



## **Impianti di purificazione e sterilizzazione dell'aria per la Prevenzione del contagio da Agenti Patogeni (Coronavirus, etc)**

Dott. Ing. Antonio Spinazzola

Dott. Ing. Alessandro Nanni

Dott. Ing. Maurizio Malvaldi

Dott. Ing. Paolo Rosabianca

Dott. Ing. Maura Pellegrini

Dott. Ing. Mauro Giannelli

Dott. Ing. Mario Zito

## **Indice**

Premessa

Considerazioni tecniche sulle modalità di trasporto e trasmissione per via aerea del Coronavirus

Considerazioni sugli effetti indotti da un ricircolo di aria non opportunamente purificata e sterilizzata

Adozione del Criterio dell'Indice di Affollamento per unità di Volume per stabilire la gradazione degli interventi da adottare per la riduzione del Rischio di contagio da Coronavirus

Campo di applicazione degli Indirizzi tecnici

Definizione dei Settori / ambienti e attività di lavoro e/o di vita su cui si deve intervenire in modo prioritario - Criteri

Stato dell'arte sulle diverse Tipologie di impianti di ventilazione, recupero di calore e condizionamento dell'aria negli ambienti di vita e di lavoro

Ambienti di vita e di Lavoro con presenza di impianti con ricircolo dell'aria e con recuperatori di calore

Considerazioni tecniche sulla inadeguatezza degli impianti che attualmente sono destinati alla purificazione dell'aria nella lotta al Coronavirus

Possibile utilizzo di altre tecniche integrative per la sterilizzazione dell'aria e la riduzione del rischio di contagio da Coronavirus

Esempi di settori / ambienti e attività su cui si deve intervenire

Criteri minimi che devono essere alla base di una buona progettazione degli impianti in ottica COVID-19

Utilizzo della fluidodinamica computazionale (CFD) per la progettazione di Impianti di Purificazione e Sterilizzazione dell'aria

Retrofit di impianto VMC esistente con inserimento di lampada UV-C

Sistemi di controllo

Normativa applicabile

Riferimenti bibliografici e normativi

Ringraziamenti

## Premessa

I suggerimenti indicati nel presente documento sono rivolti in particolare ad importanti settori quali la scuola, il commercio, il turismo, la ristorazione, lo spettacolo (cinema, teatri, ...), i musei, le strutture sanitarie, gli uffici di interesse pubblico, le banche etc.... che per la necessità di ottemperare alle condizioni di sicurezza possono più di altri andare incontro a difficoltà pratiche che rischiano di penalizzare la continuità della loro stessa attività.

Il documento sarà soggetto ad integrazioni sulla base delle future evidenze scientifiche.

## Considerazioni tecniche sulle modalità di trasporto e trasmissione per via aerea del Coronavirus

La rigorosa applicazione delle leggi della fisica che regolano il movimento delle particelle nell'ambiente e negli impianti ha permesso, una volta definite le caratteristiche fisiche con le quali il virus si presenta, di descrivere matematicamente le modalità con cui lo stesso si può diffondere nell'aria.

Si ricorda che le dimensioni delle particelle contenenti il Virus possono essere classificate nell'ambito delle *Droplets* (diametro di qualche micron), ma moltissime di loro (la maggioranza) hanno il diametro caratteristico dell'*Aerosol*.

La forza che provoca il moto verso il basso è data da  $F = ma = mg - w_g - F_R$ , dove  $w_g =$  spinta idrostatica (trascurabile),  $w =$  massa di fluido spostata dalla particella,  $F_R =$  forza resistente dovuta all'attrito (in questo caso dell'aria).

Nel caso di moto viscoso o laminare, per la legge di Stokes  $F_R = 3\pi Dv\mu$ , dove  $D$  è il diametro della particella,  $\mu$  è la viscosità del fluido (in questo caso dell'aria), e  $v$  è la velocità della particella rispetto al fluido.



La velocità media di caduta è espressa quindi dalla formula

$$V_m = (\rho_L - \rho_G) D^2 g / 18\mu$$

dove  $D$  = diametro delle particelle,  $\rho_L$  e  $\rho_G$  sono rispettivamente la densità della goccia di saliva (assimilabile ad acqua pura) e dell'aria, e  $g$  è l'accelerazione di gravità.

Ad es. alla temperatura di 20°C per una particella del diametro di 20 micron si ha:

$$\rho_L = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_G = 1,188 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 18,24 \text{ Kg/m sec}$$

e una velocità di caduta pari a

$$V_m = 9,81 \times (1000 - 1,188) \times 20^2 \times 10^{-12} / 18 \times 18,24 \times 10^{-6} = 11,95 \times 10^{-3} \sim 0,012 \text{ m/s}$$

per cui prima di cadere a terra la particella impiega teoricamente un tempo sufficientemente lungo, tanto che di fatto per effetto del movimento delle persone la stessa rimane in linea di galleggiamento; e questo accade tanto più quando le particelle di aerosol sono, come nella realtà, anche più piccole.

Queste considerazioni sono state avallate anche dall'ISS nella Tab.2 del Rapp. N.33 del 25 maggio 2020

### **Considerazioni sugli effetti indotti da un ricircolo di aria non opportunamente purificata e sterilizzata**

Stabilito che il Virus ha tutte le caratteristiche dal punto di vista fisico per rimanere in linea di galleggiamento, può essere trascinato facilmente nel circuito di un eventuale impianto di aspirazione, trattamento ed eventuale condizionamento dell'aria che come vedremo di seguito può avere a questo punto un ruolo decisivo migliorando o peggiorando la qualità dell'aria eventualmente reimpressa nell'ambiente soprattutto nei mesi invernali quando si determina la necessità di contenere gli sprechi di energia termica e garantire il comfort per gli utenti.

Facendo riferimento allo schema di Figura 1 e ipotizzando di non trattare adeguatamente l'aria ricircolata (caso C) si ottengono risultati che sconsigliano l'uso del Ricircolo.

Aumentando il rientro di aria esterna pulita (casi B, D, A) si riesce a contenere la concentrazione del Virus, ma l'ottimale è aumentare l'efficienza del sistema di trattenimento delle particelle e sterilizzazione dell'aria (caso E).

In questo caso ad esempio solo l'80% di un ipotetico abbattimento produce già effetti migliorativi importanti e in tal modo si può ulteriormente alzare il coefficiente di sicurezza.

L'equazione che regola il profilo nel tempo della concentrazione è la seguente

$$C_{1\text{ Vol}} = (\text{Vol} * C_{0\text{ Vol}} + P_B * C_B + Q_{\text{GEN}}) / (\text{Vol} + P_B)$$

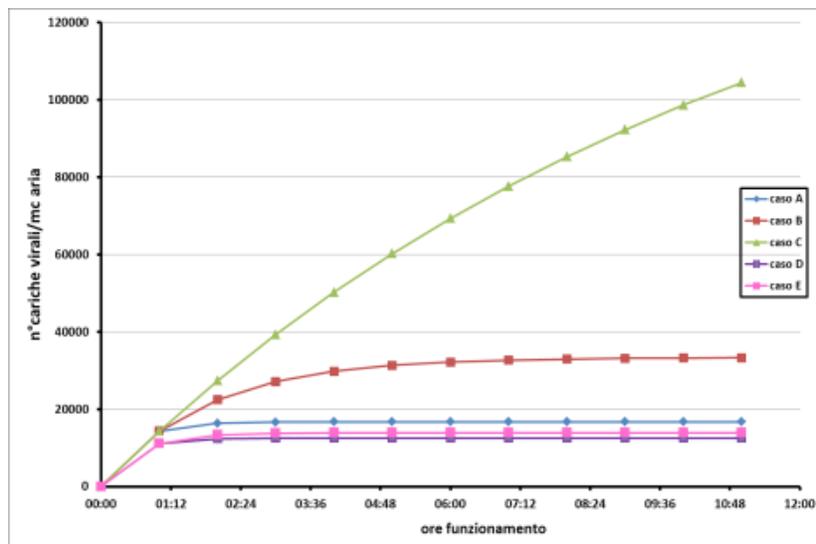
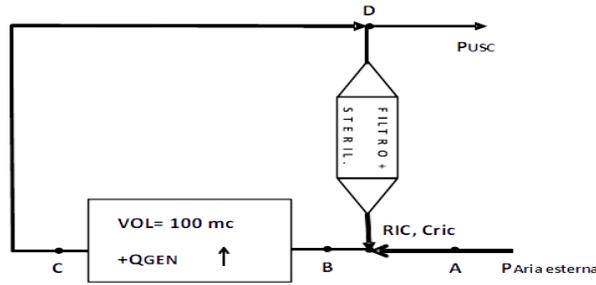


Figura 1

**Adozione del Criterio dell'Indice di Affollamento per unità di Volume per stabilire la gradazione degli interventi da adottare per la riduzione del Rischio di contagio da Coronavirus.**

È noto che la Probabilità di contrarre il Coronavirus è tanto più alta quanto più è alta la presenza di persone potenzialmente contagiate all'interno di un locale, e quanto più il locale sia piccolo oltre che difettare nei dispositivi di Prevenzione Primaria, quali impianti adeguati, allo scopo di ottenere la giusta diluizione e sterilizzazione dell'inquinante.

Le tecniche da adottare possono fortunatamente essere diverse, ma devono essere sempre di comprovata efficacia e devono essere conservate per quanto possibile condizioni ottimali di comfort termico per gli utenti curando anche l'aspetto del risparmio energetico.

Quindi, considerati i limiti messi in evidenza, dobbiamo ragionare applicando ove possibile il Principio della Massima Cautela, e pertanto si devono mettere in atto tutte le possibili misure di efficacia comprovata in tutte quelle realtà dove è più alta la probabilità che accada l'evento negativo, ovvero nei luoghi con alto indice di affollamento (aule scolastiche, cinema, teatri etc.), ma anche nei luoghi dove il rischio è intrinsecamente più alto (vedi strutture Ospedaliere e sanitarie in generale, con un particolare riguardo in questo caso agli ambulatori medici dove è possibile venire a contatto più facilmente con il potenziale infetto).

In ogni caso la migliore strategia da mettere in atto è, per le ragioni sopra citate, quella di procedere alla ***Integrazione e coordinamento di più tecniche*** tutte efficaci sostenibili e in grado di alzare il livello di Protezione dal Contagio.

### **Campo di applicazione degli Indirizzi tecnici**

È evidente che dovranno avere un percorso preferenziale tutte quelle attività che fortunatamente dispongono già di impianti di ventilazione, condizionamento e purificazione dell'aria.

Queste risultano avvantaggiate, e nello stesso tempo rappresentano un settore molto importante per numero di persone e quindi di possibili contagiati (cinema, teatri, supermercati, uffici pubblici, etc..) oltre a disporre di maggiori risorse per un eventuale intervento che comunque sarebbe in Retrofit.

### **Definizione dei Settori / ambienti e attività di lavoro e/o di vita su cui si deve intervenire in modo prioritario - Criteri**

- Luoghi destinati ad attività ricreative, incontro manifestazioni culturali e spettacolo in genere (Cinema, teatri, discoteche, sale per conferenze ed altri) dove il fattore affollamento potenziale (numero di persone /volume locale) è alto, e con esso il rischio di contagio) (\*\*)(\*\*\*);
- Attività di Servizio e in generale luoghi con alto interessamento di visitatori, (supermercati, negozi destinati alla vendita, luoghi di ristorazione, bar, alberghi e altro) (\*\*)(\*\*\*);
- Uffici di interesse pubblico (pubblica Amministrazione Comuni, Regione..., banche, uffici postali, altro) (\*\*)(\*\*\*);
- Attività scolastiche (in particolare gli indirizzi tecnici relativi alle aule in cui vengono svolte attività didattiche sarà affrontato in uno specifico paragrafo) (\*\*)(\*\*\*);
- Attività sanitarie pubbliche e private, poliambulatori pubblici e privati (\*) (\*\*)(\*\*\*);

➤ Luoghi di lavoro in genere (\*\*\*\*).

(\*) = sarà redatto un apposito documento;

(\*\*) = in ogni caso devono essere adottate per le aree promiscue (sale di attesa dove per la alta potenziale presenza di visitatori esterni si possono determinare condizioni di alto rischio potenziale di infezione) le soluzioni di tipo integrato per ottenere una continua purificazione e sterilizzazione dell'aria;

(\*\*\*) = ambienti ad Alto Rischio di Potenziale Contagio, proporzionale al Fattore di Affollamento = Probabili Infetti/Volume dedicato (alto);

(\*\*\*\*) = ambienti con Basso Rischio di Potenziale Contagio (in questo caso le soluzioni consigliate sono Ricambi dell'aria adeguati alla norma, uso DPI e distanziamento).

## **Stato dell'arte sulle diverse Tipologie di impianti di ventilazione, recupero di calore e condizionamento dell'aria negli ambienti di vita e di lavoro**

### ***Ambienti di lavoro in generale***

Impianti di aspirazione e Ventilazione generale negli ambienti di lavoro (caratteristiche in relazione all'areazione complessiva del locale).

È noto che in tutte le lavorazioni che comportano produzione di polveri, gas, vapori ( falegnamerie, carpenterie, panifici, meccaniche, galvaniche, materiali per l'edilizia, tessili, chimiche ecc.) viene fatto largo uso di impianti di captazione localizzata.

Il quantitativo di aria sufficiente a portare via l'inquinante emesso nell'unità di tempo scaturisce dal rispetto delle condizioni di velocità minima di cattura degli inquinanti alla sorgente.

Qualora l'attività si svolga all'interno di capannoni chiusi è necessario prevedere un'aria in entrata pulita ed evitare richiami d'aria da zone dove si producono altre sostanze nocive.

Pertanto una progettazione corretta deve prevedere che l'Impianto di Aspirazione Localizzata dell'aria garantisca che il flusso d'aria pulita sia richiamato dalla zona circostante fino al punto dove opera l'addetto alla produzione e viene a determinarsi la emissione della sostanza nociva.

Generalmente gli ambienti dove avvengono queste tipologie di lavorazioni sono ampi e non dispongono di un impianto di climatizzazione, raramente quindi c'è immissione di aria canalizzata in quanto spesso può risultare nociva per le lavorazioni stesse, e le lavorazioni avvengono con il personale attivo.

In taluni casi è possibile trovare punti di riscaldamento distribuiti in punti strategici del capannone.

Con l'innalzamento di temperatura degli ultimi anni però alcuni imprenditori hanno dovuto provvedere a installare impianti di raffrescamento per capannoni in lamiera esposti alle radiazioni solari per evitare l'esposizione degli addetti a colpi di calore, ma in ogni caso gli stessi non sono impianti con riciclo dell'aria e di conseguenza non comportano il rischio documentato che possa concentrarsi l'inquinante Virus.

Gli spostamenti del personale all'interno dei capannoni sono normalmente definiti ma restano fuori le figure che devono spostarsi da una postazione all'altra (responsabili di produzione, manutentori).

Nel caso in cui sono presenti impianti per il ricambio generale dell'aria, gli stessi oltre a garantire i ricambi indicati dalla norma dovrebbero rispettare i criteri e le norme di buona tecnica dimensionale suggeriti da uno studio fatto applicando la tecnica della Fluidodinamica Computazionale (CFD).

Considerato che l'impianto in questo caso non deve interferire come sottolineato in precedenza con la predisposizione importante dei punti con aspirazione localizzata, potrebbe risultare molto difficile costruire un modello ideale di flusso dell'aria che possa tenere conto dell'aria aspirata nell'impianto di captazione (spesso fisso più una serie di impiantini mobili), dell'aria immessa per climatizzare, di quella derivante dall'apertura di portoni (frequentissima negli opifici), e che contestualmente possa garantire di non comportare passaggi di aria espirata da un lavoratore infetto agli altri colleghi.

Al momento, quindi, la cosa migliore è cercare di ridurre al minimo le turbolenze e i movimenti dell'aria e contare, per evitare la trasmissione del contagio, su dpi e distanziamento e, se possibile, distanziare le postazioni di lavoro fisse.

Altro discorso deve essere fatto nel momento in cui l'ambiente di lavoro è rappresentato da locali /aree destinate a spogliatoi, uffici/sale riunioni, show room, magazzini, locali di vendita, sale di attesa.

In questi ambienti si ricade nelle stesse problematiche generali già affrontate e purtroppo sussiste l'aspetto negativo derivante da un possibile riciclo di un'aria potenzialmente contaminata, per cui non resta che indicare come risolutiva la stessa strategia *privilegiando soluzioni di tipo integrato*.

## **Ambienti di vita e di Lavoro con presenza di impianti con ricircolo dell'aria e con recuperatori di calore**

### ***Recuperatori di calore***

#### **1. Generalità**

Il recuperatore di calore è un impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC) (definito al punto 9.3.2 "Types and configurations" Table 11 della norma UNI EN

16798 – 3:2018 come Bidirectional ventilation system).

L'impianto è costituito dai seguenti elementi:

- presa di aria esterna e relativa griglia di immissione nell'ambiente;
- espulsione dell'aria interna e relativa griglia di aspirazione dall'ambiente;
- filtrazione dell'aria esterna / dell'aria di ricircolo;
- unità di sterilizzazione (lampada/e UV-C od altra tecnica) nel caso di ricircolo dell'aria;
- scambiatore di calore;
- ventilatori di mandata e ripresa dell'aria;
- canalizzazioni di trasporto dell'aria.

Schematicamente si indicano tre modalità di funzionamento dell'impianto a servizio di ambienti di vita e di lavoro:

- centralizzato con canalizzazioni in più unità;
- centralizzato con canalizzazioni in una singola unità;
- localizzato in un singolo ambiente.

Generalmente per i recuperatori di calore disponibili in commercio sono focalizzate le caratteristiche relative ai ventilatori, alla filtrazione dell'aria, allo scambio termico.

## 2. Caratteristiche e problematiche di ogni singolo elemento dell'impianto

Per ogni singolo elemento dell'impianto riportato sopra si evidenziano le seguenti caratteristiche e/o problematiche:

### *Presa di aria esterna*

Valgono le prescrizioni indicate al punto 9.1.1.3. della Norma UNI 10339 ovvero la presa d'aria esterna non deve essere posta:

- in prossimità di una strada di grande traffico;
- in zona prossima a scarichi di fumi o prodotti della combustione;
- in punti vicini ad espulsioni industriali, di servizi igienici o comunque di aria viziata o contaminata;
- ad una altezza minore di 4 m dal piano stradale più elevato di accesso all'edificio.

### *Espulsione dell'aria interna*

Dovrà essere posta lontano dalla presa di aria esterna.

### *Filtrazione dell'aria esterna*

L'efficienza di filtrazione dell'aria esterna deve essere pari ad almeno alla classe ISO

ePM<sub>10</sub> (80%) della norma UNI EN ISO 16890:2017 (ovvero F7 della Norma UNI EN 779:2012).

#### *Filtrazione dell'aria di ricircolo*

L'efficienza di filtrazione dell'aria di ricircolo deve essere pari almeno alla classe 11 della norma CEN EN 1822.

#### *Unità di sterilizzazione nel caso di ricircolo dell'aria*

Per le unità di sterilizzazione vedere il relativo punto di questo allegato.  
Nel caso si utilizzino lampade UV-C le stesse devono essere conformi alle caratteristiche indicate al medesimo punto.

#### *Scambiatore di calore*

Esistono due tipologie di scambiatori: statici e rotativi. Normalmente garantiscono un recupero termico tra il 40 ed il 75%.  
Per entrambe le tipologie si evidenzia il problema del trafilamento tra i due flussi d'aria; in questo caso il recuperatore è assimilabile al ricircolo.  
La situazione è particolarmente critica per lo scambiatore rotativo in ragione del fatto che l'aria di ricambio proveniente dall'esterno viene a contatto con una parte dello scambiatore contaminata da aria infetta.

#### *Ventilatori di mandata e ripresa dell'aria*

Le due caratteristiche (portata e prevalenza) dei ventilatori devono essere valutate come di seguito indicato.

- La portata è legata sia alla volumetria del locale che alla destinazione d'uso dello stesso, ed è determinabile utilizzando i dati riportati nella normativa di riferimento;
- La prevalenza è legata allo sviluppo delle canalizzazioni ed alla classe di filtrazione utilizzata, ed è determinabile con gli algoritmi di calcolo.

I ventilatori devono garantire livelli di rumorosità conformi a quelli indicati per la tipologia di destinazione d'uso dalla normativa vigente.

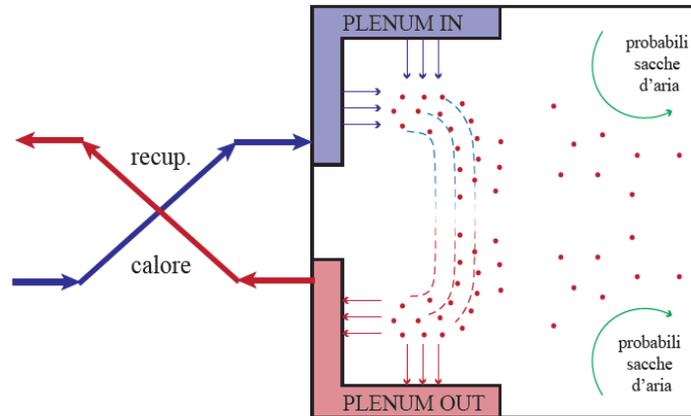
L'impianto di recupero di calore deve garantire una omogenea distribuzione dell'aria all'interno degli ambienti.

La distribuzione dell'aria dipende dalla geometria del locale, dal posizionamento delle griglie di mandata e di ripresa dell'aria, e dall'uso a cui è destinato lo stesso (posizione delle sorgenti inquinanti, stazionarietà delle sorgenti inquinanti).

In tal senso appare necessario lo studio dei moti dell'aria e della distribuzione degli agenti inquinanti attraverso l'uso della CFD (Fluidodinamica Computazionale).

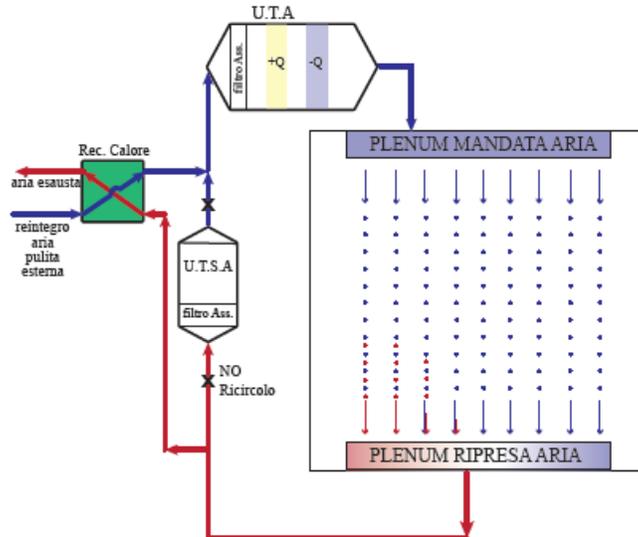
## SCHEMI DI IMPIANTO CON RECUPERATORI DI CALORE

**Caso A:** Impianto con sola presenza di recuperatori di calore caratteristico di piccoli ambienti



Potrebbero verificarsi criticità per presenza di sacche di aria stagnanti.

**Caso B:** Impianto centralizzato VMC e/o Condizionamento, caratteristico di ambienti di rilievo, con aggiunta di solo recuperatore di calore



Anche in queste realtà potrebbero verificarsi criticità per presenza di sacche di aria stagnanti.

**NB:** In assenza di trattamento decontaminante dell'aria di ricircolo, lo stesso deve essere chiuso, e l'impianto dovrebbe funzionare a tutta aria esterna.

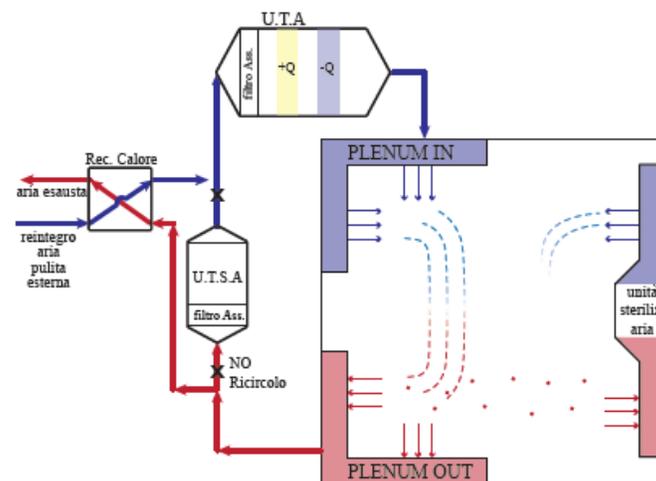
## SCHEMI DI IMPIANTO CON RECUPERATORI DI CALORE E SANIFICAZIONE

La presenza di recuperatori di calore consente di effettuare ricambi di aria riducendo però solo in parte il dispendio energetico a causa delle grandi portate di aria da riscaldare che caratterizzano gli impianti a tutta aria esterna.

Inoltre non si hanno sufficienti assicurazioni sulla decontaminazione delle sacche di aria stagnanti.

Per sopperire alla riduzione del fabbisogno energetico e consentire comunque il necessario numero di ricambi orari dell'aria, occorre mantenere in funzione i riciccoli negli impianti che lo prevedono, aggiungendovi una Unità di Trattamento e Sterilizzazione dell'Aria (UTSA).

**Caso C:** Impianto con recuperatore di calore e Unità di Trattamento e Sterilizzazione dell'Aria (UTSA).

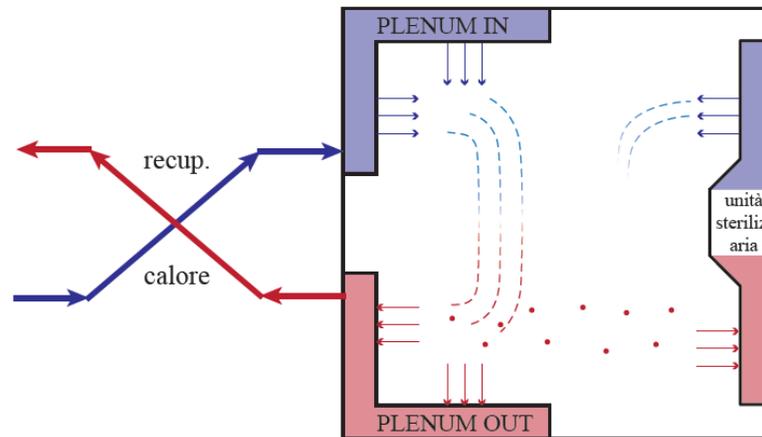


Lo schema sopra rappresentato può riferirsi sia ad ambienti grandi che piccoli, purché dotati di impianto centralizzato.

Le sacche di aria stagnanti vengono trattate con sanificatori delocalizzati, garantendo così l'adeguato rendimento di sterilizzazione ( $\eta > 95\%$ ) senza dover aumentare eccessivamente la portata di aria esterna con la conseguenza di un insostenibile dispendio energetico.

**NB:** È sempre necessaria la presenza di adeguata strumentazione di controllo per verificare il corretto funzionamento dell'impianto (rilevatori di efficienza di funzionamento degli sterilizzatori e di eventuale presenza di sostanze indesiderate come ad esempio l'ozono) e di efficacia della sanificazione (anche di tipo indiretto come il tasso di  $\text{CO}_2$  presente negli ambienti serviti dall'impianto).

#### Caso D: Impianto con recuperatore di calore e Unità di Sterilizzazione Aria (UTSA)



Lo schema sopra rappresentato può riferirsi ad ambienti piccoli e non dotati di impianto centralizzato (caso tipico delle aule scolastiche).

L'UTSA aspira, purifica, sterilizza e ricircola l'aria delle sacche stagnanti sanificandola, abbassando la concentrazione del virus, ed alzando di conseguenza il grado di sicurezza.

**NB:** È fondamentale che nei dispositivi di sterilizzazione si mantenga una adeguata distanza tra l'aspirazione e la mandata al fine di evitare fenomeni di cortocircuito dell'aria.

La distribuzione ottimale dell'aria (mandata e ripresa) deve scaturire da uno studio preliminare di Fluidodinamica Computazionale (CFD) come descritto nel seguito.

Il reintegro di aria pulita, preventivamente depurato dal particolato solido tramite filtrazione adeguata, unitamente alla indispensabile sterilizzazione consentono di abbassare la concentrazione dell'inquinante.

Le possibili zone d'ombra con sacche di aria stagnante possono essere compensate da una ripresa localizzata mediante sterilizzatori portatili di dichiarata efficienza e correttamente dimensionati.

In ogni caso, vista la complessità degli aspetti da considerare, è vivamente consigliato che la progettazione del sistema integrato sia demandata a tecnico abilitato e specializzato nell'ambito delle specifiche competenze (nel caso specifico anche di natura impiantistica e igienico industriale).

Lo schema relativo al Caso D si prospetta come la soluzione più sostenibile, a parità di efficacia, per le aule scolastiche anche in considerazione della presenza già esistente di impianti di riscaldamento nei locali.

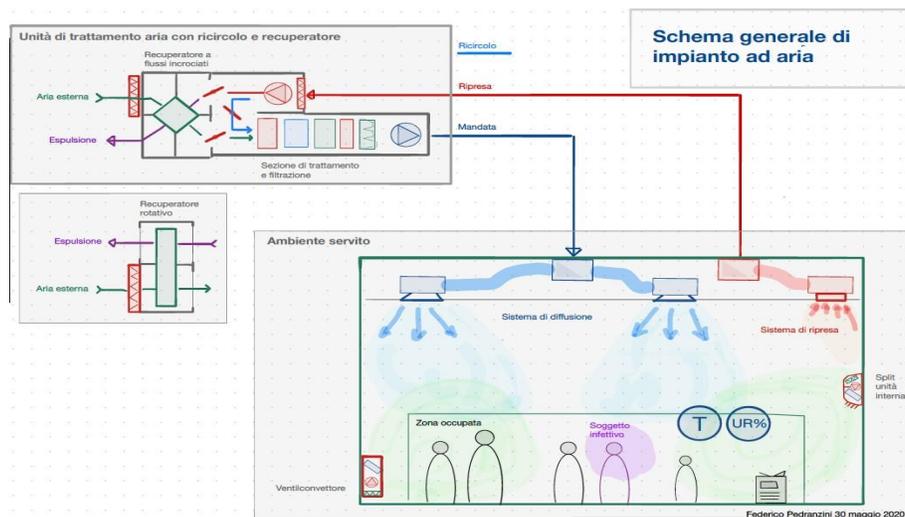
## Considerazioni tecniche sulla inadeguatezza degli impianti che attualmente sono destinati alla purificazione dell'aria nella lotta al Coronavirus

### Impianti di Purificazione e Condizionamento dell'aria

Lo stato attuale degli impianti e delle strutture pur essendo realizzati in modo rispettoso delle norme in vigore non può essere, come è naturale che sia, perfettamente adeguato a far fronte alle esigenze di una emergenza come quella che stiamo vivendo.

In particolare ci riferiamo al fatto che nella generalità dei casi gli attuali impianti si affidano per la purificazione dell'aria all'uso esclusivo dei Filtri Assoluti.

Nella figura è rappresentato il tipico schema di impianto di ventilazione e condizionamento dell'aria operante al momento attuale.



### *Impianto VMC*

### La filtrazione assoluta

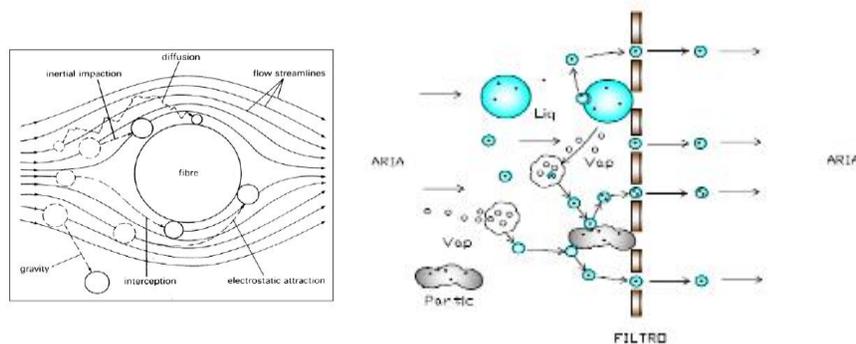
L'unica soluzione che ad oggi viene ritenuta certificabile da un punto di vista quantitativo (per le particelle solide in generale ma non in particolare per il Virus), e quindi utilizzata in un contesto di progettazione, è la filtrazione meccanica realizzata tramite filtri ad altissima efficienza (classificati HEPA – *High Efficiency Particulate Air [Filter]* secondo EN 1882) all'interno di condotte dell'aria o delle unità di trattamento.

In effetti tale tipologia di filtrazione è riconosciuta come affidabile e in grado di abbattere con efficienze superiori al 99,97% il particolato con dimensione di riferimento  $0,3 \mu\text{m}$  ( $1\text{mm}=1000 \mu\text{m}$ ).

Va comunque ricordato che l'efficienza di filtrazione di un dispositivo dipende da numerosi fattori, il più importante dei quali è la distribuzione dimensionale del particolato/aerosol da rimuovere.

Nel caso in esame le particelle di Virus hanno diametri inferiori ( $0,10 - 0,15 \mu\text{m}$ ) e conseguentemente il rendimento decade molto, e solo quelle che sono state adsorbite sul particolato solido a sua volta trattenuto dal filtro assoluto e quelle che sono contenute ancora all'interno della goccia di aerosol con dimensioni al di sopra di  $0,3 \mu\text{m}$  rimangono in aderenza sul filtro necessitando comunque di essere sanificate.

Pertanto questa tecnologia, la cui presenza è indispensabile per le ragioni sopra citate, comporta anche alcune problematiche che non la rendono da sola sufficiente in assoluto a trattenere ed abbattere nella giusta quantità le particelle di virus in quanto le stesse in ragione dei fenomeni di evaporazione e frammentazione possono transitare al di là della maglia che peraltro non può essere pensata di diametro inferiore anche per le note ragioni legate a perdite di carico ingestibili.



Nella figura è ben evidente il meccanismo con il quale la particella sfugge e rientra nel circuito ambiente.

Particolare attenzione va posta ai tempi di evaporazione delle particelle liquide, come evidenziato dalla Tab.2 del Papp. ISS N.33 del 25 maggio 2020, da cui si deduce che con elevata probabilità le particelle che costituiscono l'aerosol sono in grado di attraversare il filtro.

È essenziale che la portata e l'efficacia dei purificatori, dichiarate dal produttore, siano state effettivamente verificate nelle condizioni reali di utilizzo sebbene, come già menzionato, la portata (i.e., capacità di ricambio d'aria/tempo) necessaria dipende da molteplici fattori che possono essere quantificati sulla base di precisi modelli.

### Utilizzo di Tecniche per la Sanificazione degli ambienti e dell'aria

Per quanto illustrato al paragrafo precedente viene ad assumere un ruolo fondamentale la possibilità di procedere *integrando* le dotazioni Impiantistiche mediante ricorso all'uso di sistemi di Sanificazione.

La definizione di **sanificazione** è contenuta nel DM 7 luglio 1997, n. 274 Regolamento di attuazione degli articoli 1 e 4 della legge 25 gennaio 1994, n. 82, per la disciplina delle attività di pulizia, di disinfezione, di disinfestazione, di derattizzazione e di sanificazione.

Il significato della parola “sanificazione” è il seguente: **pulizia + disinfezione**, dove per pulizia si intende l’asportazione meccanica di tutto ciò che si trova su una superficie ed è indesiderato (detriti, particolato, ecc.) e per disinfezione si intende una procedura atta ad eliminare o distruggere i microorganismi patogeni, ma non necessariamente tutte le forme microbiologiche, su soggetti inanimati mediante l’applicazione di idonei agenti fisici o chimici.

### **Manutenzione Ordinaria**

Ora è necessario chiarire il concetto di “**manutenzione ordinaria**” (UNI 11414:2011 3.8): “Tipologia di interventi manutentivi durante il ciclo di vita, atti a: - Mantenere l’integrità originaria del bene - Mantenere o ripristinare l’efficienza dei beni - Contenere il normale degrado d’uso - Garantire la vita utile del bene - Far fronte ad eventi accidentali (Definizione tratta dalla UNI 11063:2002, punto 4.1)”.

Come è evidente, la sanificazione dell’aria è connessa al buon funzionamento degli impianti di ventilazione che pertanto necessitano di attività di manutenzione ordinaria; la sanificazione degli impianti invece è relativa alla possibilità che questi si contaminino con un inquinante, ma è cosa distinta dalla funzione di sanificazione svolta dagli impianti stessi.

### **Manutenzione ordinaria e sanificazione con gli impianti di condizionamento e/o ventilazione**

Con i vari rapporti del ISS ed in maniera specifica con il Rapporto n.33/2020 del 25 maggio 2020 vengono date indicazioni sulla manutenzione e sanificazione degli impianti di ventilazione meccanica e condizionamento dell’aria all’interno degli edifici.

E’ evidente che non possiamo accontentarci di una semplice periodica operazione di sanificazione dei condotti e/o dei filtri per garantire gli utilizzatori dal rischio di trasmissione del contagio ma dobbiamo operare perché questa operazione si rinnovi in automatico e in continuo, e quindi dobbiamo utilizzare l’opportunità che ci viene offerta dal complesso dell’impianto di trattamento dell’aria e dalla relativa disponibilità di volumi all’interno dei quali inserire appositi e collaudati Dispositivi di Sterilizzazione.

A tale proposito è da sottolineare che nel Rapporto 25/2020 del 15/05/2020 è considerata come Sanificazione “*il complesso di procedimenti e di operazioni*” di pulizia e/o di disinfezione e comprende il mantenimento della buona qualità dell’aria anche con il ricambio d’aria in tutti gli ambienti.

*Ne consegue che anche il trattamento dell'aria gioca un ruolo attivo nella sanificazione (sterilizzazione).*

### **Possibile utilizzo di altre tecniche integrative per la sterilizzazione dell'aria e la riduzione del rischio di contagio da Coronavirus**

In questo senso, il mondo scientifico e della ricerca suggerisce misure anche di tipo impiantistico e strutturale facilmente attuabili, semplici e sostenibili economicamente.

Si tratta di misure quali *impianti per il ricambio dell'aria*, ad oggi assenti ad esempio nella stragrande maggioranza delle nostre realtà scolastiche, *integrati con filtri e sistemi di sterilizzazione* (ad es. lampade UVC, ma senza trascurare altre tecniche, che potrebbero dimostrarsi altrettanto efficaci e sicure se impiegate all'interno delle canalizzazioni e quindi non a contatto con gli utenti) che consentirebbero di mantenere ben riscaldati gli ambienti senza sperperare energia termica.

### **Tecniche Integrative efficaci per la sterilizzazione nella lotta al Coronavirus**

Le tecniche che possono andare ad integrarsi in modo sinergico con la filtrazione meccanica sono sinteticamente descritte di seguito con i relativi vantaggi e svantaggi.

#### **Sterilizzazione con Raggi UVC**

La tecnologia basata sull'uso di raggi ultravioletti "corti" (nella regione tra 200 e 300 nm), la così detta banda UV-C, è ben nota fino dagli anni '50 del secolo scorso come altamente efficace nell'inattivare microorganismi patogeni (batteri, funghi, virus) [Ref: Kowalski, W. Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection (Springer Science & Business Media, 2010)].

Gli UV-C sono già risultati uno strumento di disinfezione valido nella disinfezione di virus come H1N1, SARS, MERS, e ora si pongono come uno dei più importanti presidi da utilizzare nella lotta anche contro SARS-COV-2 (si veda da esempio: Kowalski, W., et al., 2020 COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility).

***La radiazione UV-C ha la capacità di modificare il DNA o l'RNA dei microorganismi impedendo loro di riprodursi e quindi di essere dannosi.***

Tipicamente, le lampade germicide utilizzate in sistemi di sterilizzazione hanno emissione dominante intorno alla lunghezza d'onda di 253 nm (nanometri). Vengono in genere filtrate le componenti con lunghezza d'onda inferiore a 250 nm, per prevenire il rischio di produzione di Ozono. In questi casi la lampada è definita "ozone free".

Definizioni:

**Irradianza** (Intensità)

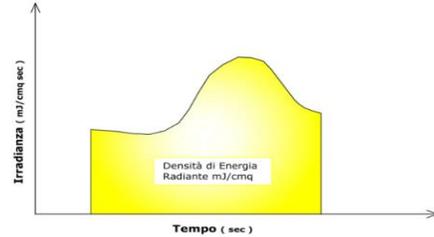
Espressa in watts o milliwatts per centimetro quadrato ( $W/cm^2$  o  $mW/cm^2$ ) che possono anche esprimersi in  $mJ/cm^2s$ ;

È la potenza fornita dal sistema al fluido da sterilizzare per unità di superficie.

**Potenza radiante** totale di tutte le lunghezze d'onda (da tutte le direzioni) incidenti sull'unità di superficie ( $cm^2$ );

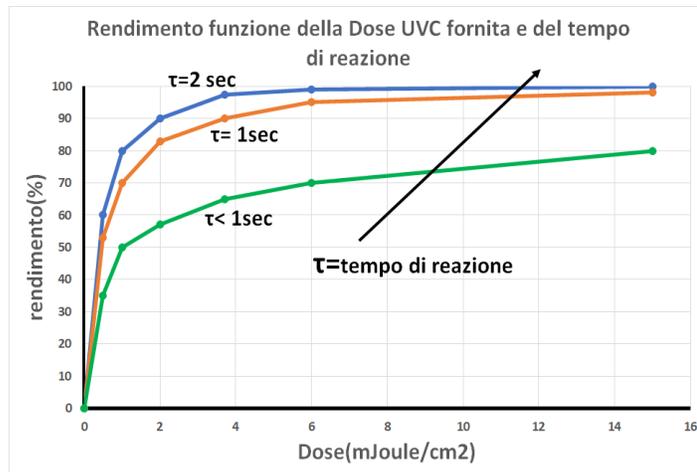
**Densità di Energia Radiante** Espressa in joules o millijoules per centimetro quadrato ( $J/cm^2$  o  $mJ/cm^2$ )

**Dose (assorbita dai microorganismi)** Espressa in watts o milliwatts per centimetro quadrato ( $W/cm^2$  o  $mW/cm^2$ )



Dopo un'accurata campagna di test condotti presso i laboratori INAF e dell'Università di Milano, i ricercatori hanno scoperto che una dose UV/C di soli **3.7 mJ/cm<sup>2</sup>** è sufficiente per ottenere un'inattivazione di un fattore mille su diversi campioni a diversa densità di virus, paragonabili a quelle misurate nelle bollicine di saliva di pazienti infetti da SARS-COV-2. Una completa inibizione della replica virale è stata osservata con la dose di **16.9 mJ/cm<sup>2</sup>**.

Relativamente ai rendimenti, si osservano i risultati in funzione dei tempi di reazione (e quindi di permanenza all'interno della zona di irraggiamento) e della dose assorbita.

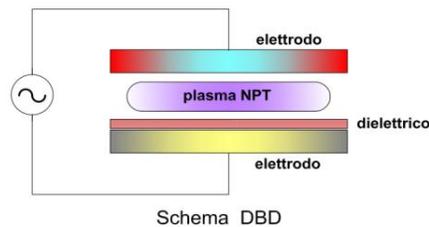


Tempi di reazione bassi (inferiori al secondo) sono tipici degli apparecchi portatili con raggi UVC.

Viceversa se l'applicazione integrata viene effettuata all'interno della canalizzazione di un impianto centralizzato (quindi anche con schermature e in sicurezza), le relative grandi dimensioni volumetriche disponibili garantiscono tempi ottimali di esposizione alla dose e conseguentemente vengono assicurati alti rendimenti di sterilizzazione dal Virus.

### Plasma freddo

Il gas plasma è composto da ioni liberi e particelle cariche ed è il risultato dell'azione di un forte campo energetico sulla materia gassosa che viene disgregata a livello molecolare producendo una quantità di particelle instabili: ioni, atomi, radicali liberi altamente reattivi.



Gli ioni ( $H^+$ ) e ( $O_2^-$ ) si raggruppano intorno alla proteina del coronavirus aereo e vengono convertiti in radicali idrossilici ( $\bullet OH$ ).

*Rubando H (idrogeno) dall'interno della proteina del coronavirus, i radicali reagiscono e si combinano chimicamente per formare ( $H_2O$ ).*

Una volta che la spicola della proteina del coronavirus viene danneggiata, il virus non può più infettare l'uomo.

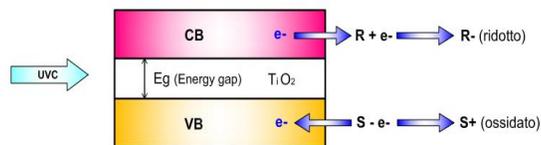
Il plasma freddo emette luce con lunghezze d'onda sia nella parte visibile che nella parte ultravioletta dello spettro.

*L'attività biocida deriverebbe dunque da un'azione combinata di:*

- Distruzione del materiale genetico da parte della luce UV;
- Erosione della superficie microbica causata dalle particelle reattive in sinergia con gli UV.

### Fotocatalisi e ionizzazione

Il processo chimico che sta alla base della filtrazione foto catalitica è un'ossidazione che si attiva grazie all'azione simultanea della luce artificiale (lampada UV), inserita in una lega metallica semiconduttrice, e dell'acqua presente sia allo stato liquido che allo stato di vapore) nel flusso d'aria trattata.



Schema Fotocatalisi

I semiconduttori (ossidi di metallo o solfuri come ZnO, TiO<sub>2</sub> e ZnS) hanno una struttura elettronica caratterizzata da una banda di valenza (VB) completa e una banda di conduzione (CB) vuota.

In presenza di acqua sulla superficie si può formare un radicale ossidrilico altamente reattivo ( $\bullet\text{OH} + \text{H}^+$ ).

L'ossigeno dell'aria agisce come accettore di elettroni reagendo con gli elettroni della banda di conduzione e formando così lo ione super-ossido ( $\text{O}_2 + e^- \rightarrow \bullet\text{O}_2^-$ ), radicale fortemente reattivo.

Si formano anche acqua ossigenata (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), e radicali idroperossido ( $\bullet\text{HO}_2^-$ ).

Il meccanismo di inattivazione dei virus mediante fotocatalisi sembra venga avviato sulle particelle di virus attraverso il loro adsorbimento sulle superfici del catalizzatore seguita dall'attacco al capsido proteico e ai siti di legame dei virus (*attacco diretto di tipo Redox*).

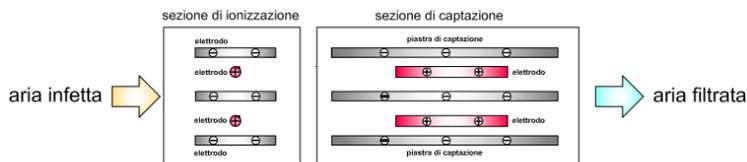
La presenza di raggi UVC può generare ozono:  $3 \text{O}_2 (+ \text{energia UVC}) \rightarrow 2 \text{O}_3$

### Filtri elettrostatici (ESP)

Gli ESP basano il loro funzionamento su campi elettrici e forze elettrostatiche applicate direttamente sulle particelle e sui microrganismi presenti nell'aria.

Il principio operativo di filtrazione si sviluppa in due fasi:

- il conferimento di una carica elettrica a particelle e microrganismi trasportati dall'aria;
- la precipitazione elettrostatica di particelle/microrganismi carichi.



Schema di Elettrofiltro

*Il contatto con le piastre causa l'immediata distruzione di qualsiasi microrganismo per effetto della elevata scarica di energia.*

I principali vantaggi dei Precipitatori Elettrostatici (ESP) sono i seguenti:

- catturano particelle con diametri fino a 0,01 µm con un'efficienza del 99%;
- operano ad elevate portate d'aria;
- possono avere bassi costi energetici (circa 100 Watts/1.000 m<sup>3</sup>/h);
- hanno perdite di carico molto basse.

### Tabella riassuntiva

Metodo	Possibili Composti secondari	Perdite di carico	Rendimento (*)	Energia impiegata	Sistemi di controllo	Smaltimento
UVC	Ozono	Basse	Dichiarato dal costruttore	Contenuta	Opportuni/consigliati	X
Elettrofiltri	Ozono	Basse	Dichiarato dal costruttore	Da valutare	Opportuni/consigliati	X
Filtrazione fotocatalitica	Ozono	Basse	Dichiarato dal costruttore	Da valutare	Opportuni/consigliati	X
Plasma freddo	Ozono	Basse	Dichiarato dal costruttore	Da valutare	Opportuni/consigliati	X
Filtrazione assoluta		Alte	Dichiarato dal costruttore	Elevata	Standard	X
(*)	Valore minimo garantito in funzione della dose e/o dell'energia da erogare					

### Dispositivi portatili di sterilizzazione

In generale questi dispositivi non rappresentano la soluzione ottimale ma apportano solo benefici parziali e quindi, per non dare false garanzie di sicurezza, devono operare *all'interno di un sistema integrato* che comunque abbia a riferimento un impianto Centralizzato (VMC) dotato di sezione di filtrazione e sterilizzazione nonché di *idonea strumentazione di controllo*.

Solo in fase transitoria, in attesa che sia realizzato l'impianto VCM, si potranno adottare tali dispositivi se siamo consci del parziale risultato garantito.

*In questo caso occorre comunque distanziare la presa di aspirazione dell'aria da quella di espulsione della stessa per evitare il possibile e probabile fenomeno della corto-circuitazione dell'aria con ovvia riduzione dell'efficacia.*

Il loro utilizzo può essere funzionale alle coperture di eventuali zone di ombra non risolvibili con l'impianto VCM.

Se l'applicazione è prevista in ambienti con alto Indice di Rischio deve essere preceduta da un'attenta e rigorosa valutazione di tipo preliminare (Fluidodinamica Computazionale) per stabilire la loro collocazione ottimale con i limiti sopra citati.

Deve essere dichiarato il Rendimento e la relativa efficacia sulla base di documentazione scientificamente dimostrata, per cui occorre precisare dosi impiegate di energia, tempi di contatto o reazione volumetrica interessati alla reazione di sterilizzazione, e ovviamente i ricambi d'aria garantiti nel rispetto delle norme.

Il dispositivo portatile deve prevedere idonea strumentazione di controllo destinata sia al controllo dell'efficienza della sterilizzazione che al controllo della formazione di eventuali composti indesiderati.

Quanto riportato circa le tecniche di sanificazione sopra descritte trova riscontro anche nella tabella associata al rapporto ISS n.12/2021 che di fatto al primo punto, riferendosi all'utilizzo di filtri Hepa, carboni attivi e altro sottolinea come questi non siano sufficienti da soli a proteggere dal Sars-Cov2 invitando ad un uso integrato delle diverse tecniche per alzare il grado di sicurezza:

**Sistemi per la sanificazione ambiente/superfici:  
tecnologie, vantaggi e limiti**

Tecnologia	Applicazione	Vantaggi	Limiti
Purificatori a filtri HEPA, Carbone attivo, altro	Aria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Non nocivi in presenza di persone</li> <li>Operatività in continuo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Non sufficienti da soli per proteggere le persone dal SARS CoV-2</li> <li>Il flusso d'aria filtrata deve essere diretto in modo che non passi direttamente da una persona all'altra</li> <li>Se trattengono particelle inferiori a 1 µm (virus) si pone il problema dello smaltimento</li> <li>Non efficace se il sistema scelto non è congruo all'ambiente nel quale è utilizzato (capacità di filtraggio volume di aria/tempo)</li> </ul>
Purificatori / Ionizzatori per generazione di radicali liberi	Aria e Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Praticità d'impiego</li> <li>Possibilità di trattamenti in continuo</li> <li>Utili se impiegati correttamente (efficienza e portata)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Non sufficienti da soli per proteggere le persone dal SARS CoV-2</li> <li>Il flusso d'aria filtrata deve essere diretto in modo che non passi direttamente da una persona all'altra. Il rischio e carico della salute umana deve essere valutato caso per caso sulla base di vari parametri (vedi testo)</li> <li>Possibile produzione Ozono, pertanto utilizzo in assenza di persone</li> </ul>
Radiazione UV-C	Aria/ Ambiente/ superfici	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efficacia dimostrata</li> <li>Efficace per irradiazione diretta e indiretta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cancerogeno certo per l'uomo, pertanto è indispensabile escludere persone nell'area di inagiamiento</li> <li>Necessità di rimuovere ostacoli, eredi, ecc.</li> <li>Necessità di dimensionamento delle componenti del sistema</li> </ul>
Ozono	Aria/ Ambiente / superfici	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dimostrata efficacia vinucida, a condizione di utilizzare generatori idonei in relazione a spazi/materiali coinvolti/target</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pericoloso: può provocare o aggravare un incendio; letale se inalata, provoca gravi ustioni cutanee e gravi lesioni oculari, danni agli organi in caso di esposizione prolungata o ripetuta per via inalatoria, molto tossico per l'ambiente acquatico con effetti di lunga durata.</li> <li>Utilizzo consigliato ai soli operatori professionali</li> <li>Rispetto dei tempi di rientro nei locali trattati</li> <li>Possibili alterazioni dei materiali presenti nell'ambiente</li> <li>Sconsigliato l'impiego in ambito domestico da operatori non professionali.</li> </ul>
Peroossido d'idrogeno	Ambiente / superfici	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dimostrata efficacia del principio attivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pericoloso: può provocare un incendio o un'esplosione (forte ossidante); provoca gravi ustioni cutanee e gravi lesioni oculari; nocivo se inalato e nocivo se ingerito</li> <li>Utilizzo limitato ai soli operatori professionali</li> <li>Rispetto dei tempi di rientro nei locali trattati</li> </ul>
Clovo attivo	Ambiente / superfici	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dimostrata efficacia del principio attivo</li> <li>Adattabilità alle diverse condizioni operative</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pericoloso: soluzioni di acido ipocloroso irritanti per il sistema respiratorio, gli occhi e la pelle</li> <li>Instabile, non è consigliato l'utilizzo del prodotto al di fuori del sistema di produzione in situ;</li> <li>Utilizzo limitato ai soli operatori professionali</li> <li>Rispetto dei tempi di rientro nei locali trattati</li> </ul>
Vapore	Ambiente / superfici / articoli / tessuti	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utile su superfici sensibili e trattamenti chimici aggressivi (es. tessuti)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Applicazione diretta sulle superfici da trattare</li> <li>Efficace solo se applicato a distanza ravvicinata</li> </ul>

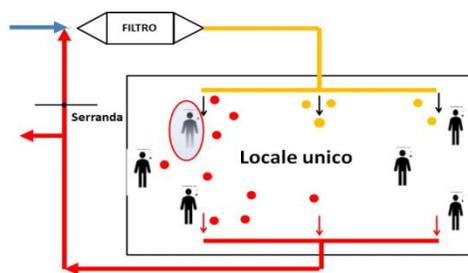
Alla luce di quanto sopra non è sufficiente il rispetto delle Norme di prodotto, ma è fondamentale che sia documentato e attestato da professionisti abilitati il rispetto delle norme di buona tecnica progettuale e costruttiva.

NB: L'importanza delle tecniche di sterilizzazione è legata anche al fatto che la loro azione sul virus non dipende dalla tipologia di variante, e che il loro impiego costituisce una strategia di lotta a prescindere dalla natura dei virus.

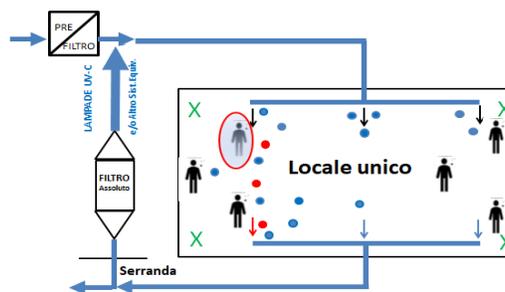
## Esempi di settori / ambienti e attività su cui si deve intervenire

1) cinema, teatri, ristoranti, supermercati e altro dove il fattore affollamento potenziale (numero di persone /volume locale) è alto, e con esso il rischio contagio

Nello schema A seguente viene sintetizzato il possibile scenario in un locale che pur sottoposto a ricambio dell'aria, ma con parziale purificazione, rimane con potenziale rischio contagio



Schema A



Schema B

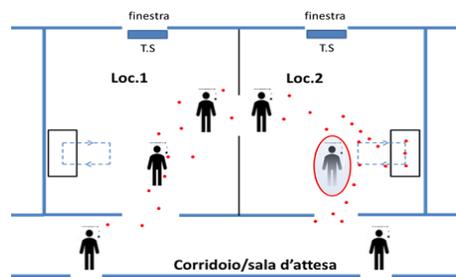
Nello schema B, modificando in retrofit l'impianto, si restituisce sicuramente un'aria compatibile con la presenza di utenti e si ritiene che lo studio preliminare con la modellistica computazionale, da consigliare vivamente, apporterebbe ulteriori elementi di conoscenza e garanzia per una corretta distribuzione dell'aria.

## 2) Locali, uffici di interesse pubblico, uffici postali, banche etc....

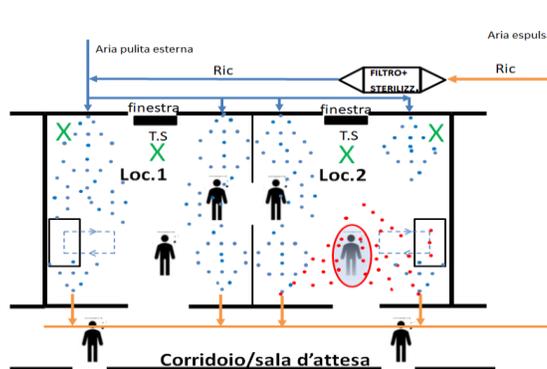
In questi ambienti si ricade nelle stesse problematiche di tipo generale già affrontate e purtroppo l'aspetto negativo derivante da un riciclo possibile di un'aria potenzialmente contaminata sussiste e conseguentemente occorrerà adottare la stessa strategia privilegiando *soluzioni di tipo integrato*.

Agli ambienti (aule scolastiche) in cui vengono svolte attività didattiche sarà dedicato uno specifico approfondimento nel successivo paragrafo con l'intenzione anche di supervisionare in modo mirato le prime applicazioni pratiche, coinvolgendo anche gli operatori delle strutture pubbliche di controllo e prevedendo un contributo specialistico dell'Università per una analisi dettagliata del comportamento fluidodinamico.

Nello specifico vogliamo sottolineare come nel caso particolare rappresentato dall'attività che si svolge oltre al fattore affollamento si abbina la mancanza di sistemi di aerazione artificiale, e il riscaldamento dei locali è affidato nella generalità dei casi a sistemi quali termosifoni o split, per cui nella stagione invernale si va ad operare secondo lo schema seguente e la propagazione del virus viene potenzialmente amplificata.



Ricorrendo ad una riprogettazione che può essere standardizzata e quindi riproducibile ed economicamente più sostenibile, attraverso i sistemi affidabili della modellistica computazionale possono essere individuati i ricambi ottimali e la corretta distribuzione dell'aria e così portare l'attività ad un coefficiente di sicurezza molto più alto purificando l'aria ben oltre il 95%



Una delle aree che presentano un rischio contagio alto è quella destinata all'attesa, alle sale riunioni etc.... che interessano in modo trasversale quasi tutti i settori che andiamo a considerare.

In tutti i casi ricompresi nella tipologia esaminata l'impianto base di trattamento è lo stesso.

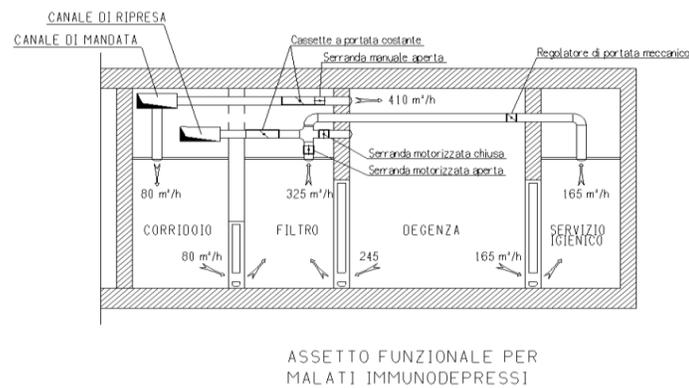
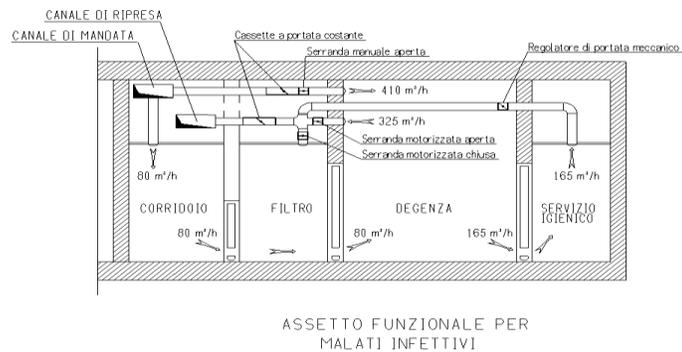
### 3) Strutture Sanitarie

Considerata la particolare importanza che riveste questo settore nella prevenzione e cura di malati di Covid dobbiamo anche nel contempo prendere atto come i relativi ambienti possano rappresentare anche una delle maggiori fonti di rischio per la trasmissione del contagio.

La pandemia da Covid 19 ha esercitato una forte pressione sul sistema sanitario nazionale evidenziando criticità nella gestione delle strutture sanitarie rendendo necessari interventi di adeguamento degli impianti di trattamento aria al fine di contenere al massimo la possibilità di diffusione del virus.

Come abbiamo visto tutti gli ospedali si sono attivati nel mettere in atto le modifiche impiantistiche, per quanto possibile, atte a separare i pazienti infetti dagli altri, realizzare la diluizione dell'aria e, fondamentale, mettere in depressione gli ambienti dove erano ricoverati i pazienti infetti in modo tale da non contaminare gli altri ambienti.

Lo schema di funzionamento è rappresentato dalla seguente tipologia di diffusione dell'aria:



Dobbiamo cogliere la crisi come utile occasione per attivare i processi di trasformazione del settore sia dal punto di vista clinico che strutturale.

Dopo quanto accaduto in periodo pandemico è necessario ridisegnare i criteri della progettazione degli spazi, coinvolgendo in generale l'intero sistema edificio-impianto.

Con un maggiore dettaglio questo delicato settore sarà esaminato dal gruppo di Lavoro Regione - ASL Federazione Regionale degli Ingegneri della Toscana e reso noto in un documento specifico

Ciononostante la presenza di Aree intermedie di confine (Sale di Attesa per i Visitatori esterni) con le aree della Degenza ci porta, fin da ora, a segnalare che, per offrire un maggior grado di sicurezza sia necessario trattare comunque l'aria in uscita dai reparti a maggior Rischio Intrinseco strutturati nella configurazione di cui sopra (a tutta aria esterna) per evitare la concomitanza di situazioni negative riconducibili ad altri impianti di ripresa dell'aria che può essere distribuita ad esempio ad altri reparti o a sale di attesa dove è molto alto il fattore affollamento.



Diverso è il caso di attività che di per sé hanno un elevato indice di rischio potenziale indipendentemente da un alto indice di affollamento (vedi ambienti sanitari quali ambulatori medici, sale degenti covid, ma anche studi dentistici).

In questi casi si dovrà ricorrere, per tutelare gli operatori ad una aspirazione localizzata alla testa del paziente associata ad una reimmissione della stessa altrettanto localizzata.

L'impianto dovrà comunque operare in presenza anche di un impianto centralizzato di trattamento e sterilizzazione dell'aria con caratteristiche in tutto simili a quelle illustrate in precedenza.

*Negli impianti più complessi sarebbe auspicabile o necessario che il sistema di controllo fosse in continuo, con registrazione, e visionabile da remoto in modo da apprezzare anomalie di funzionamento e intervenire tempestivamente.*

## **AULE SCOLASTICHE**

### **Ambienti (aule) in cui vengono svolte attività didattiche**

#### **Generalità**

In relazione al comfort (microclima, purezza dell'aria) da garantire nelle aule, il patrimonio

edilizio scolastico si caratterizza per la variabilità delle soluzioni impiantistiche attuate in edifici dalle caratteristiche strutturali molto diverse. Le condizioni di purezza dell'aria sono un parametro progettuale nelle strutture dotate di specifici impianti di condizionamento, negli altri casi il problema è stato affrontato limitandosi al solo ricambio naturale garantito dall'apertura delle finestre.

Già nel 1975 il Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975” Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica” (abrogato dall'art 12 della Legge 23/1996), nelle norme relative alla condizione di abitabilità, prescriveva chiaramente la necessità di garantire il ricambio dell'aria ai fini del mantenimento della sua qualità:

punto 5.3.12. Purezza dell'aria (negli edifici scolastici)

Dovrà essere assicurata l'introduzione delle seguenti portate d'aria esterna, mediante opportuni sistemi:

i) Ambienti adibiti ad attività didattica collettiva o attività di gruppo.

Per scuole materne ed elementari coefficienti di ricambio 2,5.

Per scuole medie coefficiente di ricambio 3,5.

Per scuole secondarie di 2° grado coefficiente di ricambio 5.

L'attuale pandemia ha di nuovo evidenziato che tra le azioni da intraprendere per contrastare questa emergenza vi è quello di garantire la purezza dell'aria attraverso la ventilazione dei locali.

Infatti nelle “Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell'attuale emergenza COVID-19: ambienti/superfici Aggiornamento del Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020 Versione del 20 maggio 2021” si evidenzia:

*“L'importanza della ventilazione, come intervento efficace per limitare la trasmissione di patogeni a livello domestico e in scuole e uffici, era già stata evidenziata in passato. In particolare uno studio cinese del 2016, aveva dimostrato che un aumento della ventilazione, ottenuto mediante apertura delle finestre o con appropriati sistemi di ventilazione e in combinazione con altre misure di monitoraggio, può portare a una significativa riduzione dell'esposizione.*

*Indicazioni sul ricambio d'aria, in relazione a differenti situazioni (ambiente domestico, ristorante, bar, ecc.), sono considerati anche in documenti dell'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) che riportano un intervallo di volumi di aria da cambiare ogni ora (ACH) che variano da 3 a 5”.*

### **Criteria per la progettazione e gestione degli impianti a servizio di ambienti (aule)**

Nelle aule, in generale, possiamo suddividere le dotazioni impiantistiche in due tipologie:

- Locali dotati di impianto di condizionamento
- Locali dotati di esclusivo impianto di riscaldamento

## **Progettazione degli impianti**

### *a) Locali dotati di impianti di condizionamento.*

Per questi impianti si rimanda al punto della relazione in cui vengono svolte le “Considerazioni tecniche sulla inadeguatezza degli impianti che attualmente sono destinati alla purificazione dell’aria nella lotta al Coronavirus”.

Questi impianti hanno le stesse problematiche di tipo generale già affrontate e purtroppo sussiste l’aspetto negativo derivante da un possibile riciclo di un’aria potenzialmente contaminata, e conseguentemente occorrerà adottare una strategia che privilegia soluzioni di tipo integrato (filtrazione e sanificazione del flusso d’aria ad es. con UV-C).

### *b) Locali dotati di esclusivo impianto di riscaldamento*

Garantire la purezza dell’aria esclusivamente attraverso l’apertura delle superfici finestrate è sicuramente una pratica importante da attuare in assenza di altre modalità.

Sono comunque disponibili altre tecnologie, con i relativi impianti, tra le quali evidenziamo i

## **Recuperatori di calore**

Per la descrizione degli impianti si rimanda al punto della relazione in cui si parla di “Ambienti di vita e di Lavoro con presenza di impianti con ricircolo dell’aria e con recuperatori di calore”.

I volumi di aria da cambiare ogni ora (ACH), come indicato dall’ASHRAE, possono variare da 3 a 5.

Questi impianti possono operare anche con ricircolo dell’aria ambiente.

Nel ***caso in cui non sia previsto il ricircolo dell’aria***, si possono formare zone (sacche) nelle quali il ricambio è ridotto e nelle quali si può accumulare l’aerosol contenente il virus.

Queste sacche si possono individuare mediante uno studio preliminare di CFD al fine di posizionare i sistemi di immissione e ripresa dell’aria e garantirne la migliore distribuzione.

Si devono quindi valutare strategie di intervento privilegiando soluzioni di tipo integrato (sanificazione del flusso d’aria ad es. con UV-C) o uso di sterilizzatori portatili di dichiarata efficacia.

Nel ***caso in cui sia previsto il ricircolo***, oltre a quanto detto sopra, sempre nell’ottica delle soluzioni di tipo integrato, l’unità di trattamento dell’aria oltre a prevedere la filtrazione dell’aria di idonea efficacia, deve essere dotata di una unità di sterilizzazione (sanificazione del flusso d’aria ad es. con UV-C).

Si ritiene che la progettazione di questi impianti debba essere demandata a tecnici abilitati ed esperti qualificati (con competenze impiantistiche e di igiene industriale).

## **Gestione degli impianti**

Si rileva peraltro che la complessità degli impianti come descritti rende necessaria una gestione condivisa tra gruppi di scuole (comunale, provinciale, regionale ecc.) che svincoli il singolo istituto dalla necessità di assumere un tecnico per il controllo costante; l'attivazione dello specialista potrebbe partire ad esempio da segnali di allerta dell'impianto nella singola scuola.

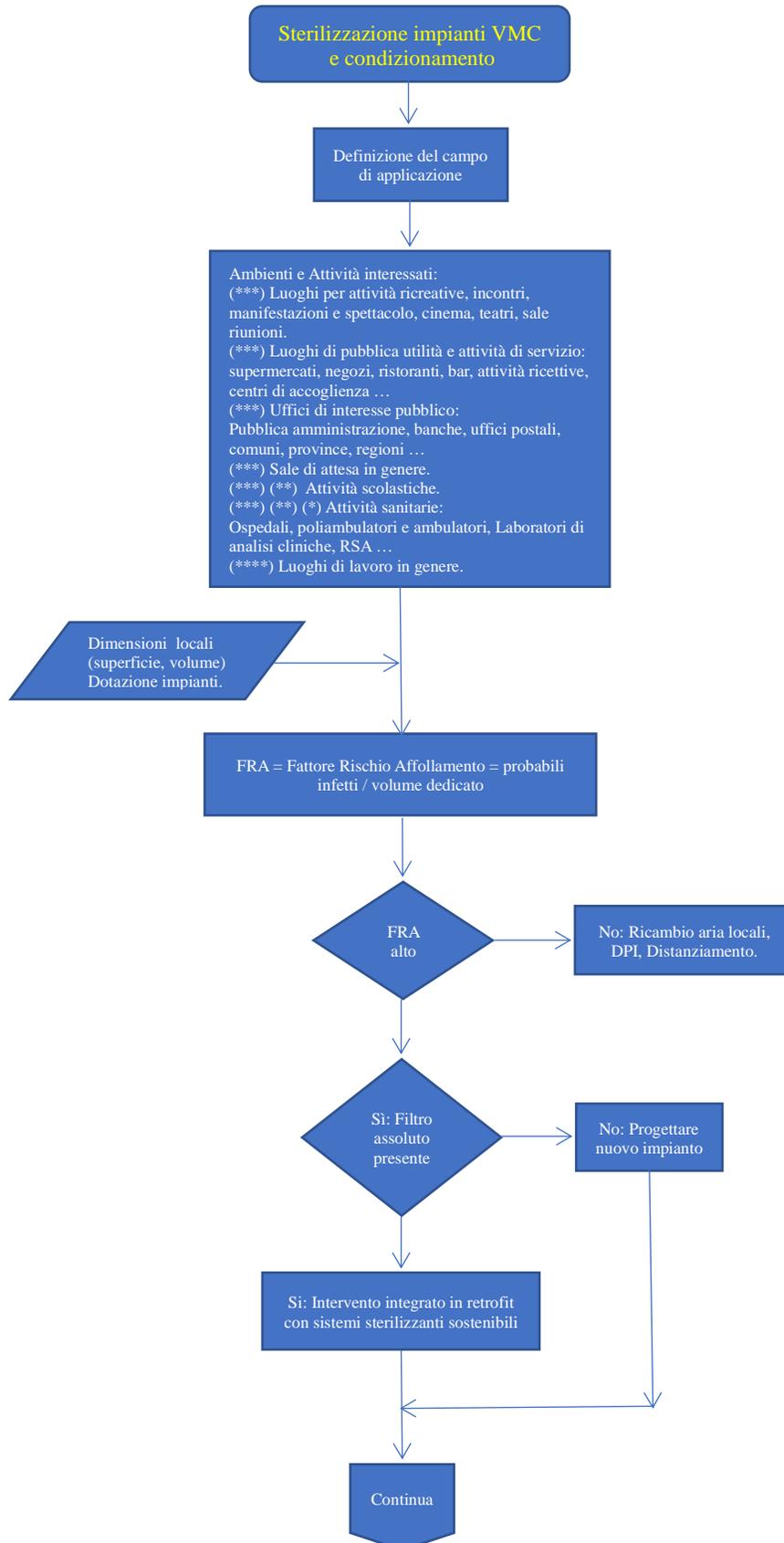
Gli impianti di climatizzazione comunque potrebbero portare a rischi aggiuntivi (legionella, prodotti usati per la pulizia ecc.) che richiedono una attenta manutenzione ordinaria e straordinaria e che non possono comunque essere lasciati a carico del singolo dirigente scolastico.

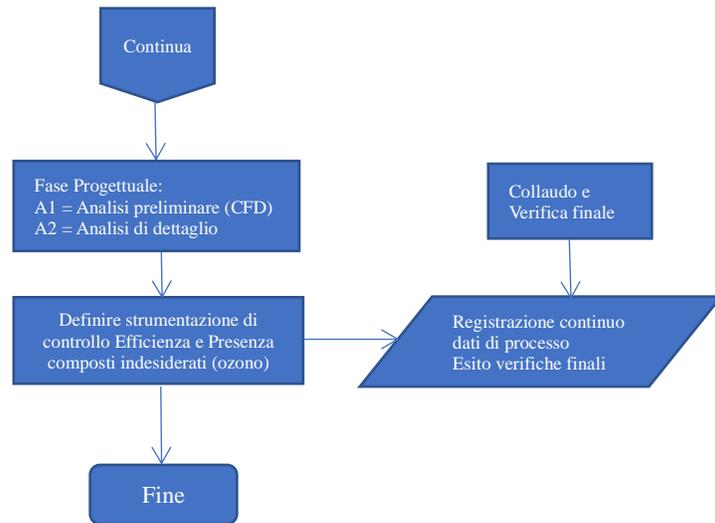
## **Criteri minimi che devono essere alla base di una buona progettazione degli impianti in ottica COVID-19**

### **Progettazione preliminare di un impianto destinato al ricambio e alla purificazione e sterilizzazione dell'aria da Coronavirus**

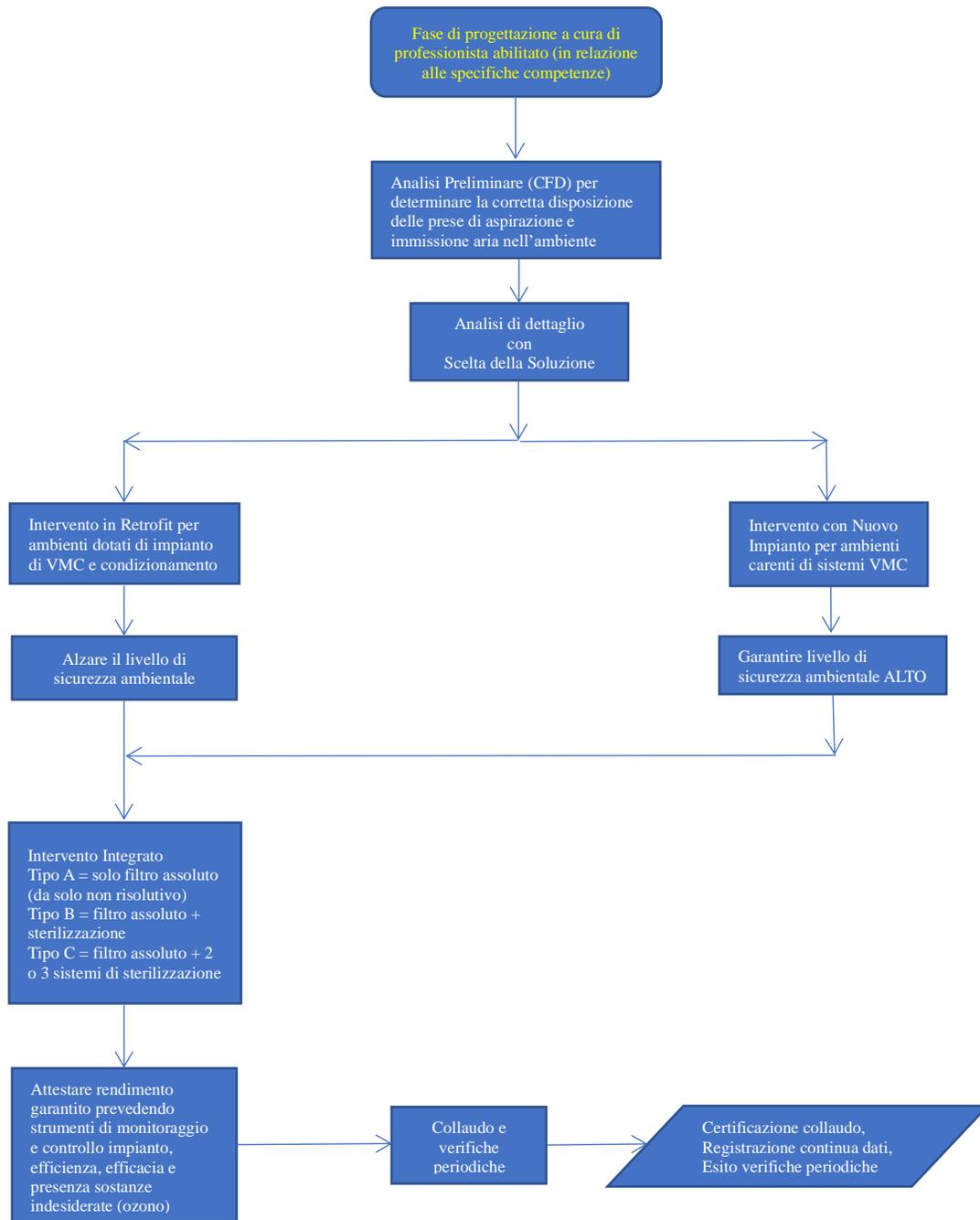
Si riporta di seguito un diagramma di flusso relativo al percorso metodologico per la scelta e realizzazione di Interventi di purificazione e sterilizzazione dell'aria dal virus.

## PROGETTAZIONE IMPIANTI DI TRATTAMENTO E STERILIZZAZIONE





- (\*) Sarà redatto apposito indirizzo tecnico
- (\*\*) In ogni caso, valgono già le considerazioni per le aree promiscue (sale di attesa) dove è alta la presenza di visitatori esterni che possono costituire un alto rischio di infezione, e che fin da subito possono essere sanificate in modo semplice e sostenibile;
- (\*\*\*) Ambienti ad alto rischio potenziale di contagio – FRA alto;
- (\*\*\*\*) Ambienti con Basso Rischio Potenziale Contagio (in questo caso le soluzioni consigliate sono Ricambi dell'aria adeguati alla norma, uso DPI e distanziamento).

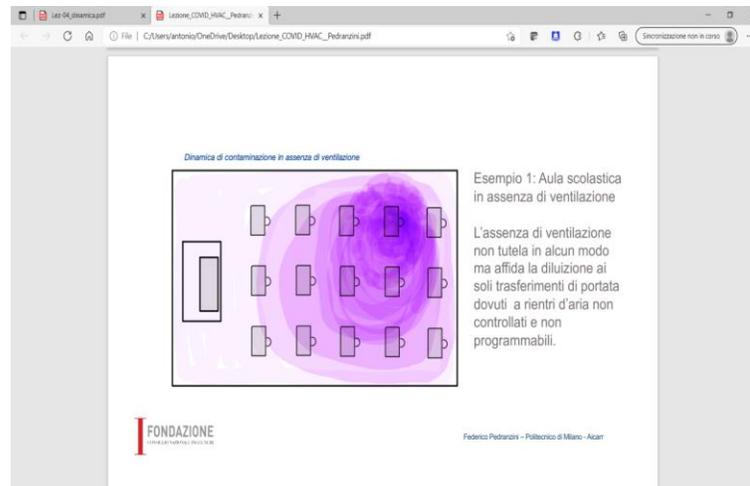


Grazie al contributo di esperti della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa si indicano di seguito le basi teoriche per un buon dimensionamento degli impianti di ventilazione generale, fornendo i riferimenti degli strumenti di calcolo matematico che possono aiutare a descrivere in fase progettuale i flussi dell'aria nei locali.

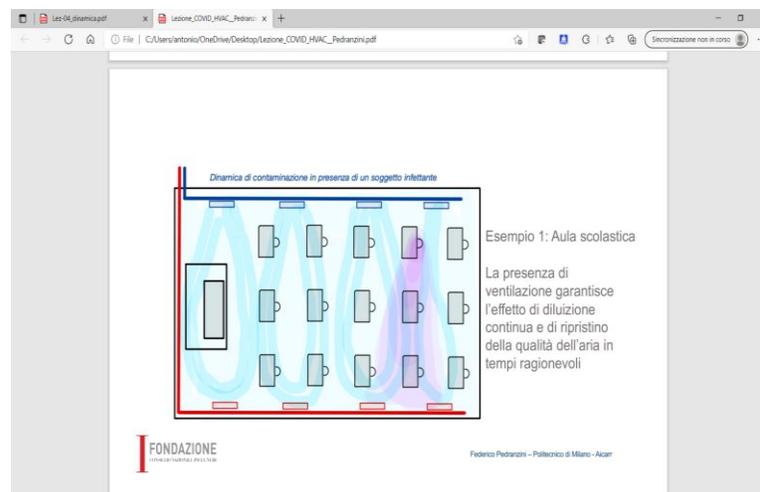
Si possono così individuare le criticità e riprogettare se del caso l'impianto a seconda del contesto ambientale e strutturale.

## Utilizzo della fluidodinamica computazionale (CFD) per la progettazione di Impianti di Purificazione e Sterilizzazione dell'aria

Negli schemi riportati di seguito appaiono in modo chiaro i flussi e la distribuzione spaziale dell'inquinante che si determina attorno ad alcuni focolai.

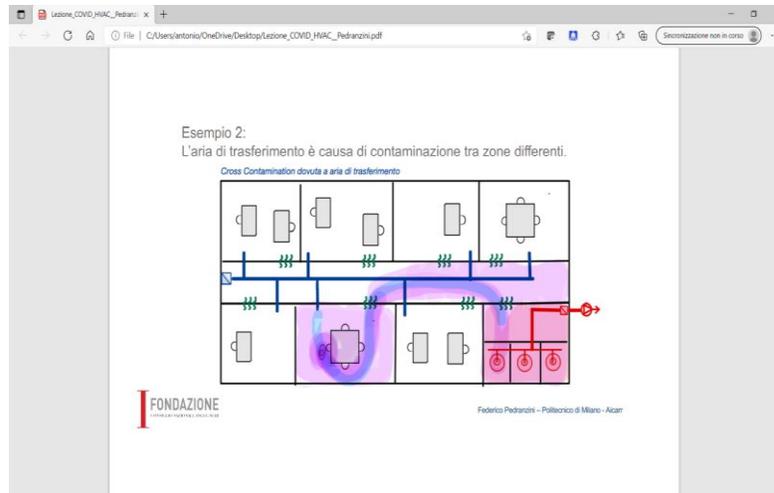


L'impiego della fluidodinamica computazionale (CFD) in fase di progettazione può permettere di correggere come di seguito il profilo della concentrazione dell'inquinante.



Interessante il caso di seguito rappresentato dove l'inquinante viene trasmesso dalla stanza infetta ai corridoi e ai locali destinati all'espulsione dell'aria provocando nel frattempo il rischio di contagio che invece deve essere eliminato in modo preventivo individuando la

migliore distribuzione dei flussi dell'aria che, qualora fosse riciclata, dovrà essere anche sterilizzata.



L'importanza della corretta distribuzione dell'aria nei locali sottolinea l'esigenza di fare ricorso, perlomeno per impianti di media grande dimensione, all'impiego della tecnica della Fluidodinamica Computazionale per l'ottimizzazione in via progettuale preliminare della distribuzione dell'aria nei locali sottoposti ad aerazione forzata mediante impianti di condizionamento.

La Fluidodinamica Computazionale può aiutare a operare delle scelte su:

- le modalità di miscelazione e dislocamento;
- il posizionamento di ingressi e uscite dei flussi di aria;
- il posizionamento delle postazioni di lavoro, etc.

Lo studio preliminare (modellistica CFD) con valutazione dei rischi sulla base delle attività svolte, della configurazione dei locali, della presenza e distribuzione delle persone, degli ostacoli (mobili o altro che costituisca potenziale deviazione dei flussi di aria), da effettuarsi per ambienti con **alto indice di affollamento** o comunque ad **alto rischio intrinseco**, consente di valutare la migliore disposizione dei punti di reimmissione e ripresa dell'aria.

In tal modo è possibile ottenere come effetto in sequenza la diluizione del virus e il suo allontanamento e convogliamento verso il successivo trattamento di sterilizzazione in sicurezza dell'aria nell'impianto centralizzato, restituendo eventualmente aria sanificata in base alla stagione meteorologica.

In definitiva, si possono fare le seguenti considerazioni:

1. Per tutti gli impianti, esistenti e nuovi, è oggi possibile l'impiego dei **modelli di valutazione del rischio** per stabilire la correlazione tra il numero di infetti e il livello del rischio. L'utilizzo di modelli per la valutazione sul rischio di contagio e di efficienza della depurazione può fornire indicazioni sui livelli di abbattimento richiesti in relazione all'efficienza dei sistemi HVAC e alla loro manutenibilità;
2. Si possono definire una serie di possibili "**interventi migliorativi**" della prestazione del sistema in termini di:
  - aumento dell'effetto di diluizione;
  - minimizzazione dei tempi di esposizione in caso di presenza di infetti;
  - miglioramento delle strategie di diffusione e di ripresa dell'aria con rinnovata attenzione ai fenomeni di trasferimento dell'aria.
3. Potenziamento/introduzione in mandata di *sistemi di abbattimento consolidati e accettati dalla normativa* (es. filtrazione HEPA) avendo presente che altri sistemi possono e devono andare ad integrarsi in quanto riconosciuti idonei (*radiazione UV-C, ossidazione fotocatalitica, ionizzazione negativa dell'aria ...*);
4. Nella progettazione di sistemi nuovi, o nel revamping di sistemi esistenti, in generale ci si muoverà nella direzione di introdurre dei criteri **integrativi e aggiuntivi** che consentano di:
  - privilegiare le soluzioni modulabili, ovvero soluzioni che consentono l'innalzamento degli standard prestazionali in situazioni di emergenza (come ad esempio in caso di pandemia) ma che consentono in tempi normali un funzionamento a regime controllato ed equivalente a quello pre – Covid;
  - privilegiare soluzioni che in assenza di Covid consentono un efficientamento del sistema;
  - privilegiare soluzioni caratterizzate da una maggiore flessibilità di utilizzo e di implementazione di modalità di funzionamento differenti a seconda del contesto e degli aspetti climatici.
5. Progettazione corretta del sistema di purificazione (filtri assoluti e sterilizzazione) in funzione della portata d'aria ottimale, determinazione dei dosaggi e dei tempi di contatto per stabilire i volumi all'interno della canalizzazione da dedicare alla reazione di neutralizzazione del virus;
6. Scelta di materiali e apparecchiature conformi alle norme di prodotto con valutazione di soluzioni alternative (vedi ad es. uso di lampade UVC LED che offrano prestazioni equivalenti a quelle a vapori di mercurio);
7. Valutazione attenta del rischio di emissione di sostanze indesiderate;
8. Scelta conseguente della strumentazione di controllo da ritenere obbligatoria per garantire il massimo coefficiente di abbattimento e la sicurezza qualora l'aria sia reimpressa in ambiente;

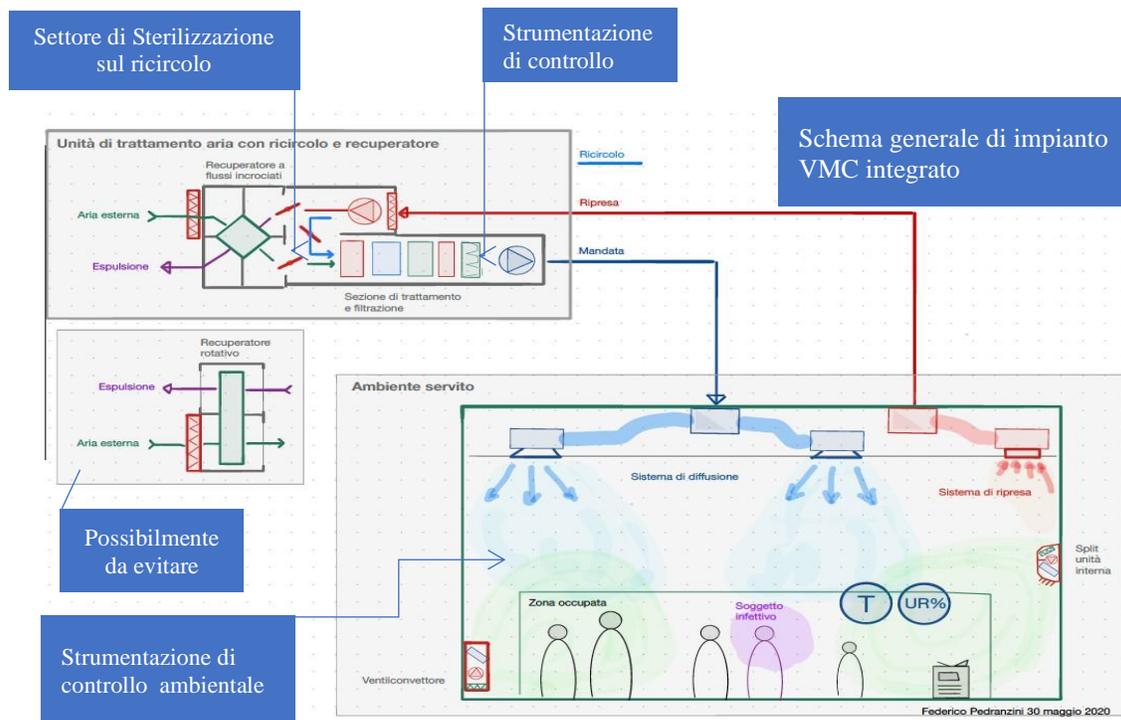
9. Predisposizione di un manuale di uso e manutenzione delle apparecchiature in linea con le norme di sicurezza sul lavoro.

In conclusione, la soluzione ottimale che consente di alzare l'indice percentuale di sicurezza e ridurre in corrispondenza quello di rischio di contrarre il Virus è rappresentata dalla **integrazione di più tecniche** tutte di per sé efficienti ma non in grado singolarmente di garantire la massima efficacia cui comunque bisogna mirare.

Si dimostra che i rischi che ne derivano sono facilmente controllabili se l'uso delle tecniche di sterilizzazione viene delimitato all'interno della canalizzazione.

La sterilizzazione rappresenta quindi una risorsa importante da utilizzare alle condizioni di cui sopra.

Possiamo quindi considerare il seguente schema ideale di impianto centralizzato:



**Impianto VMC integrato**

Lo schema riporta in modo semplice le diverse unità di trattamento:

- Abbattimento polveri preliminare (filtri assoluti) e una successiva Unità di Sterilizzazione in continuo posizionata all'interno della canalizzazione;
- Strumentazione di controllo destinata sia alla misura dei parametri che garantiscono la massima efficienza del processo di sterilizzazione che alla eventuale presenza di

composti secondari di reazione (ozono) in modo da operare solo con aria reimpressa nei limiti per gli operatori addetti o per gli utenti dei locali;

- Strumentazione di controllo ambientale, con la presenza almeno di un indicatore di concentrazione di CO<sub>2</sub> quale indicatore indiretto del tasso di contaminazione virale.

I recuperatori di calore di tipo rotativo vanno preferibilmente evitati, qualora dovessero rimanere in funzione l'aria di rinnovo risulterebbe contaminata e di conseguenza andrebbe sanificata.

In ogni caso devono essere rispettate regole di buon dimensionamento da affidare a professionisti abilitati.

Quanto sopra vale sia per impianti già esistenti in cui si pensa di intervenire in retrofit, che con pochi e sostenibili interventi possono acquisire un alto coefficiente di sicurezza, sia che si debba pensare alla progettazione di un nuovo impianto.

### **Retrofit di impianto VMC esistente con inserimento di lampada UV-C**

Una possibile misura tecnica di prevenzione primaria potrebbe prevedere l'installazione di un sistema di sanificazione del flusso aeraulico che attraversa un impianto di VMC a mezzo di lampade UV-C.

L'impianto potrebbe essere così costituito da:

- 1) Impianto per la ventilazione industriale (aspirazione);
- 2) Impianto per il perseguimento della qualità dell'aria interna mediante diluizione con aria pulita e uscita di aria contaminata in presenza di ricircolo;
- 3) Impianto di condizionamento (deumidificazione/riscaldamento/raffrescamento).

Gli impianti nel loro complesso non avranno marcatura CE, mentre i loro componenti saranno marchiati CE (con tutto quello che comporta, dal libretto di uso e manutenzione in poi) in quanto macchine: ventilatore, filtri etc....

L'inserimento delle lampade UV in canaletta con appropriato livello di irradiazione ha norme di prodotto specifiche e dettagliate che non modificano la restante parte di impianto.

Il collaudo di un impianto di ventilazione non è richiesto da nessuna norma, ma è fortemente consigliabile una verifica con misure dei parametri di progetto (velocità dell'aria ecc.).

Le norme di prodotto (utilizzate per la corretta costruzione dei diversi componenti) riguardano i componenti, e le norme di sistema (usate per il dimensionamento complessivo) sono la UNI 10339 in fase di modifica e la UNI EN 15251.

### **Sistemi di controllo**

Per applicazioni industriali è possibile riferirsi alla norma EN ISO 15858:2016 «Dispositivi

UV-C - Informazioni sulla sicurezza - Limiti ammissibili per l'esposizione umana».

Tali applicazioni possono rappresentare una esposizione ad un agente cancerogeno che deve essere valutato e per il quale debbono essere prese misure di prevenzione e protezione:

- Segregazione tramite inserimento in canaletta schermante (canale dell'impianto VMC);
- Interblocco nello sportello di ispezione/manutenzione;
- Segnalazione della presenza del rischio ROA;
- Formazione dei lavoratori addetti alla manutenzione ed uso di eventuali DPI.

Le lampade UV-C comportano inoltre un Rischio Ozono (O<sub>3</sub>), per lunghezze d'onda inferiori a 240 nm, che deve essere escluso a priori dal produttore. Una misura aggiuntiva potrebbe essere quella di inserire nella condotta un sensore di rilevamento di Ozono collegato alla centrale di allarme che disattiva la lampada in caso il sensore ne rilevi la presenza.

Un ulteriore sensore che potrebbe essere inserito nel sistema è un misuratore di intensità della luce UV che permetta di stabilire l'efficacia della lampada ed i tempi di sostituzione ai fini manutentivi.

Analoga strumentazione potrebbe essere prevista nell'ambiente dove si svolgono le attività servite dall'impianto VMC (effetto ridondanza).

La misura, la registrazione in continuo e la trasmissione dei dati da remoto di tutti i parametri sopra menzionati costituisce un elemento di ulteriore garanzia perché permetterebbe di intervenire in tempo reale su eventuali guasti dei componenti dell'impianto.

In ogni caso l'impianto di purificazione deve avere caratteristiche simili a quello descritto in precedenza.

## **Normativa applicabile**

### ***D.Lgs. 81/08 e s.m.i.***

Ai sensi dell'art. 64 del D. Lgs. 81/08 (TITOLO II: I luoghi di lavoro), il datore di lavoro deve provvedere affinché i luoghi di lavoro e gli impianti vengano sottoposti a regolare manutenzione tecnica (co. 1 let. c)) e vengano sottoposti a regolare pulitura (co. 1 let. d)), onde assicurare condizioni igieniche adeguate.

In particolare nell'ALLEGATO IV - Requisiti dei luoghi di lavoro, al p.to 1.9 «Microclima, 1.9.1. Aerazione dei luoghi di lavoro chiusi» è specificato che:

1.9.1.2. Se viene utilizzato un impianto di aerazione, esso deve essere sempre mantenuto funzionante. Ogni eventuale guasto deve essere segnalato da un sistema di controllo, quando ciò è necessario per salvaguardare la salute dei lavoratori.

1.9.1.3. Se sono utilizzati impianti di condizionamento dell'aria o di ventilazione meccanica, essi devono funzionare in modo che i lavoratori non siano esposti a correnti d'aria fastidiosa.

1.9.1.4. Gli stessi impianti devono essere periodicamente sottoposti a controlli, manutenzione, pulizia e sanificazione per la tutela della salute dei lavoratori.

1.9.1.5. Qualsiasi sedimento o sporcizia che potrebbe comportare un pericolo immediato per la salute dei lavoratori dovuto all'inquinamento dell'aria respirata deve essere eliminato rapidamente.

***Indicazioni e rapporti dell'Istituto Superiore di Sanità:***

12 marzo 2020 Poster «Consigli per gli ambienti chiusi»

23 marzo 2020 Rapporto ISS COVID-19 • n. 5/2020 Rev.0 “Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell’infezione da virus SARS-CoV-2”

21 aprile 2020 Rapporto ISS COVID-19 • n. 5/2020 Rev.1 “Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell’infezione da virus SARS-CoV-2”

15 maggio 2020 Rapporto ISS COVID-19 • n. 25/2020 Rev.0 “Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell’attuale emergenza COVID 19: superfici, ambienti interni e abbigliamento”

25 maggio 2020 Rapporto ISS COVID-19 • n. 33/2020 “Indicazioni sugli impianti di ventilazione/ climatizzazione in strutture comunitarie non sanitarie e in ambienti domestici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2”

18 aprile 2021 Rapporto ISS COVID-19 • n.11/2021 (n.05/2020 Rev. 2) “Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell’infezione da virus SARS-CoV-2”

20 maggio 2021 Rapporto ISS COVID-19 • n.12/2021 (n.25/2020 Rev. 1) “Indicazioni sugli impianti di ventilazione/ climatizzazione in strutture comunitarie non sanitarie e in ambienti domestici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2”

***Analizzando le fonti normative presenti in letteratura prima della pandemia invece ci si riferisce a linee guida ed Accordi Stato Regioni:***

Impianti di climatizzazione: salute e sicurezza nelle attività di ispezione e bonifica, INAIL, 2017.

Linee guida per la prevenzione ed il controllo della legionellosi, INAIL, 2015.

Accordo Conferenza Stato-Regioni del 2007.02.2013 “PROCEDURA OPERATIVA PER LA VALUTAZIONE E GESTIONE DEI RISCHI CORRELATI ALL’IGIENE DEGLI IMPIANTI DI TRATTAMENTO ARIA” e correlate Leggi Regionali.

Linee guida per la prevenzione ed il controllo della legionellosi 2006.11.03.

Accordi Stato – Regioni del 5 ottobre 2006 attraverso le “Linee Guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione”

Il 4 febbraio 2005 è stato pubblicato in Gazzetta Ufficiale N.28 un accordo tra il Ministero della Salute e le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano, avente ad oggetto “Linee guida recanti indicazioni sulla legionellosi per i gestori di strutture turistico-recettive e termali”.

***Norme tecniche nazionali:***

UNI 10339 (1995) “Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura”.

UNI EN 12097 (2007) “Ventilazione degli edifici - Rete delle condotte - Requisiti relativi ai componenti atti a facilitare la manutenzione delle reti delle condotte”.

UNI EN 15251 (2008)” Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica”.

UNI EN 15780 (2011) “Ventilazione degli edifici – Condotti- Pulizia dei sistemi di ventilazione”.

UNI EN 13142 (2021) “Ventilazione per gli edifici - Componenti/prodotti per la ventilazione residenziale - Caratteristiche prestazionali richieste e facoltative”.

***Norme tecniche internazionali:***

EN 16798-3 “Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 3: for non-residential buildings – performance requirements for ventilation and roomconditioning systems (Modules M5-1, M5-4)

NADCA – ACR Lo Standard NADCA per la valutazione, la pulizia e il ripristino degli impianti HVAC – 2013

**Riferimenti bibliografici**

G. G. Brown, “Le operazioni fondamentali dell’industria chimica” Cap. 7 moto dei solidi in seno ai fluidi.

Coulson and Richardson “Chemical engineering” vol. II, cap. 4 motion of particles in a fluid.

Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice, 16th edition (ACGIH), Section 7-Make-up and Recirculation air.

Rev 1.0\_Impianti di condizionamento e VMC\_Linee Guida anticovid\_dicembre2020 – Pubblicato sul sito dell’Ordine degli Ingegneri di Livorno.

“Impianti per la Ventilazione (VMC) degli ambienti di vita e di lavoro e la purificazione dell’aria nella lotta al Covid 19 - Stato dell’arte sulle principali tecniche di purificazione dell’aria per agenti patogeni nei condotti di areazione. Rendimenti e sostenibilità” – Pubblicato sul sito della Federazione Regionale degli Ordini degli Ingegneri della Toscana.

Rielaborazione di articoli e dati estrapolati da internet

## Ringraziamenti

Si ringraziano:

- Il Dott. Giovanni Pareschi dell'INAF - Osservatorio Astronomico di Brera;
- Il Prof. Ing. Leonardo Tognotti Full Professor of Chemical Engineering Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Università di Pisa;
- La Dott.ssa Iole Pinto della ASL Toscana Sudest-Regione Toscana;
- Il Dott. Andrea Bogi della ASL Toscana Sudest-Regione Toscana;

per il sostanziale contributo apportato alla stesura del documento.

Un particolare ringraziamento viene inoltre rivolto all'Assessorato Sanità, Welfare e Coesione Sociale della Regione Toscana per la sensibilità dimostrata attraverso i responsabili dei settori della prevenzione, e in particolare:

- Dott. Ing. Giovanna Bianco – Responsabile Settore Prevenzione e Sicurezza sui Luoghi di Lavoro – Regione Toscana;
- Dott. Ing. Bernardo Perazzi – Dirigente Azienda ASL Toscana Centro - Settore Prevenzione e Sicurezza sui Luoghi di Lavoro - Regione Toscana;
- Dott. Ing. Ugo Carlo Schiavoni – Direttore U.O.C Prevenzione e Sicurezza - Area Est - Azienda ASL Toscana Sudest;

per aver promosso e condiviso con la nostra Federazione la necessità di portare all'attenzione della collettività possibili soluzioni per contenere il contagio.