che vedono, come noi, nel locale Camera Pulita una risorsa IASF Bologna indispensabile

-il Sig. Claudio Grilli che è stato sempre disponibile a dirimere tutti i nostri dubbi impiantistici

-la direzione IASF, sottolineando la particolare disponibilità del Dr. Malaguti, sensibile e ricettivo al mantenimento dell'infrastruttura, impegnando risorse economiche nel potenziamento degli impianti VCCC della Clean Room IASF Bologna.

Milena e Angelo

### **Premessa**

*Le Clean Room consumano grandi quantità di energia, da 2 a 50 volte quelle delle aree non classificate.*

*In passato è stata posta poca attenzione al consumo energetico ed era comune il sovra dimensionamento o la sovra specificazione delle utenze. Questo era interpretato come parziale compensazione della cattiva conduzione e garantiva una 'riserva' di pulizia ma anche uno spreco di energia.*

*In anni recenti, considerata anche la congiuntura economica sfavorevole, si è assistito a una progressiva contrazione dei finanziamenti governativi di funzionamento ordinario, ed è cresciuta la consapevolezza che gli impianti hanno non solo un costo di realizzazione, ma anche un importante costo di esercizio.*

*Sempre più, ora, vi è l'esigenza di ottimizzare gli oneri di gestione.*



## Scopo

Il concetto di energy saving sta portando a modificare le regole di gestione degli ambienti a contaminazione controllata. Le parti che compongono il sistema di trattamento aria in Clean Room, hanno elevati costi di acquisto e mantenimento. Il consumo energetico del sistema di ventilazione di una cleanroom (impianto HVCC) è elevato in quanto deve assicurare che vengano sempre garantiti i ricicli di aria necessari per il mantenimento della classe di pulizia e il mantenimento dei corretti parametri termo-igrometrici inverno-estate. Dovendo garantire il perfetto funzionamento continuo, i costi si ripercuotono a livello di consumo energetico ed è quindi indispensabile effettuare operazioni di ottimizzazione sia in fase di esercizio che in fase di mantenimento.

Considerato il basso coefficiente di utilizzo del laboratorio 613 la direzione IASF Bologna ha preso in considerazione la possibilità di spegnere i motori e sigillare la camera bianca.

I Responsabili del locale hanno preso atto di questa realtà e hanno valutato una possibile evoluzione tecnologica nel controllo e nella regolazione degli impianti. Per fare ciò, è stato necessario:

- ✓ sondare l'utilizzo previsto per il triennio 2017-2019 da parte dei progetti in essere dell'Istituto
- ✓ fare una stima del costo annuo attuale complessivo dei consumi
- ✓ approfondire la conoscenza degli impianti VCCC dell'Area di Ricerca CNR/INAF
- ✓ identificare una strategia.

Lo scopo del lavoro consiste nella realizzazione di uno studio di fattibilità mirato a un programma di risparmio energetico in piena sicurezza ed economicamente perseguibile.

## Normative

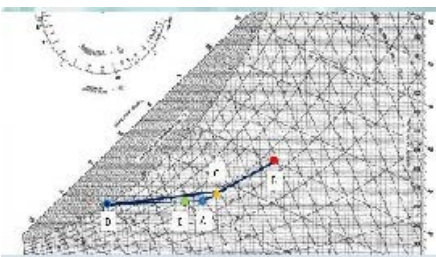
La guida completa per gli ambienti a contaminazione controllata è rappresentata dalle serie EN ISO 14644 e 14698, giunte alla seconda generazione. A livello europeo esiste un'altra valida serie di linee guida con obiettivi analoghi: le VDI 2083 Clean Room Technology pubblicata dalla tedesca VDI (Verein Deutscher Ingenieure). L'obiettivo di questa terza generazione, pienamente armonizzata con la serie delle ISO 14644, è quello di illustrare come impiegare questi standard ISO e fornire un livello più approfondito di condotta. In più, la serie delle linee guida VDI 2083 copre argomenti non trattati (o non ancora trattati) a livello ISO, ad esempio sono espresse linee guida sull'acqua ultrapura per applicazioni, nella microelettronica e nelle industrie scientifiche e la linea guida inerente il training degli operatori negli ambienti controllati e dei loro supervisori. L'ultimo addendum delle VDI 2083, parte 4.2 pubblicata nell'Aprile 2011, è dedicato all'efficienza energetica. Una politica coerente sul risparmio energetico e sulla gestione energetica è il fondamento per un approccio sistematico all'ottimizzazione energetica dei sistemi a contaminazione controllata. Senza una policy chiara risulta molto difficile trasmettere questa filosofia e incorporarla in modo sistematico e considerevole tra le priorità primarie. La linea guida VDI 2083 parte 4.2 "Efficienza Energetica" e le sue procedure operative è un eccellente strumento per l'ottimizzazione energetica negli ambienti a contaminazione controllata. *È applicabile sia ad impianti esistenti che ad impianti di nuova progettazione e realizzazione.* L'obiettivo della linea guida è quello di identificare concetti e procedure, e di proporre azioni corrispondenti a livello hardware e software.



La filosofia che sta alla base della linea guida è che il risparmio energetico e l'ottimizzazione nelle produzioni "pulite" non devono in nessuno modo interferire con i requisiti di processo, i quali devono avere sempre la priorità assoluta.

Nonostante le recenti norme nazionali contengano queste guide dettagliate sul risparmio energetico nelle camere bianche, la questione resta complessa e non completamente indagata nell'attuazione pratica.

### **Tecniche**



In bibliografia i metodi proposti per il risparmio energetico in Clean Room sono di carattere generale (applicabili a tutti i tipi di locali ed edifici) e/o specifico. I metodi generali si concentrano su:

- minimizzare il guadagno e/o le perdite termiche
- riciclare l'aria con poco utilizzo di aria esterna, nel rispetto della sicurezza

- posizionare gli impianti in zone climatiche dove non è necessario avere elevate potenze estive e invernali
- utilizzare ventilatori ad alta efficienza
- evitare tolleranze restrittive inutili per la temperatura e l'umidità
- rimuovere il carico di calore in eccesso dalle attrezzature di processo con mezzi integrati locali.

I metodi specifici prendono in considerazione le caratteristiche della camera bianca e comprendono:

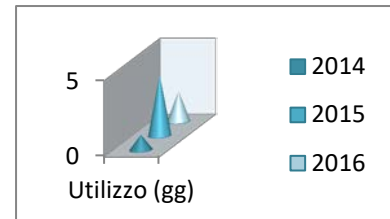
- ridurre al minimo le dimensioni delle camere bianche;
- evitare sovra-specifiche della classe di pulizia;
- impiego di filtri HEPA con perdite di carico ridotte;
- sigillare tutte le perdite;
- prevedere delle protezioni per la zona con il grado di pulizia più alto richiesto dal processo;
- ridurre al minimo il personale e utilizzare tecnologie che non richiedono personale (sistemi chiusi, RABS, isolatori)
- curare i comportamenti degli operatori, l'abbigliamento, l'igiene e la formazione..
- ridurre la portata d'aria in condizione "at rest"
- evitare una sovra-specifica dei ricambi e recovery time
- determinare l'effettiva portata d'aria richiesta durante i test e il funzionamento e impostare il numero di ricambi su questi dati.

Ovviamente il consumo è influenzato da fattori quali il carico termico interno, le espulsioni locali ed il personale presente, che variano a seconda dei processi che sono svolti all'interno del locale controllato. Ma il trend è chiaro: il consumo di energia cresce notevolmente da una classe di pulizia all'altra, e può variare pesantemente a seconda del numero di ricambi e dei rinnovi.

### **Pianificazione e attività della facility IASF Bologna**

Nell'ultimo triennio 2014-2016, l'attività lavorativa non ha contemplato operazioni di calibrazione e assemblaggio di detector spaziali con stringenti requisiti di controllo ambientale, conseguentemente l'infrastruttura è stata soggetta a periodi di inattività anche prolungati. L'ingresso del personale è stato minimo in numero di ore di permanenza e frequenza, limitato quasi alla sola manutenzione.

A seguito di un sondaggio che ha evidenziato che anche nel triennio 2017-2019 non sono programmate campagne di test che necessitano della camera bianca si è ritenuto doveroso effettuare una stima economica grossolana dei consumi a servizio del laboratorio e l'effettiva necessità di mantenere questo laboratorio speciale operativo.



L'indagine ha nel contempo evidenziato l'esigenza di alcuni Responsabili di Progetto in essere (EGSE Euclid/NISP e ALMA) che pur non avendo pianificato test imminenti da condurre in ambiente controllato vedono nell'infrastruttura efficiente, o in condizioni di esserlo senza complicate e costose operazioni di ripristino, una risorsa indispensabile sia in fase di richieste di fondi in progetti nazionali e internazionali, che come fallback per le attività di servizio agli esperimenti:

- misure di integrazione HW/SW dell'unità elettronica di volo di NISP (uso congiunto con INFN - sezione di Bologna)
- ispezione e operazioni di pulizia di rivelatori e strumenti a microonde e attrezzatura per vuoto e criogenia
- attività future "conto terzi".

### **Stima dei consumi**

L'analisi dei consumi energetici è stata condotta attraverso approfonditi studi di bibliografia, analisi dei test di routine e buone pratiche che hanno suggerito di agire sulle tre fasi principali che contraddistinguono la facility:

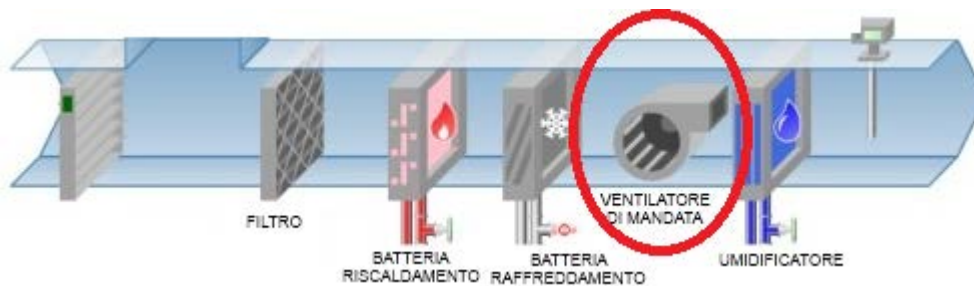
- *Design* - tiene conto di elementi necessari in materia di igiene e di sicurezza, espulsioni locali, carichi termici al fine di stimare i ricambi con un ragionevole margine
- *Test* - determina l'effettiva generazione di particelle per quantificare il margine senza peggiorare il processo
- *Funzionamento* -
  - segue le buone pratiche operative
  - monitora la pulizia dell'aria per fare un'analisi dei trend
  - stima la reale generazione di particelle durante il funzionamento con un'analisi dei trend e conseguente monitoraggio
  - considera il margine per far operare la camera bianca a capacità ridotta.



Localmente, tenuto conto dell'impiantistica, si sono considerate tali linee guida e le si è contestualizzate per quanto possibile alla camera bianca in oggetto attribuendo i costi dominanti e di



pertinenza diretta all'Istituto, alla quota elettrica.



Al momento della stesura di questo documento la stima attuale complessiva dei consumi elettrici legati agli impianti meccanici VCCC a servizio della

camera pulita evidenzia un costo annuo pari a circa 3000 euro calcolati in funzione delle misure di potenze TRMS assorbite dal sistema motore di ventilazione/ pompa di rilancio/valvole/trasformatori pari a quasi 1800W di cui circa 1600 imputabili al ventilatore di Mandata, Ripresa ed Espulsione.

### **Conoscenza impianti CNR**

Rendere fruibili in IASF Bologna le linee guida (tecniche e normativa) precedentemente considerate in funzione di una gestione ottimale impone una progettazione integrata che vede coinvolte diverse figure professionali (progettisti, manutentori e utilizzatori) e sistemi di supervisione e regolazione dinamica degli impianti di tipo elettronico che permettono un dialogo tra i vari componenti dell'infrastruttura per avere in ogni momento la massima efficienza, variando attivamente, in funzione del carico e delle condizioni esterne, i set point e le portate dei fluidi (acqua, aria e refrigerante).

La sfida è riuscire a trasferire agli impianti di vecchia data (Studio Lenzi & Associati Design 1988-1990 – Building 1991-1993) le modifiche tecnologiche e le opportunità che i nuovi prodotti e le nuove normative tedesche suggeriscono.

Premesso che la formazione degli operatori è sempre importante, lo è ancora di più in un contesto in rapida evoluzione come quello descritto. In qualità di Responsabili dell'impianto abbiamo trovato competenze e supporto oltre che in bibliografia, nella stretta collaborazione tra operatori del settore



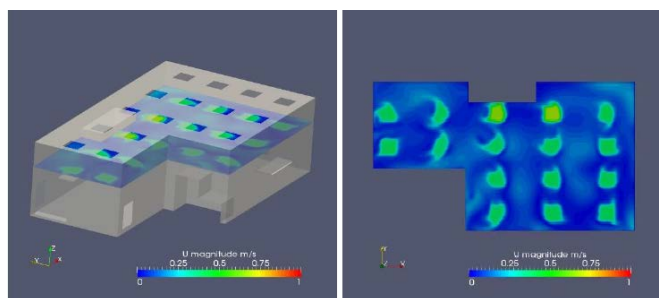
interni all'Area di Ricerca, le società che operano la manutenzione ordinaria degli apparati VCCC CNR/INAF e le aziende esterne specializzate a cui si è fatto ricorso per consulenza professionale.

Questo coordinamento ha permesso di confrontare esperienze e strategie comuni perseguite e perseguibili in una logica di energy saving e ha inoltre facilitato l'interazione e la valutazione di studi specialistici proposti da ditte esterne.



### Consulenze esterne all'Area CNR/INAF

TECHNICONCONSULT, leader nazionale nella fornitura di filtri per l'aria e soluzioni per la filtrazione, ha proposto tecniche di revamping e best practice attraverso procedure di simulazione fluidodinamica CFD dei flussi all'interno della Clean Room, previa modellazione degli spazi, delle apparecchiature di processo e successiva discretizzazione del modello, nelle condizioni di funzionamento nominali (piena portata di progetto, stato occupazionale at rest). Questo studio ingegneristico consente di valutare l'efficacia di ventilazione dell'impianto in ogni punto del locale e quindi di individuare i punti critici relativamente al livello di pulizia. Utilizzando i dati di qualifica nelle stesse condizioni di funzionamento rende inoltre possibile calcolare il carico inquinante medio effettivo in camera ricavando i valori di efficacia di ventilazione ( $\epsilon$ ), la classe di pulizia ottenibile in ambiente e il minimo valore di portata necessario a mantenere la classe richiesta in condizioni di inattività.



Esempio di simulazione CFD dei flussi d'aria in una cleanroom a flusso turbolento: andamento spaziale del modulo di velocità dell'aria sul piano di sezione.

Tale proposta di studio, sebbene accurata, si è rivelata troppo onerosa ma ha sottolineato la strada da perseguire, la riduzione dei set-back di portata e dei parametri termoigrometrici durante il non utilizzo e cioè quella che in gergo viene definita "modalità ridotta".

### Consulenze interne all'Area CNR/INAF

In collaborazione con i Responsabili CNR di camere bianche, con cui IASF Bologna condivide il layout degli impianti tecnologici aerulici, meccanici ed elettrici si è fatto molto attraverso specifiche sessioni di lavoro collegiali al fine di aumentare l'efficienza globale delle macchine HVAC, prevedendo e attuando una serie di attività volte ad esaminare primariamente il controllo particellare nella sua globalità e secondariamente l'attenuazione della portata immessa in ambiente in condizioni di inattività.

L'attività ha percorso i seguenti step:

-completamento, acquisizione, informazioni e dati (planimetrie, disegni, schemi di progetto, evidenze di precedenti azioni di qualifica/controlli periodici, ecc.)

-sopralluogo in Clean Room e sull'impianto HVC posto al piano tecnico dell'edificio IASF Bologna

-rilievo degli arredi tecnici/ apparecchiature di processo presenti in campo

-consultazione delle misurazioni strumentali del settembre 2016 (riclassificazione dell'impianto) per reperimento dati funzionali

-ipotesi di set-back di temperatura/umidità relativa e stima del risparmio.

I deliverables ideali per la sostenibilità energetica degli impianti dell'Area di Ricerca CNR/INAF sono stati identificati in:

- misuratori di energia: sistemi di misura dei consumi energetici per ogni sistema impiantistico e sottosistema (come misura di energia elettrica, gas vapore industriale, acqua calda e acqua refrigerata)
- efficienza elettrica: installazione di motori ad alta efficienza completi di sistemi VSD
- sistema di illuminazione: prevedere l'installazione di corpi illuminanti a basso consumo e prevedere un sistema di controllo delle luci nelle fasce orarie
- riduzione dei ricambi ora: prevedere un sistema che, durante le fasi non lavorative, riduca il gradiente di pressione e ricambi ora.
- riduzione della percentuale di aria esterna per le zone non a rischio.

Le strade perseguibili localmente hanno sottolineato che le tecniche di buona pratica sono un aspetto dominante nella riduzione dei consumi. Le cattive pratiche operative, riscontrabili in alcune camere bianche, fanno sì che le persone contaminano la camera bianca più del necessario e che si ricorra quindi ad un aumento dei riciccoli per il mantenimento della classe di contaminazione. Il personale, infatti è la fonte principale di inquinamento in una Clean Room, insieme al processo (in quantità decisamente inferiore); ne consegue che riducendosi il carico inquinante aerotrasportato è possibile ridurre il valore della portata immessa in ambiente perché si riduce la necessità di rimozione (per diluizione) della contaminazione particellare.

Secondariamente si è tenuto conto che la potenza assorbita dal sistema di ventilazione è proporzionale alla terza potenza della portata immessa, ne consegue che la riduzione di quest'ultima può portare a significativi risparmi energetici.

Parallelamente a questa modalità operativa si è anche ipotizzato, sempre in condizioni di assenza di personale e di attività di processo, di resettare i parametri termoigrometrici interni su valori meno stringenti ("set-back" di temperatura e di umidità relativa su valori generalmente più elevati nella stagione estiva e più bassi in quella invernale). In questo caso i risparmi sono attribuibili alla minore energia richiesta dagli scambiatori per il controllo della temperatura e dai sistemi di umidificazione/deumidificazione.

Nel caso di Clean Room con basso coefficiente di utilizzo i risparmi conseguibili con i set-back di portata e dei parametri termoigrometrici può essere molto significativo, anche dell'ordine del 30-40%.

La sfida di questo lavoro è garantire la conformità con le normative attuali e future e che questo sia fatto in maniera economicamente efficace, con decisioni prese sulla base di una gestione a lungo termine piuttosto che di un'opportunità a breve durata. La modalità ridotta tiene conto di tutti questi aspetti.

### *Spegnimento impianto HVC*

Durante le sessioni specialistiche CNR/INAF sono state considerate le indicazioni della Direzione IASF a valutare le implicazioni di un ipotetico spegnimento dei motori e sigillatura del locale camera pulita e, gli eventuali rischi e/o costi aggiuntivi, in occasione di un'eventuale successiva riaccensione dell'impianto.





***Le Clean Room (e tutto ciò che la gestisce) non sono progettate per essere spente.***

Lo spegnimento del sistema potrebbe avere conseguenze sul ripristino di uno stato conforme alle normative in vigore, e potrebbe essere complesso eseguire ogni volta la riqualificazione. Durante il periodo OFF le condizioni di pressione del particolato sarebbero fuori controllo in quanto non è strutturalmente possibile l'ermeticità del locale.

Gli impianti HVCC in dotazione all'Area CNR/INAF sono di "vecchia generazione" e sono stati concepiti, studiati/pensati/costruiti/assemblati per funzionare 24/7.

La riaccensione deve inevitabilmente prevedere la bonifica, ad impianto aria funzionante, con personale istruito, dei locali e dei materiali ivi contenuti. Il locale deve poi essere lasciato in modalità "at rest" per almeno 24 ore, in funzione di un recovery time opportuno in modo da assicurare un buon lavaggio dell'ambiente ("pulire" significa anche "sporcare").

Successivamente è necessario procedere alla riqualificazione della camera pulita alla classe di origine da parte di una ditta specializzata ipotizzando che tutto l'impianto UTA (condotti compresi) siano rimasti puliti e integri.

In conclusione l'opzione in esame, non caldeggiata dai Responsabili di Progetto per le ragioni esposte nella sezione "*Pianificazione e attività della facility IASF Bologna*", non ha trovato positivo riscontro tecnico nei Responsabili del settore Clean Room technology dell'Area di Ricerca CNR/INAF.

Tali valutazioni sono state trasferite alla Direzione IASF Bologna che ha recepito l'orientamento negativo nei confronti di un ON/OFF dell'impianto e ha suggerito di sviluppare una proposta con relativo investimento supplementare finalizzato all'attenuazione della portata immessa durante i periodi di non utilizzo.

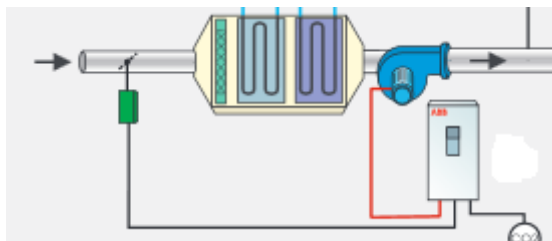
### ***Identificazione strategia perseguibile***

Un restringimento delle performance del sistema di ventilazione - riduzione del volume di aria- è il metodo di diminuzione dei consumi "casalinghi e a basso costo" proposto in questo documento.

La Modalità Ridotta deve comunque garantire che:

- in tutte le condizioni di operatività, la ventilazione ad aria filtrata deve mantenere una pressione positiva rispetto alle zone circostanti di classe inferiore e garantire un efficace ricambio di aria
- non si violino i limiti specifici della Clean Room (classe della Clean Room, i valori specifici per prodotto e le condizioni di pressione). I limiti devono essere definiti in ciascun caso per lo status operativo e la modalità ridotta deve avere valori minimi e massimi
- la struttura raggiunga uno status di compliance in tempo utile per l'inizio della produzione.
- monitoraggio indipendente al fine di monitorare costantemente e documentare i parametri menzionati sopra

- assicurare che non vi siano interferenze esterne nell'ambiente controllato
- monitoraggio in entrata.



La riduzione del volume d'aria è possibile controllando la velocità del motore attraverso il posizionamento di un convertitore di frequenza o inverter davanti al Ventilatore di Mandata, strumento estremamente prezioso per conseguire gli obiettivi del sistema HVAC, dato che la potenza maggiore è legata al motore, l'inverter permette di variare la velocità di rotazione riducendo i numeri di giri del motore con conseguente risparmio energetico adattando la potenza del sistema alle reali necessità.

Localmente si propone il convertitore di frequenza modello ACH550-01 IP54 della ditta ABB che consente l'operatività del motore del ventilatore con 2 velocità costanti ben definite e abbassa, durante la Modalità Ridotta, la potenza assorbita di 1200W, garantendo comunque il minimo numero di ricambi aria nei periodi di inattività del locale con un risparmio annuo calcolato pari a 1900 euro (-30/40%) e la massima efficienza energetica.



Anche se questa non è la migliore applicazione dell'inverter nei sistemi HVAC in quanto non permette al drive di modulare su tutto il campo di frequenze, permette comunque di ottenere un buon risparmio energetico quando si riesce a far girare il motore alla velocità inferiore.

Mantenere la Clean Room in modalità "ridotta" (in termini di ventilazione, sovrappressioni, temperatura e umidità), consente di mantenere il locale pulito anche senza che vi sia effettuata la pulizia standard e nel caso di "fermo" nel lungo periodo sarà sufficiente fare una pulizia, non una decontaminazione, il giorno prima del suo utilizzo. Questa soluzione mette al riparo anche molteplici complicazioni future in termini di pulizia dei condotti dell'aria che se vengono "fermati" rischiano di sporcarsi.

### ***Futuro prossimo venturo***

Il metodo identificato in questo documento ha il vantaggio immediato della riduzione dei consumi oltre a rappresentare la fase iniziale di un progetto a più largo respiro che potrebbe prevedere la sostituzione dei regolatori di pressione e di temperatura e la totale gestione dell'impianto in remoto.

#### ***• Controllo ventilazione:***

Stesura di nuova elettroconduttura realizzata con cavo multipolare e canalizzazioni in pvc, dimensionata per il riporto degli allarmi visivi relativi a sovrappressione, temperatura e umidità della camera bianca a partire dal quadro in copertura fino all'interno del vestibolo loc 613 e del pannello di controllo dell'inverter entro vestibolo per segnalare un'eventuale stato d'allarme del convertitore di frequenza.

Il funzionamento può essere commutato tra due stati: automatico e manuale; in automatico la portata viene selezionata da un crono-programmatore (OR) che permette di impostare la fascia oraria ed i giorni della settimana in cui la portata è normale o ridotta.

• ***Variazione della temperatura:***

Controllo della temperatura della camera, l'utente può impostare un diverso valore.

***Conclusioni***

Le infrastrutture che vogliono risparmiare sui costi energetici attraverso la scelta di particolari attrezzature o di processi “green” devono necessariamente prevedere per ogni progetto un calcolo determinando i parametri e specificando gli obiettivi. Solo a valle di questa analisi è possibile realizzare un approccio significativo su come integrare il consumo di energia con le decisioni di investimento e – infine – con la riduzione dei costi.

Per il calcolo del consumo energetico devono essere presi in considerazione un certo numero di condizioni, quali la dimensione del locale, i ricambi d'aria, la velocità di aria fresca, la temperatura della camera bianca, la temperatura dell'aria esterna, i tassi di recupero dell'aria esterna, i tassi di recupero del calore così come i carichi termici.

Questi dati specifici possono avere un'influenza importante sui risultati, dipendendo dal clima locale o dalle temperatura stagionali.

Solo una ben studiata combinazione di salti di pressione, immissione dell'aria nei locali, adeguate procedure di lavoro, movimentazione dei materiali e l'adozione di adeguato vestiario da parte del personale, possono garantire il raggiungimento degli obiettivi previsti: la sicurezza dei lavoratori, la qualità e sterilità del prodotto e il controllo dei consumi energetici.

### Documenti di riferimento

- Energy saving nella cleanroom - riduzione della velocità dell'aria nei filtri HEPA e rilevazione impatto sui parametri ambientali in una cleanroom per semiconduttori - D. Gioni  
A&LCO Industries (Cologno Monzese - MI) 2009
- High Efficiency Particulate Air (HEPA) Filter Velocity Reduction Study International  
SEMATECH Manufacturing Initiative (Technology Transfer #06084775A-TR) – 2006
- VDI 2083 parte 4.2, pubblicata nell'Aprile 2011
- Il risparmio energetico i cleanroom, A. Fedotov, ASCA News n. 4/2014
- RABS e Isolatori: i consumi energetici come termine di paragone, J. Raushnabel Ascca News n. 2/2015
- Ten tips for cleanroom energy efficiency, Peter Rumsey, P.E., CEM; Lee Eng Lock & Chris Lotspeich
- ACH50 Convertitori di frequenza per HVAC ABB
- Documento Call 2017
- Verbale Riunione N. 312 Dicembre 2016
- Proposta economica CEFLA

