



PROGETTAZIONE DELLE SALE OPERATORIE

Impianti HVAC per sale operatorie

Ing. Aldo DELIA

Presidente Commissione Progettazione Integrata in ambito sanitario

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

Roma, 20/06/2026



Impianti HVAC per sale operatorie

Heating, Ventilation and Air
Conditioning

Sistema integrato per il controllo di
temperatura, umidità e qualità dell'aria

Ordine Ingegneri di Roma 20/06/2026

Ing. Aldo DELIA Presidente Commissione
Progettazione Integrata in Ambito Sanitario

Obiettivi didattici

- Comprendere i requisiti microclimatici
- Confrontare Italia, USA e Regno Unito
- Valutare impatto energetico e gestionale
- Introdurre approccio risk-based



Struttura del corso

- Contesto clinico e ruolo dell' HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) nel blocco operatorio
- Parametri microclimatici chiave: temperatura, UR, ACH, pressioni e filtrazione
- Confronto normativo tra **Italia**, Stati Uniti e Regno Unito
- Tipologie impiantistiche: turbolento, laminare, sistemi ibridi e VCCC
- Efficienza energetica, recupero di calore e logiche di automazione
- Prestazione basata sul rischio, gestione operativa e conclusioni



Perché l HVAC è critico in sala operatoria

- **Sicurezza del paziente**
 - contenimento del rischio infettivo e protezione del campo operatorio
- **Sicurezza del personale**
 - diluizione di contaminanti, comfort termoigrometrico e continuità operativa
- **Prestazione del sistema**
 - mantenimento di pressione positiva, filtrazione efficace e pattern di flusso controllato
- **Sostenibilità**
 - l' area operatoria è tra le più energivore dell' ospedale



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- **Sicurezza del paziente**
 - contenimento del rischio infettivo e protezione del campo operatorio

Il contenimento del rischio infettivo in sala operatoria mira a prevenire le **infezioni del sito chirurgico**, tra le principali infezioni correlate all'assistenza, associate a maggiore degenza, reinterventi e mortalità.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- **Sicurezza del paziente**

- contenimento del rischio infettivo e protezione del campo operatorio

Misure fondamentali:

1.Preparazione del paziente

1. igiene preoperatoria;
2. tricotomia solo se necessaria, preferibilmente con clipper;
3. antisepsi cutanea accurata;
4. profilassi antibiotica secondo procedura, timing e rischio.

2.Protezione del campo operatorio

1. corretta vestizione sterile di équipe e paziente;
2. teli sterili e barriere impermeabili;
3. mantenimento dell'asepsi durante tutta la procedura;
4. sostituzione immediata di materiali contaminati;
5. controllo degli accessi e riduzione del traffico in sala.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- **Sicurezza del paziente**

- contenimento del rischio infettivo e protezione del campo operatorio

Misure fondamentali:

3. Ambiente e strumentario

1. sterilizzazione e tracciabilità dei dispositivi;
2. ventilazione e pulizia ambientale;
3. gestione sicura di liquidi, garze, ferri e superfici;
4. rispetto dei percorsi pulito/sporco.

4. Comportamenti dell'équipe

1. igiene delle mani;
2. tecnica sterile rigorosa;
3. comunicazione tempestiva in caso di contaminazione;
4. checklist chirurgica e sorveglianza post-operatoria.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- Sicurezza del personale
 - diluizione di contaminanti, comfort termoigrometrico e continuità operativa

Nelle strutture sanitarie, in particolare nei blocchi operatori, gli impianti tecnologici svolgono un ruolo fondamentale nel garantire sicurezza clinica, qualità ambientale e continuità delle attività assistenziali.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- Sicurezza del personale

Diluizione dei contaminanti

La diluizione dei contaminanti consiste nella riduzione della concentrazione di particelle, microrganismi e agenti inquinanti presenti nell'aria mediante adeguati sistemi di ventilazione e filtrazione.

Gli obiettivi principali sono:

- limitare il rischio infettivo;
- mantenere la sterilità del campo operatorio;
- proteggere pazienti e operatori.

Le principali misure adottate comprendono:

- elevato numero di ricambi d'aria;
- ventilazione a flusso laminare o turbolento controllato;
- filtrazione HEPA;
- controllo delle pressioni differenziali tra ambienti;
- monitoraggio continuo della qualità dell'aria.

Nelle sale operatorie la corretta gestione dei flussi d'aria permette di allontanare particelle contaminate generate da personale, strumenti e procedure chirurgiche, riducendo il rischio di infezioni del sito chirurgico.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- Sicurezza del personale

Comfort termoigrometrico

Il comfort termoigrometrico rappresenta la condizione ambientale ottimale in termini di:

- temperatura;
- umidità relativa;
- velocità dell'aria.

In ambito sanitario esso è fondamentale sia per il benessere degli operatori sia per la sicurezza del paziente.

Parametri non corretti possono causare:

- discomfort e affaticamento del personale;
- alterazioni della termoregolazione del paziente;
- aumento del rischio infettivo;
- formazione di condensa o elettricità statica.

In sala operatoria vengono normalmente mantenuti:

- temperatura controllata;
- umidità relativa stabile;
- ventilazione uniforme e controllata.

Il mantenimento di condizioni termoigrometriche adeguate contribuisce anche alla corretta conservazione dei materiali sterili e al buon funzionamento delle apparecchiature elettromedicali.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- Sicurezza del personale

Continuità operativa

La continuità operativa garantisce il funzionamento costante delle attività sanitarie anche in presenza di guasti, emergenze o interruzioni dei servizi tecnologici. Per assicurare tale continuità le strutture ospedaliere adottano:

- gruppi di continuità (UPS);
- gruppi elettrogeni;
- ridondanza degli impianti critici;
- sistemi di monitoraggio e allarme;
- manutenzione programmata e preventiva;
- piani di emergenza e disaster recovery.

Nel blocco operatorio la continuità operativa è essenziale perché eventuali interruzioni di energia, ventilazione o gas medicali possono compromettere la sicurezza del paziente e la prosecuzione dell'intervento chirurgico.

L'integrazione tra gestione impiantistica, manutenzione e organizzazione sanitaria rappresenta quindi un elemento strategico per garantire qualità, sicurezza e affidabilità delle cure.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- **Prestazione del sistema**

- mantenimento di pressione positiva, filtrazione efficace e pattern di flusso controllato

Nel blocco operatorio il controllo della contaminazione aerotrasportata rappresenta un elemento essenziale per la prevenzione del rischio infettivo. A tal fine gli impianti di ventilazione e condizionamento devono garantire pressione positiva, elevata filtrazione dell'aria e corretti pattern di flusso.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- **Prestazione del sistema**

- mantenimento di pressione positiva, filtrazione efficace e pattern di flusso controllato

Mantenimento di pressione positiva

La pressione positiva consiste nel mantenere la pressione dell'aria all'interno della sala operatoria superiore rispetto agli ambienti adiacenti.

Questo sistema permette:

- di impedire l'ingresso di aria contaminata proveniente da corridoi o locali limitrofi;
- di proteggere il campo sterile;
- di ridurre la diffusione di microrganismi e particelle.

Quando la porta della sala viene aperta, l'aria tende infatti a fuoriuscire verso l'esterno anziché entrare, contribuendo al mantenimento delle condizioni di asepsi.

Il corretto mantenimento della pressione positiva richiede:

- controllo continuo delle differenze di pressione;
- porte chiuse durante gli interventi;
- limitazione del traffico di personale;
- adeguata progettazione dei percorsi pulito/sporco.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- **Prestazione del sistema**

- mantenimento di pressione positiva, filtrazione efficace e pattern di flusso controllato

Filtrazione efficace

La filtrazione dell'aria è fondamentale per rimuovere particelle solide, polveri e contaminanti microbiologici presenti nell'ambiente.

Nei blocchi operatori vengono generalmente utilizzati:

- filtri ad alta efficienza (HEPA);
- sistemi multistadio di prefiltrazione;
- monitoraggi periodici delle prestazioni filtranti.

I filtri HEPA sono in grado di trattenere una percentuale molto elevata di particelle microscopiche, contribuendo alla riduzione della contaminazione batterica dell'aria.

Una filtrazione efficace:

- migliora la qualità microbiologica ambientale;
- riduce il rischio di infezioni del sito chirurgico;
- protegge pazienti, operatori e apparecchiature.

La manutenzione e la sostituzione programmata dei filtri sono essenziali per garantire nel tempo le prestazioni del sistema.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- **Prestazione del sistema**

- mantenimento di pressione positiva, filtrazione efficace e pattern di flusso controllato

Pattern di flusso controllato

Il pattern di flusso rappresenta la modalità con cui l'aria viene immessa, distribuita ed estratta all'interno della sala operatoria.

L'obiettivo è:

- evitare turbolenze incontrollate;
- allontanare rapidamente particelle e contaminanti;
- mantenere pulita l'area chirurgica.

I principali sistemi utilizzati sono:

- flusso laminare unidirezionale;
- ventilazione turbolenta controllata.

Nel flusso laminare l'aria filtrata viene immessa verticalmente dall'alto verso il basso con velocità uniforme, creando una "zona protetta" sopra il tavolo operatorio.



Perché l'HVAC è critico in sala operatoria

- **Prestazione del sistema**

- mantenimento di pressione positiva, filtrazione efficace e pattern di flusso controllato

Il corretto controllo dei flussi d'aria dipende anche da:

- disposizione di lampade e apparecchiature;
- posizione degli operatori;
- limitazione dei movimenti inutili;
- corretta collocazione delle bocchette di mandata e ripresa.

La combinazione di pressione positiva, filtrazione avanzata e pattern di flusso controllato costituisce quindi uno dei principali strumenti di prevenzione del rischio infettivo nelle sale operatorie moderne.



Parametri microclimatici e quadro normativo

- Parametri comuni a tutti i sistemi normativi
- Confronto dei range ammessi
- Differenze di filosofia progettuale



Parametri microclimatici chiave

Sono parametri comuni nei diversi Paesi; cambiano range, dettaglio e prescrittività.

- **Temperatura dell' aria** in ambiente operatorio
- **Umidità relativa** e controllo del rischio di discomfort/condensa
- **Ricambi d' aria orari** (ACH - Air Changes per Hour) e quota di aria esterna
- **Pressione positiva** rispetto agli ambienti adiacenti
- **Filtrazione assoluta HEPA** nelle zone critiche
- **Pattern di flusso:** miscelazione, unidirezionale, configurazioni ibride



Confronto sintetico delle condizioni microclimatiche

Parametro	Italia	USA (ASHRAE/CDC)	UK (HTM 03-01)
Temperatura	20–24 °C	~20–23 °C	18–24 °C
Umidità relativa	40–60%	20–60%	~40–60%
Ricambi aria	≥ 15 vol/h esterni	≥ 20 ACH totali	≥ 20 ACH o più
Pressione	Positiva	Positiva	Positiva con gradiente
Approccio	Normativo + ISO	Prestazionale	Prescrittivo + gestionale
Focus	Comfort + igiene	Performance HVAC	Sicurezza + gestione



Italia: riferimenti e impostazione

Riferimenti principali

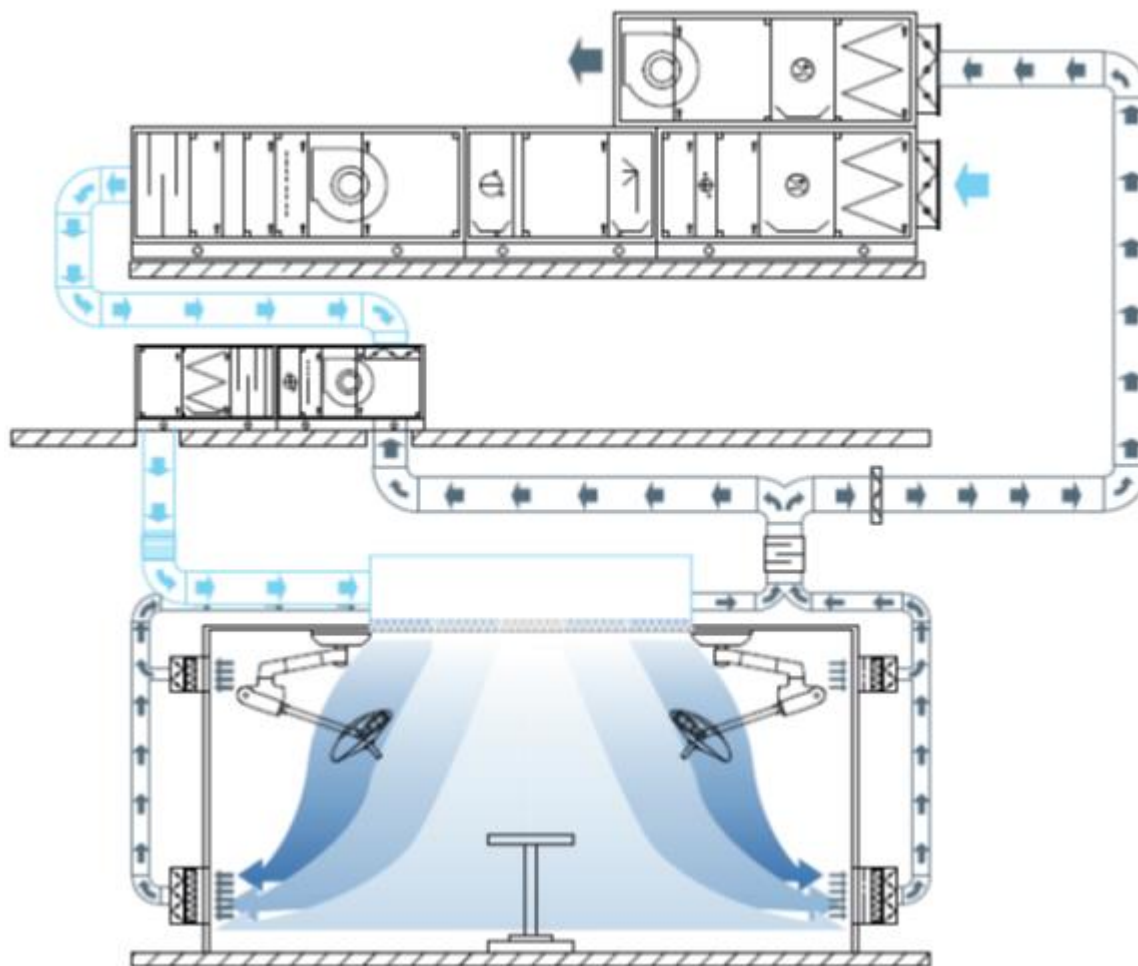
- DPR 14/01/1997 + Decreti requis. Minimi regionali
- Linee guida ISPESL/INAIL
- UNI 11425 per impianti VCCC (Ventilazione e Climatizzazione a Contaminazione Controllata)
- Legame con norme ISO cleanroom

Caratteristiche

- **Approccio misto prescrittivo + prestazionale**
- Focus su **comfort termoigrometrico**
- Attenzione al **controllo contaminazione microbiologica**
- **Struttura normativa meno dinamica** dei modelli UK/USA



Italia: riferimenti e impostazione





Stati Uniti e Regno Unito: approcci a confronto

USA (ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers **+ CDC** - Centers for Disease Control and Prevention)

- Impostazione ingegneristica e più flessibile
- Enfasi sulla performance del sistema HVAC
 - Maggiore apertura a simulazioni CFD (Computational Fluid Dynamics) – con applicazione di strumenti ingegneristici avanzati che utilizzano algoritmi numerici per analizzare e prevedere il comportamento di fluidi (liquidi o gas) in movimento, inclusi scambio termico e turbolenze, basandosi sulle equazioni di Navier-Stokes
- Range di umidità più ampio

Regno Unito (HTM 03-01)

- Approccio fortemente strutturato e gestionale
- Design, validazione e manutenzione nello stesso framework

Nelle strutture sanitarie moderne, in particolare nei blocchi operatori, il raggiungimento di elevati standard di sicurezza ambientale richiede un approccio integrato che comprenda progettazione, validazione e manutenzione all'interno di un unico framework gestionale e tecnico.
- Classificazione degli ambienti per rischio clinico
- Controllo del gradiente clean → less clean



Design degli impianti e degli ambienti

La fase di design rappresenta il momento in cui vengono definite le caratteristiche architettoniche, impiantistiche e funzionali necessarie per garantire sicurezza, efficienza e qualità ambientale.

La progettazione deve considerare:

- destinazione d'uso degli ambienti;
- classificazione delle sale operatorie;
- percorsi pulito/sporco;
- controllo dei flussi di persone e materiali;
- requisiti termoigrometrici;
- ventilazione e filtrazione dell'aria;
- ridondanza degli impianti critici.

Un corretto design consente di:

- ridurre il rischio di contaminazione;
- migliorare l'ergonomia operativa;
- facilitare manutenzione e controlli;
- garantire continuità assistenziale.



Design degli impianti e degli ambienti

La progettazione deve inoltre essere coerente con normative tecniche, linee guida sanitarie e principi di risk management.

Validazione delle prestazioni

La validazione consiste nella verifica documentata che ambienti e impianti soddisfino i requisiti progettuali e prestazionali previsti.

Nel blocco operatorio vengono generalmente eseguiti:

- test dei ricambi d'aria;
- verifiche di pressione differenziale;
- controlli di temperatura e umidità;
- prove di integrità dei filtri HEPA;
- misure particellari e microbiologiche;
- verifica dei pattern di flusso dell'aria.



Design degli impianti e degli ambienti

La validazione permette di:

- confermare l'efficacia dei sistemi installati;
- individuare eventuali criticità;
- certificare il rispetto degli standard richiesti;
- garantire la sicurezza del paziente.

Tali verifiche devono essere effettuate:

- in fase di collaudo iniziale;
- dopo interventi manutentivi rilevanti;
- periodicamente durante l'esercizio.



Design degli impianti e degli ambienti

Manutenzione e monitoraggio continuo

La manutenzione rappresenta l'insieme delle attività necessarie per mantenere nel tempo le prestazioni di impianti e ambienti.

Comprende:

- manutenzione preventiva;
- manutenzione correttiva;
- manutenzione predittiva;
- monitoraggio continuo dei parametri critici.



Design degli impianti e degli ambienti

Nel contesto sanitario la manutenzione assume un ruolo strategico perché eventuali malfunzionamenti possono compromettere:

- sterilità ambientale;
- continuità operativa;
- sicurezza clinica;
- qualità delle cure.

Un efficace programma manutentivo deve prevedere:

- pianificazione degli interventi;
- tracciabilità delle attività;
- gestione documentale;
- controlli periodici;
- formazione del personale tecnico e sanitario.



Approccio integrato nel framework gestionale

L'integrazione tra design, validazione e manutenzione consente di adottare un modello di gestione basato sul miglioramento continuo e sulla prevenzione del rischio.

Questo framework integrato permette di:

- mantenere costanti le prestazioni ambientali;
- ottimizzare affidabilità ed efficienza energetica;
- ridurre i tempi di fermo impianto;
- garantire conformità normativa;
- supportare i processi di accreditamento sanitario.



Approccio integrato nel framework gestionale

L'approccio sistemico favorisce inoltre la collaborazione tra:

- progettisti;
- ingegneri clinici;
- manutentori;
- direzione sanitaria;
- risk manager;
- personale di sala operatoria.

In questo modo la sicurezza ambientale non viene considerata come una semplice caratteristica tecnica dell'impianto, ma come un processo dinamico e continuo, fondamentale per la qualità dell'assistenza sanitaria.



Lettura ingegneristica delle differenze normative

- **Italia**: requisito più ancorato al numero minimo di ricambi e al rispetto formale
- **USA**: maggiore flessibilità per ottimizzare il comportamento reale del flusso
- **UK**: maggiore dettaglio su gestione, qualifica, verifiche e audit
- Trend internazionale: meno centralità dell'ACH (Ricambi d'aria orari)“ puró , **più attenzione a pattern di flusso e contaminazione reale**



Trend internazionale: minore centralità dell'ACH "puro" e maggiore attenzione ai pattern di flusso e alla contaminazione reale

Negli ultimi anni, a livello internazionale, si è osservata un'evoluzione dell'approccio alla ventilazione delle sale operatorie.

L'attenzione non è più concentrata esclusivamente sul numero di ricambi d'aria orari (ACH – *Air Changes per Hour*), ma sulla **reale efficacia del sistema nel controllare la contaminazione microbiologica e particellare.**



Limiti dell'approccio basato solo sugli ACH

Tradizionalmente la qualità dell'aria in sala operatoria veniva valutata soprattutto attraverso il numero di ricambi d'aria garantiti dall'impianto HVAC.

L'ACH rappresenta il numero di volte in cui l'intero volume d'aria di un ambiente viene teoricamente sostituito in un'ora.

$$ACH = \frac{Q}{V}$$

dove:

- Q è la portata d'aria immessa;
- V è il volume dell'ambiente.



Limiti dell'approccio basato solo sugli ACH

Tuttavia, numerosi studi internazionali hanno evidenziato che:

- un elevato numero di ricambi non garantisce automaticamente aria più pulita;
- l'efficacia dipende anche dalla distribuzione reale dei flussi;
- turbolenze e ostacoli possono compromettere la protezione del campo sterile;
- il comportamento del personale influenza significativamente la contaminazione ambientale.

Per questo motivo il semplice valore numerico degli ACH viene oggi considerato un parametro necessario ma non sufficiente.



Maggiore attenzione ai pattern di flusso

Le linee guida più recenti pongono crescente attenzione ai pattern di flusso dell'aria, cioè al modo in cui l'aria si muove realmente all'interno della sala operatoria.

L'obiettivo non è soltanto “ricambiare aria”, ma:

- proteggere il sito chirurgico;
- allontanare rapidamente le particelle contaminate;
- evitare ricircoli e zone stagnanti;
- controllare le turbolenze generate da operatori e apparecchiature.



Maggiore attenzione ai pattern di flusso

Particolare importanza viene attribuita:

- al flusso laminare unidirezionale;
- alla corretta posizione delle bocchette;
- alla geometria del soffitto filtrante;
- alla disposizione delle lampade scialitiche;
- ai movimenti dell'équipe chirurgica.

L'efficacia viene quindi valutata in termini di comportamento reale del flusso e non solo di portata d'aria teorica.



Contaminazione reale e approccio prestazionale

L'orientamento internazionale più recente promuove un approccio prestazionale basato sulla misurazione della contaminazione effettiva.

Vengono quindi considerati:

- conte particellari;
- monitoraggi microbiologici;
- visualizzazione dei flussi mediante smoke test;
- analisi CFD (*Computational Fluid Dynamics*);
- verifiche dinamiche in condizioni operative reali.

Questo approccio consente di valutare:

- la reale protezione del campo operatorio;
- l'impatto dei comportamenti organizzativi;
- l'efficacia complessiva del sistema HVAC;
- la correlazione con il rischio di infezioni del sito chirurgico.



Evoluzione delle linee guida internazionali

Le principali organizzazioni internazionali stanno progressivamente adottando criteri più orientati alle performance reali degli ambienti sanitari.

L'attenzione si sta spostando:

- dal semplice rispetto di valori numerici standard;
- verso la qualità globale del sistema;
- verso la gestione integrata del rischio infettivo;
- verso il monitoraggio continuo delle condizioni operative.

In questo contesto:

- gli ACH(*Air Changes per Hour*) restano un parametro importante;
- ma diventano parte di una valutazione multidimensionale più ampia;
- integrata con aspetti fluidodinamici, microbiologici e organizzativi.

Il trend internazionale evidenzia quindi il passaggio da una logica puramente prescrittiva a una logica prestazionale, orientata all'effettiva sicurezza del paziente e alla reale protezione del campo operatorio.

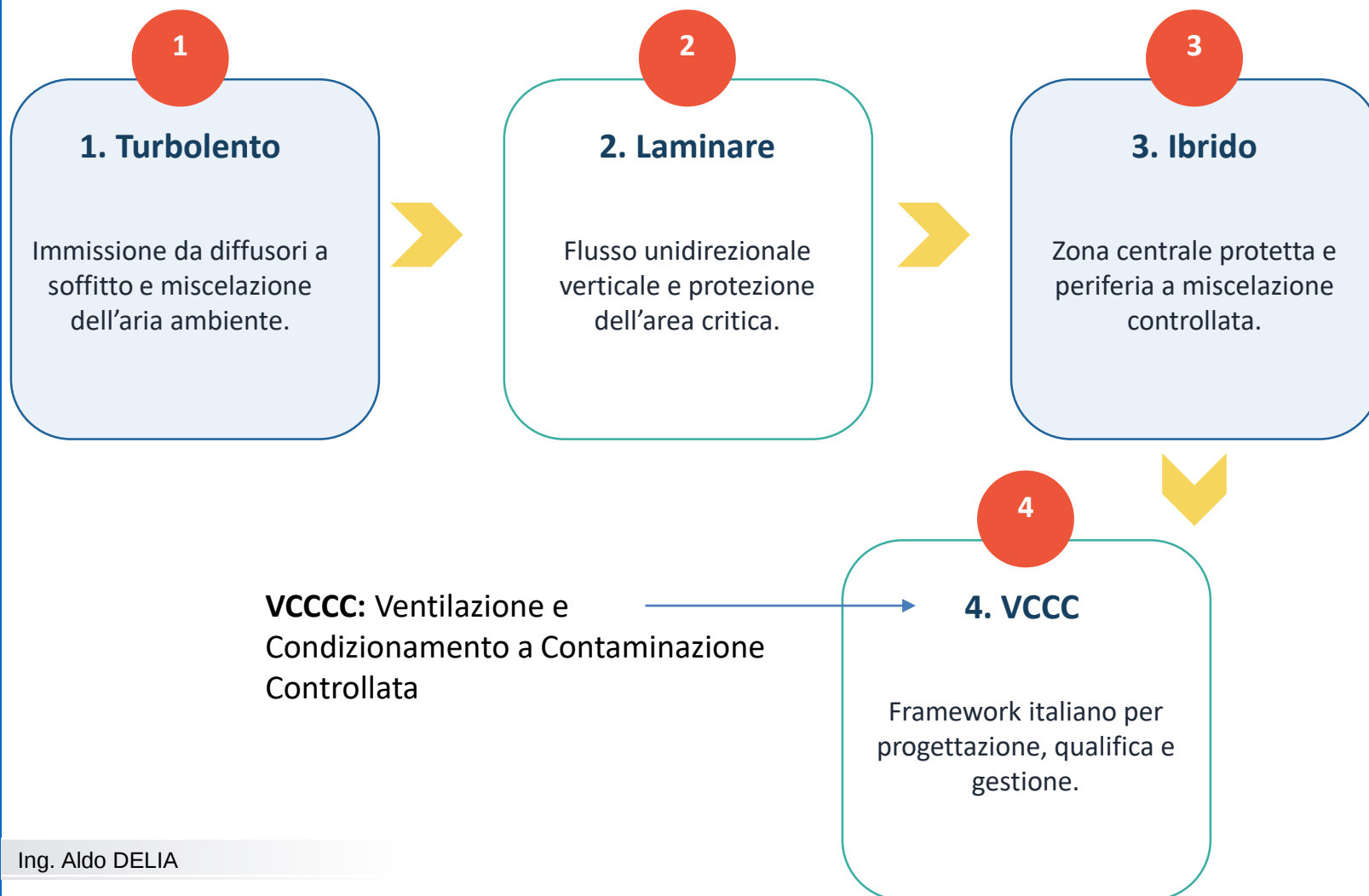
Ing. Aldo DELIA



Tipologie impiantistiche e criteri progettuali

- Classificazione dei sistemi HVAC per sale operatorie
- Vantaggi, limiti e applicazioni
- Configurazioni centralizzate, dedicate e ibride

Classificazione generale delle tipologie impiantistiche





Impianti a flusso turbolento (miscelazione)

Caratteristiche

- Aria immessa da diffusori a soffitto
- Miscelazione dell'aria ambiente
- Filtrazione tipica F7 + F9
- Pressione positiva e controllo T/UR

1

1. Turbolento

Immissione da diffusori a soffitto e miscelazione dell'aria ambiente.

Applicazioni e limiti

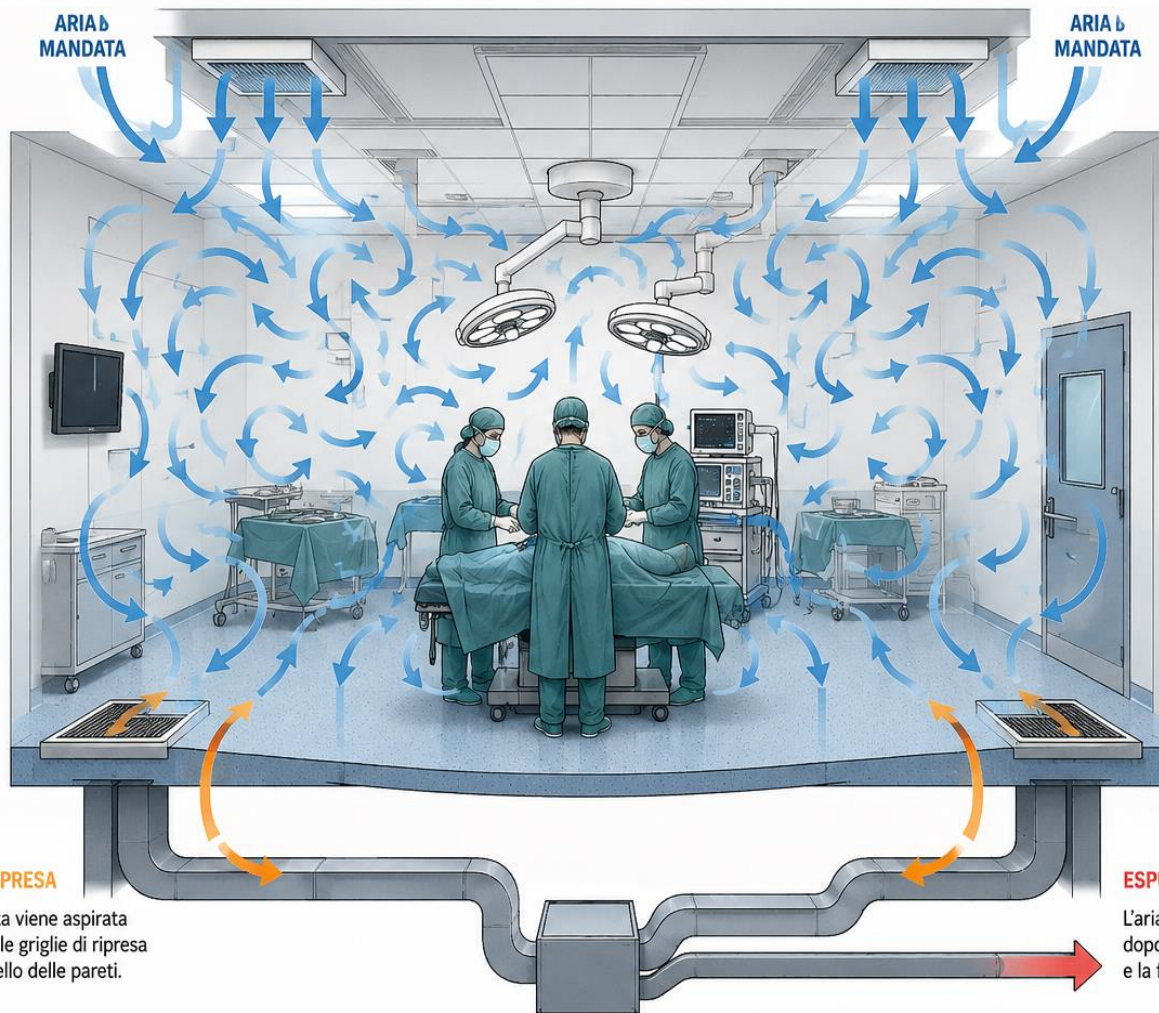
- Sale a rischio medio-basso e chirurgia generale
- Minore costo e minore consumo energetico
- Minor controllo della contaminazione
- Non ideale per chirurgia protesica

FLUSSO TURBOLENTO – VENTILAZIONE E CONDIZIONAMENTO IN SALA OPERATORIA

L'aria immessa si miscela con l'aria ambiente e viene diluita uniformemente prima di essere estratta.

CARATTERISTICHE

- L'aria immessa dai diffusori si miscela con l'aria ambiente
- Flusso non unidirezionale
- Diluizione uniforme dei contaminanti
- Ricambi d'aria più elevati rispetto al flusso laminare



- Aria di mandata
- Miscelazione con aria ambiente
- Aria viziata verso ripresa
- Aria espulsa

VANTAGGI

- Maggiore flessibilità nella disposizione di attrezzature e lampade
- Minore sensibilità ai movimenti del personale
- Idoneo per interventi a rischio infettivo standard



Impianti a flusso unidirezionale (laminare)

Caratteristiche

- Flusso verticale uniforme $\sim 0,25\text{--}0,35\text{ m/s}$
- Plenum filtrante con HEPA H14
- Area protetta sopra tavolo operatorio
- Alta purezza aria nelle zone critiche

2

2. Laminare

Flusso unidirezionale
verticale e protezione
dell'area critica.

Applicazioni e limiti

- Ortopedia, neurochirurgia, chirurgia ad alto rischio
- Massimo controllo contaminazione
- Riduzione del rischio infettivo del sito chirurgico
- Alto consumo energetico e maggior costo

IMPIANTI A FLUSSO UNIDIREZIONALE (LAMINARE)

L'aria immessa scende verticalmente in modo uniforme dalla zona filtrante creando una "colonna protetta" sopra il campo operatorio.

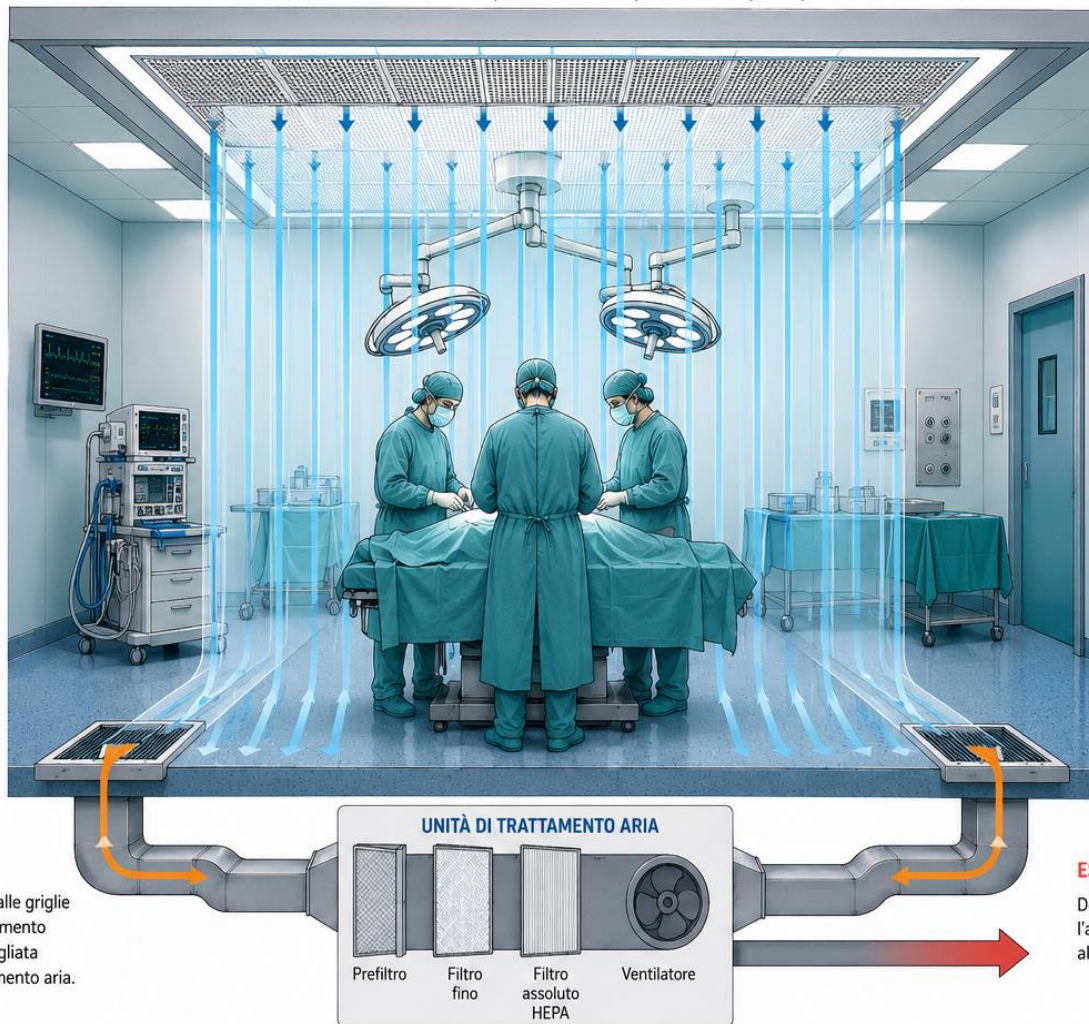
- ➡ Aria di mandata filtrata (HEPA)
- ➡ Aria di ripresa
- ➡ Aria espulsa all'esterno

CARATTERISTICHE

- Flusso verticale uniforme e unidirezionale
- Elevata protezione del campo operatorio
- Bassa turbolenza nella zona critica
- Elevata efficienza di filtrazione (HEPA)
- Adatto per interventi ad alto rischio infettivo (protesi, neurochirurgia, trapianti, cardiocirurgia)

VANTAGGI

- Massima protezione del sito chirurgico
- Riduzione della contaminazione particellare e microbiologica
- Migliore controllo del rischio infettivo
- Flusso stabile e prevedibile
- Maggiore sicurezza per paziente ed equipe



ARIA DI RIPRESA

L'aria viene aspirata dalle griglie poste a livello del pavimento o delle pareti e convogliata verso l'unità di trattamento aria.

ESPULSIONE ARIA

Dopo la filtrazione finale l'aria viene espulsa all'esterno dell'edificio.



Sistemi ibridi e VCCC

- I sistemi ibridi combinano area sterile centrale a flusso unidirezionale e zona periferica in miscelazione
- Rappresentano il miglior compromesso tra sicurezza, flessibilità d'uso ed efficienza energetica
- Nel quadro italiano, il riferimento è l'impianto VCCC **UTA dedicata, filtrazione, controllo T/UR e pressione differenziale**
- La differenza non è solo la tipologia, ma il modo in cui il sistema viene gestito: statico o dinamico

3

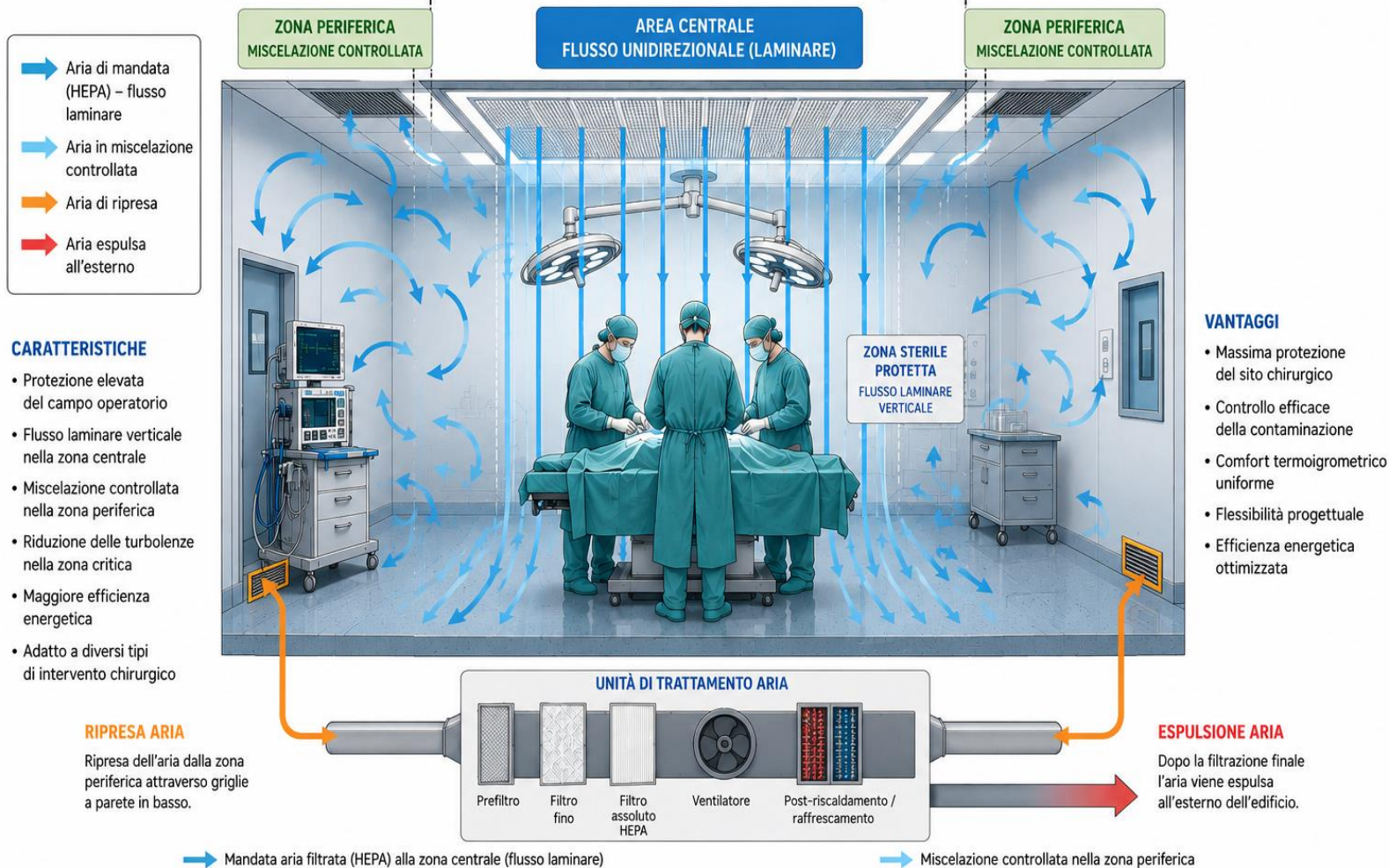
3. Ibrido

Zona centrale protetta e periferia a miscelazione controllata.

SISTEMA IBRIDO – VCC

AREA STERILE CENTRALE A FLUSSO UNIDIREZIONALE – ZONA PERIFERICA IN MISCELAZIONE

Sistema di ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata con flusso laminare verticale nella zona centrale e ventilazione in miscelazione controllata nella zona periferica.



Configurazioni impiantistiche e implicazioni progettuali

Configurazione	Punti di forza	Criticità
UTA centralizzata	Efficienza energetica e servizio a più sale	Maggiore attenzione a segregazione e cross-contamination
UTA dedicata per sala	Massima sicurezza e controllo puntuale	Costo e consumo più elevati
Sistemi decentralizzati	Compattezza e controllo digitale spinto	Standardizzazione e manutenzione più complesse
BMS integrato	Monitoraggio continuo e regolazione avanzata	Richiede strategia gestionale e competenze



Energia, sostenibilità e gestione operativa

- Perché la sala operatoria consuma molto
- Leve di efficientamento
- Trade-off tra sicurezza e consumi



Perché le sale operatorie sono così energivore

- Ricambi d' aria elevati (15–20+ ACH)
- Trattamento di aria esterna spesso al 100%
- Controllo stretto di temperatura e umidità
- Funzionamento frequente H24 anche in assenza di attività
- L' HVAC può arrivare a rappresentare la quota dominante dei consumi del blocco operatorio



Impatto dei diversi approcci normativi sull'energia

Paese / modello	Impostazione	Effetto energetico atteso
Italia	Approccio più statico, spesso a regime costante	Potenziale di efficientamento ancora elevato
USA	Performance-based, setback e controllo dinamico	Riduzioni significative nei periodi di inattività
UK	Sistema integrato con modalità operative e monitoraggio	Ottimizzazione impianto + organizzazione



Analisi del Sistema UK basato sul sistema integrato con modalità operative e monitoraggio

Nel contesto UK/NHS gli impianti HVAC delle sale operatorie sono considerati **sistemi critici clinico-tecnologici** perché direttamente correlati a:

- prevenzione infezioni sito chirurgico (SSI)
- controllo contaminazione particellare e microbiologica
- comfort termoigrometrico
- sicurezza anestesiológica
- continuità operativa del blocco operatorio

Il modello britannico integra:

- gestione tecnica impiantistica,
- controllo ambientale continuo,
- governance clinica,
- manutenzione risk-based,
- monitoraggio centralizzato tramite BMS (Building Management System).



Riferimenti normativi UK

Principali standard e linee guida

Riferimento	Contenuto
HTM 03-01 Specialised Ventilation for Healthcare Premises	riferimento NHS principale per ventilazione ospedaliera
HTM 00	gestione risk management impianti sanitari
HBN 26	Surgical Procedures Suites
CIBSE Guidelines	progettazione HVAC
BS EN ISO 14644	cleanrooms e contaminazione particellare
Health and Safety Executive (HSE)	sicurezza sul lavoro e impianti
NHS Net Zero Strategy	efficienza energetica e sostenibilità



Obiettivi del sistema integrato UK

Il sistema deve garantire:

Obiettivi clinici

- riduzione contaminazione batterica
- controllo flussi aria
- mantenimento pressioni differenziali
- protezione del campo sterile

Obiettivi operativi

- continuità servizio operatorio
- minimizzazione downtime
- monitoraggio realtime
- manutenzione predittiva

Obiettivi energetici

- ottimizzazione consumi HVAC
- gestione intelligente ricambi aria
- riduzione emissioni CO₂



Architettura del sistema integrato

Componenti principali

A. HVAC specialistico sala operatoria

Comprende:

- UTA dedicate
- filtri HEPA H13/H14
- sistemi laminari/UCV
- batterie caldo/freddo
- umidificazione
- ventilatori ridondati
- serrande motorizzate



Architettura del sistema integrato

Componenti principali

B. Building Management System (BMS)

Sistema centrale di supervisione che integra:

Funzione	Monitoraggio
Temperature	realtime
Umidità	realtime
Pressioni differenziali	continuo
Portata aria	continuo
Stato filtri HEPA	ΔP filtri
Allarmi HVAC	automatici
Stato ventilatori	duty/standby
Energy monitoring	kWh
Trend storici	analytics



Architettura del sistema integrato

Componenti principali

C. Sistema IAQ (Indoor Air Quality)

Sensori ambientali per:

- particolato PM
- VOC
- CO₂
- contaminazione microbiologica
- conta particellare ISO

D. Dashboard operativa

Accessibile a:

- Estates Department
- Infection Control Team
- Theatre Management
- Clinical Engineering
- IPC Committee



Modalità operative UK

Modalità 1 — Operational Mode

Sala in attività chirurgica.

Parametro	Valore indicativo
Temperatura	18–21°C
Umidità	40–60%
Pressione	positiva
ACH	20–25 vol/h
Velocità laminare	0,25–0,38 m/s



Modalità operative UK

Modalità 2 — Standby Mode

Sala pronta ma non utilizzata.

Funzioni

- riduzione ricambi aria
- mantenimento pressioni
- riduzione consumi energetici

Modalità 4 — Maintenance Mode

Utilizzata durante:

- sostituzione filtri
- validazioni
- verifiche HEPA
- TAR test



Modalità operative UK

Sistema di monitoraggio continuo

Parametri critici monitorati

Categoria	Parametro
Ambientale	temperatura
Ambientale	umidità
Fluidodinamico	ΔP sale/corridoi
Fluidodinamico	ACH
Fluidodinamico	velocità UCV
Filtrazione	perdite HEPA
Qualità aria	particelle
Energia	consumi HVAC
Affidabilità	fault equipment



Modalità operative UK

Gestione allarmi

Livelli tipici NHS

Livello	Azione
Advisory	monitoraggio
Warning	intervento tecnico
Critical	stop attività chirurgica

Esempi allarmi critici

- perdita pressione positiva
- failure ventilatore
- saturazione filtri HEPA
- superamento temperatura
- guasto BMS
- contaminazione microbiologica



Modalità operative UK

Governance operativa

Struttura organizzativa tipica UK

Ruolo

Authorised Person (Ventilation)

Responsible Person

Estates Manager

IPC Team

Theatre Manager

AE(D) Authorising Engineer

Responsabilità

supervisione tecnica

compliance normativa

gestione impianti

rischio infettivo

continuità operativa

audit indipendente



Modalità operative UK

KPI monitorati

KPI tecnici

KPI	Target
Uptime HVAC	>99%
Compliance pressione	>98%
Compliance temperatura	>95%
Failure HEPA	0
Tempo risposta allarmi	<15 min



Modalità operative UK

KPI monitorati

KPI Clinici

KPI

SSI rate

Procedure cancellate

Downtime sale

Obiettivo

riduzione

minimizzazione

minimizzazione



Modalità operative UK

KPI Energetici

KPI	Obiettivo
kWh/m ²	ottimizzazione
ACH dinamico	riduzione sprechi
Carbon footprint	Net Zero NHS



Modalità operative UK

Digitalizzazione e smart monitoring

Soluzioni avanzate UK

Digital Twin HVAC

Modello virtuale dell'impianto per:

- simulazioni
- fault prediction
- manutenzione predittiva

AI Analytics

Analisi:

- degrado filtri
- deriva sensori
- anomalie flussi
- predizione guasti



Modalità operative UK

Remote Monitoring

Controllo centralizzato multi-site NHS Trust.

Benefici del sistema integrato - Benefici clinici

- riduzione rischio infezioni
- migliore qualità aria
- maggiore sicurezza chirurgica

Benefici operativi

- meno fermate impianto
- maggiore disponibilità sale
- gestione realtime

Benefici economici

- riduzione consumi
- manutenzione predittiva
- maggiore vita utile impianti



Modalità operative UK

Remote Monitoring

Controllo centralizzato multi-site NHS Trust.

Benefici del sistema integrato - Benefici clinici

- riduzione rischio infezioni
- migliore qualità aria
- maggiore sicurezza chirurgica

Benefici operativi

- meno fermate impianto
- maggiore disponibilità sale
- gestione realtime

Benefici economici

- riduzione consumi
- manutenzione predittiva
- maggiore vita utile impianti



Leve principali di efficientamento

- Riduzione dei ricambi in modalità standby quando consentito
- Controllo demand-based con VAV, sensori di presenza e stato sala
- Ottimizzazione termoigrometrica: l'umidità è uno dei driver più costosi
- Recupero di calore con sistemi indiretti compatibili con i requisiti igienici
- Automazione avanzata con BMS, scheduling chirurgico e controllo predittivo
- Progettazione integrata del layout e dei pattern di flusso



Trade-off (compromesso): sicurezza vs energia

Principio tradizionale

- Più aria = più sicurezza
- Tendenza a progettare per il massimo carico
- Setpoint rigidi e funzionamento continuo

Evoluzione attuale

- Oltre una soglia i benefici diventano marginali
- Il consumo cresce rapidamente con portate e trattamento aria
- Obiettivo: aria giusta, nel posto giusto, al momento giusto



Collegamento con Lean Management

- La sala operatoria è un caso emblematico di muda energetico
- Esempi di spreco: sala accesa senza interventi, aria trattata senza paziente, impianto non modulato
- La risposta Lean è sincronizzare impianto e attività chirurgica
- L'efficienza impiantistica diventa leva di efficienza organizzativa



Prestazione basata sul rischio

- Dal requisito rigido alla prestazione clinica
- Classificazione del rischio e parametri variabili
- Integrazione fra impianto, dati e gestione operativa



Che cos'è la prestazione basata sul rischio

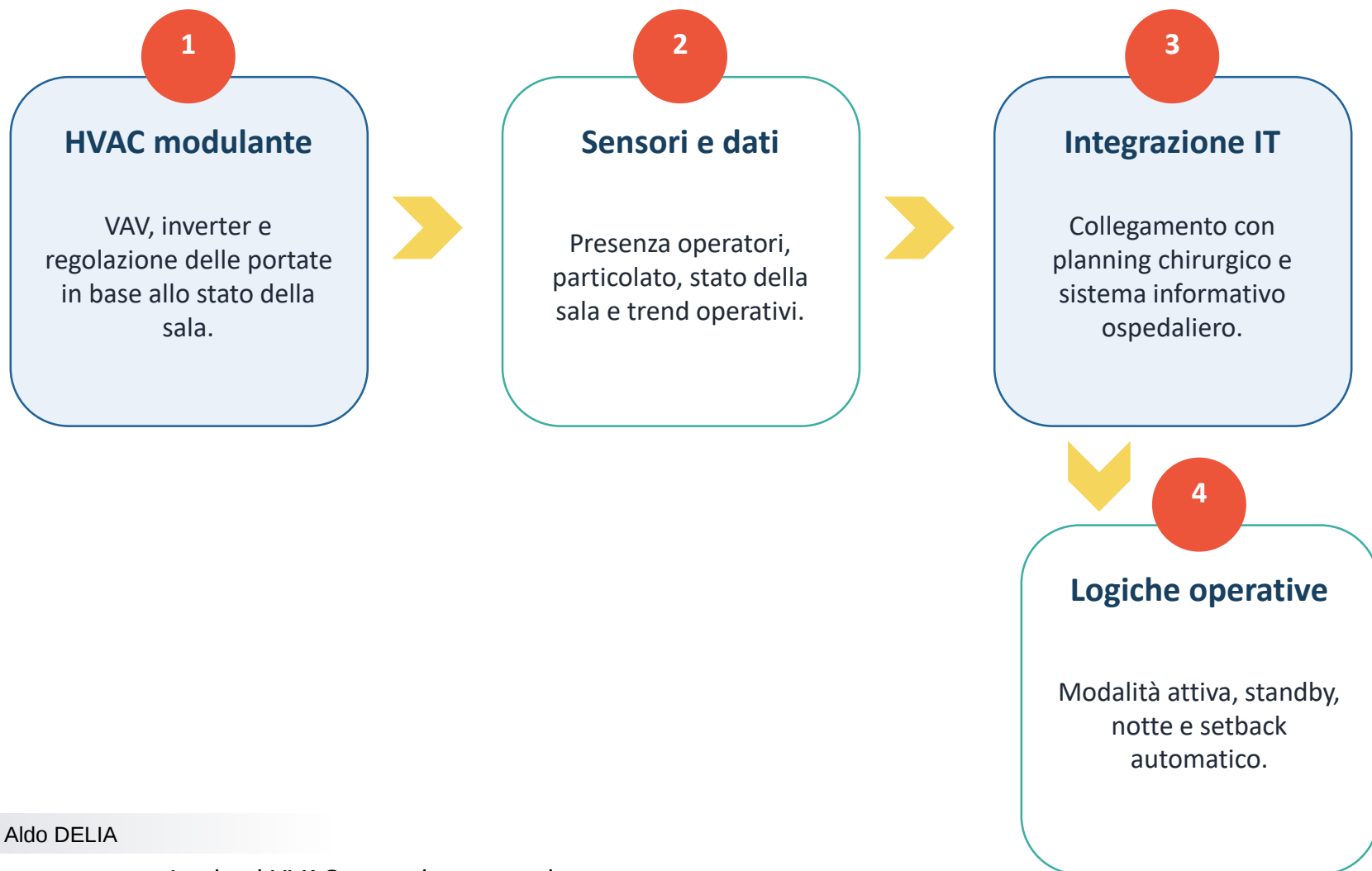
- Progettare e gestire il microclima in funzione del rischio clinico reale
- Non tutte le sale richiedono gli stessi valori in ogni fase d'uso
- I parametri possono variare con invasività, durata, rischio infettivo e presenza di protesi
- Il focus si sposta dal rispetto rigido del numero al risultato clinico e operativo



Esempio di classificazione del rischio

Classe	Tipo di intervento	Esempio	Requisiti aria
Alto	Chirurgia protesica	Ortopedia (anca)	Flusso laminare, 20+ ACH
Medio	Chirurgia generale	Addominale	15–20 ACH
Basso	Procedure minori	Endoscopia	6–10 ACH in logica modulata

Implementazione tecnica del modello risk-based





Rischio, sicurezza e benefici attesi

Se progettato male

- Aumento del rischio di infezioni
- Possibili non conformità normative
- Riduzione della robustezza operativa

Se progettato bene

- Sicurezza equivalente o migliore
- Riduzione degli sprechi energetici
- Maggiore integrazione tra clinica, impianti e gestione



Recupero rigenerativo monodirezionale

- Trasferisce energia dall' aria espulsa a quella immessa senza miscelazione diretta
- Tipicamente realizzato con batterie accoppiate o circuito glicolato
- Compatibile con ambienti critici perché evita ritorno di contaminanti
- Meno efficiente dei recuperatori rotativi ma molto più sicuro
- Può contribuire a ridurre in modo significativo il fabbisogno termico dell' aria esterna



Recupero di calore: confronto qualitativo

Sistema	Efficienza	Sicurezza igienica	Uso in sala operatoria
Rotativo	Alta	Bassa	Generalmente non idoneo
Rigenerativo monodirezionale	Media	Alta	Idoneo
Run-around coil	Media	Alta	Idoneo



Caso applicativo: blocco operatorio con 5 sale

- Scenario tradizionale: tutte le sale a 20 ACH h24 → consumo di riferimento 100%
- Scenario modulato: risk-based + setback → consumo indicativo 50–60%
- Il risultato dipende dalla qualità del controllo, dalla programmazione chirurgica e dalla robustezza delle verifiche
- La leva principale è gestionale oltre che impiantistica



Conclusioni operative per progettisti e gestori

- Progettare il microclima come misura di controllo del rischio clinico
- Integrare impianto, layout, dati e organizzazione
- Superare la logica del “sempre al massimo” con approccio risk-based
- Adottare sistemi di monitoraggio, validazione periodica e automazione
- Valutare retrofit mirati: VAV (**Variable Air Volume**), sensori, BMS (**Building Management System**), recupero indiretto e revisione dei setpoint



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Ing. Aldo DELIA

Presidente Commissione

Progettazione Integrata in ambito Sanitario

331-75.16.623

aldo.delia.ing@gmail.com