



Stato dell'arte sulle principali tecniche di purificazione dell'aria per agenti patogeni nei condotti di areazione. Rendimenti e sostenibilità

(atti del corso 15-22 giugno 2021)



Autori del corso 15 – 22 giugno 2021

Dott. Ing. Antonio Spinazzola

Dott. Ing. Alessandro Nanni

Dott. Ing. Maurizio Malvaldi

Dott. Ing. Paolo Rosabianca

Dott. Ing. Maura Pellegrini

Ing. Andrea Bianco - Dott. Giovanni Pareschi (INAF - Osservatorio Astronomico di Brera)

Prof. Ing. Leonardo Tognotti (UNIFI)

Dott. Andrea Bogi (UNISI)

Dott.ssa Iole Pinto (ASL Toscana Sudest)

Indice

Premessa

Introduzione (Dott. Ing. Mirko Bianconi – Dott. Ing. Mario Zito)

Finalità del corso

*Saluti del Responsabile Servizio di Prevenzione e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro
Regione Toscana Dott. Ing. Giovanna Bianco*

1. Modalità di trasmissione del contagio da Coronavirus (Dott. Ing. Paolo Rosabianca – Dott. Ing. Antonio Spinazzola)

1.1 Considerazioni di carattere tecnico - scientifico sulle modalità con cui può essere veicolato in ambiente il coronavirus.

1.2 Velocità di caduta libera di una particella all'interno dell'aria.

2. Impianti di ventilazione e condizionamento dell'aria e loro possibile influenza nel contagio (Dott. Ing. Antonio Spinazzola)

2.1 Profilo nel tempo della concentrazione di un inquinante in ambiente di lavoro per effetto del ricircolo di una quota variabile di aria.

3. Impianti di Ventilazione e Condizionamento dell'aria (Prof. Ing. Leonardo Tognotti)

3.1 Concetti base e riferimenti nazionali e internazionali

3.2 Gli impianti di climatizzazione

3.3 Misure per il controllo e il miglioramento delle condizioni del microclima per quanto riguarda la temperatura, l'umidità e la ventilazione

3.4 La filtrazione

3.5 Impiego della tecnica della fluidodinamica computazionale per l'ottimizzazione della distribuzione dell'aria negli impianti di condizionamento

3.6 Conclusioni: ipotesi per la progettazione degli impianti in ottica COVID-19

4. Il trattamento dell'aria condizionata canalizzata con radiazioni UV-C - Applicazioni ed esempi con indicazioni per un corretto dimensionamento (Dott. Ing. Paolo Rosabianca)

4.1 Trattamento con raggi UV-C

4.2 Altre metodologie di trattamento dell'aria con riferimento alle norme recentemente introdotte dall'ISS

- 4.3 Sistemi di controllo continuo dell'efficienza ed efficacia del sistema adottato e dell'eventuale fuoriuscita di sostanze indesiderate
- 5. Studi di inattivazione del virus SARS–COV-2 in UV** (*Ing. Andrea Bianco - Dott. Giovanni Pareschi*)
- 6. Il trattamento dell'aria con raggi UV - Rischi correlati all'uso diretto negli ambienti di vita e di lavoro** (*Dott. Andrea Bogi – Dott.ssa Iole Pinto*)
- 7. Scelta della strategia più efficace – Approccio probabilistico – Classificazione del rischio – Applicazione del principio della massima cautela** (*Dott. Ing. Antonio Spinazzola, Dott. Ing. Maura Pellegrini*)
- 7.1 Scelta della strategia più efficace - Approccio Probabilistico Principio della massima cautela
- 7.2 Misure da adottare proporzionali al Rischio previsto
- 8. Schemi semplificati di impianti di aspirazione, trattamento e purificazione dell'aria per diverse tipologie di attività** (*Dott. Ing. Antonio Spinazzola, Dott. Ing. Maura Pellegrini*)
- 8.1 Caso locale unico -Cinema -teatri-supermercati etc.
- 8.2 Caso locali comunicanti -Scuole, uffici pubblici etc.
- 8.3 Caso Ambulatori medici, studi dentistici etc.
- 9. Ventilazione dell'aria in ambiente ospedaliero alla luce del rischio di infezione da Covid 19** (*Dott. Ing. Maurizio Malvaldi*)
- 10. Conclusioni sulle tecniche da adottare per il trattamento dell'aria.**
- 11. Ruolo della manutenzione degli impianti - Protocollo da adottare per una loro corretta gestione e manutenzione. Sanificazione degli impianti** (*Dott. Ing. Alessandro Nanni*)
- 11.1 Normativa applicabile
- 11.2 Sanificazione
- 11.3 Manutenzione Ordinaria
- 11.4 Manutenzione ordinaria e sanificazione degli impianti di condizionamento e/o ventilazione
- 11.5 Ambienti con sistema di raffrescamento con condizionatori comuni
- 11.6 Considerazioni finali

12. Normativa generale di riferimento

13. Riferimenti bibliografici e normativi

PREMESSA

Introduzione (Ing. Mirko Bianconi - Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia; Ing. Mario Zito - Responsabile della Commissione Impianti Federazione degli Ingegneri della Toscana)

Il seminario prende spunto da un precedente lavoro svolto e presentato dagli Ordini degli Ingegneri di Livorno e Lucca che hanno pubblicato le prime Linee Guida sugli impianti di purificazione dell'aria per prevenire la diffusione del coronavirus (Link: Impianti di condizionamento e VMC - Linee Guida anti-Covid.) Recentemente (20 Maggio 2021) sono state pubblicate dall'ISS le nuove linee guida (Rapporti 11 e 12) che aggiornano i Rapporti 5 e 25 del 2020 e che trattano l'argomento del nostro corso e dobbiamo sottolineare quanto quest'ultime si possano rispecchiare nelle nostre tanto che pensiamo sia ancor più efficace, opportuna e tempestiva l'iniziativa che andiamo a presentare.

considerato l'interesse che aveva suscitato la prima edizione l'Ordine di Pistoia con il Patrocinio della Federazione Regionale degli Ingegneri e della Regione Toscana ha voluto estendere l'iniziativa di formazione per gli iscritti e con l'occasione, nel contempo rafforzare ulteriormente i contenuti di per sé validamente affrontati dai nostri colleghi esperti della materia nel corso della propria attività professionale, completandoli e affidandosi su specifici argomenti ritenuti di interesse anche ad esperti universitari, docenti di Ingegneria dell'università di Pisa esperti dell'Università di Siena, della Asl toscana sud-est che hanno in questo caso maturato esperienze dirette su alcune applicazioni.

Il seminario riporta anche le esperienze acquisite all'interno del Centro di ricerca INAF. Che svolge, tra l'altro, attività di Ricerca e Sviluppo interne all'Ente per contrastare la pandemia COVID19

Bisogna essere coscienti che se vogliamo riaprire e mantenere in sicurezza molte delle nostre attività (.....cinema teatri ristoranti etc....) non basterà solo pretendere il doveroso completamento del piano delle Vaccinazioni, ma anche aggredire le cause incidendo positivamente invece sull'ambiente che in futuro potrebbe portarci sempre nuovi virus. In parole povere *fare Prevenzione Primaria*.

In conclusione vogliamo fornire ai nostri amministratori certezze e sistemi che possano integrarsi in modo sinergico con le altre misure fin qui introdotte per contenere la diffusione del Covid 19

Crediamo che la formalizzazione di un tavolo di lavoro congiunto con la Regione Toscana possa rappresentare in questo senso uno strumento importante per la futura programmazione di misure tecniche di Prevenzione.

Speriamo che il nostro possa essere un aiuto concreto anche al mondo del commercio dello spettacolo del turismo della ristorazione dei trasporti all'attività scolastica etc.... e alle categorie che li rappresentano perché le armi per riaprire in sicurezza ci sono, occorre mettere in atto gli strumenti attuativi, favorire la corretta informazione a tutti gli utenti.

Con questa iniziativa ci rivolgiamo ai progettisti ma ci attendiamo una più incisiva e capillare diffusione delle conoscenze all'interno delle categorie interessate in modo che le stesse una volta attuate le misure possano pretendere il rilascio della autorizzazione ad esercitare la propria attività garantendo un alto livello di sicurezza.

Finalità del corso

Fornire spunti di riflessione per soluzioni concrete alle problematiche indotte dagli impianti di condizionamento dell'aria destinati a strutture di media e grande dimensione (supermercati, strutture sanitarie, cinema, teatri, banche etc....) che per la necessità di ottemperare alle condizioni di sicurezza possono andare incontro a difficoltà pratiche che rischiano di penalizzare la continuità della loro stessa attività. Il lavoro si basa sulla rigorosa applicazione delle leggi della fisica che regolano il movimento delle particelle nell'ambiente e negli impianti, e questo 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. 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 fare fronte alle esigenze di una emergenza come quella che stiamo vivendo.

Per questo motivo, come dicevamo, abbiamo approfondito, ricorrendo ad esperti della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa 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 individuandone così le criticità e riprogettare, se del caso l'impianto a seconda del contesto ambientale e strutturale.

La sanificazione delle condotte, la corretta manutenzione e pulizia degli impianti, e la chiusura delle serrande di ricircolo dell'aria, ove necessario, costituiscono passi obbligati per garantire la sicurezza degli utenti e dei lavoratori ma non sono, a nostro avviso, sufficienti per cui è doveroso ricercare soluzioni pratiche per superare questa impasse. 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.

Occorre avere la consapevolezza che solo mettendo in atto strategie che siano in grado di aggredire in modo integrato e diversificato il virus è possibile ridurre drasticamente la probabilità del contagio e impedirne la diffusione.

Quindi, anche altre misure devono essere messe in atto in tutte quelle realtà dove è più alta la Probabilità che accada l'evento negativo ovvero nei luoghi con alto indice di affollamento.

In questo senso il mondo scientifico e della Ricerca ci suggerisce misure anche di tipo impiantistico e strutturale che a quanto pare sono facilmente attuabili semplici e sostenibili economicamente e che consentirebbero di ripartire ad esempio il prossimo

anno con l'attività scolastica in sicurezza là dove venissero attuate

Pensiamo ovviamente a 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 (sistemi di sterilizzazione ad es. lampade UVC ma senza trascurare altre tecniche che potrebbero dimostrarsi altrettanto efficaci e sicure perché all'interno delle canalizzazioni e quindi non a contatto con gli utenti) che in altre nazioni quali la Germania sono stati recentemente introdotti ad esempio quale requisito base per garantire in sicurezza le lezioni soprattutto se pensiamo alla stagione invernale quando non potremo affidarci unicamente alla apertura delle finestre e vorremo mantenere ben riscaldati gli ambienti senza sperperare energia termica .

Alcune di queste tecniche verranno illustrate nelle caratteristiche generali riferendoci schematicamente alle tipologie con più alto coefficiente di rischio contagio da Covid (supermercati ,cinema ,ristoranti ma anche esempi dettagliati di applicazioni quali quelle in studi dentistici o sale operatorie o di degenza ospedaliera) mentre saranno illustrate con dovizia di dati esperienze effettuate recentemente dall'istituto di astrofisica del Politecnico di Milano riguardo alla efficacia dei raggi UV con esempi di applicazioni pratiche approfondendo i criteri base di dimensionamento che dovranno seguire le aziende che sceglieranno questo percorso. Sullo stesso argomento verranno fatti approfondimenti specifici sul tema della sicurezza delle apparecchiature e dei componenti proposti per la sterilizzazione dell'aria trattata dagli esperti della Asl Toscana sudest di Siena

Saluti del Responsabile Servizio di Prevenzione e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro Regione Toscana (Dott. Ing. Giovanna Bianco)

Ringrazio l'Ordine degli Ingegneri per avere invitato la Regione Toscana all'importante iniziativa odierna.

Nell'ultimo anno e mezzo, caratterizzato dalla pandemia da Covid-19, uno dei principali argomenti di studio e approfondimento, ma anche di dibattito e discussione, sono state le procedure di igienizzazione e sanificazione delle superfici e degli ambienti, nella consapevolezza che, oltre all'utilizzo della mascherina a protezione delle vie respiratorie, l'igienizzazione e la sanificazione fossero le principali armi per combattere il virus.

Tanto è stato detto in proposito e tanto è stato smentito, sia a livello di dibattito pubblico che a livello normativo, in quanto tutte le disposizioni emanate sia a livello nazionale che regionale, tramite le varie ordinanze, hanno sempre richiamato l'obbligo di procedere alla igienizzazione di tutti gli ambienti condivisi, di vita e di lavoro, anche più volte al giorno, e alla sanificazione in caso di riscontrata presenza di casi positivi.

Obblighi, il cui mancato rispetto si è ovviamente tradotto in sanzioni, durante i numerosi controlli effettuati per il rispetto dei protocolli anti-contagio; a tale proposito ringrazio ancora una volta i servizi PISLL delle Aziende USL Toscane, che hanno svolto un ruolo fondamentale, insieme alle forze dell'ordine, nel verificare il rispetto delle disposizioni

anti Covid.

In tema di igienizzazione e sanificazione, un punto di riferimento fondamentale sono state in questo periodo le Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie, dell'Istituto Superiore di Sanità, cioè il Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020 che, dalla sua prima emanazione nel maggio 2020 ad oggi ha subito vari aggiornamenti in conseguenza dell'evoluzione degli studi sulle modalità di sanificazione delle superfici e degli ambienti.

Sulla qualità dell'aria indoor ricordo, invece le Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor, il rapporto n. 5/2020 dell'Istituto Superiore di Sanità.

Negli ultimi aggiornamenti dei suddetti documenti dell'Istituto Superiore di Sanità, rispettivamente di maggio e aprile 2021, aggiornamenti basati sulle più recenti evidenze scientifiche relative alla trasmissione del SARS-CoV-2, è chiaramente evidenziato che la via aerea è ritenuta una via rilevante di contagio e che la modalità di trasmissione è ad oggi più focalizzata sulla via aerea, piuttosto che attraverso il contatto con le superfici; occorre, pertanto, una maggiore attenzione sugli aspetti riguardanti la sanificazione dell'aria e dell'ambiente, in associazione con le misure raccomandate dalle disposizioni vigenti in relazione alla situazione pandemica.

Il corso di formazione odierno si cala perfettamente in tale contesto e rappresenta, quindi, un importante strumento di approfondimento, grazie a docenti estremamente qualificati, per comprendere le tecnologie di purificazione dell'aria, che rappresentano il presente e futuro dei più avanzati metodi di lotta ai virus.

La campagna vaccinale in Toscana contro il Covid-19 sta procedendo con ottimi risultati, ma per poter prevenire nuovi focolai del virus o di eventuali futuri nuovi virus, è indispensabile anche, negli ambienti di vita e di lavoro, soprattutto quelli ad elevato affollamento (scuole, grandi aziende, cinema, teatri, centri commerciali, mezzi di trasporto, ecc..) mettere in pratica tutte le soluzioni tecniche che garantiscano un ambiente sano.

1. Modalità di trasmissione del contagio da Coronavirus (Dott. Ing. Paolo Rosabianca – Dott. Ing. Antonio Spinazzola)

1.1 Considerazioni di carattere tecnico -scientifico sulle modalità con cui può essere veicolato in ambiente il coronavirus

Le particelle infettanti del SARS-CoV-2, veicolate attraverso l'aria, si possono presentare come singole unità di carica infettante virale oppure come aggregati di singole unità virali.

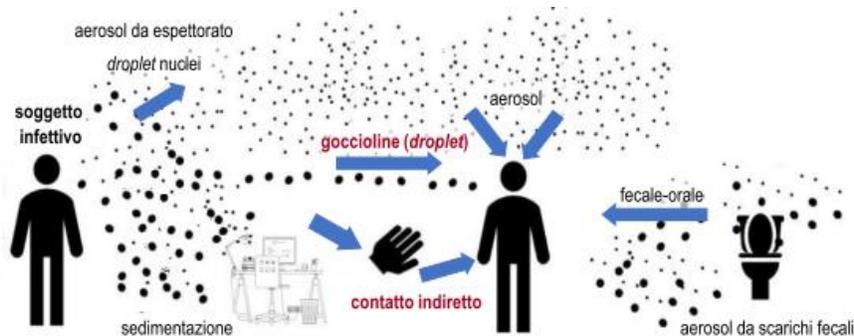


Fig. 1 Modalità di trasmissione del contagio

E' stato appurato che il Meccanismo di trasmissione avviene:

- per contatto
- per inalazione
- per contatto con superfici

Da ciò deriva la necessità di adottare

- misure di distanziamento
- uso delle mascherine
- uso di guanti ecc.

Allora dobbiamo porci la domanda: la particella decade verso terra, oppure rimane in linea di galleggiamento?

Ci viene incontro a tale proposito la trattazione contenuta nel paragrafo che segue che si richiama alle leggi della fisica.

1.2 Velocità di caduta libera di un corpo all'interno di un mezzo (aria)

Nel nostro caso viene considerata, come ovvio, la caduta di una particella di saliva (assimilabile ad acqua) all'interno di un fluido che è rappresentato dall'aria.

Si fanno le seguenti osservazioni:

- Il solido è rappresentato da minute particelle di acqua (cui si assimila la saliva emessa);
- Il fluido (aria) è incompressibile;
- La forza che provoca il moto verso il basso è data da $F' = ma = mg - w_g - FR'$ dove $w_g =$ spinta idrostatica, $w =$ massa di fluido spostata dalla particella $FR' =$ forza resistente dovuta all'attrito (in questo caso dell'aria).

Il caso più semplice da prendere in considerazione è quello del moto viscoso o laminare.

Nella fattispecie, Stokes dimostrò che $FR' = 3\pi Dv\mu$, dove D è il diametro della particella, μ è la viscosità del fluido (in questo caso dell'aria), e v è la velocità della particella rispetto al fluido.

Si ottiene una velocità media di caduta

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

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

Preso atto della più probabile distribuzione dei diametri, compresi tra 5 e 500 micron, si può provare a valutare le rispettive velocità di caduta delle particelle per alcuni valori dei diametri.

Alla temperatura di 20°C per una particella del diametro di 20 micron si ha:

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

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

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

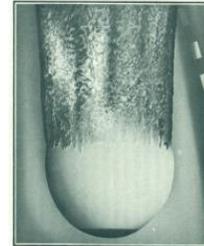
$$V_m = 9,81 \times (1000 - 1,188) \times 20^2 \cdot 10^{-12} / 18 \times 18,24 \times 10^{-6} = 11,95 \cdot 10^{-3} \sim 0,012 \text{ m/s}$$

Fonte:

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

Trattandosi di una variazione direttamente proporzionale al quadrato dei diametri, a parità di tutte le altre condizioni si può prevedere quanto riportato nella tabella seguente.



D [micron]	V m x 10 ⁻³ [m/s]
5	0,75
10	3,00
20	12,00
50	75,00
100	300,00
200	1.200,00
300	2.700,00
400	4.800,00
500	7.500,00

Ci accorgiamo che la velocità di caduta delle particelle per i diametri compresi tra 20 e 500 micron varia fra (0,012 e 7,5) m/sec, e se ne deduce che le particelle emesse a ~ 1,6 m di altezza (altezza media da terra della bocca e del naso) impiegano tempi di caduta al suolo molto diversi tra loro.

In condizioni di aria stazionaria il tempo di caduta al suolo si può assumere pari a

$$t_m = 1,6 / V_m \text{ [sec]}$$

con valori che variano da 0,2 sec (500 micron) a 133 sec cioè 2,2 min (20 micron), fino a raggiungere tempi di caduta di 533 sec (~ 9 min) per le particelle da 10 micron e 2133 sec cioè 35 min per le particelle da 5 micron, valori che trovano peraltro riscontro nella tabella associata al rapporto ISS n.33 del 25 maggio 2020.

Tabella 2. Destino delle droplet (goccioline) emesse durante la respirazione, la tosse, lo starnuto o attività similari

Diametro droplet (µm)	Tempo di sedimentazione entro 5 "feet" (1,524 m)	Tempo di evaporazione a 18°C e U.R. 50%	Classificazione	Destino stimato	Rischio stimato
0,5	24-41 h	0,0 s	Small droplet	Evaporano prima di cadere al suolo, con eventuale formazione di bioaerosol di droplet nuclei	Carica infettante potenziale minima ma di lunga durata in aria in ambiente chiuso
1	7-12,0 h	0,0 s			
2	2,2-3,1 h	0,0 s			
3	1,1-1,5 h	0,0 s			
5	26-31 min	0,1 s			
10	7,9-8,2 min	0,2 s			
20	2,2-2,3 min	0,8 s			
50	22,5-28,6 s	4,5 s	Medium droplet	Sedimentano al suolo prima di evaporare entro una gittata che dipende dalla velocità di emissione	Carica infettante potenziale media dipendente dalle condizioni ambientali (temperatura, umidità, turbolenza, ecc.)
80	9,1-12,6 s	10,9 s			
100	5,8-8,6 s	16,5 s			
160	2,4-3,8 s	39,8 s	Large droplet	Sedimentano al suolo entro breve distanza	Carica infettante potenziale elevata ma di brevissima durata in aria
200	1,6-2,6 s	60,4 s			
500	0,3-0,5 s	5,6 min			
1000	0,1-0,2 s	21 min			

Modificata da: Xie, et al. How far droplets can move in indoor environments - revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor Air*. 2007;17(3) 211-225. doi:10.1111/j.1600-0668.2007.00469.x e da ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols Approved by ASHRAE Board of Directors April 14, 2020

Si può pertanto ipotizzare che le particelle al di sotto dei 20 micron di diametro rimangono praticamente sempre in sospensione.

Sempre con riferimento a quanto riportato nel rapporto ISS n.33 del 25 maggio 2020, la

probabilità che una gocciolina contenga virioni è direttamente proporzionale al suo volume, per cui la capacità di produrre contagio è maggiormente legata alle droplet di diametro maggiore che, come abbiamo visto si depositano velocemente al suolo e sulle superfici

Tuttavia, con riferimento alla Tabella 3 del medesimo rapporto

Tabella 3. Distribuzione dimensionale composta per goccioline con diametro aerodinamico $\geq 1 \mu\text{m} \leq 2000 \mu\text{m}$ espulse durante starnuti, tosse e parlato (misura sperimentale standardizzata mediante soggetto che conta da 1 a 100)

Diametro droplet in μm	Particelle emesse con uno starnuto	Particelle emesse con un colpo di tosse a bocca chiusa	Particelle emesse durante il parlato*
1-2	26000	50	1
2-4	160000	290	13
4-8	350000	970	52
8-16	280000	1600	78
16-24	97000	870	40
24-32	37000	420	24
32-40	17000	240	12
40-50	9000	110	6
50-75	10000	140	7
75-100	4500	85	5
100-125	2500	48	4
125-150	1800	38	3
150-200	2000	35	2
200-250	1400	29	1
250-500	2100	34	3
500-1000	1000	12	1
1000-2000	140	2	0

Modificata da: Duguid JP. The size and the duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet-nuclei. *J Hyg (Lond)* 1946;44(6):471-9.

* Prova sperimentale standardizzata mediante la misura dell'emissione di soggetti che parlano, contando da 1 a 100

si osserva che sotto il profilo probabilistico la maggior parte delle emissioni in forma particellare si trova nella gamma dei diametri compresi tra 2 e 24 micron ossia in quelle goccioline che permangono a lungo in sospensione, formando bioaerosol.

Poiché infatti nell'ambiente si tende ad assumere in genere una velocità minima di movimentazione dell'aria pari a 0,25 - 0,5 m/sec, si può valutare la distanza orizzontale percorsa dalle particelle liquide prima di toccare il suolo.

Una particella da 20 micron in 133 sec percorre $(0,25 \times 133) \sim 30$ m.

Sotto l'influenza del movimento delle persone, dei mezzi, della ventilazione naturale dell'aria e di quella forzata indotta anche dagli impianti, parte del bioaerosol rimane in sospensione e quindi ha buone probabilità di entrare nel circuito dei condizionatori.

Pertanto, gli impianti di climatizzazione e di ventilazione possono mitigare o acuire il rischio di contagio aerogeno.

Infatti, la movimentazione dell'aria può incrementare la gittata delle gocce o determinare lo spostamento dell'aerosol verso una diversa porzione dell'ambiente, investendo altri occupanti e favorendone il contagio.

L'immissione di aria esterna determina una diluizione dei patogeni, riducendo la carica virale media e quindi la probabilità di contagio, mentre il ricircolo può diventare fonte di rischio.

Il rapporto n. 33 dell'ISS prevede infatti a tal fine dove possibile la chiusura del ricircolo, precisando che quando è raccomandata l'esclusione a tenuta d'aria del ricircolo, la semplice chiusura della serranda in genere non è sufficiente ma è necessario un intervento di occlusione a tenuta d'aria della stessa sezione di ricircolo.

Altro aspetto che la Tabella ISS mette in chiara evidenza è rappresentato dai tempi di evaporazione legati anch'essi al volume delle particelle (droplets e aerosol) che risultano molto contenuti (al di sotto del secondo) e fanno ipotizzare una rapida diminuzione del diametro fino a quello caratteristico del Virus in oggetto e con esso anche una maggiore difficoltà a trattenere le stesse particelle da parte del solo filtro assoluto per quanto quest'ultimo possa essere di categoria alta.

2. Impianti di ventilazione e condizionamento dell'aria e loro possibile influenza nel contagio (Dott. Ing. Antonio Spinazzola)

4.1 -Profilo nel tempo della concentrazione di un inquinante in ambiente di lavoro per effetto del ricircolo di una quota variabile di aria – Sistemi filtranti idonei

Stabilito che una buona parte delle particelle emesse rimangono in linea di galleggiamento, si conclude che le stesse possono essere catturate e veicolate all'interno dell'eventuale impianto di aspirazione ricircolo e condizionamento dell'aria, qualora lo stesso sia presente, per cui è utile comprendere come la concentrazione dell'inquinante all'interno del locale risenta nel tempo della variabilità dei parametri che ne regolano la conduzione.

Facendo un bilancio materiale sul volume di ambiente interessato, si ottiene:

$$\text{Accumulo} = \text{Entrata} + \text{Generazione} - \text{Uscita}$$

da cui nel nostro caso

$$V \cdot dC/dt = P_B \cdot C_B + Q_{GEN} - P_B \cdot C_C$$

Dove

V è il volume dell'ambiente;

C sono le concentrazioni che dovranno essere calcolate per passaggi successivi nelle diverse sezioni del sistema;

P è la portata dell'aria.

dC/dt si può assimilare a $(C_i - C_{i-1}) / (t_i - t_{i-1})$ nell'intervallo di tempo Δt che possiamo assumere unitario (1h).

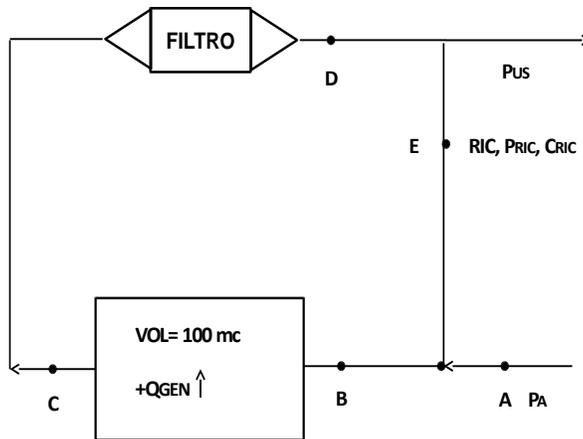


Fig. A -schema semplificato del sistema locale - impianto - filtro

La dimostrazione che faremo sarà di tipo qualitativo e verrà fatta facendo uso di un semplice modello matematico che simula i bilanci materiali che avvengono tra ciascuna sezione del sistema schematizzato nella figura di cui sopra e che descrive gli effetti sulla concentrazione dell'inquinante a seguito della immissione di aria pulita dall'esterno in un locale all'interno del quale viene ipotizzata una sorgente di contagio (capace di liberare X cariche virali/hr) identificata come Q_{GEN} .

Successivamente si potrà considerare o meno la possibilità di inserire un impianto per la riduzione delle cariche virali con un diverso rendimento depurativo.

L'aria potrà essere espulsa all'esterno completamente oppure riciclata in parte dopo miscelazione con l'aria pulita esterna.

L'obiettivo è comprendere, dimostrandolo matematicamente, se il ricircolo determina o meno concentrazione dell'inquinante nel tempo oppure l'effetto contrario, così da apportare certezze sull'argomento dibattuto.

Facendo riferimento allo schema di fig. A, il calcolo della concentrazione dell'inquinante nel tempo è rappresentabile in modo semplice procedendo a partire dall'ambiente di lavoro in sequenza per successivi bilanci materiali ad intervalli orari attraverso la seguente formula che si richiama a quella di tipo generale indicata in precedenza:

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

Dove:

P_B è la portata a valle del punto di miscelamento = (Ric + Paria est.);

Ric è la portata di Ricircolo;

Paria est. è la portata di aria esterna pulita;

$C_{o\ Vol}$ è la concentrazione iniziale nel volume del locale;

$C_{1\ Vol}$ è la concentrazione all'ora successiva;

C_B (concentrazione dopo miscelamento) = $[(Ric * Cric) + (Pariaest * Cariaest)] / P_B$;

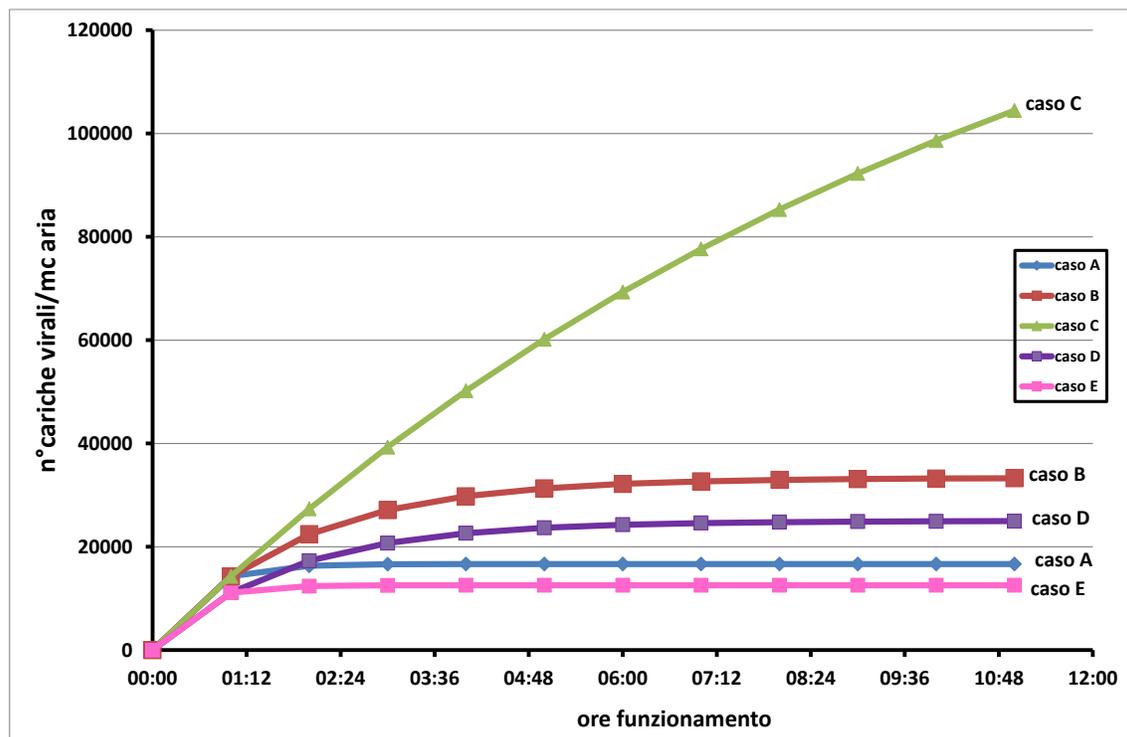
Cric è la concentrazione nella corrente di ricircolo.

C aria est (corrispondente all'aria pulita esterna) = 0.

Non si deve commettere l'errore di massimizzare il termine al denominatore aumentando la portata di Ricircolo ritenendo che ne derivi un effetto di diluizione.

Tale circostanza, come vedremo, si verifica solo se si aumenta la portata di aria pulita esterna in quanto l'effetto del ricircolo si fa sentire al numeratore nel termine ($P_B * C_B$).

Bene ha fatto quindi l'ISS a sottolineare la necessità della chiusura del ricircolo là dove sia tecnicamente realizzabile.



Rappresentazione del profilo di concentrazione nei casi descritti

Interpretando le ultime disposizioni contenute nei documenti emanati dalla Conferenza Stato - Regioni si può pensare di venire meno a questa indicazione solo se la soluzione ipotizzata porterà ad un miglioramento della situazione di Riferimento (Caso A).

I casi considerati sono rappresentati nel grafico di cui sopra che li ricomprende.

Caso A) - tutta aria esterna con la quale si garantiscono 6 Ricambi del volume del locale con aria pulita. La curva verrà presa a riferimento e confrontata con quelle corrispondenti ai casi successivi.

Caso B) - in questo caso si mantengono i volumi totali di aria immessa nel locale, ma si riduce al 50% la quota di aria pulita prelevata dall'esterno a vantaggio del ricircolo.

Il peggioramento della concentrazione del nostro inquinante indesiderato è evidente.

Caso C) - si mantengono i volumi totali di aria reimmessa nel locale, ma si riduce ulteriormente fino al 10% la quota relativa all'aria pulita esterna a vantaggio del ricircolo. Il peggioramento è ancora più evidente.

La simulazione matematica condotta per i casi B e C giustifica la scelta operata dall'ISS di indicare la chiusura della serranda del ricircolo come azione di massima sicurezza per i lavoratori e/o soggetti che comunque possono accedere ad un locale che presenta tali condizioni operative in quanto si verifica un chiaro effetto di concentrazione e non di diluizione dell'inquinante.

Caso D) - con il quale si portano i Ricambi di aria pulita prelevata dall'esterno ed immessa nel locale da 6 ad 8. Come era facilmente prevedibile si abbassa ulteriormente la concentrazione rispetto a quella di Riferimento.

Vediamo cosa succede con il successivo

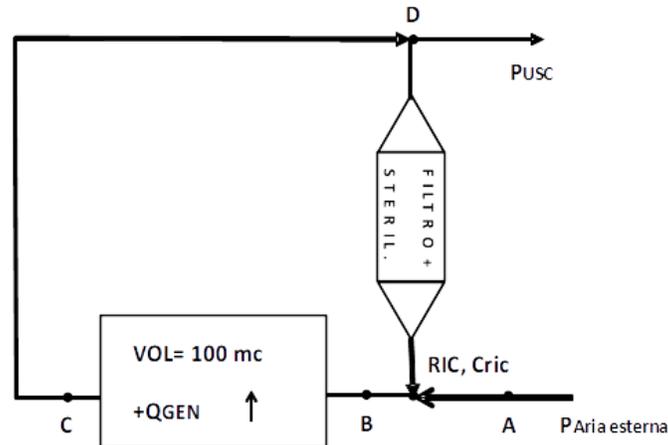
Caso E) - quando si ipotizza di operare garantendo di immettere gli 8 volumi di aria all'interno del locale, ma si riduce la quota prelevata pulita dall'esterno al 50% a vantaggio del ricircolo.

In questo caso viene ipotizzato però di sottoporre l'aria alla purificazione attraverso l'uso di un idoneo sistema (es. Filtro assoluto con aggiunta di una sezione di sterilizzazione capace di raggiungere rendimenti depurativi reali dal 80% fino al 99% che come è ovvio rappresenta l'obiettivo che dobbiamo conseguire).

In quest'ultimo caso si concretizza un effetto migliorativo rispetto al caso A) molto simile a quello descritto con il caso D) e quindi si può considerare, se realizzabile, da accettare come eventuale proposta alternativa alla chiusura delle serrande di ricircolo.

È evidente che questa ipotesi di lavoro debba essere dimostrata fattibile nella realtà, e documentata analiticamente efficace ed efficiente con test di prova certificati. Dovrà altresì essere accompagnata da idonei sistemi di controllo dei parametri gestionali che garantiscono le performance, e quindi prima di essere messa in atto deve avere il via libera da parte dell'ISS.

Lo schema ideale dell'impianto dovrà assumere alla luce di quanto sopra detto la seguente configurazione così da trattare esclusivamente l'aria di ricircolo aggiungendo sulla stessa linea una idonea Sezione di Sterilizzazione.



Ricordando che il diametro delle particelle, molte delle quali si presentano sotto forma di aerosol tende velocemente a quello del Virus (0,1 micron) occorrerà prestare molta attenzione nella scelta del Sistema filtrante in quanto all'interno degli impianti la particella acquosa (contenente il Virus) si mantiene in linea di galleggiamento per l'alta velocità di trasporto che ne impedisce la separazione per decantazione e quindi andrà ad impattare sull'ipotetico filtro assoluto con i meccanismi che verranno illustrati di seguito.

La corrente di aria porta con sé anche particelle solide trattenibili dal filtro fino a diametri consentiti dalla classe adottata.

Queste adsorbono in parte il virus (diametro 0,1 micron e quindi inferiore alle maglie del filtro) mentre come dicevamo le particelle liquide, per le quali i filtri non sono idonei, sono di diametro variabile in relazione a rapidi fenomeni di evaporazione, condensazione, frammentazione e coalescenza (diametri tipici dell'aerosol) per cui ci dobbiamo domandare se le particelle possono passare dalla maglia e ritornare nell'ambiente.

3. Impianti di Ventilazione e Condizionamento dell'aria *(Prof. Ing. Leonardo Tognotti)*

3.1 Concetti base e riferimenti nazionali e internazionali

Dal punto di vista dei meccanismi di trasporto e contagio gli aspetti salienti sono riconducibili a pochi concetti che sono stati più volte ribaditi e riconosciuti dalle autorità nazionali ed internazionali chiamate ad esprimersi in proposito¹, ed in particolare

¹ [WHO | World Health Organization](#)

[American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Home | ashrae.org](#)

[Centers for Disease Control and Prevention \(cdc.gov\)](#)

[Air Cleaners, HVAC Filters, and Coronavirus \(COVID-19\) | Coronavirus \(COVID-19\) | US EPA](#)

[Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations \(rehva.eu\)](#)

[AiCARR](#)

- Organizzazione Mondiale della sanità – OMS;
- Istituto superiore della sanità – ISS;
- U.S. *Department of Labor Occupational Safety and Health Administration* – OSHA;
- Associazioni tecniche (ASHRAE – REHVA – AICARR).

Il concetto chiave è espresso dall’OMS, come quello di:

- *“raccomandare misure relative all'aumento dei tassi di ventilazione e delle efficienze di filtrazione per gli edifici pubblici nel contesto del Covid-19” - OMS 2021*

Il recente Rapporto ISS COVID-19 • n. 12/2021² riporta

- *Con il termine sanificazione si intende, relativamente al COVID-19, «il complesso di procedimenti e operazioni atti a rendere sani determinati ambienti mediante l'attività di pulizia e/o di disinfezione ovvero mediante il controllo e il miglioramento delle condizioni del microclima per quanto riguarda la temperatura, l'umidità e la ventilazione ovvero per quanto riguarda l'illuminazione e il rumore»*

Ed inoltre

- *«I sistemi descritti nel presente Rapporto rappresentano solo alcuni tra quelli disponibili e non devono essere intesi come raccomandati; qualora siano utilizzati, questi dovranno sempre rispondere ai requisiti fondamentali sulle caratteristiche funzionali richieste, nonché ai requisiti generali richiamati per la progettazione e la costruzione, in conformità alle norme tecniche armonizzate, alle misure di sicurezza di tipo collettivo e ad altre eventuali disposizioni vigenti in materia»*

Va premesso che la posizione degli organismi internazionali sulla trasmissione del SARS-CoV-2 è allineata sull’evidenza che l’esposizione ai fluidi respiratori avvenga in tre modi che non si escludono a vicenda:

- inalazione di goccioline respiratorie (*respiratory droplets*) molto fini (aerosol);
- deposizione di goccioline respiratorie di grandi dimensioni sulle mucose della bocca, del naso o degli occhi esposte mediante schizzi e spruzzi diretti;
- contatto delle mucose con le mani che sono state contaminate direttamente dai fluidi respiratori contenenti virus oppure contaminate attraverso un contatto con fomi.

Il rischio di infezione da SARS-CoV-2 varia a seconda della quantità di virus a cui una persona è esposta e diminuisce all’aumentare della distanza dalla sorgente e del tempo trascorso dall’espiazione.

I fattori principali che determinano la quantità di virus a cui una persona è esposta nell’aria o toccando una superficie contaminata dal virus, sono:

² *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

- diminuzione della concentrazione di virus determinata dalla caduta a terra o su altre superfici di goccioline respiratorie più grandi e pesanti e dalla diluizione nell'aria delle goccioline molto fini. Questa miscelazione non è necessariamente uniforme e può essere influenzata dalla stratificazione termica e dal getto iniziale delle esalazioni;
- perdita progressiva di vitalità virale e infettività nel tempo influenzata da fattori ambientali quali ad esempio temperatura, umidità e radiazioni ultraviolette (es. luce solare).

La trasmissione per via aerea rappresenta una delle tre vie di contagio dell'infezione da SARS-CoV-2. Infatti, oltre alla trasmissione indiretta da contatto con le superfici (fomiti) e a quella diretta attraverso le goccioline grandi (droplet, diametro superiore a circa 100 µm) soggette dalla gravità unicamente a traiettorie balistiche, vi è evidenza scientifica di trasmissione attraverso l'aerosol (goccioline di diametro variabile da frazioni di micrometri a circa 100 µm) che, anche a causa della evaporazione in ambiente, riescono a galleggiare in aria un tempo sufficiente per essere inalate anche a distanza dalla fonte (soggetto) che le ha emesse.

L'emissione di aerosol avviene a seguito di generazione dai bronchioli durante la semplice respirazione e per atomizzazione in corrispondenza delle corde vocali e della bocca nel caso di soggetto che parla, tossisce o starnutisce. Inoltre, poiché come per gli altri agenti patogeni la concentrazione di carica virale tende a crescere nel passare dai droplet all'aerosol (e quindi al diminuire delle dimensioni della gocciolina) ad oggi la via aerea viene ritenuta una via rilevante di contagio³.

La trasmissione aerea può quindi riguardare tre differenti dinamiche:

- brevi distanze, in questo caso il soggetto esposto inala concentrazioni elevate di goccioline piccole (aerosol), prima della diluizione, a causa della vicinanza con il soggetto infetto;
- condivisione dello stesso ambiente chiuso, in questo caso il soggetto esposto inala concentrazioni di aerosol diluite nello stesso ambiente chiuso del soggetto infetto;
- lunghe distanze, il soggetto suscettibile potrebbe inalare aerosol (questo caso si riferisce a situazione diversa da quella in ambito sanitario o riabilitativo), proveniente da un sistema di ventilazione rispetto al soggetto infetto presente in lontananza o in un'altra stanza; al momento, questa dinamica viene ritenuta solo possibile non essendo supportata da solide evidenze scientifiche

³ Transmission risk of infectious droplets in physical spreading process at different times: A review
N. Mao, C.K. An , L.Y. Guo , M. Wang , L. Guo b, S.R. Guo b, E.S. Long , Building and Environment 185 (2020) 107307

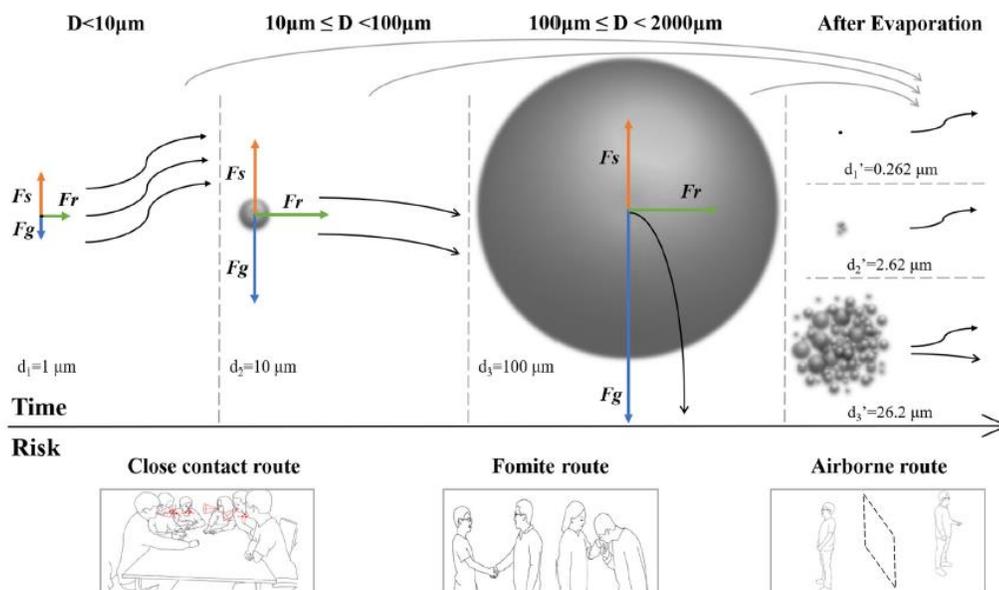


Figura 1: Rischio di trasmissione da goccioline di diversi diametri e differenti tempi di esposizione- Tratto da ³

Il rischio di contagio per un soggetto sano dipende dalla coesistenza di tre fattori:

- la predisposizione individuale;
- la presenza di una carica infettante;
- un tempo sufficiente di esposizione.

I tre fattori non sono indipendenti; OMS parla di tempi di esposizione per un soggetto mediamente sano dell'ordine di 15 minuti a una distanza di un metro ovvero in presenza di carica infettiva confrontabile con quella emanata da un infettivo.

Alla luce delle considerazioni fatte appare evidente quanto sia importante il ruolo di un impianto di ventilazione per mettere in atto misure volte all'aumento dei tassi di ventilazione e delle efficienze di filtrazione per gli edifici/locali frequentati da un certo numero di persone

3.2 Gli impianti di climatizzazione

Gli impianti di climatizzazione, che hanno primariamente lo scopo di fornire una adeguata qualità dell'aria (in alternativa alla aerazione naturale) ed il comfort termico possono essere suddivisi:

- Sistemi idronici (ad acqua);
- Sistemi aeraulici (a tutt'aria);
- Sistemi misti aria-acqua;

Un impianto ad aria⁴ rappresenta un'alternativa alla aerazione naturale per l'ottenimento di una adeguata qualità dell'aria migliorativa per controllo della prestazione e per

⁴ con «impianti ad aria» si intende impianti che fanno uso esclusivo o non esclusivo di aria esterna

continuità della prestazione; l'adozione di un impianto ad aria può consentire il recupero dell'energia dell'aria espulsa.

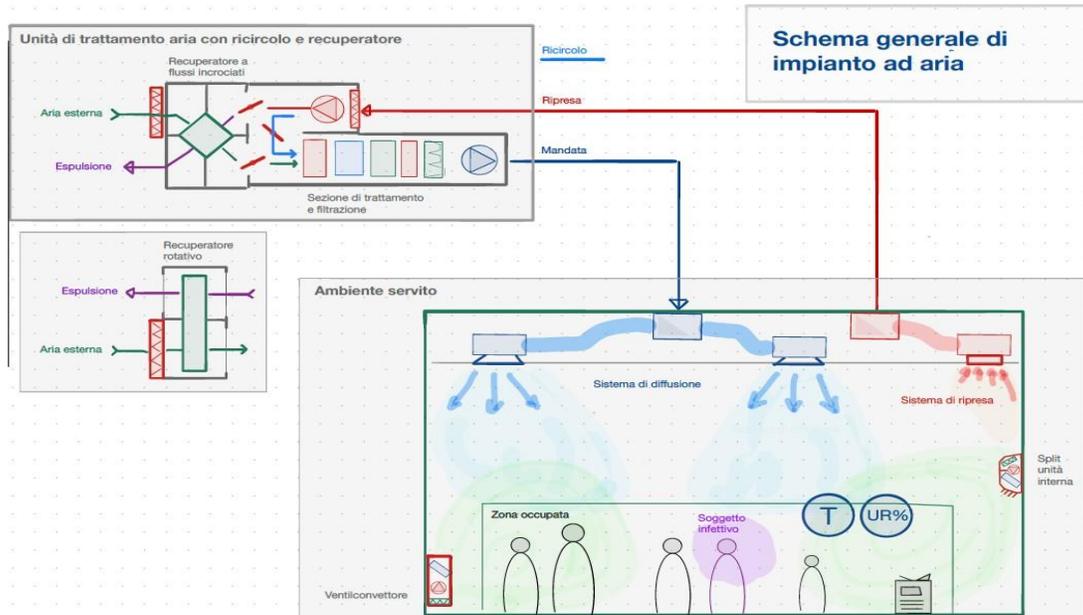


Figura 2: Gli impianti HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning) - Tratto da ⁵

I sistemi di ventilazione meccanica consentono di:

- decidere un punto di presa dell'aria esterna collocato opportunamente, decidere dove espellere l'aria (lontano da altre finestre e/o prese d'aria);
- disporre di un sistema di filtrazione dell'aria in ingresso;
- realizzare un sistema di distribuzione che immette in modo omogeneo le portate richieste anche in ambienti interni privi di comunicazione verso l'esterno o dei corretti rapporti aero-illuminanti;
- realizzare un sistema di ripresa ed espulsione che consenta di mantenere alcuni ambienti in depressione rispetto ad altri;
- realizzare una forma di recupero dell'energia dall'aria espulsa;

I sistemi di ventilazione meccanica consentono in generale di risparmiare energia e di controllare la qualità dell'aria interna; per questo motivo sono oggi molto diffusi anche in applicazioni ove non sarebbero per legge obbligatori.

La ventilazione consente il mantenimento della qualità dell'aria tramite ingresso di *aria esterna*:

- Attraverso la diluizione dell'aria interna con aria considerata “pulita” ovvero priva di contaminanti e la contemporanea fuoriuscita di aria contaminata: In generale si assume che l'aria esterna sia più pulita di quella interna in quanto priva dei contaminanti che si producono internamente.

L'areazione/ventilazione **naturale** si basa sostanzialmente sulla diluizione dei

⁵ F. Pedranzini – Politecnico di Milano - AICARR

contaminanti tramite rientro di aria esterna causato da aperture volontarie o involontarie o da mancanza di tenuta dell'involucro.

Gli impianti HVAC realizzano la ventilazione attraverso un **ricircolo con filtrazione/abbattimento**. Se si considerano i sistemi di abbattimento allora si deve considerare il fatto che questi sono selettivi (la considerazione va contestualizzata per ogni contaminante (es. *filtri meccanici abbattano solo il particolato, non la CO2*)).

Gli impianti di ventilazione meccanica possono stabilire nei locali degli **effetti aerodinamici**: si parla di **dislocamento** quando il campo di moto generato dal sistema è laminare ed il flusso è controllato (ad esempio come nelle sale operatorie) (**modello DV**); si parla di **diluizione** quando i contaminanti generati nello spazio vengono continuamente diluiti dalla porzione di aria fresca/trattata fornita nello spazio (**modello MV**)

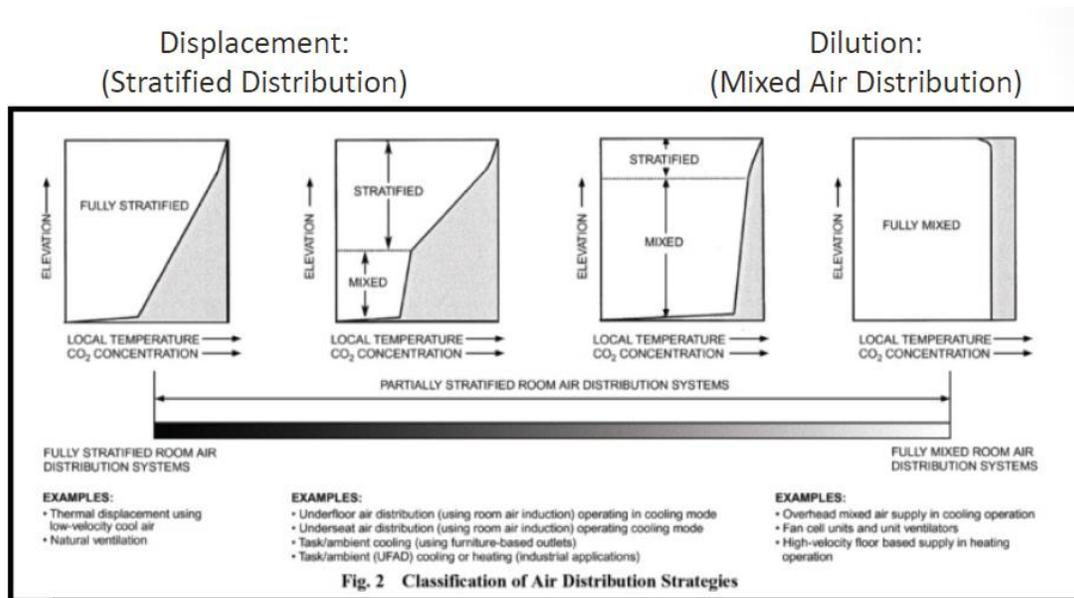


Figura 3: Modelli di distribuzione dell'aria ambiente- Tratto da ⁶

Questo tipo di approccio risulta dalla applicazione di semplici modelli matematici che richiedono, per ogni analisi di qualità dell'aria:

1. la definizione di un contaminante ritenuto critico (es: CO₂ per ambienti a occupazione umana);
2. la possibilità di quantificare la portata di contaminante immessa in ambiente dalle sorgenti interne (es. tasso di emissione di CO₂ per persona a seconda della attività svolta);
3. la quantità dello specifico contaminante in ingresso con l'aria immessa, sia questa esterna o filtrata/trattata (portata d'aria) x (concentrazione nell'aria immessa);
4. una concentrazione di riferimento da perseguire all'interno dell'ambiente controllato.

⁶ ASHRAE Handbook: HVAC systems and equipment 2008.

L'applicazione di bilanci di massa utilizzando queste informazioni in una serie di casistiche di riferimento ha consentito di pervenire ad un approccio normativo⁷
In relazione al rischio di contagio per malattie aero-trasmesse la ricerca scientifica ha prodotto una serie di strumenti che sono stati ridefiniti sulle specificità del Covid-19 in pubblicazioni recenti^{8, 9} e implementati anche in tool di calcolo che possono essere utilizzati, quale quello sviluppato da REHVA¹⁰.

Tali strumenti uniti alla conoscenza degli aspetti impiantistici consentono di elaborare le informazioni legate ai punti 1), e 3) e di creare una correlazione tra queste informazioni e un parametro definito come percentuale di rischio di contagio da parte di un soggetto sano. Tuttavia il punto 2) non è risolto, ovvero non è nota a priori la presenza e il numero di infettivi ed inoltre è fondamentale conoscere la posizione della sorgente;
Anche il punto 4) non è risolto: non è stato ad oggi definito il valore di concentrazione correlato a una soglia di rischio ritenuta accettabile.

3.3 Misure per il controllo e il miglioramento delle condizioni del microclima per quanto riguarda la temperatura, l'umidità e la ventilazione

La sanificazione come definita dalla normativa vigente fa esplicito riferimento alle condizioni del microclima con particolare riferimento a temperatura, umidità e ventilazione. Per questi specifici aspetti è possibile trovare alcune indicazioni nei **Rapporti ISS COVID-19¹¹**.

“....., deve essere assicurato il ricambio frequente dell'aria all'interno degli ambienti, che può essere realizzato anche attraverso l'apertura regolare e ottimizzata delle finestre e di altri accessi, escludendo quelle più vicine alle strade trafficate ed evitando di effettuare tale operazione nelle ore di punta del traffico. Si precisa che tale operazione non consente di quantificare l'efficienza del ricambio completo dell'aria che può essere comunque monitorato con l'utilizzo di sensori di CO2.

- Un ricambio quantitativo può essere ottenuto con l'utilizzo di sistemi idonei alla purificazione/sanificazione dell'aria degli ambienti interni come illustrato al paragrafo 6.4 del presente documento.
- *Indicazioni sul ricambio d'aria, in relazione a differenti situazioni (ambiente domestico, ristorante, bar, ecc.), sono considerati ... in documenti dell'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) che*

⁷ UNI 10339, *il ricambio dell'aria negli impianti aeraulici*

⁸ Buonanno G, et al. Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications. Environmental International 2020;145:106112. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106112>

⁹ Mikszewski A, et al. The airborne contagiousness of respiratory viruses: a comparative analysis and implications for mitigation. MedRxiv. <https://doi.org/10.1101/2021.01.26.21250580>

¹⁰ [REHVA COVID-19 guidance document How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus \(SARS-CoV-2\) disease \(COVID-19\) in workplaces April 15, 2021](#)

¹¹ Aggiornamento del Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020 - Versione del 20 maggio 2021

riportano un intervallo di **volumi di aria da cambiare ogni ora (ACH) che variano da 3 a 5.**

- Come sottolinea la US EPA (...), per l'uso di sistemi di ventilazione (in particolare purificatori d'aria portatili) è inoltre necessario porre elevata attenzione alla direzione del flusso dell'aria per evitare il passaggio della stessa tra diverse persone e prevenire l'eventuale trasmissione del contagio.

Nel marzo 2021 l'OMS¹², ha riportato indicazioni in merito alla ventilazione all'interno degli edifici per migliorare la qualità dell'aria riducendo il rischio di diffusione del virus negli ambienti interni. Come indicazione di massima, l'OMS raccomanda l'utilizzo di un flusso di aria di almeno 10 L/s/persona nei diversi ambienti indoor.

Nell'ambito dell'emergenza COVID-19 si è assistito ad un aumento di proposte di sistemi/apparecchi¹³ di vario tipo con l'obiettivo di associare la filtrazione/purificazione dell'aria con la sanificazione degli ambienti comprese le superfici.

Sono disponibili in commercio numerose tipologie di purificatori d'aria che possono o meno associare filtri di vario tipo – *High Efficiency Particulate Air filter* (HEPA), Ultra Low Penetration Air (ULPA) e/o a carbone attivo, ecc. – con sistemi basati sulla tecnologia a plasma, in grado di generare radicali efficaci nel ridurre la carica microbica, compresi i virus, presenti nell'ambiente.

La semplice filtrazione attraverso i filtri di vario genere è, già di per sé, una procedura in grado di migliorare la qualità dell'aria degli ambienti interni, posto che siano utilizzati apparecchi consoni al volume degli ambienti (in termini di portata, o capacità, di un sistema di filtrare un determinato volume di aria) e che sia verificata frequentemente l'efficienza dei filtri utilizzati.

L'Agenzia per la protezione ambientale degli Stati Uniti (United States Environmental Protection Agency, US EPA) ha pubblicato un documento in merito all'uso dei purificatori dell'aria e alla loro efficacia rispetto al contrasto al SARS-CoV-2¹⁴.

3.4 La filtrazione

L'unica soluzione che ad oggi può essere *certificabile* da un punto di vista quantitativo 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.

¹² Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19", WHO, March 2021

¹³ Si vedano Cap. XX di questa nota

¹⁴ Guide of Air cleaners in the Home, EPA, 2021

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 μm (1mm=1000 μm). 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



Figura 4: Le dimensioni delle particelle e di aerosol- Tratto da ¹⁵

In un dispositivo di filtrazione agiscono differenti meccanismi fisici, ognuno dei quali è caratterizzato da una differente efficienza al variare delle dimensioni delle particelle.

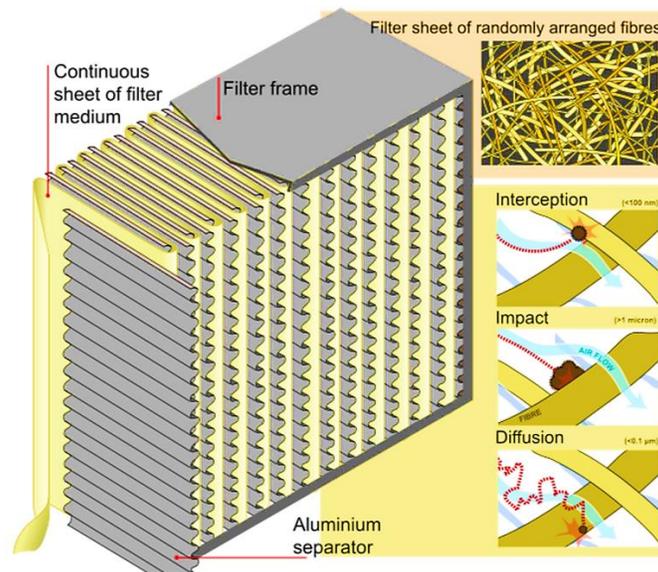


Figura 5: Meccanismi di filtrazione

¹⁵ <https://www.visualcapitalist.com/wp-content/uploads/2020/10/RelativeSizeofParticles-Infographic-1920px>.

Allo scopo di definire una efficienza di filtrazione per un dispositivo di diversa classe, la Norma EN 1822¹⁶ prevede delle metodologie per:

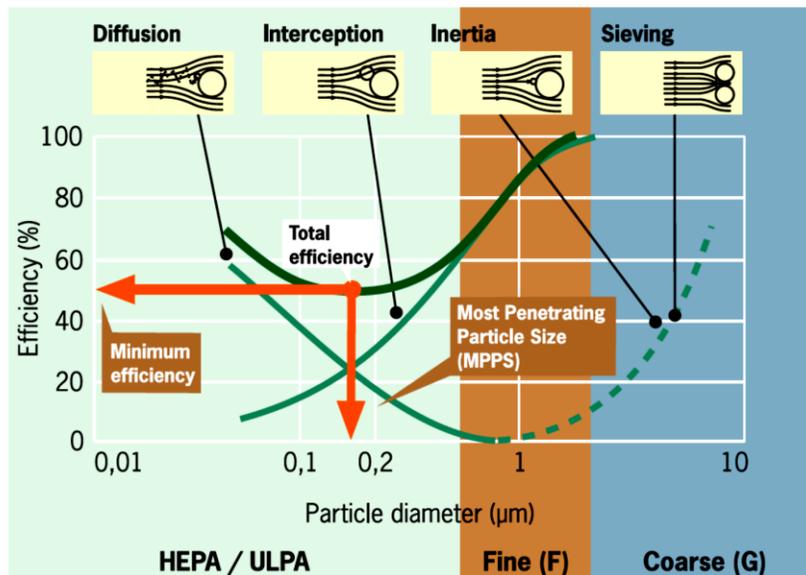
A) valutare l'efficienza del mezzo filtrante.

Attraverso l'utilizzo di un contatore particellare si determinano il numero e le dimensioni delle particelle trattenute dal filtro e successivamente, dall'elaborazione di tali dati, si può determinare la dimensione delle particelle per la quale l'efficienza del mezzo è minima. Tale dimensione è nota come MPPS, acronimo inglese per "dimensioni delle particelle più penetranti".

B) verificare le perdite dell'elemento filtrante.

Tale test viene eseguito con una sonda che produce aerosol la quale può essere spostata su tutta la superficie del filtro in modo tale da raccogliere una serie di dati sull'efficienza locale che verranno poi utilizzati per determinare l'efficienza complessiva. In questo modo, è anche possibile determinare il tasso di perdita su un'area specifica del filtro. Il calcolo dell'efficienza complessiva è spesso definito come valore integrale, mentre il tasso di perdita viene definito come valore locale.

Si veda ad esempio la Figura 6, tratta da *Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)*¹⁷



*Figura 6: Meccanismi di filtrazione ed efficienza dei filtri Tratto da*¹⁸

C) determinazione dell'efficienza integrale dell'elemento filtrante.

¹⁶ Filtri per l'aria ad alta e altissima efficienza e a bassissima penetrazione (EPA, HEPA e ULPA)

¹⁷ https://www.nioh.ac.za/wp-content/uploads/2021/06/02_Ventilation-Guidance-for-COVID-19.

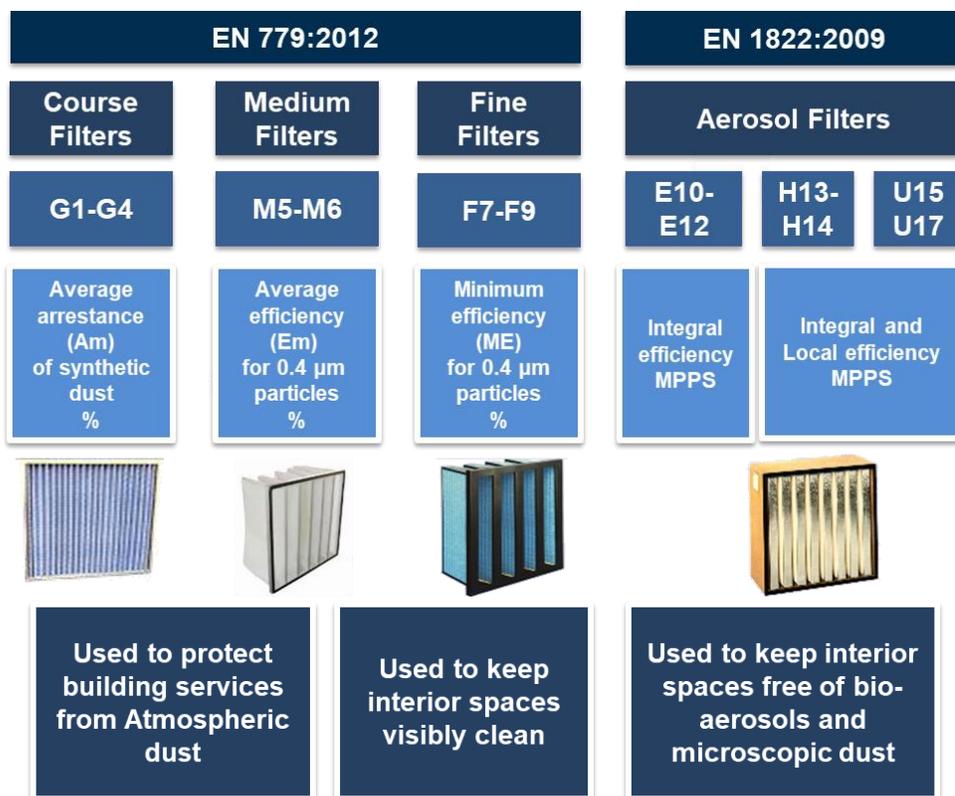
¹⁸ Particulate Air Filtration (General and HEPA Filters)- Van Reenen, CSIR 2020

In prima istanza viene misurata la perdita di carico del filtro ad una portata volumetrica d'aria corrispondente alla portata nominale e successivamente, mediante un generatore di aerosol¹⁹, si determina l'efficienza del filtro in corrispondenza delle particelle MPPS. In base al valore di tale efficienza si procede alla classificazione secondo la tabella riportata sotto. .

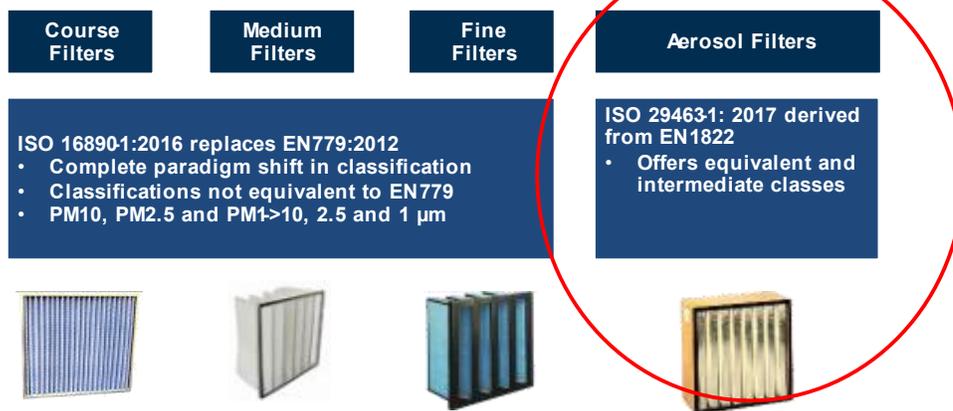
CLASSE FILTRO	VALORE INTEGRALE		VALORE LOCALE	
	EFFICIENZA %	PENETRAZIONE %	EFFICIENZA %	PENETRAZIONE %
E10	≥ 85	≤ 15	–	–
E11	≥ 95	≤ 5	–	–
E12	≥ 99,5	≤ 0,5	–	–
H13	≥ 99,95	≤ 0,05	≥ 99,75	≤ 0,25
H14	≥ 99,995	≤ 0,005	≥ 99,975	≤ 0,025
U15	≥ 99,9995	≤ 0,0005	≥ 99,9975	≤ 0,0025
U16	≥ 99,99995	≤ 0,00005	≥ 99,99975	≤ 0,00025
U17	≥ 99,999995	≤ 0,000005	≥ 99,9999	≤ 0,0001

La Figura 7 riassume le tipologie dei filtri, con la loro classificazione secondo le norme europee di riferimento

¹⁹ Sono collaudati con il metodo della dispersione di un aerosol di dioctilftalato (DOP test): l'efficienza calcolata è > del 99,999 % con particelle con diametro 0,3 µm (penetrazione 0,001%).



Nuovi standards– EU and ISO



Norma : ISO 29463-1:2017

Titolo : High efficiency filters and filter media for removing particles from air: Classification, performance, testing and marking

Figura 7: Classificazione dei filtri e norme europee

È evidente che, nell’ottica del miglioramento del microclima mediante l’”abbattimento”

inteso come filtrazione di particelle di aerosol infette, gli unici filtri in grado di assicurare una efficienza di rimozione adeguata (ma non “assoluta” anche se si parla di filtri assoluti) sono quelli classificati nelle classi H e U.

I fattori da tenere presenti nelle valutazioni sono, oltre alla classificazione del filtro ed ai livelli di filtrazione garantiti, la stabilità dell'efficienza di rimozione, la capacità di trattenere la polvere/aerosol (ovvero impedire il ritrascinamento) e soprattutto le perdite di carico (Pa).

Questi fattori, oltre a determinare l'effettiva capacità di rimuovere l'aerosol infetto, sono determinanti in una analisi costi/benefici dell'eventuale potenziamento delle unità filtranti negli impianti HVAC. A parte i maggiori costi di installazione, i costi di gestione possono aumentare notevolmente a causa dell'aumento dei consumi energetici (kWh) a causa delle maggiori perdite di carico e dei costi di manutenzione/sostituzione in relazione alla vita prevista dell'unità filtrante

Rispetto all'interazione tra sistema di filtrazione e sistema di movimentazione delle correnti d'aria vale la pena citare un recente lavoro scientifico ²⁰ in cui si analizza l'effetto dell'inserimento di una unità più efficiente ma con maggiori perdite di carico all'interno di un sistema senza la sostituzione dell'unità di ventilazione. I filtri con maggiore efficienza creano una caduta di pressione attraverso il filtro, portando a portate d'aria di alimentazione inferiori. Questo processo è più evidente per i supporti fibrosi che vengono frequentemente utilizzati per la filtrazione dell'aria HVAC. Poiché la caduta di pressione attraverso il filtro dell'aria è correlata linearmente all'efficienza del filtro, per una potenza del ventilatore costante, la caduta di pressione è inversamente proporzionale al quadrato della portata. Come mostrato in Figura 8, l'impatto di una maggiore efficienza del filtro sulla portata di ricircolo ha come risultato un aumento significativo dell'indice *cleaning time (tempo di pulizia) T* ovvero se si aumenta l'efficienza del filtro senza cambiare la potenza del ventilatore si hanno tempi di decadimento della concentrazione di contaminante maggiori.

Sulla base delle considerazioni effettuate è importante trarre alcune conclusioni sulla opportunità o meno di potenziare le unità di filtrazione esistenti mediante l'installazione di filtri più performanti nell'ambito dell'obiettivo di un miglioramento delle condizioni del microclima nell'ottica di COVID-19.

²⁰ COVID-19 Outbreak and Hospital Air Quality: A Systematic Review of Evidence on Air Filtration and Recirculation Ehsan S. Mousavi, Negin Kananizadeh, Richard A. Martinello, and Jodi D. Sherman Environ Sci Technol . 2021 Apr 6;55(7):4134-4147. doi: 10.1021/acs.est.0c03247. Epub 2020 Sep 11

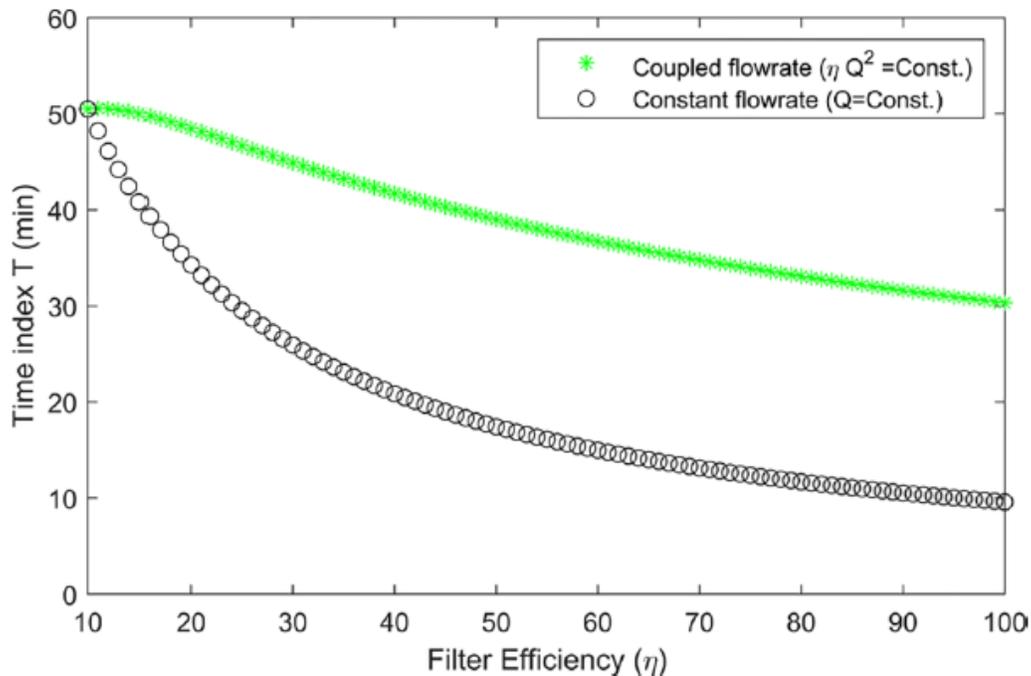


Figura 8: Effetto delle perdite di carico sul “cleaning time” con un tasso di ricircolo del 10% - Tratto da ¹⁷

La Filtrazione HEPA (alta efficienza) generalmente non è necessaria, anche perché le elevate perdite di carico del filtro possono bloccare la ventilazione o ridurre drasticamente il flusso d'aria. Infatti ASHRAE consiglia non più di SANS1464 M6 (ePM2.5-50%) per i filtri sul ricircolo e 'OMS raccomanda F8 (ePM2,5-80%). Inoltre L'aria scaricata all'esterno può essere espulsa in sicurezza senza filtrazione HEPA o decontaminazione UVGI²¹

La domanda che ci si può porre è la seguente: possiamo continuare ad utilizzare i sistemi HVAC esistenti? Se ciò porta ad un miglioramento dei tassi di ventilazione certamente sì. Lo scopo è infatti quello di aumentare la ventilazione a più del doppio dei 5 ricambi minimi d'aria/h

Un'altra considerazione da fare è riguardo alla direzione dei flussi di ricircolo. È opportuno fare in modo che le unità/i ventilatori non immettano direttamente su gruppi di persone (ovvero limitare il flusso d'aria orizzontale e promuovere correnti dal basso verso l'alto del locale).

Nel prossimo paragrafo l'aspetto relativo all'ottimizzazione della distribuzione dell'aria ambiente in un locale condizionato è approfondito introducendo le metodologie di analisi di fluidodinamica computazionale.

²¹ Si veda per. XX di questa Nota tecnica – contributo Rosabianca

3.5 Impiego della tecnica della fluidodinamica computazionale per l'ottimizzazione della distribuzione dell'aria negli impianti di condizionamento

La fluidodinamica computazionale (CFD) è una metodologia di analisi che implica l'uso dei computer per lo studio di problemi di fluidodinamica in geometrie anche complesse. La CFD risolve equazioni differenziali alle derivate parziali per descrivere il comportamento fisico di flussi complessi e sistemi termici: in questo modo si possono ottimizzare, ad esempio, le posizioni delle prese d'aria/uscite in un sistema di ventilazione, prevedendo i campi di velocità e flusso, la distribuzione della temperatura e soprattutto le dinamiche di trasporto di eventuali contaminanti

Si ottengono risultati di elevata qualità e dettaglio in tempi rapidi e con costi oggi relativamente contenuti. Comprendere le dinamiche di trasmissione respiratoria e i fattori di rischio può aiutare a progettare strategie di ventilazione negli edifici in modo più efficace. Infatti, come visto in precedenza, il trasporto e la deposizione dell'aerosol dipende fortemente dalla distribuzione e dal movimento del flusso d'aria nei locali interessati. L'HVAC e qualsiasi ventilazione naturale attraverso finestre, infiltrazioni e il comportamento degli occupanti influenzano ulteriormente questi fenomeni. Avere una visione dettagliata delle caratteristiche del flusso d'aria all'interno di un locale quindi riveste fondamentale importanza per la scelta di un'adeguata ventilazione. È chiaro che le due variabili più importanti sono il trasporto e il comportamento (evaporazione, deposizione) dell'aerosol, entrambi funzione del flusso d'aria, il che li rende candidati privilegiati per ulteriori analisi mediante CFD.

Dal punto di vista della ventilazione, e di quei risultati utili per le strategie di mitigazione del COVID-19, diventano fattori chiave, per qualsiasi studio comparativo, i seguenti parametri, tutti disponibili da analisi CFD: ²²²³

- Tassi di ventilazione dell'intera stanza (ACH, età media dell'aria)
- Rapporto tra aria fresca ed aria ricircolata
- Posizionamento delle griglie di alimentazione e scarico dell'aria
- Il campo di moto e la miscelazione dell'aria nelle immediate vicinanze degli occupanti

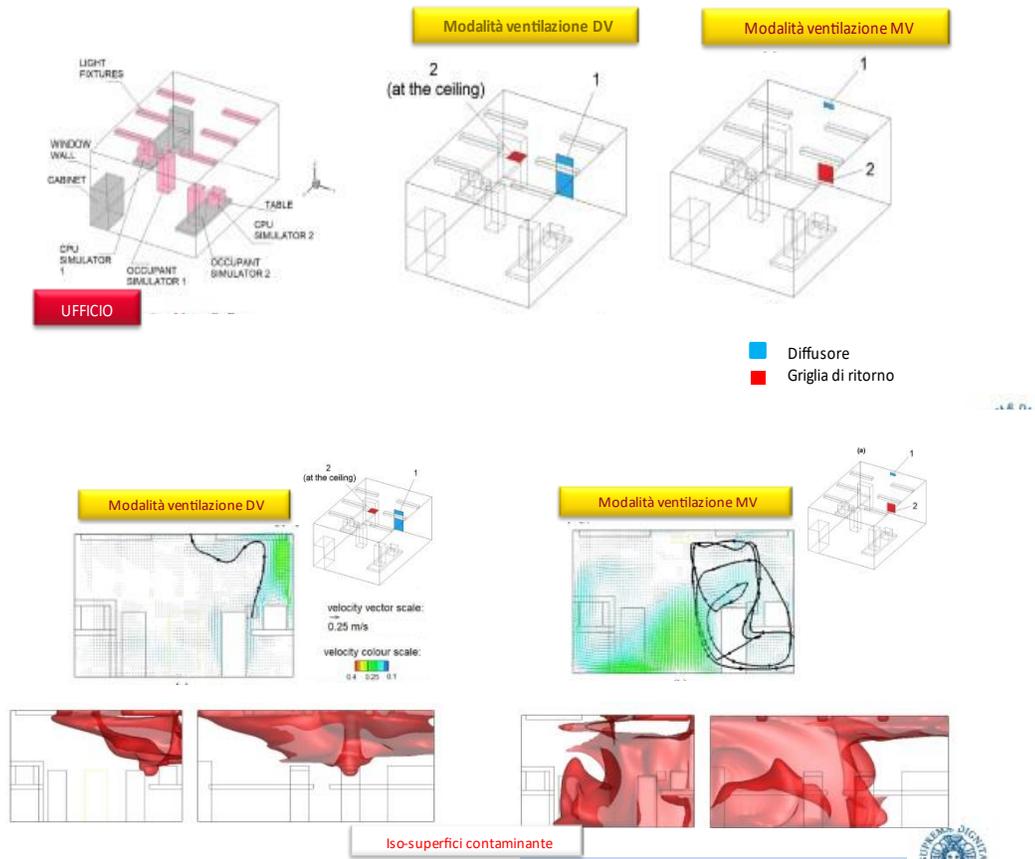
Si veda un esempio di risultati ottenibili con l'impiego della CFD²⁴ nel caso di un locale in cui sono simulate le due modalità di immissione dell'aria (DV, MV) La tecnica di

²² **The Importance of Ventilation Strategy Design for Mitigating COVID-19** [Ventilation Strategy Design for Mitigating COVID-19 | SimScale](#)

²³ Modeling airborne pathogen transport and transmission risks of SARS-CoV-2 Clifford K. Ho; , Applied Mathematical Modelling 95 (2021) 297–319

²⁴ *Ventilation mode performance against airborne respiratory infections in small office spaces: limits and rational improvements for Covid-19; Barbosa et al., 2021 Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*

ventilazione a dislocamento produce migliori prestazioni complessive sulla riduzione del rischio di infezione aerea a lungo raggio rispetto alla convenzionale ventilazione a miscelamento per tutti i casi studiati nello studio (dimensione residua delle gocce fino a 10 μm). I risultati delle simulazioni CFD, accoppiati ad un modello di rischio di infezione, forniscono un valido strumento per assistere nella scelta di soluzioni ottimali delle prestazioni in relazione alle diverse opzioni di ventilazione



3.6 Conclusioni: ipotesi per la progettazione degli impianti in ottica COVID-19:

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 infettivi e 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 può 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:

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.

3. Potenziamento/introduzione in mandata di sistemi di abbattimento consolidati e accettati dalla normativa (es. filtrazione HEPA) in attesa che altri sistemi vengano riconosciuti *come certificabili quantitativamente (radiazione UV-C, ossidazione fotocatalitica, ionizzazione negativa dell'aria)*. È comunque da valutare attentamente il rapporto costi/benefici del potenziamento della filtrazione mediante l'introduzione di filtri HVAC

4. Nella progettazione di sistemi, sia nuovi o nel revamping di sistemi esistenti, in generale ci si muoverà nella direzione di introdurre dei criteri aggiuntivi che consentano di²⁵ :

- 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

²⁵ **Il ruolo degli impianti di climatizzazione nel contenimento del contagio da SARS COV 2**

F. Pedranzini – Politecnico di Milano – AICARR - 25 Febbraio 2021 - webinar

4. Il trattamento dell'aria condizionata canalizzata con radiazioni UV-C ed altre metodologie - Applicazioni ed esempi con indicazioni per un corretto dimensionamento (Dott. Ing. Paolo Rosabianca)

All'interno degli impianti la particella acquosa (contenente il Virus) si mantiene in linea di galleggiamento per una velocità alta di trasporto che ne impedisce la separazione per decantazione, e quindi andrà ad impattare sul filtro assoluto con velocità $v= 4-6$ m/sec.

La **filtrazione assoluta** è riconosciuta come affidabile e in grado di abbattere il particolato con efficienze superiori al 99,97% se questo ha dimensioni maggiori di $0,3 \mu\text{m}$ ($1\text{mm}=1000 \mu\text{m}$).

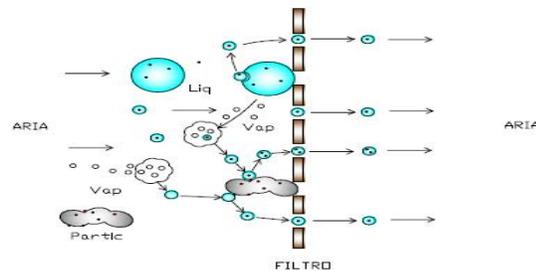
Nel caso in esame però **le particelle di Virus hanno diametri inferiori ($0,1- 0,15 \mu\text{m}$)**. Conseguentemente il rendimento decade molto, e solo le particelle che in qualche modo sono contenute ancora all'interno della goccia di aerosol con dimensioni al di sopra di $0,3 \mu\text{m}$ rimangono in aderenza sul filtro necessitando comunque di essere sanificate.

La corrente di aria porta con sé anche particelle solide trattenibili dal filtro fino ai diametri consentiti dalla classe adottata, e queste adsorbono in parte il virus.

Le particelle liquide, per le quali i filtri assoluti non sono idonei, sono di diametro variabile in relazione a fenomeni di evaporazione condensazione, frammentazione e coalescenza (diametri tipici dell'aerosol).

Il virus può quindi passare dalla maglia e ritornare nell'ambiente.

La funzione del filtro assoluto resta comunque fondamentale per abbattere il particolato solido insieme alla porzione di virus che vi aderisce.



Principio della massima cautela

Se la probabilità di contagio è alta in relazione a:

- Alto Numero delle persone presenti nel locale in rapporto alle dimensioni dello stesso;
- Probabile non omogenea distribuzione dell'aria;
- Necessità (stagione invernale) di ricircolare l'aria per conseguire un Risparmio Energetico;

Occorre:

- Ridurre la probabilità di contagio e garantire il massimo livello di sicurezza per i presenti (visitatori e lavoratori addetti);
- Adottare la **integrazione di più soluzioni efficaci**.

Principio di sostenibilità degli interventi

Qualsiasi intervento di modifica ad un impianto comporta dei costi, di conseguenza occorre:

- Realizzare le migliori cercando di modificare quanto meno possibile l'impianto originale a beneficio della sostenibilità dell'intervento;
- Realizzare interventi che non aumentino i costi di gestione;
- Partire da una corretta progettazione per ottimizzare i risultati.

4.1 Trattamento con raggi UV-C

I sistemi centralizzati di aria condizionata, per la presenza del ricircolo dell'aria, possono distribuire ovunque agenti contaminanti (virus e batteri).

Il fenomeno, altamente probabile, è causato dalle possibili carenze della filtrazione tradizionale, cattiva manutenzione, e da presenza di sporco e umidità nelle condotte.

Il rapporto dell'ISS n.25/2020-versione 15 maggio 2020, in merito all'utilizzo dei raggi ultravioletti riporta quanto segue.

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".

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. L'azione virucida e battericida, dei raggi UV-C è stata dimostrata in studi sul virus MHV-A59, un analogo murino di MERS-CoV e SARS-CoV-1.

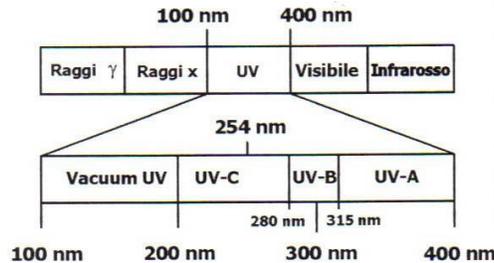
La Linea Guida REHVA (REHVA COVID-19 guidance document, August 3, 2020), al punto 4.5 (No use of central recirculation), si esprime favorevolmente sull'utilizzo dei raggi ultravioletti soprattutto nelle situazioni in cui sarebbe tecnicamente sconveniente aumentare l'efficacia della filtrazione meccanica mediante impiego di filtri assoluti ad elevata efficienza.

Anche ASHRAE raccomanda l'impiego di lampade UV-C, identificate come UVGI (ultraviolet germicidal irradiation) in abbinamento a sistemi di filtrazione accurata (ASHRAE® Recommendations for COVID-19, e ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols - April 14, 2020).

Si richiamano, per completezza di informazione, anche le Linee Guida ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control "Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19: first update" - 10 November 2020).

I Raggi UV funzionano con il Coronavirus Sars-Cov-2?

Il Coronavirus SARS-CoV-2 può sopravvivere in aerosol e sulle superfici su cui si è depositato per decine di ore [Ref: van Doremalen, N. et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. N. Engl. J. Med. 382, 1564–1567 (2020)].



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)] e ad esempio 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,

https://www.researchgate.net/publication/339887436_2020_COVID-19_Coronavirus_Ultraviolet_Susceptibility).

L'azione biocida della radiazione ultravioletta di tipo UV-C e la conseguente capacità di inibire la replica dei virus è dovuta al danneggiamento dei legami chimici di DNA o (come nel caso del SRAS-COV-2) RNA del microorganismo esposto. Nei virus si pensa che anche le proteine del capsido possano venire danneggiate.

Negli impianti canalizzati, gli emettitori di raggi ultravioletti possono essere installati in diverse localizzazioni, principalmente all'interno dei canali e in corrispondenza delle unità di trattamento aria (si veda il recente articolo <https://hvacinsider.com/inactivate-airborne-pathogens-with-uv-airstream-disinfection/>).

In genere, è consigliabile privilegiare l'installazione nelle UTA dove è maggiore la probabilità di sviluppo per muffe e colonie batteriche (ad es. Legionella) a causa della probabile presenza di condensa.

Inoltre, nelle unità di trattamento vi sono condizioni più favorevoli dal punto di vista della velocità dell'aria che rappresenta uno dei fattori più critici per un efficace dosaggio dell'irradiazione determinando la durata dell'esposizione sui microorganismi in transito.

È possibile sfruttare l'uso di superfici ad alta riflettività negli UV (ad esempio alluminio,

e anche i fogli per la conservazione dei cibi) per amplificare la potenza efficace prodotta da lampade UVC nell'inattivazione dei virus.

Determinazione del dosaggio e dimensionamento

Ogni microrganismo possiede una propria sensibilità specifica all'irraggiamento UVC.

In letteratura esistono diverse tabelle che elencano il valore individuale, per le principali specie batteriche, fungine e virali, del coefficiente "k", espresso in m^2 trattabili per ogni Joule (Watt per secondo) irraggiato. Più basso è il valore di k, maggiore è la resistenza del microrganismo ai raggi ultravioletti.

Senza entrare nello specifico della progettazione dei sistemi radianti, ci possiamo limitare ad evidenziare alcuni concetti fondamentali.

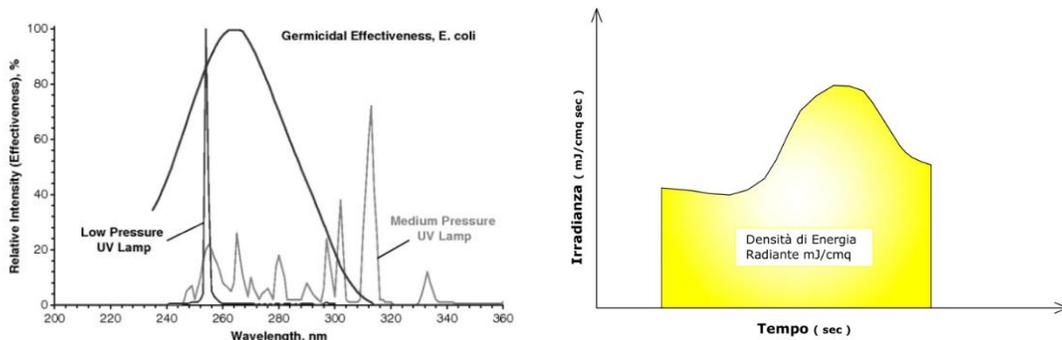
Irradianza (Intensità)

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 microrganismi) Espressa in watts o milliwatts per centimetro quadrato (W/cm^2 o mW/cm^2)

La determinazione della dose assorbita dai microrganismi trasportati dal flusso d'aria è relativamente semplice.

A tale proposito è consigliabile tenere una velocità dell'aria di progetto dell'ordine di

qualche metro per secondo. In generale infatti, al crescere della velocità diminuisce il tempo a cui l'aria infetta è esposta alla luce UV di una lampada posizionata dentro il condotto e quindi la dose di UVC assorbita dai microrganismi va opportunamente valutata poiché si riduce in modo sensibile anche il rendimento della lampada che irraggia il flusso d'aria.

Inoltre, è utile prevedere l'utilizzo di una o più lampade tubolari al mercurio a bassa pressione, con emissione a 253 nm (tipicamente quelle usate già correntemente per mantenere igienizzata l'acqua degli acquari) poste o al centro della condotta o su una delle superfici interne, con l'asse maggiore coincidente con la direzione del flusso, possibilmente foderando la condotta di un materiale altamente riflettente negli UVC nella zona attorno alla lampada.

La potenza emessa da sorgenti di irraggiamento UVC è calcolata in funzione della portata d'aria in maniera che la dose erogata sia sufficiente a inibire la replica del virus.

Grazie a uno studio dell'Istituto Nazionale di Astrofisica e Università degli Studi di Milano, svolto in collaborazione con l'Istituto Nazionale dei Tumori di Milano e l'Ircs Fondazione Don Gnocchi di Milano, è stato possibile valutare sperimentalmente gli effetti virucidi dell'irradiazione UVC sul virus Sars-Cov-2, per diverse dosi di illuminazione e concentrazioni del virus [Ref: Bianco, A., et al. UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication, 20202, <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.05.20123463v2.full.pdf>]

Lo studio sperimentale ha permesso di stabilire quale livello di illuminazione garantisce sia l'inattivazione del virus che l'inibizione della sua replicazione.

Dopo un'accurata campagna di test condotti presso i laboratori dell'Università di Milano, i ricercatori hanno scoperto che una dose UV/C di soli 3.7 mJ/cm² 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/cm².

Nota la densità dell'energia radiante fornita dal sistema di lampade installate (mJ/cm²), amplificate eventualmente dalla presenza di materiale riflettente sulle pareti della condotta vicino alla lampada, possiamo ottenere il tempo di esposizione necessario e di conseguenza il tempo di permanenza relativo alla camera di esposizione in rapporto alla portata dell'aria da trattare. Sarà utile aggiungere al valore teorico un margine di sicurezza (di almeno 10÷15% rispetto alla dose teorica).

Nella ricerca effettuata si riporta che *«I livelli di abbattimento richiesti nella disinfezione sono sempre abbastanza elevati. Il fattore 1000, che si ottiene con la dose minima UV/C, vuole dire avere eliminato il 99.9 per cento del virus che è un ottimo risultato per molte applicazioni, ma in alcuni ambiti ospedalieri non è sufficiente. Bisogna arrivare a 99.99 per cento, quindi 10 mila. In questi casi si dovrà aumentare la dose UV/C fornita.*

Il risultato ottenuto è molto positivo soprattutto perché la dose UV/C non è molto

elevata. Questo significa che in un sistema di disinfezione di questo tipo, potrebbero essere sufficienti pochi secondi di trattamento per avere una buona disinfezione della superficie utilizzando lampade di adeguata potenza».

Un altro risultato importante ottenuto nella ricerca INAF riguarda la modalità di somministrazione della dose che risulta indipendente dalla distribuzione spaziale.

Quanto sopra avvalorava la scelta di consigliare questa applicazione soprattutto per impianti di medio grandi dimensioni presenti in attività quali cinema, teatri, supermercati etc. ... (fonte MEDIA INAF).

Ovviamente, tutti i dati sopra riportati relativi alla dose efficace sono connessi ad ipotesi di lavoro e vanno di conseguenza testati su impianto pilota.

È giusto ricordare inoltre che l'utilizzo dei raggi UV/C su superfici (e non per aerosol) non è da intendersi come sostitutivo all'uso dei disinfettanti di altra natura ma come tecnologia fisica ed ecologica che in combinazione con i tradizionali metodi può fare una grande differenza nel controllo delle contaminazioni di ogni tipo.

4.2 Altre metodologie di trattamento dell'aria con riferimento alle norme recentemente introdotte dall'ISS

Filtri elettrostatici (ESP)

La captazione elettrostatica permette la separazione dall'aria di una qualsiasi particella, indipendentemente dalla sua dimensione con efficienze elevate (superiori al 90%).

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.

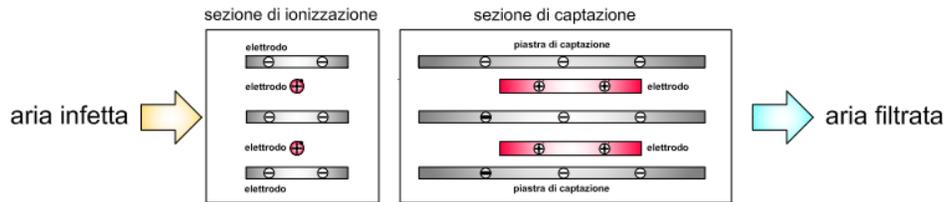
Sotto il profilo strutturale, si possono classificare come filtri a stadio singolo e filtri a due stadi. Nel filtro a stadio singolo la ionizzazione e la cattura delle particelle avvengono in un unico contesto.

Il filtro elettrostatico a due stadi è costituito da una **sezione di ionizzazione** e da una **sezione di captazione**.

La carica di particelle e microrganismi avviene nella **sezione di ionizzazione** attraverso elettrodi che, sottoposti a tensione elevata, generano una scarica a corona positiva o negativa.

La precipitazione elettrostatica delle particelle e dei microorganismi precedentemente caricati, si verifica nella *sezione di captazione* dove sono presenti sia elettrodi repellenti che elettrodi di raccolta.

Il campo elettrico generato tra queste piastre cattura le particelle precedentemente ionizzate e le intrappola sulla superficie delle piastre di raccolta.



Schema di Elettrofiltro

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

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

- catturano particelle con diametri fino a $0,01 \mu\text{m}$ con un'efficienza del 99%;
- operano ad elevate portate d'aria;
- possono avere bassi costi energetici (circa 100 Watts/1.000 m³/h);
- hanno perdite di carico molto basse.

Le perdite di carico sono estremamente ridotte grazie alla presenza di ampie zone libere, e si producono *percentuali di ozono basse*.

Filtrazione fotocatalitica

Il processo chimico che sta alla base della filtrazione fotocatalitica 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.

Sostanzialmente la fotocatalisi utilizza una sorgente luminosa per attivare chimicamente i fotocatalizzatori che, illuminati, consentono la formazione di sostanze fortemente ossidanti le quali reagiscono decomponendo le sostanze organiche e inorganiche presenti nell'ambiente di controllo.

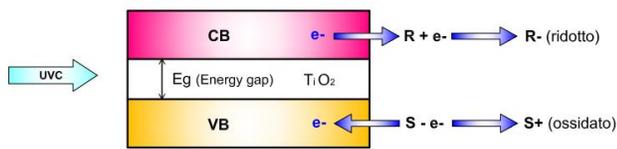
Il fotocatalizzatore, mediante l'assorbimento di una radiazione elettromagnetica, fa diminuire l'energia di attivazione di una determinata reazione chimica e così facendo accelera la velocità di quella stessa reazione.

Le sostanze in grado di eseguire tali processi sono i semiconduttori che, eccitati dalla luce, promuovono una serie di reazioni a catena come le reazioni Redox e le trasformazioni molecolari.

I semiconduttori (ossidi di metallo o solfuri come ZnO, TiO₂ e ZnS) hanno una struttura elettronica caratterizzata da una banda di valenza (VB) completa e una banda di conduzione (CB) vuota.

Se un semiconduttore viene irradiato con fotoni di energia maggiore alla sua “Energy gap” Eg (dislivello energetico tra banda di conduzione e banda di valenza), gli elettroni sono in grado di passare dalla sua banda di valenza alla banda di conduzione.

Le “vacanze” (mancanza di elettroni) degli ossidi dei metalli semiconduttori acquisiscono così un forte potere ossidante e sono in grado di ossidare un donatore che perde un elettrone.



Schema Fotocatalisi

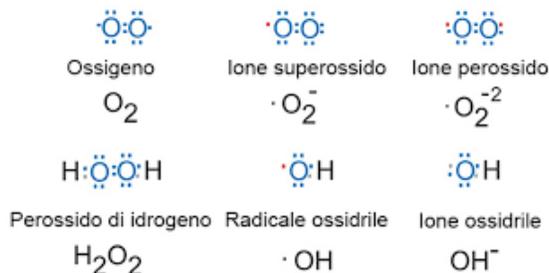
In presenza di acqua sulla superficie si può formare un radicale ossidrile altamente reattivo ($\bullet\text{OH} + \text{H}^+$).

Gli elettroni che sono passati alla banda di conduzione, grazie al loro forte potere riducente, possono ridurre le molecole dell'accettore di elettrone.

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_2O_2), e radicali idroperossido ($\bullet\text{HO}_2^-$).

I prodotti della fotocatalisi, chimicamente molto reattivi, possono così degradare a livello molecolare molti inquinanti sia di origine organica che inorganica.



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).

Secondo altre fonti, il comportamento di inattivazione dei virus è mediato da radicali superossido e ossidrilici ($\bullet\text{O}_2^-$ e $\bullet\text{OH}$) e da Specie Reattive dell'Ossigeno (ROS) come H_2O_2 e il radicale $\bullet\text{HO}_2^-$.

Per l'attivazione del TiO_2 è necessaria una illuminazione mediante raggi UV che contribuiscono anch'essi all'azione di sterilizzazione.

Di conseguenza, i sistemi fotocatalitici sono sotto osservazione in quanto possono dare luogo alla formazione di ozono.



Tecnologia a plasma freddo (NPT)

Il gas plasma, ampiamente diffuso in tutto l'universo, è stato definito come il quarto stato della materia: solido, liquido, gassoso, e appunto 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.

In poche parole è un gas con grande energia interna a banda di potenza neutra che emette radicali liberi quando gli elettroni esterni vengono colpiti da scariche elettromagnetiche, radiofrequenze o microonde.

La ionizzazione di un atomo si manifesta quando un elettrone acquisisce sufficiente energia per superare le forze attrattive del nucleo dell'atomo. Quando questo risultato si ottiene con processi che generano un plasma in cui la temperatura degli ioni e degli atomi neutri è sensibilmente minore di quella degli elettroni, si parla di plasma freddo o Non-Thermal Plasma (NTP).

I plasmi freddi sono caratterizzati dall'avere più particelle neutre di quelle cariche (meno dell'1%). Viene denominato plasma freddo proprio perché, a causa della sua composizione, non è in grado di cedere grandi quantità di calore.

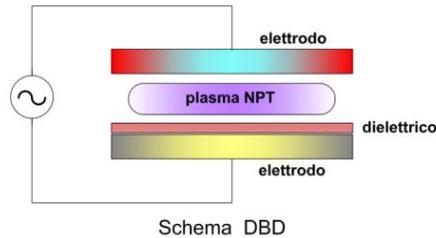
Il plasma freddo emette luce con lunghezze d'onda sia nella parte visibile che nella parte ultravioletta dello spettro.

Oltre all'emissione di radiazioni UV, un'importante proprietà del plasma a bassa temperatura è la presenza di elettroni ad alta energia, fortemente reattivi, che generano numerosi processi chimici e fisici come l'ossidazione, l'eccitazione di atomi e molecole, la produzione di radicali liberi e di altre particelle reattive.

Un plasma si può generare artificialmente fornendo ad un gas un'energia sufficientemente alta, applicando cioè energia in modo tale da riorganizzare la struttura elettronica delle specie (atomi, molecole) e produrre specie eccitate e ioni.

Uno dei modi più comuni per creare artificialmente e mantenere un plasma è quello di applicare una scarica elettrica in un gas.

La scarica si genera grazie ad una corrente sinusoidale o pulsata che porta alla generazione di microarchi che hanno luogo grazie all'accumulo di elettroni sullo strato di dielettrico con cui è ricoperto uno degli elettrodi, come nel caso del Plasma con Scarica Elettrica a Barriera (Dielectric Barrier Discharge - DBD).



L'**attività biocida** avviene per ossidazione della membrana cellulare. Particelle reattive che trasportano cariche elettriche, tra le quali le più importanti sono le specie reattive dell'ossigeno (ad es. ossigeno atomico e ozono), si concentrano sulla superficie delle membrane causandone la distruzione.

Il dispositivo è efficace su batteri gram + e gram -, muffe e lieviti, virus, endotossine batteriche, VOC (composti organici volatili).

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.

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.

Sulle condotte di nuova realizzazione il plasma non termico (NTP) impedisce la formazione di colonie batteriche sulle superfici interne e la diffusione delle contaminazioni attraverso il flusso d'aria in transito.

Sulle condotte esistenti, con presenza di colonie batteriche già sviluppate, il plasma non termico ossida i microrganismi rendendo micro-biologicamente inerti i depositi di particolato preesistenti.

Un gruppo di ricercatori della *University of Michigan* sta mettendo a punto una tecnologia per rimuovere i virus presenti nell'aria **con tempi di reazione estremamente ridotti**.

Il dispositivo sfrutta le potenzialità del plasma non termico (o plasma freddo), che nei test descritti sulla rivista Journal of Physics D: Applied Physics si è dimostrato capace di **uccidere il 99,9% dei contaminanti** fluttuanti nell'atmosfera.

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					

4.3 Sistemi di controllo continuo dell'efficienza ed efficacia del sistema adottato e dell'eventuale fuoriuscita di sostanze indesiderate

La formazione di ozono in tutti i sistemi sopra descritti comporta la necessità di **metodi e strumentazioni di controllo**.

Relativamente all'impiego di lampade UVGI il rapporto ISS COVID-19 12_2021 riporta quanto segue.

La radiazione UV-C può essere utilizzata in sicurezza in sistemi in cui la radiazione non fuoriesca, come avviene per esempio nelle apparecchiature utilizzate per la sterilizzazione degli strumenti chirurgici o nelle cappe di laboratorio, nei dispositivi trasportabili o nei sistemi HVAC.

Alcune lampade emettono UV-C a lunghezze d'onda inferiori a 240 nm, e pertanto producono ozono. Va evidenziato che l'ozono è dannoso per la salute se viene inalato e per questo motivo dovranno essere messe in atto anche le procedure di sicurezza indicate

al paragrafo “Trattamento con Ozono” del presente documento e nel Rapporto ISS COVID-19 n. 56/2020.

Fermo restando che nella presente trattazione si fa riferimento solo a sistemi di sterilizzazione con lampade “*ozone free*” inseriti in impianti HVAC, che assicurano pertanto una totale segregazione delle lampade, si ritiene comunque che una dotazione base di controllo strumentale del corretto funzionamento debba comprendere almeno un rilevatore di intensità di radiazione per constatare l’efficacia del sistema, ed un rilevatore della presenza di ozono all’interno della zona di reazione.

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 (O₃), 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.

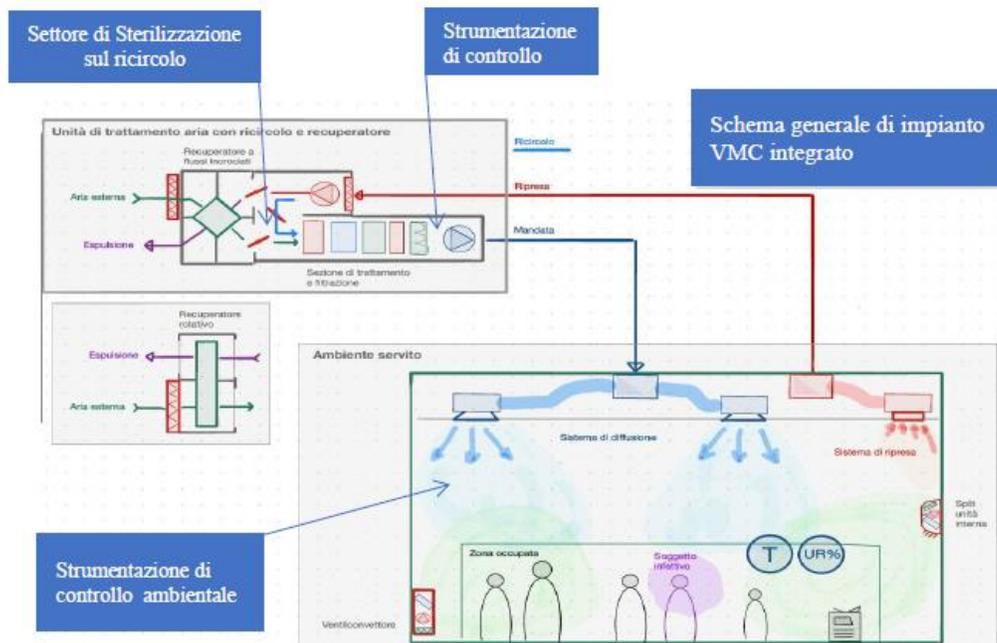
Un ulteriore sensore che potrebbe essere inserito nel sistema è un misuratore di intensità della luce UV, che permetta di stabilire l’efficacia della lampada ed i tempi di sostituzione ai fini manutentivi.

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

Possiamo quindi considerare il seguente schema ideale di impianto centralizzato:



Impianto VMC integrato

5. Studi di inattivazione del virus SARS-COV-2 in UV (Ing. Andrea Bianco - Dott. Giovanni Pareschi)

Ad inizio 2020, un nuovo coronavirus, il SARS-CoV-2 è stato identificato nella regione di Wuhan in Cina ed è stato responsabile della malattia COVID-19. La pandemia che si è generata ha creato e sta creando innumerevoli problemi sia sanitari che economici. Lo sviluppo dei vaccini sta sicuramente contribuendo in modo marcato al contenimento della pandemia, ma è altrettanto vero che sistemi e strategie per la disinfezione di aria e superfici sono stati necessari e lo sono tuttora non solo per il SARS-CoV-2, ma più in generale per limitare infezioni e malattie trasmissibili in via aerea e per contatto con superfici.

Sicuramente l'approccio chimico di disinfezione è molto utile e ampiamente usato soprattutto per le superfici per la sua economicità e semplicità. Il problema è in molti casi che l'efficacia dipende dall'operatore e può non essere costante. Approcci di tipo fisico sono stati presi in considerazione e tra essi, l'utilizzo di radiazione UV (200 – 400 nm) ha trovato un importante interesse in quanto ha il vantaggio di non essere a contatto, di non richiedere nella maggior parte dei casi l'intervento dell'operatore e di adattarsi molto bene alla disinfezione dell'aria.

L'utilizzo di radiazione UV, in particolare UV-C, per la disinfezione è un approccio utilizzato da più di un secolo. Ciò è stato possibile grazie alla disponibilità delle lampade a scarica di mercurio che emettono a 254 nm ed erano disponibili già ad inizio del secolo scorso. L'approccio ad UV-C è ampiamente documentato e si conoscono in modo dettagliato gli effetti sia sull'essere umano che sui materiali.

Il meccanismo su cui si basa l'effetto virucida e anche battericida della radiazione UV-C consiste nell'assorbimento della radiazione da parte della componente proteica e soprattutto da parte degli acidi nucleici (RNA e DNA). In seguito all'assorbimento, si possono avere reazioni fotoindotte che portano ad un impedimento di replicazione di RNA/DNA oppure alla perdita di funzionalità delle proteine (per esempio del capsido nei virus). Tanto più è elevata la probabilità di questi eventi, tanto più efficace sarà il trattamento. Bisogna anche considerare che in alcuni microorganismi esistono anche dei meccanismi di riparazione che riescono a limitare i danni soprattutto a livello DNA/RNA. Visto il meccanismo in gioco, appare evidente che gli effetti della radiazione UV-C si hanno anche sull'uomo generando diverse patologie soprattutto legate all'epidermide e agli occhi.

Ciò che è necessario determinare per l'applicazione della radiazione UV-C nella disinfezione è la dose necessaria per avere una certa riduzione percentuale del numero di microorganismi attivi. Si parla quindi di D90, D99, ecc. come la dose necessaria ad inattivare il 90, 99% del microorganismo e via dicendo. Solitamente la dose è espressa in J/m^2 o mJ/cm^2 . Un'altra possibilità per valutare l'efficacia della radiazione UV-C è la misura della dose necessaria per avere una completa inattivazione del microorganismo; in altre parole, la dose necessaria per impedirne la replicazione.

All'inizio della pandemia non era nota la dose UV-C richiesta nel caso del SARS-CoV-2 e ci si è riferiti alle misure disponibili in letteratura inerenti al SARS-CoV-1 in quanto esso, per ovvie ragioni, aveva una similitudine molto alta in termini di RNA. Ciò che si è riscontrato è una distribuzione di valori molto ampia, si andava infatti da pochi mJ/cm^2 a diverse centinaia di mJ/cm^2 . Tale effetto si è riproposto tra fine 2020 ed inizio del 2021 con i risultati sul SARS-CoV-2. Questi risultati così poco coerenti si devono alle diverse tipologie di campioni studiati e alle diverse architetture degli esperimenti. Bisogna anche considerare il fatto che le misure richiedono il controllo del virus, dell'illuminazione, e la conoscenza di come la radiazione UV si propaga nel mezzo in cui il virus è sospeso. Si evince chiaramente come sia necessario progettare ed eseguire una misura il più possibile controllata, ripetibile e che rispecchi il comportamento del virus isolato (condizione in aerosol).

In questo contesto, è stato messo a punto un esperimento ideale nei laboratori dell'Università di Milano (presso l'Ospedale Sacco di Milano) in collaborazione con l'Istituto Nazionale dei Tumori di Milano e l'INAF-Osservatorio Astronomico di Brera. Il virus è stato sospeso in DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium) con un film di liquido di spessore noto e poi illuminato con una lampada a 254 nm tarata in irradianza. È stato quindi calcolato l'assorbimento medio del liquido e calcolate diverse dosi. Sono state inoltre studiate diverse concentrazioni di virus. I risultati hanno mostrato come una

dose UV-C di 3.7 mJ/cm² era sufficiente a inibire completamente la replicazione virale con una concentrazione pari a quella riscontrabile nella saliva di un malato di COVID-19. Nel caso di concentrazione maggiore erano necessari circa 15 mJ/cm² per avere lo stesso risultato. Si evince quindi che il virus è particolarmente suscettibile alla radiazione UV-C e che la dose necessaria per avere la completa inibizione è funzione della concentrazione del virus. Quest'ultimo risultato fa pensare che le dosi necessarie per il SARS-CoV-2 in aerosol siano inferiori poiché la concentrazione è molto più bassa. I risultati sono stati utilizzati per la progettazione e per la messa a punto di sistemi di disinfezione UV-C soprattutto sistemi di trattamento dell'aria di diverse dimensioni.

Successivamente, si è cercato di valutare l'effetto di altre radiazioni UV meno energetiche (UVA ed UVB) sul SARS-CoV-2; tale scelta era dettata dal fatto che si era evidenziata una stagionalità del virus ed essa poteva essere correlata alla quantità di radiazione UV emessa dal sole. La componente UV-C è infatti bloccata dallo strato d'ozono nella stratosfera, mentre la componente UV-B ed UV-A raggiunge la superficie terrestre con un'irradianza che è funzione della latitudine e della stagione. In aggiunta, l'eventuale efficacia di questa radiazione sul SARS-CoV-2 renderebbe possibile lo sviluppo di nuovi sistemi di disinfezione con mitigato effetto sull'uomo.

L'approccio seguito è stato lo stesso usato nel caso della radiazione UV-C a 254 nm, ma si è usata una lampada a LED con emissione a 278 nm (UV-C), 308 nm (UV-B) e 366 nm (UV-A). In aggiunta è stato usato un LED viola a 405 nm. Sono state scelte tre diverse dosi e si è utilizzata la stessa concentrazione del caso precedente, cioè tipica di un paziente affetto da COVID-19. I risultati hanno mostrato che era possibile trovare una dose in grado di inibire completamente la replica virale a 278 nm come a 405 nm. Ovviamente, le dosi aumentano all'aumentare della lunghezza d'onda e sono riportate nella tabella seguente (tabella 1).

Tabella 1. Radiazione utilizzate nei test di inattivazione di SARS-CoV-2 e dose necessaria per una completa inibizione della replicazione virale.

Radiazione	Lunghezza d'onda (nm)	Dose (mJ/cm²)
UV-C	254	3.7
UV-C	278	4
UV-B	308	200
UV-A	366	4000
Viola	405	24000

Vediamo come le due radiazioni UV-C hanno un'efficacia molto simile e questo è da imputare al fatto che l'assorbimento di RNA e proteine è molto simile in tutto l'UV-C. Andando nell'UV-B e nell'UV-A sono necessarie dosi 50 volte e 1000 volte maggiori per avere l'inibizione completa del virus. Ancora maggiore è la dose necessaria con la luce a 405 nm. Questo è comprensibile poiché l'assorbimento delle componenti proteiche e nucleiche diventa trascurabile già a partire dall'UV-B, ma il fatto che vi sia ancora un effetto significa che effettivamente il virus è pronò ad essere inattivato mediante

radiazione UV. Andando a confrontare l'azione spectrum (andamento della dose necessaria per la disattivazione in funzione della lunghezza d'onda) del SARS-CoV-2 con quello di altri virus e batteri, si evince come un comportamento simile è dato dal virus dell'influenza e da altri virus RNA. Al contrario virus a base DNA e batteri sono molto meno sensibili a radiazioni UVB ed UVA. Seppur le dosi necessarie siano decisamente più elevate che nel caso della radiazione UV-C e quindi di fatto rendono complessa l'implementazione di sistemi efficienti di disinfezione, esse danno sicuramente un supporto sperimentale ai modelli epidemiologici che contengono l'effetto solare sulla diffusione del virus. Infatti si può calcolare che in una giornata estiva di sole, si ha una riduzione importante della concentrazione di virus sui tempi scala dei minuti.

6. Il trattamento dell'aria con raggi UV - Rischi correlati all'uso diretto negli ambienti di vita e di lavoro *(Dott. Andrea Bogi – Dott.ssa Iole Pinto)*

La radiazione ultravioletta e la radiazione UVC in particolare, è stata utilizzata fin dagli inizi del secolo scorso per il suo riconosciuto potere germicida. Il meccanismo di azione consiste nella capacità di indurre modificazioni nelle basi azotate del materiale genetico dell'agente patogeno, inattivando la sua capacità di replicazione. Più recentemente tali proprietà germicida sono state utilizzate per contrastare la diffusione dei coronavirus che hanno causato la SARS e la MERS.

Nella pubblicazione del “WHO Guidelines on Tuberculosis Infection Prevention and Control 2019 Update” [WHO2019] se ne ribadisce l'efficacia sul batterio della tubercolosi.

Storicamente l'utilizzo delle lampade germicida era normalmente limitato agli ambiti lavorativi, soprattutto sanitari, per la sterilizzazione di ambienti come le sale operatorie o all'interno di cappe come in microbiologia. Durante la pandemia dovuta al COVID 19, è stato incentivato l'utilizzo di tali sorgenti per contrastare la diffusione del virus; in conseguenza di ciò le lampade germicida hanno avuto una rapida espansione dagli ambienti prettamente sanitari, a quelli lavorativi e di vita, portando con sé i rischi legati all'uso della radiazione ultravioletta, di cui non sempre i nuovi utilizzatori sono consapevoli [EPA2018] [SHEER2017]. Risulta quindi fondamentale fornire informazioni, indicazioni e misure di tutela specifiche per una corretta gestione di tali sorgenti.



Figura 1: Due tipici utilizzi delle lampade germicida in ambito ospedaliero: installazione a muro per la sanificazione di ambienti (a sinistra) ed all'interno delle cappe sterili (a destra)

È importante ricordare che tutta la radiazione ultravioletta, UVA, UVB ed UVC, è classificata dalla Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) nel gruppo 1 degli agenti certamente cancerogeni per l'uomo [IARC-100]. Oltre agli effetti a lungo termine, i danni ad occhi e cute possono manifestarsi anche in tempi molto brevi a seguito di esposizioni acute, portando alla comparsa di fotocheratiti e fotocongiuntiviti a carico degli occhi ed eritemi e scottature a carico della cute.

Per tale motivo le lampade germicida devono essere segnalate e gestite in modo da eliminare o ridurre al minimo, l'esposizione di chiunque possa essere presente quando sono in funzione.



Figura 2 Pannello indicante il rischio da radiazioni ottiche artificiali da apporre all'ingresso di un ambiente contenente una sorgente rilevante.

I principi della valutazione del rischio UV

Attualmente in Italia i criteri per la protezione dalle radiazioni ottiche, di cui fa parte anche la radiazione UV, derivano dall'applicazione della Direttiva Europea 2006/25/CE, recepita dal capo V del Titolo VIII del D.Lgs. 81/08. Essa riprende, per la parte di radiazione non coerente, i criteri contenuti nel documento dell'ICNIRP "Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0,38 to 3 μm)" del 1997 [ICNIRP97]. I limiti contenuti nella direttiva servono a prevenire gli effetti avversi conosciuti dell'esposizione di occhi e cute. Si noti che a differenza di quanto avviene in altri ambiti, nel caso delle radiazioni ottiche non vi è una differenziazione fra limiti per i lavoratori e per la popolazione generale. Va inoltre ricordato che i limiti di esposizione definiti dal D.L.gvo 81/08 definiscono i livelli di esposizione non superabili nell'arco della singola giornata, in particolare gli studi epidemiologici normalmente considerano quella lavorativa della durata di 8 ore. Al di sotto di tali livelli, di solito, non si verificano

effetti dannosi di tipo deterministico in soggetti adulti sani, cioè effetti per i quali è nota la soglia di insorgenza e la cui gravità è funzione dell'entità dell'esposizione.

Nei casi di soggetti “particolarmente sensibili” alla radiazione ottica [PAF-ROA-Prevenzione e protezione], il rispetto dei limiti di esposizione può non essere sufficiente a garantire la prevenzione di effetti avversi indesiderati e si rende perciò necessario, in fase di scelta delle appropriate misure di tutela, approfondire le valutazioni, nel caso di luoghi di lavoro insieme al medico competente e, nel dubbio, adottare, anche in via cautelativa, ulteriori precauzioni e misure di protezione. Nel contesto attuale, ciò risulta particolarmente critico quando si utilizzano sorgenti UV in luoghi ad accesso pubblico o comunque in ambito non lavorativo, dove non si può escludere la presenza di soggetti sensibili e dove l'esposizione può essere inconsapevole.

Per tale motivo nell'ambito della valutazione del rischio, si dovrebbero prendere in considerazione anche quelle situazioni che presentano livelli di esposizione dell'ordine del 50% - 90% del valor limite, che possono essere comunque di interesse per la tutela di soggetti particolarmente suscettibili al rischio.

Va ancora tenuto presente che i limiti di esposizione adottati dalla vigente normativa sono il risultato dell'analisi approfondita e periodica della letteratura scientifica e della valutazione comparata delle soglie sperimentali degli effetti indotti dalla ROA, determinate sia su modelli animali sia sull'uomo. Il loro rispetto previene l'insorgenza di ben noti effetti deterministici quali l'eritema, la fotocheratite, la fotoconguntivite, la cataratta ed effetti di tipo termico, la cui gravità è direttamente correlata all'entità dell'esposizione. Il rispetto dei limiti fissati dalla vigente normativa per UV e luce blu non può annullare il rischio di effetti a lungo termine dipendenti dalle dosi accumulate in esposizioni croniche nel corso della vita lavorativa (cancerogenesi cutanea, danni oculari da esposizione cronica a luce blu). Per questi ultimi effetti i limiti di esposizione alla radiazione UV e alla luce blu non possono e non devono essere considerati come una sorta di linea di sicurezza al di sotto della quale gli stessi effetti non possono verificarsi.

Nel caso di esposizioni sistematiche, come quelle che possono avvenire in ambito lavorativo, limitare l'esposizione al di sotto della soglia di induzione degli effetti acuti contribuisce comunque a diminuire la dose che ogni lavoratore esposto accumula giorno dopo giorno e quindi implicitamente riduce anche la probabilità o la gravità degli effetti a lungo termine, di cui al momento non è nota una relazione dose/risposta. Per tale motivo nel caso di esposizioni ad UV, ma in generale per la protezione dagli agenti fisici, il D.Lgs 81/08 indica come primo approccio l'eliminazione dei rischi alla fonte o la loro massima riduzione, tenuto conto del progresso tecnologico. Tale criterio dovrà sempre essere tenuto presente, quando si andranno a confrontare le diverse soluzioni a disposizione per produrre un'azione germicida efficace.

Sulla stessa linea, l'approccio per ridurre il rischio ad un livello accettabile indicato dalla guida CENELEC 32: “Guidelines for Safety Related Risk Assessment and Risk Reduction for Low Voltage Equipment” parte dall'eliminazione del rischio alla fonte; se questo non fosse possibile, si dovrà ricorrere a misure tecniche per il suo controllo e se i rischi residui risultassero ancora troppo elevati si dovranno riportare nelle istruzioni, tutti

gli avvertimenti e le informazioni necessarie a prevenire esposizioni accidentali. Tali misure di prevenzione dovranno riguardare l'installazione del sistema, il suo utilizzo e le operazioni di manutenzione. Questo contenuto informativo è richiesto al produttore sia ai sensi della Direttiva 2006/42/CE (Direttiva Macchine) recepita con D. Lgs 17/2010, che ai sensi della Direttiva 2007/47/CE (Dispositivi Medici) recepita con D. Lgs 25/1/2010, che dal D. Lgs 6/9/2995 N°206 (Codice del Consumo). In pratica qualsiasi apparecchiatura prodotta, sia essa un macchinario, un dispositivo medico o un bene di consumo, deve essere corredata da un manuale, o da istruzioni, che siano il risultato della valutazione del rischio effettuata dal produttore in base alla destinazione d'uso del prodotto ed al livello di conoscenza atteso per gli utenti previsti. Egli dovrà fornire tutte le informazioni necessarie sui rischi eventualmente presenti legati al suo utilizzo ed alle misure di prevenzione e protezione da mettere in atto per la corretta gestione.

In ambito professionale le istruzioni fornite dal fabbricante nel manuale d'uso e manutenzione sono la prima fonte di informazione per effettuare la valutazione del rischio ai sensi dell'art 216 del D. Lgs 81/08. Infatti un manuale correttamente redatto, dovrebbe fornire tutte quelle misure di prevenzione e protezione che secondo quanto previsto dal D.Lgs 81/08 al titolo VIII art. 181 il datore di lavoro dovrebbe riportare nel documento di valutazione al fine della corretta gestione della sorgente.

Ancora all'art. 216 il D. Lgs 81/08 prescrive che: “Nell'ambito della valutazione dei rischi il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura e/o calcola i livelli delle radiazioni ottiche a cui possono essere esposti i lavoratori”. A tal proposito, si fa presente che nel caso delle lampade germicida è quasi sempre possibile calcolare i livelli di esposizione a partire dai dati dichiarati dal produttore e dalla documentazione disponibile on-line sul Portale Agenti Fisici [PAF-ROA].

Classificazione Impiego

Metodi di impiego con standard di prodotto: aria

Le modalità con le quali il produttore fornisce le informazioni, dipendono dalla presenza di normative specifiche che indichino esattamente la metodica di valutazione. La gestione del rischio dei sistemi di sanificazione dell'aria che utilizzano sorgenti UVC inserite nei sistemi di canalizzazione, può essere effettuata seguendo la norma IEC/EN 60335-2-65 [IEC60335-2-65] e per le applicazioni industriali la norma EN ISO 15858 [ISO15858]; mentre la norma ISO 15714 [ISO15714] fornisce un metodo di misura dell'efficienza dell'azione germicida. Invece per i sistemi UVC di sanificazione dell'acqua si può applicare la norma IEC/EN 60335-2-109.

Nei sistemi di sanificazione inseriti nei condotti di ricambio dell'aria la radiazione può essere completamente confinata in modo tale che non vi sia alcuna esposizione agli UV. Conformemente ai criteri fissati dalla norma IEC/EN 60335-2-65, gli utilizzatori non dovrebbero mai avere accesso alla zona dove è presente emissione UVC da parte delle sorgenti; in caso di canali ispezionabili, è previsto l'inserimento di interblocchi agli

sportelli di accesso con segnaletica che indichi la possibile emissione di radiazione ultravioletta.

L'installazione e la manutenzione di tali sistemi deve essere effettuata solo da personale qualificato e formato sui rischi specifici delle sorgenti UV, in quanto risulta evidente che in tali fasi potrebbe essere necessario disattivare i sistemi di interblocco. Anche in questo caso risulta importante il programma di manutenzione che da una parte deve assicurare il funzionamento dei sistemi di sicurezza e dall'altra assicurare il livello di irradiazione richiesto per l'azione germicida; si noti che condizione necessaria per avere tali garanzie è la presenza dell'indicazione precisa di marca e modello della sorgente di radiazione utilizzata all'interno del sistema.

Quanto sopra enunciato deve essere correttamente riportato nel manuale d'uso e manutenzione.

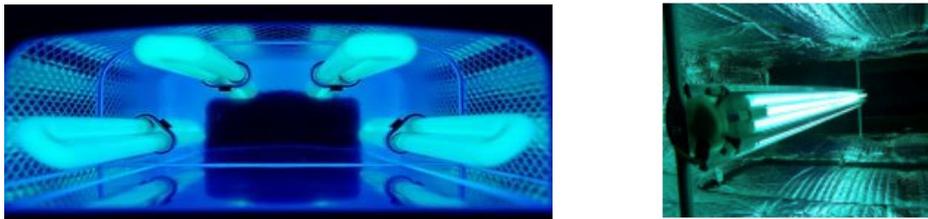


Figura 3 Nei sistemi UVC inseriti nei condotti di canalizzazione dell'aria le lampade sono disposte in modo da ottimizzare l'irraggiamento del flusso d'aria al fine di impartire la dose prevista di radiazione UVC.

Per tali sistemi l'efficienza della disinfezione dovrebbe essere dichiarata come previsto dalla norma ISO 15714; tale informazione risulta importante sia per garantire il buon funzionamento del sistema, sia per confrontare le prestazioni di sistemi differenti. Tale dato consente inoltre un'agevole valutazione dell'efficacia dell'azione di sterilizzazione, mediante un appropriato dimensionamento dei ricambi d'aria all'interno degli ambienti.

Si noti che l'esistenza di una normativa specifica oltre al vantaggio di imporre delle regole di valutazione e di dichiarazione dei rischi comuni, impone anche dei limiti al livello di rischio residuo; ad esempio nel caso delle lampade UV utilizzate per gli insetti, la corrispondente norma di prodotto IEC/EN 60335-2-59 impone una limitazione nell'emissione misurata ad 1 metro di distanza dall'apparecchio.

Metodi di impiego senza standard di prodotto: superfici e ambienti

Purtroppo per quanto riguarda la sanificazione di superfici ed ambienti con radiazione UV, non esiste una norma di prodotto specifica; questa carenza è stata una delle cause della crescente diffusione di sistemi di sanificazione per ambienti UVC privi delle necessarie informazioni sulle corrette modalità di impiego ai fini della sicurezza, di idonei sistemi atti a prevenire rischi dovuti alla esposizione accidentale alla radiazione UVC, ed in assenza di dati certi sull'efficacia germicida nelle effettive condizioni di impiego.

A questo proposito nella banca dati de Portale Agenti Fisici, sono censite alcune sorgenti germicida a LED. Tipicamente l'analisi spettrale di questi sistemi mostra un picco centrato a 278nm, responsabile dell'azione sia dannosa per l'uomo che germicida, ed un picco centrato 400nm responsabile della parte visibile della radiazione emessa dal dispositivo. Nonostante il vantaggio della maggiore versatilità rispetto ai sistemi tradizionali basati sui tubi contenenti mercurio, la potenza emessa e l'efficienza energetica è molto ridotta: normalmente la prima è di poche decine di mWatts, con un'efficienza di pochi punti percentuali. Anche per questo motivo, difficilmente si può pensare che nella pratica una sorgente LED portatile possa essere un mezzo efficace di disinfezione soprattutto per quanto riguarda le superfici.



Figura 4 *A sinistra pubblicità di un sistema di disinfezione portatile. A destra un sistema portatile contenente 3 LED con emissione a 280nm: tempo di esposizione necessario ogni 20cm² di superficie da sanificare: 90minuti*

Un'altra categoria di sorgenti per la sterilizzazione di ambienti e superfici che si va diffondendo sul mercato a seguito della pandemia è costituita da sistemi a LED con emissione nella zona di confine fra le lunghezze d'onda del blu e UVA. In questo caso probabilmente l'azione germicida non segue lo stesso meccanismo d'azione proprio degli UVC, ma potrebbe essere dovuta a processi fotochimici di ossidazione generati dalla radiazione. Tali sistemi sono spesso progettati per essere utilizzati anche in presenza di persone, oppure incorporano sensori di rivelazione di presenza che ne abbassano le emissioni. Se la sorgente è progettata per funzionare in presenza di persone, si devono considerare tutti i possibili effetti, anche sugli eventuali soggetti sensibili presenti, in relazione a quanto visto sopra circa il livello di sicurezza garantito dagli attuali limiti normativi.



I sensori di rilevazione di presenza, sono utilizzati anche in alcuni sistemi che utilizzano i tradizionali tubi al mercurio UVC. In tali casi è necessario che i sistemi di sicurezza abbiano un certo grado di ridondanza in modo da assicurare la prevenzione da sovraesposizione accidentale anche in seguito ad un guasto. Inoltre la manutenzione deve essere programmata in modo da mantenere sempre efficienti i sistemi di sicurezza.

I sistemi sopra citati mostrano due criticità: le radiazioni non sono confinate, quindi la sicurezza è affidata a sensori di presenza; sono spesso progettati per la disinfezione delle superfici. Come si è visto, in questo caso non esistono norme specifiche per valutarne da

un lato la sicurezza per l'uomo e dall'altro l'efficienza germicida.

Si ricorda comunque che, anche in assenza di norme specifiche, tutte le sorgenti di radiazione ottica non coerente e le apparecchiature che le contengono, possono comunque essere classificate ai sensi della CEI EN 62471 [CEI62471]. Tale norma classifica le sorgenti in 4 gruppi a rischio crescente: dal gruppo esente al gruppo 3. A tal proposito si fa notare che nel caso delle emissioni UV, l'appartenenza al gruppo esente implica il non superamento dei limiti normativi relativi ai danni ad occhi e cute per un tempo massimo di esposizione di 8 ore ed un rispetto dei limiti per esposizione alla sola radiazione UVA del cristallino per un tempo massimo di 1000 secondi. Ciò implica che l'utilizzo di una sorgente UV appartenente al gruppo *esente*, in ambiti dove la permanenza potrebbe superare i tempi sopracitati, potrebbe comunque comportare un'esposizione superiore ai limiti di legge.

Si noti che il crescente incremento dell'offerta sul mercato di sistemi UVC per la sanificazione degli ambienti trainato dalla pandemia Covid 19 è stato oggetto di allerta da parte delle più autorevoli organizzazioni internazionali a tutela della salute pubblica. Si segnalano al riguardo: ICNIRP “Note on use of UVC lamps to kill/inactivate the coronavirus (SARS-COV-2)”; WHO “FACT: Ultra-violet (UV) lamps should NOT be used to disinfect hands or other area of your skin”; CIE “Position Statement on Ultraviolet (UV) Radiation to Manage the Risk of COVID-19 Transmission”. Tali documenti evidenziano la crescente diffusione di sistemi che impiegano lampade UVC che raramente forniscono le dovute avvertenze contro gli utilizzi impropri o comunque scorretti e privi di meccanismi di sicurezza idonei a prevenire la sovraesposizione a tali radiazioni; evidenziano altresì come taluni prodotti in alcuni casi non emettono UV, e pertanto si configurano come frode in commercio. Ciò risulta aggravato dal fatto che molto spesso le lampade UVC sono utilizzate in beni di consumo, utilizzati in ambiti non professionali da parte di persone che non sono necessariamente formate o consapevoli dei rischi connessi al loro utilizzo.

Considerazioni finali

I sistemi di sterilizzazione inseriti nella canalizzazione dell'aria sono un esempio di sorgente intrinsecamente ad alto rischio, in cui il controllo è affidato a soluzioni tecnologiche che devono renderne sicuro l'utilizzo. Se ben progettati e correttamente mantenuti, e se i manuali e d'uso e manutenzione sono redatti in modo esaustivo, riportando anche le informazioni richieste dalla normativa di prodotto, questi possono essere utilizzati in modo sicuro ed efficace.

7. Scelta della strategia più efficace – Approccio probabilistico – Classificazione del rischio – Applicazione del principio della massima cautela (Dott. Ing. Antonio Spinazzola, Dott. Ing. Maura Pellegrini)

La componente di Virus veicolata dall'aerosol ha la prerogativa di non essere completamente intercettabile facendo uso delle tecniche ad oggi consigliate quali

distanziamento, mascherine, sanificazione periodica delle superfici, il solo uso di filtri assoluti.

Per ridurre la probabilità che si verifichi l'evento contagio, occorre adottare misure di Prevenzione Primaria ovvero idonei Impianti di Ventilazione e Purificazione dell'aria che devono integrarsi alle altre misure consigliate.

7.1 - Scelta della strategia più efficace - Approccio Probabilistico Principio della massima cautela

7.1.1 - Approccio Probabilistico - Classificazione del rischio

L'Estrapolazione dei criteri che portano alla Definizione di agente biologico si riferisce all'Art 267 comma a) del D.lgs. 81/08, ovvero è considerato agente biologico *“qualsiasi microorganismo, anche se geneticamente modificato, coltura cellulare ed endoparassita umano che potrebbe provocare infezioni, allergie o intossicazioni”*.

Per cui il Coronavirus potrebbe essere classificabile nel Gruppo 4 in quanto di fatto trattasi di:

“un agente che può provocare malattie gravi in soggetti umani e costituisce un serio rischio per i lavoratori e può presentare un elevato rischio di propagazione nella comunità; non sono disponibili di norma efficaci misure profilattiche e terapeutiche”.

Tutto quanto sopra Rende l'approccio molto simile a quello che viene adottato per i Rischi di Incidenti Rilevanti e come conseguenza la strategia di intervento porta all'adozione di misure molto forti e all'applicazione del *Principio della massima cautela*.

7.1.2 - Principio della massima cautela

Per quanto detto in precedenza bene ha fatto l'ISS, in prima analisi, a definire una strategia che ha portato ad adottare misure che offrissero la massima garanzia di tutela della salute, richiamando in tal senso il Principio della Massima Cautela.

Considerato poi che il rischio è distribuibile su più componenti in quantità percentuali diverse, certe ma non ben definibili in valore assoluto, e in particolare riconducibile a:

- inalazione di goccioline di saliva umana emessa;
- contatto ravvicinato e diretto con persone infette;
- contatto con superfici contaminate dal virus;
- inalazione di goccioline veicolate da impianti di ricircolo dell'aria condizionata;

all'interno del rapporto n.5 l'ISS ha indicato azioni conseguenti di tipo preventivo da adottare come strategia di contenimento nel contesto di una situazione di emergenza.

In particolare nelle Linee di indirizzo per la riapertura delle Attività economiche e produttive recentemente emanate dal Governo su indicazione dell'ISS al fine di garantire i ricambi ottimali di aria esterna si conclude sulla necessità di escludere il ricircolo.

Questa necessità è condivisibile ed è stata sempre da noi sostenuta come misura da adottare nell'emergenza, ma nel frattempo come ingegneri ci dobbiamo porre anche un'altra domanda:

“Esistono percorsi alternativi che ci offrano perlomeno lo stesso grado di sicurezza?”

Per mantenere l'analogia con il metodo dei Grandi Rischi occorre operare per ridurre contemporaneamente l'entità e la probabilità che il rischio si concretizzi.

Appurato che il nostro caso rientra tra quelli con Magnitudo elevata di rischio, dobbiamo comprendere quali sono i fattori che influenzano più di altri la frequenza di accadimento (probabilità di contagio) che nel nostro caso è legata a:

- numero delle persone presenti nel locale in rapporto alle dimensioni dello stesso;
- una probabile non omogenea distribuzione dell'aria;
- essere connessa alla stagione meteorologica (inverno) nel momento in cui, nello specifico, si determina la necessità di ricircolare l'aria per conseguire un Risparmio Energetico.

La scelta della strategia più efficace ci porta di conseguenza a prendere in seria considerazione il Principio della Massima Cautela e quindi occorre applicare tutte le soluzioni previste dalle norme vigenti e comunque tutte quelle possibili messe a disposizione dalla tecnica, derivanti da conoscenze che nel frattempo si sono dimostrate efficaci sicure e consolidate da prove sperimentali.

Per cui se vogliamo:

- Garantire il massimo livello di sicurezza per i visitatori e i lavoratori addetti
- Garantire comfort termico e risparmio energetico

le maggiori garanzie si ritrovano nella *integrazione* di più soluzioni efficaci.

7.2 Misure da adottare proporzionali al Rischio previsto

Occorre scegliere le soluzioni più efficaci in rapporto alle caratteristiche dell'ambiente e, a parità di efficacia, anche più sostenibili in relazione ai possibili costi di gestione e in relazione alle competenze del personale addetto alle stesse.

Quindi ove possibile occorre adottare tecniche semplici, sostenibili ma comunque efficaci per le attività con probabilità di accadimento più basso, mentre devono essere previste misure più importanti per ambienti quali: centri commerciali, uffici pubblici di grandi dimensioni, scuole, strutture sanitarie, cinema, teatri, aerostazioni, stazioni marittime, banche, uffici postali, alberghi, ristoranti ecc. dove sono installati impianti di medio grande dimensione.

Gradazione delle misure di Prevenzione Primaria

Valutata in via preliminare la facilità di avere ricambi d'aria tramite l'apertura di porte e

finestre senza creare condizioni di discomfort, correnti d'aria, temperature troppo alte o troppo basse, umidità eccessiva, la gradazione delle misure può essere pensata in sequenza:

- apertura delle finestre (primavera- estate);
- apertura delle finestre + reintegro aria esterna temporizzata;
- apertura delle finestre + reintegro continuo di aria esterna;
- come sopra + filtri assoluti + sterilizzazione con lampade UV-C o con altro sistema equivalente (se necessario ricircolo aria);
- come sopra + aspirazione localizzata nel caso di operazioni o lavorazioni circoscrivibili particolarmente rischiose.

Scelta della strategia più efficace

- 1) Applicare le norme di buona tecnica dimensionale (Fluidodinamica Computazionale)
- 2) nella scelta della ottimale disposizione delle prese di aria e della estrazione della stessa dai locali;
- 3) fare uso di tecniche integrate, mantenendo come punti fermi quelle con risultati sicuramente consolidati da esperienze specifiche - tale orientamento è oramai condiviso anche dall'ISS nel momento in cui sconsiglia il solo uso dei filtri Hepa ed elenca i possibili sistemi di sterilizzazione dell'aria (es. fare uso di filtri assoluti ma di caratteristiche intermedie per evitare intasamenti e perdite di carico troppo alte);
- 4) Associare sempre una sezione di sterilizzazione con lampade UVC di caratteristiche tecniche
- 5) consigliate (254nm) ma senza escludere in alternativa altri dispositivi e tecniche equivalenti
- 6) come efficacia;
- 7) 3 o più sistemi possono anche essere impiegati in combinazione se si vuole alzare ancora il coefficiente di sicurezza.

In conclusione mai affidarsi unicamente ad una tecnica anche se questa singolarmente può sembrare affidabile fino ad alti rendimenti.

Mantenere, in parallelo, ove necessario, l'uso dei dispositivi DPI e procedure consigliate da ISS (mascherine e distanziamento e se vogliamo numero ridotto di accessi ai locali) se non altro perché le stesse garantiscono efficacia per particelle di grande dimensione (droplet ...)

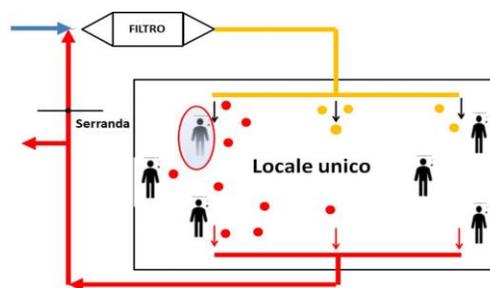
Qualora nelle stagioni meteorologicamente sfavorevoli (vedi quella invernale) occorra garantire oltre ad un ottimale riscaldamento dei locali anche il rispetto dei criteri essenziali consigliati per il risparmio energetico potremo sempre trattare la quota di aria da riciclare e abbassare così il coefficiente di rischio covid e rendere contemporaneamente efficientata e sicura l'attività.

8. Schemi semplificati di impianti di aspirazione, trattamento e purificazione dell'aria per diverse tipologie di attività (Dott. Ing. Antonio Spinazzola, Dott. Ing. Maura Pellegrini)

Di seguito faremo riferimento solo alle principali tipologie di impianti che più di altre a nostro avviso hanno in questo momento necessità di essere correttamente indirizzate verso le soluzioni ottimali.

Ciò non toglie che tutte le considerazioni che seguono siano comunque estrapolabili anche alle rimanenti attività presenti sul territorio.

8.1 - Caso cinema, teatri, supermercati, aeroporti, attività di servizio etc. ...



Schema A - Caso cinema, teatri, supermercati, aeroporti, attività di servizio etc. ...

Nello schema di cui alla figura si vuole rappresentare una situazione assai frequente e ad alto coefficiente di rischio nel momento in cui risultassero inadeguati gli impianti di trattamento dell'aria e fosse in atto un ricircolo della stessa nell'ambiente di lavoro e di frequentazione di visitatori esterni. In questo caso i Rif. Normativi (Rapp. ISS n.5 del 23 Marzo) prevedono la Chiusura preventiva del ricircolo.

Nello stesso tempo per impianti UTA e VMC, per consentire un risparmio energetico là dove tecnicamente possibile (Rapp. ISS n. 5 rev2, 25 Maggio...), si consente di mantenere la funzione ricircolo indicando l'obbligo di filtrazione.

Là dove tecnicamente non possibile, si indica di ridurre la quota ricircolo con l'obbligo però dell'apertura periodica delle finestre.

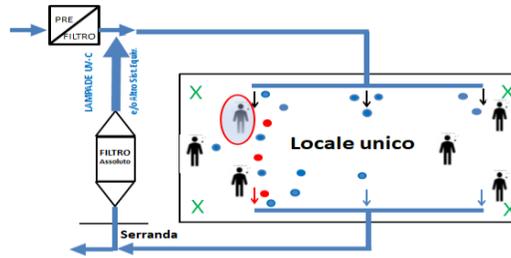
In altri Riferimenti normativi (Rapp. ISS n.33 25 Maggio) viene incentivato l'uso dei filtri assoluti di classe superiore.

Queste disposizioni si applicano facilmente senza determinare inconvenienti durante la stagione estiva ma permangono le preoccupazioni per quella invernale per l'impossibilità di mantenere aperte le finestre per un tempo sufficiente.

La stessa indicazione di orientarsi verso l'uso di filtri assoluti di classe superiore va nella direzione di aumentare il rischio di un anticipato intasamento e comunque non garantisce il trattenimento delle droplet e dell'aerosol per le ragioni già esposte.

È evidente che la possibile presenza di soggetti infetti può costituire i presupposti del contagio, e quindi sulla scorta delle considerazioni fatte in precedenza si può pensare ad una semplice modifica degli impianti esistenti come schematizzato nella figura successiva.

Con questa configurazione ci dobbiamo garantire comunque un ricambio di aria pulita prelevata dall'esterno.



Poichè come dicevamo non sempre è consentito al momento il ricircolo dell'aria, limitando il possibile risparmio energetico si vengono automaticamente a creare i presupposti per una naturale preoccupazione negli utenti delle strutture.

Dobbiamo quindi andare nella direzione della ricerca di soluzioni che permettano di utilizzare le strutture in sicurezza nella sostenibilità degli interventi.

In generale, per locali di grandi dimensioni e alto coefficiente di Rischio (aule scolastiche, supermercati, cinema, teatri e simili), è necessario uno studio preliminare attraverso la tecnica già illustrata della Fluidodinamica Computazionale che permette come detto di analizzare:

- I campi di velocità complessi che si generano influenzati anche da profili di temperatura;
- Ottimizzare la posizione delle prese d'aria /uscita della stessa;
- Valutare le dinamiche del trasporto dei contaminanti.

Nel caso in cui l'Impianto centralizzato fosse già operante e tale analisi (CFD) facesse emergere una probabile presenza di sacche d'aria non trattata, è consigliabile associare localmente un sistema che consenta di omogeneizzare l'aria individuandone le caratteristiche (portata e collocazione), mentre i ricambi dell'aria, devono essere prerogativa dell'impianto centralizzato.

Se l'Impianto Centralizzato è di nuova realizzazione un preliminare corretto dimensionamento, come è ovvio, deve evitare tali inconvenienti.

In ogni caso dobbiamo curare con molta attenzione, in quanto determinante ai fini della

purificazione dell'aria la specifica Unità di Trattamento Aria.

Resta fermo che dobbiamo sempre Applicare il principio della massima cautela e quindi adottare la strategia della integrazione di più soluzioni efficaci per avere il maggiore livello di sicurezza garantito.

Il risultato desiderato si raggiunge solo nel caso in cui sia installato un idoneo sistema di filtrazione e sterilizzazione la cui efficacia sia certificata e autorizzata dagli organi di controllo competenti.

Questo tra l'altro consentirebbe di ricircolare aria all'interno dei locali.

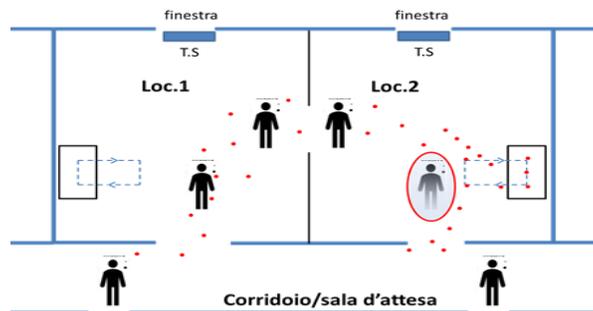
Nel nostro caso risulta ottimale l'uso delle Lampade UV-C per i bassi costi di investimento e l'efficienza nell'abbattimento molto alta, ma anche sistemi alternativi possono essere presi in considerazione.

La soluzione ideale si realizza abbinando le stesse lampade a filtri assoluti che possono essere però di classe inferiore per consentire minori intasamenti, perdite di carico e operazioni di manutenzione.

Altre soluzioni (ad es. ionizzazione negativa e filtri elettrostatici) hanno costi di investimento maggiori e possono essere indicati per impianti di grande dimensione in quanto possiedono una efficienza inferiore nell'abbattimento e per tale motivo devono comunque essere impiegati in modo integrato con altri sistemi.

Fra questi prevale al solito l'abbinamento ai raggi UV-C che quindi trovano una applicazione universale.

8.2 - Caso uffici pubblici, aule scolastiche, alberghi, ristoranti.



Schema B - Caso uffici pubblici, aule scolastiche, alberghi, ristoranti, ambulatori medico dentistici.

In questi locali, schematizzati nella figura di cui sopra, viene fatto in generale uso di impianti di condizionamento dell'aria a ricircolo interno (Split per l'estate e termosifoni nella stagione invernale).

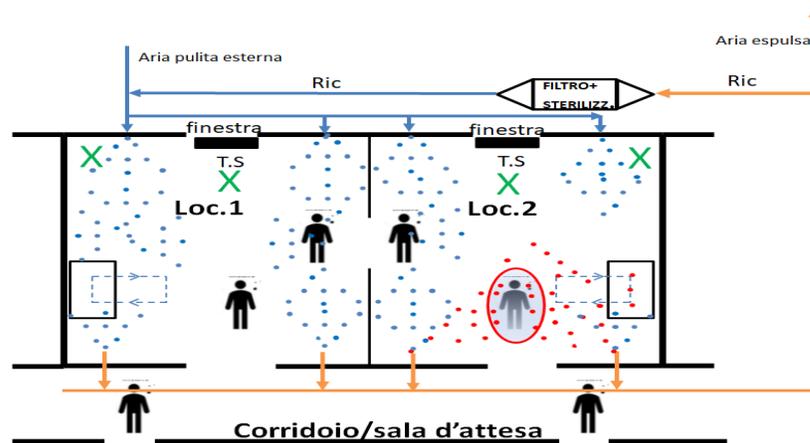
È ovvio che manca l'immissione di aria esterna e questa rappresenta la configurazione più

rischiosa sia per i lavoratori che per i frequentatori, soprattutto nel periodo invernale non potendo usufruire in modo soddisfacente dei ricambi naturali attraverso l'apertura delle finestre che scompenserebbero il bilancio energetico dei locali.

Solo l'introduzione di aria esterna, la dotazione di idonei sistemi di filtrazione e sterilizzazione (UV-C o altro equivalente) come descritto nello schema seguente, con una loro periodica verifica riguardo all'efficienza di abbattimento e una sanificazione delle prese d'aria e dei condotti, la renderebbero sicura.

Occorre riesaminare attentamente il bilancio termico e introdurre recuperatori di calore per evitare un forte probabile ridimensionamento dell'impianto di riscaldamento.

Occorre valutare in modo preventivo (associare se del caso uno studio accurato con uso della fluidodinamica computazionale del locale) e attentamente la presenza di zone d'ombra (X).

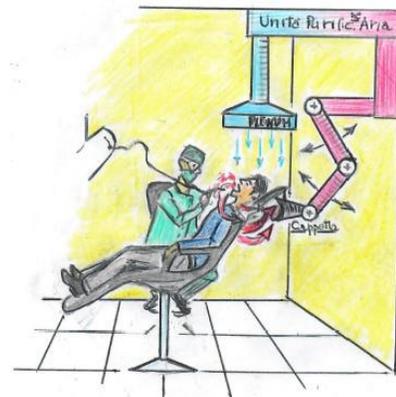


8.3 Caso Aspirazione Localizzata- Ambulatori medici, studi dentistici etc.

Nel caso in cui l'attività rientra tra quelle a rischio molto alto di contagio (vedi ambulatori medici in generale, studi dentistici, sale degenza in ospedale, reparti Covid etc..) occorre orientarsi verso l'adozione di impianti di Aspirazione Localizzata.

Nel caso di ambulatori dentistici, l'aspirazione localizzata rappresenta la soluzione ideale in quanto è facilmente circoscrivibile la fonte di rischio del contagio (vedi anche ambulatori medici e altre applicazioni medico chirurgiche come sale operatorie ...).

Risulta necessario un PLENUM che consente la reimmissione dell'aria dall'alto, anch'esso localizzato in prossimità della testa del paziente, evitando così al



Dentista di respirare aria contaminata.

L'Unità di Purificazione deve ovviamente essere ben dimensionata garantendo sia i volumi di reazione ottimali che il dosaggio corretto dei raggi UVC, o comunque le specifiche dimensionali associate ad altri sistemi di purificazione equivalenti.

L'Aspirazione Localizzata dovrà essere coordinata con l'Impianto Centralizzato di Trattamento Aria

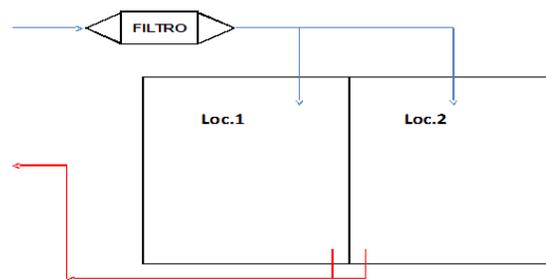
Uso di singoli dispositivi portatili

È consigliato l'uso di tali dispositivi solo se coordinato con un impianto centralizzato che avrà il

compito di rimediare alla presenza di sacche d'aria, e se i dispositivi sono rispondenti ai requisiti minimi dimensionali ovvero:

- la portata è congrua con i ricambi dell'aria consigliati;
- sono dotati di tempi di contatto e reazione documentati oltre che sufficienti a ridurre la concentrazione del virus nella camera di reazione e quindi l'esposizione in ambiente;
- la distanza tra l'entrata dell'aria e l'uscita consente di evitare cortocircuitazioni che lasciano scoperto parte del locale interessato.

Quasi mai il dispositivo portatile può sostituire una corretta aspirazione localizzata



Schema C - Impianto di condizionamento con immissione di aria esterna

È ovvio che questa configurazione offre garanzie di igiene e sicurezza per gli utilizzatori in quanto con questa tipologia di impianti si riduce la concentrazione del virus nei locali (un esempio è rappresentato dalle sale operatorie dove si lavora in sicurezza a tutta aria esterna filtrando e purificando l'aria prelevata per garantire il massimo grado di purezza).

Per una maggiore garanzia nei reparti attigui, nel caso in cui si preveda una non perfetta tenuta tra gli stessi, si può sempre pensare di sterilizzare anche l'aria interna ai locali con dispositivi che trattano e ricircolano l'aria non alterando la pressione

È evidente che l'aria deve essere espulsa senza creare inconvenienti igienico sanitari sull'esterno qualora nelle immediate vicinanze siano presenti locali frequentati.

In alternativa, se fattibile, occorre dotare anche le uscite di idoneo sistema filtrante e sterilizzante o convogliare l'aria verso impianti di termodistruzione che consentano di bruciare in modo controllato l'aria espulsa.

9. Ventilazione dell'aria in ambiente ospedaliero alla luce del rischio di infezione da Covid 19 (Dott. Ing. Maurizio Malvaldi)

Premessa

Gli ospedali sono organizzati per intensità di cura per cui i reparti di ricovero si distinguono in:

- terapia intensiva (rianimazione e cardiologia)
- Terapia sub intensiva (rianimazione e cardiologia)
- Reparti di medicina ad alta intensità di cura (tutte le specialistiche)
- Reparti di medicina a media intensità di cura (tutte le specialistiche)
- Reparti di medicina a bassa intensità di cura (tutte le specialistiche)
- Reparti di chirurgia e neurochirurgia

Il reparto di malattie infettive, che fa parte dell'area medica, per ovvi motivi di prevenzione, ha una sua propria collocazione.

Questa premessa è necessaria per capire dove potrà essere ricoverato il paziente con problematiche causate da infezione per virus Covid 19

I pazienti Covid, in base al livello di gravità, necessiteranno di cure in terapia intensiva o potrà essere curato in area medica, possibilmente nel reparto di malattie infettive o in altre aree di medicina opportunamente adeguate ad accogliere questi pazienti.

Ci troviamo di fronte alla problematica di capire se lo stato attuale dei citati reparti necessita o meno di modifiche architettoniche ed impiantistiche per questo utilizzo; infatti la cura di un paziente infetto richiede la presenza di:

- Condizione di pressione negativa nel locale degenza
- Impianti di immissione dell'aria senza ricircolo dell'aria interna (impianti a tutta aria)
- Filtrazione assoluta dell'aria immessa nel locale e dell'aria estratta una volta espulsa all'esterno

Malattie infettive

Il caso più semplice è il reparto di malattie infettive dove sono presenti opportuni impianti di trattamento e filtrazione dell'aria, percorsi definiti con zone filtro correttamente progettati.

Sono presenti locali di degenza in cui l'impianto di trattamento aria è in grado di variare lo stato di pressione in base alle esigenze.

In caso di ricovero di persona infetta la pressione del locale sarà negativa rispetto alla zona filtro proteggendo chi opera nel reparto; nel caso di paziente immunodepresso la pressione del locale sarà

positiva in modo da proteggere il paziente da possibili complicazioni del suo stato a causa di contaminazione che provenga dall'esterno della stanza. Tutto questo è reso possibile agendo con opportune serrande sulle canale dell'aria come illustrato nella figura 1.

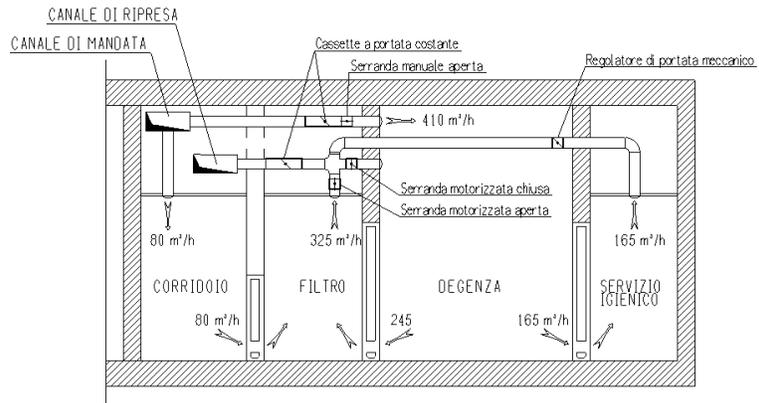


Figura 1/a ASSETTO FUNZIONALE PER MALATI IMMUNODEPRESSI

Inoltre l'impianto di trattamento aria dedicato al reparto di malattie infettive ha un filtro assoluto in uscita dalla canale di estrazione aria contenuto in un canestre di tipo bag in /bag out in modo da proteggere l'esterno sia come persone che possono transitare in zona che come rischio di cortocircuitazione tra questa aria e quella estratta di aspirazione da unità di trattamento aria (UTA) per eccessiva vicinanza (normalmente evitata) da azioni del vento che influenzino i percorsi dell'aria.

Dal punto di vista architettonico il locale di degenza in presenza di malattie infetti deve prevedere, in prossimità della camera, di un locale filtro che separi dal resto del reparto e permetta di realizzare la seguente configurazione di pressione: pressione negativa con flusso

dell'aria dai locali adiacenti nel senso della camera di degenza; gli operatori sanitari e gli utenti dell'ospedale sono preservati dalla contagiosità del paziente. Tutto ciò richiede una

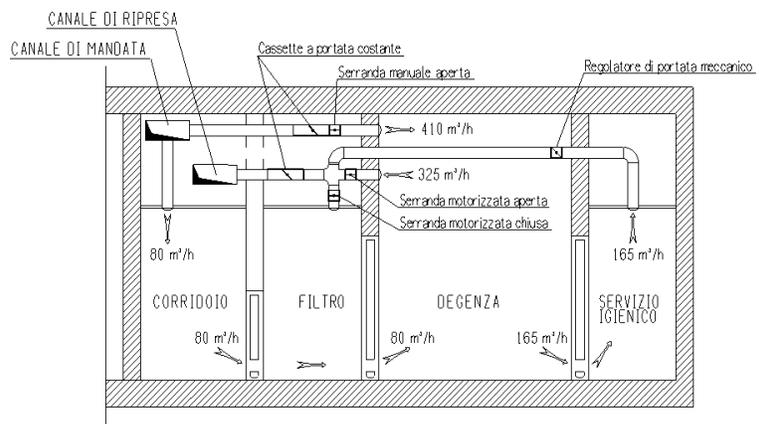


Figura 1/b ASSETTO FUNZIONALE PER MALATI INFETTIVI

specifica configurazione architettonica e impiantistica. Nella figura 2 è rappresentata la caduta di pressione tra i locali.

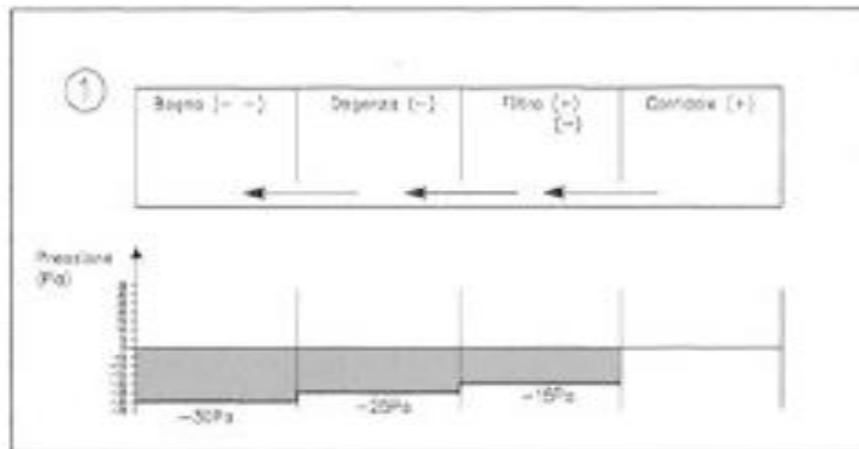


Figura 2

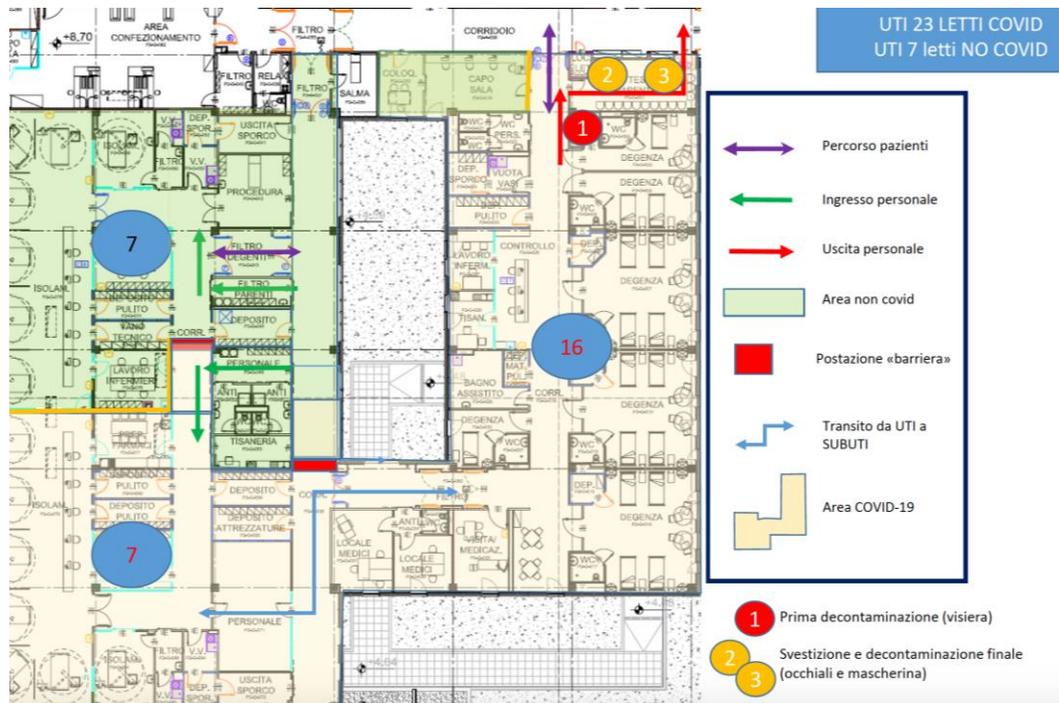
Terapia infettiva

Il reparto di terapia intensiva è composto da uno o più locali a più postazioni con monitoraggio in continuo dei parametri vitali ed uno o due locali monoposto ciascuno con zona filtro dedicata ed in cui la pressione è negativa per ospitare pazienti infetti.

In presenza della pandemia da Covid 19, è apparsa subito evidente la necessità di ampliare l'utilizzo dei posti letto dedicati a malati infetti.

In genere è stato scelto di dedicare una delle stanze pluriposto (il cui numero di p.l. varierà in genere da un minimo di 4 a 8) che è costruita con un impianto di trattamento aria tale da assicurare una pressione positiva nell'ambiente a difesa dello stato sanitario dei pazienti. Quindi la prima operazione che tutti gli ospedali hanno dovuto fare è stata la riduzione dell'aria immessa e aumento dell'aria estratta in modo da assicurare una pressione negativa nel locale.

Ci troveremo a dividere il reparto in una zona per le attività tradizionali e un'area dedicata a soli pazienti Covid, assicurando la divisione fisica delle aree con percorsi dedicati ai pazienti ed al personale sanitario ed identificando zone filtro con pressione neutra rispetto alle stanze di degenza. Un esempio è riportato nella figura 3 che rappresenta lo stato di progetto per l'ospedale S. Luca di Lucca. Il reparto ha due locali da 6 p.l. e 2 locali da 1 p.l. per pazienti infetti. Si è pertanto deciso di dedicare un locale



Reparto di terapia intensiva (7 + 7 p.l.) e terapia sub intensiva

grande ed uno piccolo ai pazienti Covid (7 p.l.) ed altrettanto ai pazienti no Covid (7 p.l.).

La disposizione delle degenze in verticale ha favorito la suddivisione lasciando una zona filtro comune per l'accesso del personale sanitario e visitatori (per l'area no Covid) ed una stanza di filtrazione del personale sanitario che accede alla zona Covid ove si trovano il dispositivo di protezione individuale da indossare. Le barriere fisiche indicate in rosso servono ad impedire passaggi non filtrati tra le due zone.

In previsione di maggiore necessità di p.l. per pazienti infetti all'ospedale S. Luca è stato progettato un ampliamento della zona Covid, dedicando a tale attività la parte di sub intensiva rappresentata sulla destra della planimetria di figura 3 che comunica con la zona Covid già scelta

Questo intervento chiede un maggior impegno di opere impiantistiche perché le degenze di sub intensiva non hanno la filtrazione assoluta dell'aria sia in immissione che in estrazione oltre ad operare in stato di pressione positiva. Pertanto è necessario installare una nuova unità di trattamento aria con filtrazione assoluta in mandata e nuova sezione di ripresa dell'aria con filtro terminale assoluto. Le portate d'aria saranno aumentate passando da 6 ric/h a valori di 8 -10 ric/h in base alla destinazione d'uso dei locali. La portata d'aria in estrazione sarà aumentata fino ad assicurare una pressione negativa nelle stanze di degenza, nei servizi igienici e nei locali dedicati allo sporco. Al fine di realizzare correttamente le condizioni di pressione saranno installati sistemi di

regolazione a serrande sullecanale controllate elettronicamente; la funzionalità del sistema sarà verificata da sonde di acquisizione del valore di pressione differenziale.

Lo stato finale del reparto permetterà di usufruire di 23 p.l. dedicati a pazienti Covid e 7 p.l. per pazienti non Covid.

Degenza medica

Se si ha necessità di utilizzare degenze di medicina per la cura di pazienti infetti Covid la modifica architettonica e impiantistica è radicale, come si è visto per le terapie sub intensive sopra trattate, essendo carente la filtrazione dell'aria in immissione ed estrazione, la portata d'aria, le condizioni di pressione differenziata tra stanze di degenza

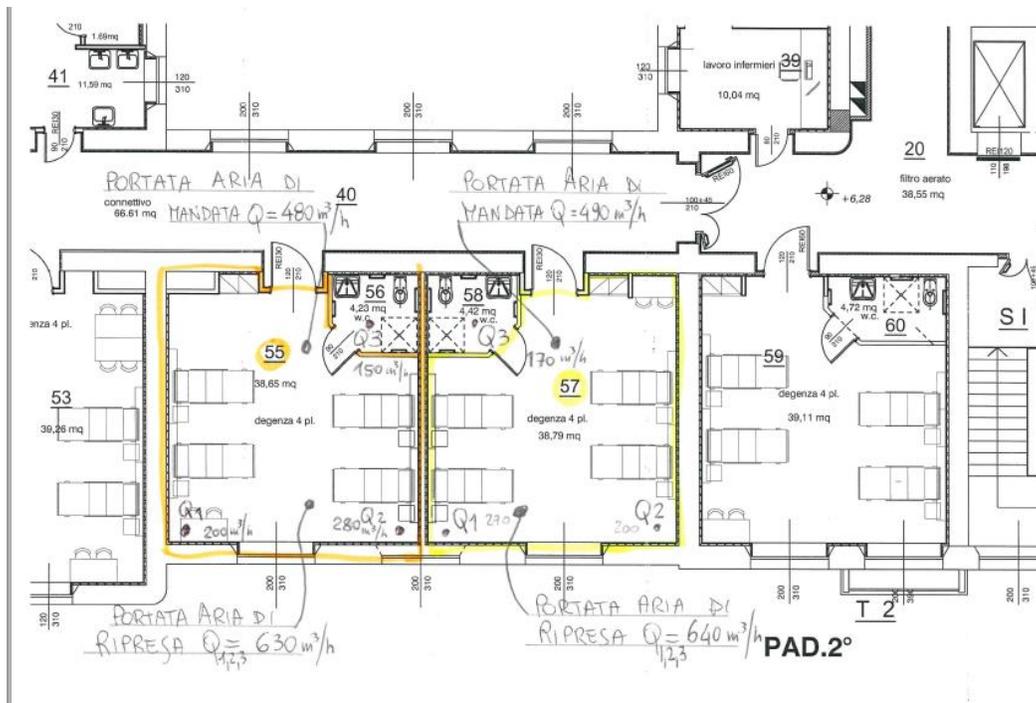


Figura 4 Adeguamento di due stanze di degenza medica per pazienti Covid

e la parti comuni protette da zone filtro che si devono creare.

In alcuni casi, volendo utilizzare uno o due locali degenza per pazienti infetti si messe in atto sistemazioni localizzate inserendo per ogni stanza un sistema di estrazione composto da ventilatore, cassetta con filtro HEPA e canale per una estrazione aria suppletiva tale da garantire la pressione negativa come rappresentato nello schema di figura 4.

Osservazioni per il futuro

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

Come primo impatto vorremmo avere un ospedale flessibile in modo tale da poter avere aree in cui trattare i pazienti infetti e aree separate destinate alla cura dei pazienti non infetti. Questo richiede la presenza di impianti sovradimensionati rispetto alle attività routinarie ed un sistema di controllo in grado di gestire i cambiamenti delle portate d'aria in base alle necessità degli ambienti.

La flessibilità ha un costo che mal si può coniugare con una politica sanitaria che, fino ad ora, ha visto più contrazioni che investimenti. Soluzioni flessibili dal punto di vista impiantistico e strutturale esistono già in altri paesi quali, ad esempio le "Universal room" americane, dove si può passare da una degenza ordinaria ad una ad alta intensità di cura grazie ad una progettazione impiantistica sovradimensionata.

Nel prossimo futuro ci sarà un significativo investimento nel nostro paese per l'innovazione che coinvolgerà in misura importante anche il settore sanitario. Faremmo un errore se pensassimo di promuovere soluzioni progettuali impiantistiche estreme senza correlarle all'edilizia ospedaliera e ad un aperto confronto con le esigenze di cura sanitaria. Dobbiamo arrivare a creare criteri di integrazione tra sistema edilizio e sistema impiantistico. Fino ad oggi gli impianti si sono dovuti adattare alle strutture edilizie e non sempre senza difficoltà, soprattutto per la possibilità di eseguire la manutenzione con piena funzionalità.

Un lavoro efficiente che riesca a vedere la struttura sanitaria del futuro deve essere svolto con un team che coinvolga gli architetti, gli ingegneri impiantistici, le direzioni sanitarie e i rappresentanti dei medici. Serve indirizzare i finanziamenti verso il progetto di ospedale che parta da un modello organizzativo dei processi di cura, e si traduca in scelte spaziali e tecnologiche

Nello specifico della progettazione impiantistica bisogna anche aprirsi a nuove tecnologie in ottica futura con una grande attenzione all'efficienza energetica e alla gestione e manutenzione dei sistemi tecnologici. In particolare vedo limitato il ricorso alla filtrazione assoluta sempre più spinta come unico mezzo per il contenimento del contagio quando esistono tecniche integrative alla filtrazione, come abbiamo visto nelle relazioni presentate nel corso di questo seminario, con l'uso di raggi UVC che permettono di usare filtrazioni meno spinte, e quindi meno consumi energetici, abbattendo con ancora maggiore efficienza cariche batteriche e virali presenti nell'aria. Simili risultati sono ottenibili con altre tecniche quali, ad esempio, sistemi di ionizzazione o altri di cui non abbiamo avuto tempo di trattare.

La progettazione dell'Ospedale del futuro deve nascere dal lavoro di team che integri le esperienze tecniche e sanitarie mettendo in atto una progettazione integrale, capace di distaccarsi da usi e abitudini passati, attraverso una riflessione che sia non più mera

ripetizione di tecnologie e tecniche, ma consapevole sviluppo di innovazione. In fondo, innovare significa trovare nuove correlazioni tra quanto è già noto: e questo è tipico di chi sa davvero progettare.

10. Conclusioni sulle tecniche da adottare per il trattamento dell'aria.

Per impianti di medio grande dimensione destinati ad attività con alta probabilità potenziale di contagio per l'affollamento occorre prevedere

- un preliminare studio che prenda in esame il comportamento fluidodinamico del sistema, associando quindi una progettazione (Fluidodinamica Computazionale) per la verifica della ottimale distribuzione dell'aria;
- una Integrazione dei sistemi di filtrazione esistenti attraverso soluzioni semplici ed anche sostenibili secondo criteri di proporzionalità alle dimensioni degli impianti presenti o delle strutture interessate, e al fattore affollamento/volume locale.

La soluzione ideale può essere identificata in un sistema che preveda la presenza (opzionale) di una deumidificazione preliminare alla filtrazione assoluta, quest'ultima da declassificare per impedire frequenti intasamenti dell'aria contaminata e interventi manutentivi.

La filtrazione assoluta comunque concorre a ridurre il contagio trattenendo una quota parte del materiale particellare.

A valle occorre sempre aggiungere una Sezione di Sterilizzazione tramite l'impiego di lampade a raggi UV-C (soluzione più che sostenibile) o altro sistema equivalente.

Importante sarà prevedere un idoneo sistema di controllo interno che garantisca nel tempo la continuità delle prestazioni e la non fuoriuscita di sostanze indesiderate qualora l'impianto dovesse avere un guasto o una anomalia

Nel dimensionare l'impianto deve essere prestata cura nella scelta della potenza per unità di superficie irradiata e dei tempi di contatto, per raggiungere il massimo abbattimento e determinare così le dimensioni del volume tecnico entro il quale installare le lampade.

11. Ruolo della manutenzione degli impianti - Protocollo da adottare per una loro corretta gestione e manutenzione. Sanificazione degli impianti (Dott. Ing. Alessandro Nanni)

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

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

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

11.2 Sanificazione

La definizione di **sanificazione** è contenuta nel DECRETO MINISTERIALE 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.

Le aziende iscritte alla C.C.I.A.A. con il Codice ATECO N 81.22.02, che rappresenta le “Altre attività di pulizia specializzata di edifici e di impianti e macchinari industriali” sono abilitate alla sanificazione dei locali e degli impianti.

11.3 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 non è compresa nelle attività di manutenzione ordinaria e deve, pertanto, seguire un suo percorso anche in riferimento agli impianti.

11.4 Manutenzione ordinaria e sanificazione degli impianti di condizionamento e/o ventilazione

I consigli per gli ambienti chiusi riguardo la manutenzione ordinaria ed alla sanificazione dell'Istituto Superiore di Sanità del 12 marzo 2020 sono abbastanza scarni e concentrati nel concetto di pulizia ed arieggiamento dei locali, oltre che della pulizia regolare dei filtri installati sull'impianto di condizionamento e sul consiglio di utilizzo di filtri più efficienti.

Il Rapporto ISS COVID-19 • n. 5/2020: Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2 - versione del 23 marzo 2020 riporta le prime “Misure generali per gli ambienti domestici e Misure generali per gli ambienti lavorativi”, da mettere in atto durante la prima fase del lockdown. Con la Rev. 1 del 21 aprile del Rapporto si aggiornano le azioni e le raccomandazioni fornite, che vogliono facilitare la programmazione e gestione dei vari spazi e ambienti di lavoro a seguito delle misure di riorganizzazione delle attività e delle postazioni di lavoro durante la Fase 2 (accesso vincolato, minimizzazione del personale presente, gestione del distanziamento, igiene mani, pulizie, formazione e informazione). Inoltre vengono specificate le nuove procedure da mettere in atto per garantire un buon ricambio dell'aria nei diversi ambienti sulla base del numero di lavoratori (indicazione sul ricambio naturale, sugli impianti di ventilazione e la periodicità della pulizia dei filtri in dotazione agli apparecchi terminali).

Con la Rapporto 25/2020 del 15/05/2020 si individuano procedure di prevenzione e protezione previste nella “nuova fase 3” per rispondere alle esigenze di protezione e prevenzione della salute del personale e della collettività, a seguito dell'emanazione delle Linee Guida Nazionali per i principali settori di attività che contengono le indicazioni operative e le differenti misure organizzative da attuare; il rapporto presenta una panoramica relativa all'ambito della sanificazione di superfici e ambienti interni non sanitari per la prevenzione della diffusione dell'infezione COVID-19.

Degno di nota è il fatto che nel presente rapporto 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.

Il Rapporto ISS n. 33/2020 del 25 maggio 2020 contiene Indicazioni sugli impianti di ventilazione/ climatizzazione in strutture comunitarie non sanitarie e in ambienti domestici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2; i contenuti riguardano la descrizione dei principali componenti dei sistemi di ventilazione e di climatizzazione che possono favorire la movimentazione dell'aria in ambienti indoor all'interno di strutture comunitarie non sanitarie e di ambienti domestici e le raccomandazioni operative per la gestione e la manutenzione degli impianti.

Le raccomandazioni operative per la gestione degli impianti di climatizzazione, tengono in considerazione e valutano una matrice di rischio per la trasmissione di SARS-CoV-2, attraverso tali impianti. Tale matrice si basa su criteri epidemiologici correlati allo stato di diffusività tra la popolazione del virus (Rt) in una data Regione e sulla tipologia di occupanti gli ambienti climatizzati in riferimento al DM Salute 30/04/2020.

Tali indicazioni sono riferite ad impianti correttamente installati e oggetto di una regolare manutenzione e pulizia, conformi alla normativa vigente in materia, con particolare riguardo a sicurezza e igiene. Impianti obsoleti o vetusti, che non rispettino tali condizioni devono essere oggetto di un'adeguata manutenzione e pulizia prima del loro utilizzo.

All'interno del rapporto un intero capitolo è dedicato alla Manutenzione degli impianti di ventilazione e condizionamento; l'intera trattazione si basa sul concetto di possibilità di contaminazione di parte dell'impianto, secondo la tabella riportata di sotto:

Tabella 12. Probabilità di contaminazione associata ad ogni sezione di impianto di climatizzazione o ventilazione

Sezione dell'impianto	Probabilità di contaminazione
Terminali di climatizzazione in ambiente con ventilatore (es. split)	Alta
Terminali di climatizzazione in ambiente a induzione (es. trave fredda attiva)	Alta
Terminali statici di climatizzazione in ambiente (es. caloriferi)	Bassa
Canali di mandata aria in esercizio a sola aria esterna da almeno 4 giorni	Minima
Canali di mandata aria in esercizio a ricircolo	Alta
Canali di aspirazione aria da ambienti ordinari	Alta
Canali di aspirazione aria da servizi igienici	Molto alta
UTA/VMC, sezioni di mandata in esercizio a sola aria esterna da almeno 4 giorni	Minima
Filtri aria di mandata in esercizio a sola aria esterna da almeno 10 giorni o dall'ultima sostituzione/sanificazione	Bassa
UTA/VMC, sezioni di mandata in esercizio con ricircolo	Alta
Filtri aria di mandata in esercizio a ricircolo	Molto alta
UTA/VMC, sezioni di espulsione	Alta
Filtri aria di espulsione	Molto alta
Centrali termiche, centrali frigorifere, torri evaporative, dry-cooler	Minima
Sottocentrali con presenza UTA	Bassa
Sottocentrali senza UTA	Minima

La manutenzione degli impianti di ventilazione (UTA, VMC) deve essere eseguita come di consueto, con una particolare accortezza nel garantire il corretto esercizio dei filtri al fine di garantire l'erogazione della portata nominale della macchina (filtri sporchi riducono la portata di aria di ventilazione). Altrettanta cura deve essere posta nella pulizia e sanificazione ordinaria degli umidificatori e delle batterie di scambio termico con le consuete finalità di igiene.

La pulizia delle superfici esposte delle apparecchiature di climatizzazione e ventilazione (griglie, bocchette, ecc.) deve essere integrata nella procedura di pulizia e sanificazione dei pavimenti, degli arredi e del resto degli ambienti. È opportuno aumentare la frequenza della pulizia dei componenti interni degli impianti in funzione delle condizioni di evoluzione dell'epidemia.

Premesso che non esistono altre indicazioni ufficiali sulla manutenzione ordinaria e sulla sanificazione degli impianti in relazione al fenomeno Covid-19, ci si riferisce a quanto presente attualmente in letteratura ed a livello normativo con particolare attenzione ai

rischi riguardante agenti patogeni differenti, quale ad esempio la legionella, veicolati dai movimenti di aria, tenendo in conto tutte le differenze esistenti tra virus e batteri.

11.5 Ambienti con sistema di raffrescamento con condizionatori comuni

Le indicazioni riguardo l'attività di sanificazione e igienizzazione degli impianti di condizionamento maggiormente diffusi nelle piccole attività, costituite da impianti a pompa di calore ad espansione diretta, dovrà essere così articolata:

Unità interne

- Rimozione della scocca del climatizzatore;
- Asportazione dei filtri e collocazione degli stessi in sacchetti idonei sigillati;
- Pulizia della scocca esterna e delle sezioni di ripresa e di mandata aria tramite aspirazione successiva detersione per la rimozione della sporcizia (solo per unità interne modello a parete, a soffitto, cassetta e fan coil);
- Pulizia delle batterie di scambio tramite aspirazione e detersione per la rimozione di sporcizia;
- Pulizia dei ventilatori tramite aspirazione e detersione per la rimozione della sporcizia;
- Nebulizzazione di prodotti disinfettanti e igienizzanti sulle sezioni di transito aria del climatizzatore, sui filtri puliti e sulle batterie di scambio (Indicazioni del Ministero della Salute emesse in data 22 febbraio 2020 (0005443-22/02/2020-DGPRES-DGPRES-P));
- Collocazione di filtri puliti in sede;
- Rimontaggio della scocca del climatizzatore;
- Apposizione di adesivo con data delle attività effettuate.

Unità esterne

- Pulizia della scocca tramite aspirazione e successiva detersione per la rimozione di sporcizia;
- Pulizia delle batterie di scambio tramite aspirazione e detersione per la rimozione di sporcizia;
- Apposizione di adesivo con data delle attività effettuate.
- Al termine delle operazioni il tecnico rilascia il report con la descrizione delle attività svolte.

11.6 Considerazioni finali

Chiarito che i riferimenti legislativi e tecnici vanno ben oltre il DM 274/1997, c'è da dire che la qualità dell'aria di qualunque ambiente interno è in strettissima correlazione con il funzionamento di impianti ed apparecchiature di controllo del microclima, laddove esistenti. Con una differenza molto importante: un ambiente sporco PUÒ sporcare un impianto (non è detto, perché l'impianto può essere perfettamente filtrato ed a tenuta) mentre un impianto sporco SICURAMENTE sporca l'ambiente interno. Pertanto, è evidente che la parola "sanificazione" deve essere riferita sia agli ambienti sia agli impianti e quando si mettono in essere attività di sanificazione è necessario e

imprescindibile operare con i requisiti di conoscenza, perizia ed esperienza richiesti per ciascuna delle due applicazioni.

12. Normativa generale di riferimento

Delibera del Consiglio dei Ministri 31 gennaio 2020 – Dichiarazione dello stato di emergenza in conseguenza del rischio sanitario connesso all'insorgenza di patologie derivanti da agenti virali trasmissibili

Dpr 14 gennaio 1997 Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento alle regioni e alle province autonome di Trento e di Bolzano, in materia di requisiti strutturali, tecnologici ed organizzativi minimi per l'esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture pubbliche e private

Direttiva 2000/54/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 settembre 2000, relativa alla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti biologici durante il lavoro.

D.Lgs 81/08 definizione di agente biologico da art 267 comma a)

Articolo 272 - Misure tecniche, organizzative, procedurali

Articolo 273 - Misure igieniche

Articolo 274 - Misure specifiche per strutture sanitarie e veterinarie

Articolo 275 - Misure specifiche per i laboratori e gli stabulari

Articolo 276 - Misure specifiche per i processi industriali

Articolo 277 - Misure di emergenza

Protocollo condiviso di regolamentazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19 negli ambienti di lavoro”

Legge n. 35/2020 di conversione del Decreto Legge n. 19/2020, con misure urgenti per fronteggiare l'emergenza epidemiologica da COVID-19

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. Versione del 25 maggio 2020

Norme uni

UNI 10347: 1993 - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Energia termica scambiata tra una tubazione e l'ambiente circostante - Metodo di calcolo.

UNI 10349: 1994 - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici.

UNI EN 12097:1999 Ventilazione negli edifici - Rete delle condotte - Requisiti relativi ai componenti atti a facilitare la manutenzione delle reti delle condotte.

UNI EN 13779: 2008 Ventilazione degli edifici non residenziali - Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di condizionamento.

UNI 10339:1995 - Impianti aeraulici a fini di benessere - Generalità, classificazione e requisiti - Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura

INAIL nota 149/2020 – disposizioni per la prevenzione del contagio sui luoghi di lavoro in applicazione al D.Lgs. 81/08 e gestione degli impianti di condizionamento e ventilazione nei luoghi di lavoro.

L'art. 42 co.2 del cosiddetto “Decreto Cura Italia”, il DL n. 18/2020 convertito con modificazioni dalla legge n. 27 del 24 aprile 2020 qualifica l'infezione da SARS-Cov-2 quale infortunio sul lavoro.

L'INAIL ha successivamente chiarito con un comunicato in data 15/05/2020 che “il riconoscimento dell'origine professionale dell'infortunio non può in alcun modo rilevare sulla valutazione in ordine all'imputabilità di eventuali comportamenti omissivi in capo al datore di lavoro” e dunque che “l'infortunio sul lavoro per Covid-19 non è collegato alla responsabilità penale e civile del datore di lavoro”; così il datore di lavoro risponde penalmente e civilmente delle infezioni di origine professionale solo se viene accertata la propria responsabilità per dolo o per colpa, quindi se questi non ha applicato correttamente il protocollo anti-contagio previsto dai vari DPCM che si sono susseguiti durante la fase emergenziale.

Ad ogni modo in questo paragrafo è utile ricordare quali siano gli obblighi previsti dal D. Lgs. 81/08 in relazione ai luoghi di lavoro ed agli impianti di condizionamento e di ventilazione ivi installati.

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

13. Riferimenti bibliografici e normativi

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.

Rielaborazione di articoli e dati estrapolati da internet

Rapporto ISS COVID-19 n. 19/2020 - Versione del 25 aprile 2020.

Rapporto ISS COVID-19 n. 5/2020 Rev. 2 - Versione del 25 maggio 2020.

Rapporto ISS COVID-19 n. 56/2020.

Rapporto ISS COVID-19 12_2021

Riferimenti a par. 6

[WHO2019] WHO: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550512>

[IARC-100] International Agency for research on cancer WHO. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, Volume 100 D: Radiation (<http://monographs.iarc.fr>)

[ICNIRP97] ICNIRP “Guidelines for Safety Related Risk Assessment and Risk Reduction for Low Voltage Equipment”, Health Physics 73 (3), 1997

[PAF-sensibili] Portale Agenti Fisici, “Prevenzione e protezione – Radiazioni Ottiche Artificiali”:
https://www.portaleagentifisici.it/fo_ro_artificiali_prevenzione_e_protezione.php?lg=IT

[PAF-ROA] Portale Agenti Fisici, Radiazioni Ottiche Artificiali:
https://www.portaleagentifisici.it/fo_ro_artificiali_index.php?lg=IT

[IEC60335-2-65] IEC60335-2-65: “Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-65: Particular requirement for air-cleaning appliances”

[ISO15858] ISO 15858: “UV-C Devices – Safety information – Permissible human exposure”

[ISO15714] ISO 15714: “Method of evaluating the UV dose to airborne microorganisms transiting in-duct ultraviolet germicidal irradiation devices”

[IEC60335-2-109] IEC 60335-2-109: “Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-109: Particular requirements for UV radiation water treatment appliances”

[CEI62471] CEI EN 62471: “Sicurezza fotobiologica delle lampade e sistemi di lampade”

[EPA2018] EPA 2018 RESIDENTIAL AIR CLEANERS a Technical Summary (EPA 402-F-09-002 | July 2018 | EPA Indoor Environments Division | www.epa.gov/iaq)

[SHEER2017] UE- SCHEER Final Opinion on Biological effects of UVC radiation relevant to health with particular reference to UVC lamps 2017