

Giuliano Cammarata

IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE E PROTEZIONE DAI CONTAGI

 Legislazione Tecnica

© Copyright Legislazione Tecnica

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di febbraio 2022 da
LOGO SRL
Via Marco Polo, 8 - 35010 - Borgoricco (PD)

Legislazione Tecnica S.r.L.

00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti

Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068

servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it

Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il tecnico nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del tecnico la selezione della soluzione da adottare.

Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

PRESENTAZIONE

Dal 2020 l'umanità intera è interessata da una delle maggiori pandemie della sua storia denominata COVID-19 (COrona VIRUS Disease 19). Originatasi in Cina alla fine del 2019, questa pandemia ha interessato centinaia di milioni di persone con diversi milioni di morti in tutto il pianeta.

La tipologia del virus SARS-CoV-2 che origina la COVID-19 ha manifestato i suoi effetti fin dall'inizio cogliendo l'umanità impreparata a fronteggiarlo e senza strategie di cure possibili. Per diversi mesi tutti gli Stati si sono trovati a rivedere i loro piani pandemici alla luce dell'elevata contagiosità del virus, seppure con una mortalità del 3-4%, non elevata.

Si sono fatti numerosi paragoni con la pandemia denominata "*spagnola*" di un secolo prima ma i cambiamenti della vita sociale di oggi rispetto a quella dell'inizio del Novecento – le enormi facilità di spostamenti (aerei, navali e terrestri), la società interconnessa in tempo reale, la globalità dei commerci ecc. – hanno contribuito ad amplificare la diffusione del virus in tutto il mondo.

Appena si annuncia una variante in una nazione ecco che subito appare, quasi in tempo reale, in tutti gli Stati a causa della facilità delle comunicazioni e dei trasporti aerei. In Italia la COVID-19 ha provocato finora circa 150.000 morti, non meno di 11 milioni di contagiati e una serie impressionante di conseguenze economiche dalle quali non sarà facile riprendersi.

Ma a due anni di distanza dai primi provvedimenti di chiusura totale (lockdown) dell'Italia siamo in grado di affrontare la COVID-19 con la necessaria consapevolezza medica, organizzativa e tecnica? Non ancora.

La comparsa di nuove varianti, più contagiose della prima denominata alfa, il desiderio incontenibile della società di riappropriarsi dei propri spazi vitali (incontri, viaggi, feste, socializzazione ecc.), le esigenze dell'attività economica sono causa della comparsa di nuovi focolai che si sviluppano in nuove pandemie. È successo dopo l'estate del 2020, è successo ancora nell'inverno 2021-2022.

La diffusione non capillare dei vaccini, le molte polemiche sulla loro presunta pericolosità, l'atteggiamento nichilista di molti cittadini che si autodefiniscono no-vax ed invocano il diritto costituzionale a non vaccinarsi lasciano ampio margine alla diffusione delle nuove varianti e al crescere dei contagi in modo esponenziale e non controllabile se non ricorrendo alle uniche regole euristiche che la virologia sa consigliare: distanziamento interpersonale (detto impropriamente "*distanziamento sociale*"), pulizia delle mani, uso dei dispositivi di protezione individuale, lockdown totale o parziale, blocco delle attività produttive ritenute non indispensabili. E c'è il rischio ricorrente di dover di nuovo circoscrivere le aree a più alto contagio ricominciando ancora con le "*colorazioni*" delle regioni e con la limitazione di alcune libertà personali.

In questo volume si affrontano i problemi che la COVID-19 ha prodotto in relazione agli impianti di climatizzazione, che sono stati considerati inizialmente ed erroneamente come mezzi di trasmissione del virus ed oggi finalmente visti – al contrario – come uno degli strumenti fondamentali di difesa dal contagio per via aerea in ambienti chiusi.

Dopo tanti anni dalle pubblicazioni di Wells e Riley ([1], [2], [3] e [4]) i virologi, la stessa Organizzazione mondiale della Sanità (OMS) e l'Istituto superiore di sanità (ISS) hanno considerato scientificamente provata solamente la trasmissione del contagio attraverso i droplet emessi dalla bocca e dal naso per respirazione. Solo a partire dal

luglio 2021 l'OMS, e di conseguenza anche le istituzioni sanitarie nazionali, hanno dichiarato scientificamente provato il contagio per via aerea mediante aerosol negli ambienti chiusi. E solo a giugno 2021 l'ISS ha ritenuto utili e necessari gli impianti di ventilazione nei locali chiusi.

Eppure, malgrado i proclami e le affermazioni, si continua a parlare solamente di distanziamento interpersonale, di utilizzo delle mascherine, di chiusura parziale o totale delle regioni ecc. Un *dejà vu* che ha prodotti danni enormi al tessuto sociale di tutte le nazioni e che non risolve il problema della limitazione del contagio perché queste azioni si riferiscono sempre e soltanto al contagio diretto (detto a breve distanza) e non al contagio indiretto (detto a grande distanza) che avviene nei locali chiusi.

Ancora non si vuol accettare che il contagio diretto all'aperto è estremamente ridotto (meno dello 0,1% secondo diversi studi di alcune università) rispetto al contagio al chiuso, escludendo chiaramente i comportamenti volutamente trasgressivi, autolesionisti e criminali di assembramenti massivi (ad esempio taluni eventi sportivi, movide, feste conviviali) durante i quali si dimenticano tutte le regole di protezione e di rispetto degli altri.

Questo libro vuole dare chiarezza ai tecnici impiantistici sulle reali problematiche generate dalla COVID-19 nel loro campo di lavoro e proporre metodi di calcolo (alcuni del tutto originali e innovativi) della probabilità di contagio aereo nonché illustrare i metodi di protezione possibili, sia di tipo passivo (senza l'intervento degli impianti) che di tipo attivo (con l'intervento degli impianti).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Wells W.F., "On air-born infection. Study II. Droplet and droplet nuclei", American Journal of Hygiene, 1934, 20, 611-618.
- [2] Wells W.F., "Airborne contagion and air hygiene: an ecological study of droplet infections", Harvard University Press, Cambridge (MA) 1955.
- [3] Riley R.L., Mills C.C., O'Grady F., Sultan L.U., Wittstadt F., Shivpuri D.N., "Infectiousness of air from a tuberculosis ward. Ultraviolet irradiation of infected air: comparative infectiousness of different patients", Am. Rev. Respir. Dis., 1962, 85, 511-525.
- [4] Riley E.C., Murphy G., Riley R.L., "Airborne spread of measles in a suburban elementary school", Am. J. Epidemiol., 1978, 107, 421-432.

INDICE

PRESENTAZIONE	3
CAPITOLO 1. Metodi di trasmissione del contagio da SARS-COV-2	11
1.1. Riassunto degli argomenti trattati	11
1.2. La problematica della COVID-19	12
1.2.1. Virologia di base per il SARS-CoV-2.....	15
1.2.2. Le varianti del SARS-CoV-2.....	17
1.2.3. Le cure oggi possibili.....	17
1.3. Meccanismi di trasmissione virale.....	17
1.3.1. Il contagio a breve distanza	18
1.3.2. Il contagio a lunga distanza.....	19
1.3.3. Il contagio in ambiente esterno	20
1.4. I quanta di infezione	21
1.4.1. La determinazione delle cariche virali.....	21
1.4.2. La produzione dei quanta di infezione negli edifici	22
1.5. Il contagio negli ambienti chiusi.....	24
1.5.1. La distribuzione della concentrazione di un patogeno ..	25
1.5.2. Il calcolo della probabilità di contagio aereo	28
1.5.2.1. <i>Il metodo di Wells-Riley</i>	28
1.5.2.2. <i>Il metodo di Gammaitoni-Nucci</i>	31
1.5.2.3. <i>Il metodo di Buonanno-Stabile-Morawska</i>	33
1.5.2.4. <i>Il metodo di Rudnick-Milton</i>	34
1.6. Sistemi di riduzione della produzione dei quanta orari.....	41
1.6.1. Correzione di Fisk e Nazaroff.....	42
1.6.2. Applicazioni delle correzioni di Fisk e Nazaroff.....	47
1.7. Importanza dei parametri di calcolo	47
1.7.1. Effetti della variabilità dei parametri di calcolo	48
1.7.1.1. <i>Esempio di variabilità del numero di ricambi</i> <i>orari N_r</i>	51
1.7.1.2. <i>Esempio di variabilità di q e dei quanta rate</i> ..	52
1.8. Conclusioni	54
1.9. Riferimenti bibliografici	55
CAPITOLO 2. Effetti fluido-dinamici sulla circolazione dell'aerosol. Metodi di protezione passivi dal rischio di contagio aereo	57
2.1. Premessa.....	57
2.1.1. Riassunto degli argomenti trattati.....	58
2.2. Il contagio per via aerea con aerosol	59
2.3. La ventilazione degli ambienti chiusi	61

2.3.1.	La ventilazione naturale	62
2.3.1.1.	<i>Calcolo della portata d'aria di ventilazione naturale</i>	66
2.3.1.2.	<i>Calcolo della probabilità di contagio aereo con ventilazione naturale</i>	69
2.3.1.3.	<i>Effetti della variabilità di N_r sul calcolo della probabilità di contagio aereo con ventilazione naturale</i>	72
2.3.2.	La ventilazione meccanica	76
2.3.2.1.	<i>La classificazione degli impianti aeraulici</i>	76
2.3.2.2.	<i>La qualità dell'aria secondo la norma UNI EN 16788-1:2019</i>	79
2.3.2.3.	<i>La conoscenza di ΔC_0 e il rischio di contagio aereo</i>	79
2.3.2.4.	<i>La protezione passiva dal contagio aereo</i>	83
2.3.2.5.	<i>La protezione attiva dal contagio aereo</i>	89
2.3.2.6.	<i>Sistemi di ventilazione meccanica</i>	89
2.3.2.7.	<i>Sistemi di filtraggio</i>	90
2.3.2.8.	<i>Sistemi a raggi ultravioletti UV-C</i>	92
2.4.	La distribuzione dell'aria negli ambienti	92
2.4.1.	Regole pratiche per la distribuzione dell'aria	94
2.4.2.	Utilizzo delle CFD per la distribuzione dell'aria	95
2.4.3.	Le CFD e la circolazione dell'aerosol	97
2.5.	Le condizioni di uniformità e isotropia	99
2.6.	Conclusioni	103
2.7.	Riferimenti bibliografici	103

CAPITOLO 3. Gli impianti di climatizzazione aeraulici e idronici e le problematiche della lotta al contagio aereo

3.1.	Premessa	107
3.1.1.	Riassunto degli argomenti trattati	109
3.2.	Gli impianti di ventilazione	110
3.3.	Gli impianti di climatizzazione aeraulici	110
3.3.1.	Impianti a tutt'aria	111
3.3.2.	Impianti a tutt'aria con ricircolo	112
3.3.3.	Componenti degli impianti a tutt'aria	115
3.3.4.	Sistemi attivi di sanificazione per le UTA	117
3.3.4.1.	<i>Filtri ad alta efficienza</i>	117
3.3.4.2.	<i>Lampade UV-C</i>	118
3.3.4.3.	<i>Batterie di scambio</i>	122
3.3.4.4.	<i>Ventilatori</i>	123
3.3.4.5.	<i>Canali dell'aria</i>	123
3.3.5.	Unità di trattamento aria compatte	125

3.4.	Gli impianti misti: aria primaria + <i>fan coil</i>	126
3.4.1.	Protezione contro il contagio aereo per gli impianti misti	130
3.4.2.	Impianti misti con ventilazione meccanica	131
3.4.3.	Impianti a soli <i>fan coil</i>	132
3.4.4.	Impianti ad espansione diretta	133
3.4.5.	Sistemi VRF accoppiati ad UTA con batterie DX.....	138
3.4.6.	Protezione attiva negli impianti ad espansione diretta..	138
3.4.7.	Travi fredde	139
3.4.7.1.	<i>Travi fredde attive</i>	139
3.4.7.2.	<i>Travi fredde passive</i>	140
3.4.7.3.	<i>Funzionalità delle travi fredde</i>	140
3.4.7.4.	<i>Protezione dal contagio aereo nelle travi fredde</i>	141
3.5.	Purificatori d'aria da ambiente.....	141
3.5.1.	Purificatori per piccole portate.....	143
3.5.2.	Importanza dei purificatori di ambiente	143
3.6.	Sviluppi futuri per la progettazione degli impianti HVAC anti-contagio	145
3.7.	Conclusioni	148

CAPITOLO 4. Gli impianti di ventilazione meccanica controllata e il loro uso contro il contagio aereo..... 149

4.1.	Premessa.....	149
4.1.1.	Riassunto degli argomenti trattati.....	151
4.2.	Gli impianti di ventilazione	151
4.2.1.	La ventilazione naturale	153
4.2.1.1.	<i>Difficoltà di integrazione architettonica</i>	153
4.2.2.	La ventilazione meccanica	154
4.2.3.	La distribuzione dell'aria negli ambienti	155
4.3.	La Ventilazione meccanica controllata	156
4.3.1.	Caratteristiche delle VMC	157
4.3.2.	La normativa vigente per le VMC.....	157
4.3.2.1.	<i>La norma UNI EN 15242:2008</i>	157
4.3.2.2.	<i>La normativa di sistema UNI 10339:1995</i>	157
4.3.2.3.	<i>La normativa di sistema UNI EN 15251:2008</i>	158
4.3.2.4.	<i>La normativa di prodotto UNI EN 13141</i>	158
4.3.2.5.	<i>La normativa di prodotto UNI EN 13142:2013</i>	159
4.3.2.6.	<i>Ventilazione meccanica: l'etichettatura energetica</i>	159
4.4.	La filtrazione nelle VMC.....	161
4.4.1.	La filtrazione antibatterica e antivirale nelle VMC	165
4.4.1.1.	<i>La tecnologia NTP®</i>	165

4.4.1.2.	<i>La tecnologia PCO™</i>	166
4.5.	La funzionalità della VMC	168
4.5.1.	I recuperatori di calore.....	169
4.5.1.1.	<i>Ventilatore di mandata</i>	170
4.5.1.2.	<i>VMC non centralizzata</i>	171
4.5.2.	Controllo dell'umidità interna mediante VMC	172
4.5.3.	Evitare la formazione delle muffe con la VMC	173
4.5.3.1.	<i>Formazione di muffe con pannelli radianti per raffrescamento</i>	174
4.5.4.	Integrazione dei pavimenti radianti con le VMC.....	175
4.5.5.	Impianti a <i>fan coil</i> integrati con VMC.....	177
4.5.6.	Impianti ad aria con VMC integrate.....	179
4.5.6.1.	<i>Sistema HRW (Heat Recovery Water)</i>	179
4.5.6.2.	<i>Sistema HRSW (Heat Recovery Split Water)</i>	179
4.5.7.	Sistemi VMC avanzati	180
4.5.7.1.	<i>Moduli a ricircolo parziale</i>	183
4.5.7.2.	<i>Criteri di selezione delle VMC avanzate</i>	184
4.5.8.	VMC compatte di tipo HRSW.....	184
4.5.9.	VMC di tipo puntuale.....	187
4.5.9.1.	<i>Installazione delle VMC puntuali</i>	189
4.5.10.	VMC da appartamento.....	190
4.6.	Utilità delle VMC per la protezione dal contagio aereo	191
4.7.	Conclusioni	192

CAPITOLO 5. Esempi di applicazione degli impianti HVAC e VMC per utilizzi contro il contagio aereo	193	
5.1.	Premessa.....	193
5.1.1.	Riassunto degli argomenti trattati.....	194
5.2.	Strumenti di analisi dei casi-studio	195
5.2.1.	<i>What-if Analysis</i> per l'ottimizzazione di casi complessi	196
5.2.2.	Analisi di sensitività applicata al metodo di Rudnick- Milton dinamico	197
5.2.3.	Programma di calcolo " <i>What-if</i> "	199
5.3.	Caso-studio di un ufficio " <i>open space</i> "	200
5.3.1.	Caso 1: sola ventilazione dell'aria e mascherine	200
5.3.2.	Caso 2: sola ventilazione dell'aria, sistemi attivi biologici e mascherine.....	207
5.3.3.	Caso 3: sola ventilazione e confronto con le protezioni attive tutte presenti nella VMC	207
5.3.4.	Caso 4: utilizzo delle VMC in sostituzione della ventilazione naturale	212
5.3.4.1.	<i>Modelli di VMC integrate a parete, negli infissi e nei cassonetti</i>	212

5.3.5. Caso 5: utilizzo dei sistemi di protezione passivi	222
5.3.6. Caso 6: utilizzo dei sistemi passivi e dei purificatori d'aria ambiente	224
5.3.6.1. <i>Applicazioni simili all'open space</i>	225
5.4. Caso-studio di un'aula scolastica	225
5.4.1. Strategie di intervento per l'aula scolastica	226
5.4.2. Caso 1: sola ventilazione dell'aria e mascherine	227
5.4.3. Caso 2: sola ventilazione dell'aria, sistemi attivi biologici e mascherine	229
5.4.4. Caso 3: sola ventilazione e confronto con le protezioni attive tutte presenti nella VMC	230
5.4.5. Caso 4: utilizzo delle VMC in sostituzione della ventilazione naturale	231
5.4.6. Caso 5: utilizzo dei sistemi di protezione passivi	240
5.4.6.1. <i>Applicazione del Piano scuola 2021-2022 (approvato dal CTS il 6 agosto 2021) di apertura delle finestre per 10 minuti ogni ora di lezione</i>	242
5.4.6.2. <i>Calcolo della ventilazione naturale con i dati statistici IGDG per Roma</i>	243
5.4.7. Caso 6: utilizzo dei sistemi passivi e purificatori d'aria ambiente	246
5.4.7.1. <i>Caso 6-a: ventilazione naturale con $N_r = 0,5$ Vol/h</i>	246
5.4.7.2. <i>Caso 6-b: ventilazione naturale media statistica per gennaio a Roma</i>	251
5.4.7.3. <i>Caso 6-c: ventilazione naturale con $N_r = 0,5$ Vol/h al variare del volume interno</i>	257
5.5. Conclusioni	257
ADDENDUM SU OMICRON	267
1. I rischi di contagio con patogeni ad elevata contagiosità	267
1.1. Le misure di protezione indicate dal Ministero della salute ..	267
2. Confronto delle probabilità di contagio in ambienti ventilati	268
2.1. Caso 1: nessun mezzo di protezione	270
2.1.1. Osservazioni sui risultati del Caso 1	270
2.2. Caso 2: utilizzo dei mezzi di protezione più correzioni di Fisk e Nazaroff	274
2.2.1. Osservazioni sui risultati di calcolo del Caso 2	278
2.3. Caso 3: utilizzo delle correzioni di Fisk e Nazaroff e dei sistemi passivi di riduzione degli orari	278
2.3.1. Osservazioni sui risultati del Caso 3	278
3. Considerazioni sul rischio da contagio per patogeni ad elevata contagiosità	282

1

METODI DI TRASMISSIONE DEL CONTAGIO DA SARS-COV-2

1.1. RIASSUNTO DEGLI ARGOMENTI TRATTATI

Per poter affrontare la problematica degli impianti utili per ridurre i rischi di contagio per via aerea all'interno di ambienti chiusi è necessario avere conoscenza sul comportamento del virus SARS-CoV-2 che genera la malattia COVID-19 (impropriamente citata al maschile "*il COVID-19*"), sui modi di trasmissione del contagio, sulla trasmissione dei droplet e la formazione dei droplet nuclei che a loro volta creano l'aerosol virale capace di provocare il contagio aereo a lunga distanza negli ambienti chiusi. I droplet, piccolissime goccioline di liquido organico emesse attraverso la bocca e/o il naso per effetto della respirazione, contengono le cariche virali capaci di indurre l'infezione COVID-19.

Le modalità di emissione dei droplet (respirazione, azione del parlare, starnuto, tosse) influenzano fortemente sia il numero di cariche virali emesse sia la probabilità di contagio che, usualmente, è suddiviso in due tipologie: contagio *a breve distanza* (o contagio diretto) e contagio *a lunga distanza* (o contagio indiretto).

Nel primo caso il contagio è determinato dal contatto con una persona infetta vicina (1-2 metri) che invia i suoi droplet infetti direttamente alla bocca o al naso della persona sana.

Nel secondo caso il contagio è determinato, oltre che dal contatto diretto (a breve distanza, sempre presente e possibile) fra soggetti infetti e soggetti sani (definiti anche come suscettibili di infezione), anche dal possibile *contagio per via aerea* determinato dall'aerosol leggerissimo e soggetto alla circolazione dell'aria negli ambienti chiusi e dalla fisica indoor. Per ridurre il rischio di contagio *a lunga distanza* risulta quindi fondamentale la *ventilazione* dell'ambiente con aria fresca esterna, come indicato dalle regole per la qualità dell'aria interna degli ambienti chiusi (IAQ, Indoor Air Quality).

La ventilazione dell'aria può essere realizzata o per via naturale (attraverso l'apertura delle finestre, porte, fessure ecc.) o mediante impianti aeraulici di ventilazione associati a impianti di climatizzazione (Heating Ventilation and Air Conditioning - HVAC) o di Ventilazione meccanica controllata (VMC). I problemi della ventilazione dell'aria sono di tipo impiantistico mentre il contagio virale è un problema virologico che permane sempre, anche in presenza di impianti di ventilazione meccanica.

In questo capitolo, oltre ai meccanismi di trasmissione, si illustrano i metodi di calcolo delle probabilità di contagio più utilizzati (Well-Riley, Gammitoni-Nucci,

Buonanno-Stabile-Morawska, Rudnick-Milton) con esempi di applicazione ad un'aula scolastica. Si presentano poi i sistemi di riduzione del contagio basati sulle correzioni di Fisk e Nazaroff che sono anche alla base delle soluzioni impiantistiche che saranno presentate nei capitoli 3 e 4. Infine, si fa cenno agli effetti della variabilità dei parametri di calcolo sul calcolo della probabilità di contagio aereo.

1.2. LA PROBLEMATICHE DELLA COVID-19

La storia dell'uomo è scandita da fenomeni distruttivi come eventi sociali (guerre, rivoluzioni), climatici (inondazioni, glaciazioni, desertificazioni), geologici e geofisici (terremoti, grandi eruzioni) e pandemici (peste, colera, vaiolo ecc.). Fra le pandemie più note si ricorda la "*influenza spagnola*" iniziata in una fattoria degli Stati Uniti, propagatasi prima sui fronti della Prima guerra mondiale e poi su quasi tutta la popolazione terrestre. I numeri di questa pandemia sono (secondo stime parziali) di circa 500 milioni di casi nel mondo con oltre 50 milioni di morti. La spagnola nacque nel 1918 ed ebbe fine nel 1920.

Se si tiene conto che la popolazione mondiale nel 1918 era inferiore a due miliardi e che il numero effettivo di contagiati è più del doppio di quelli ufficiali, si calcola che all'epoca oltre l'80% della popolazione è stata interessata dal virus. Questo ha prodotto il cosiddetto "*effetto di gregge*" riducendo la trasmissione del contagio, fenomeno favorito dalle scarse comunicazioni dell'epoca e dal ridotto numero di spostamenti internazionali. La spagnola si è estinta da sola, senza alcun intervento fisico-medico da parte dell'uomo.

L'analogia tra la spagnola e la COVID-19 è molto forte e, ad un secolo di distanza, fa impressione vedere una evoluzione molto simile fra le due pandemie, anche se permangono alcune differenze sostanziali.

Per la *spagnola*:

- non si conoscevano le cause della spagnola, poi identificate in un virus del tipo H1N1. Si pensava che la malattia fosse generata da un ammorbamento dell'aria e quindi si trasmetteva per via aerea. Solo nel 1934 Wells propose la sua teoria di trasmissione virale per via aerea mediante l'emissione di droplet, cioè di piccolissime goccioline di liquido organico proveniente dall'esofago e contenenti migliaia di cariche virali attive;
- non si conosceva l'esistenza dei virus, scoperti nel 1931 dopo la costruzione del primo microscopio elettronico. Solo dopo questa scoperta si comprese la natura virale della spagnola;
- non si conoscevano i meccanismi di trasmissione della malattia che vennero proposti da Wells nel 1934 soltanto dopo la scoperta dei virus;
- non si aveva alcun tipo di cura per questa pandemia.

Nel 2019 le conoscenze scientifiche sono enormemente più avanzate:

- si è subito individuato il virus che origina la COVID-19: il coronavirus denominato *SARS-CoV-2*;



**Pagine non disponibili
in anteprima**



2.3.2.5. La protezione attiva dal contagio aereo

Nel capitolo 1 abbiamo visto che è possibile ridurre il rischio da contagio aereo apportando nelle relazioni di calcolo la correzione di Fisk e Nazaroff. Secondo questi autori il *fattore di rimozione* L (1/h) è dato da:

$$L = k_{vent} + k_{filtro} \cdot \eta_{filtro} + k_{UN} \cdot \eta_{UV} + k_{dep} + k_{inert}$$

ove k_{vent} coincide con il numero di ricambi orari N_r mentre la somma:

$$FN = k_{filtro} \cdot \eta_{filtro} + k_{UN} \cdot \eta_{UV} + k_{dep} + k_{inert}$$

Vale il simbolismo:

- k_{vent} numero di ricambi orari per ventilazione, N_r , 1/h;
- k_{filtro} numero equivalente di ricambi orari per filtrazione, 1/h;
- η_{filtro} efficienza di filtrazione;
- k_{UV} numero equivalente di ricambi orari per effetto dei raggi UV, 1/h;
- η_{UV} efficienza di sanificazione del sistema UV-C;
- k_{dep} numero equivalente di ricambi orari per il deposito dei droplet, 1/h;
- k_{inert} numero equivalente di ricambi orari per inertizzazione o riduzione della vitalità, 1/h.

Schematicamente si ha la rappresentazione di Figura 2.21 nella quale sono raffigurati i soli dispositivi fisici e non quelli biologici (k_{dep} e k_{inert}).

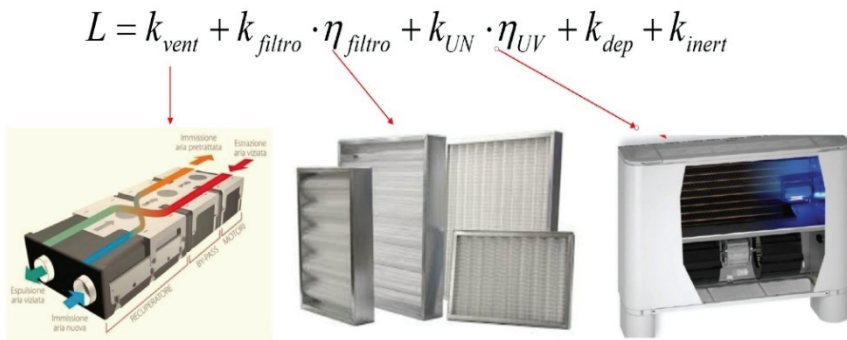


Figura 2.21 - Mezzi di riduzione del rischio di contagio secondo Fisk e Nazaroff

2.3.2.6. Sistemi di ventilazione meccanica

La ventilazione meccanica (o tramite impianto HVAC o tramite VMC) contribuisce ad accrescere k_{vent} cioè il numero di ricambi orari N_r . In Figura 2.22 si ha un esempio

di sistema di VMC puntuale (montaggio a parete) a doppio flusso con due unità a flusso singolo.



Figura 2.22 - VMC puntuali a doppio flusso singolo

2.3.2.7. Sistemi di filtraggio

I filtri (in questo caso da inserire nelle UTA) producono un abbattimento dei quantitate del 99,995% (filtri assoluti HEPA). È possibile utilizzare sistemi di circolazione dell'aria ambiente dotati di filtri assoluti, come rappresentato in Figura 2.23.



Figura 2.23 - Purificatori d'aria con filtri HEPA (modello Trox e Miele)

Nella Tabella 2.4 si riportano le efficienze di filtrazione per i filtri HEPA e ULPA.

Tabella 2.4 - Efficienze di filtrazione per filtri assoluti HEPA e ULPA

HEPA	H13	99,18	$\leq 0,05$	99,75	$\leq 0,25$
	H14	99,995	$\leq 0,005$	99,975	$\leq 0,025$
ULPA	U15	99,9995	$\leq 0,0005$	99,9975	$\leq 0,0025$
	U16	99,99995	$\leq 0,00005$	99,99975	$\leq 0,00025$
	U17	99,999995	$\leq 0,000005$	99,9999	$\leq 0,0001$

Il sistema di filtraggio è a più stadi, come illustrato in Figura 2.24 per sistemi di controllo ambientale Miele®.

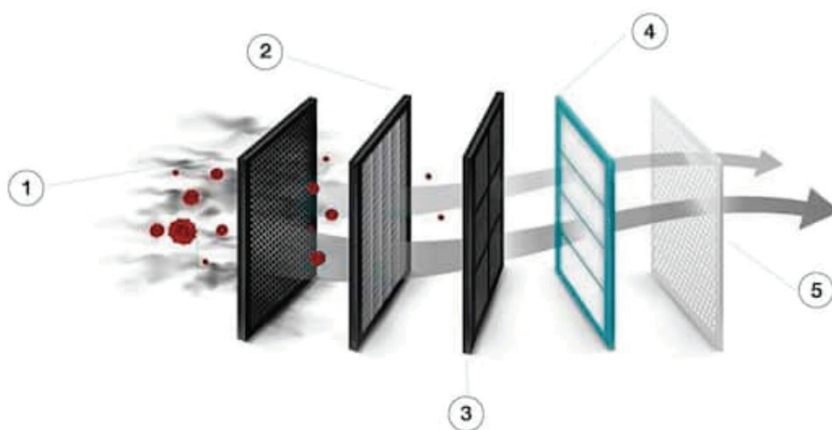


Figura 2.24 - Sistemi di filtraggio a più stadi (sistema Miele®)

Nel sistema rappresentato in Figura 2.24 si ha:

1. Filtro grosso: per particelle più grandi come polline, impurità ecc.;
2. Filtro fine: per particelle più piccole come polveri fini;
3. Filtro HEPA H14: elimina dall'aria ambiente il 99,995% delle particelle con dimensioni di 0,1-0,3 μm , di cui fanno parte anche i microorganismi come, ad esempio, i virus (tra gli altri il Coronavirus);



**Pagine non disponibili
in anteprima**



4.4. LA FILTRAZIONE NELLE VMC

Da indagini effettuate dall'EPA (Environmental Protection Agency) nel 1998 risulta che la concentrazione di inquinanti all'interno degli edifici (*indoor*) può essere da 1 a 5 volte superiore a quella all'esterno (*outdoor*). L'esigenza delle VMC, oltre che per gli aspetti della qualità dell'aria (IAQ), nasce dalla necessità di avere una ventilazione corretta e conforme alle norme vigenti negli edifici di nuova costruzione che utilizzano materiali altamente isolanti (vedi qualifica nZEB dal 2021 per edifici privati) che forniscono un elevato isolamento termico.

Si ha, così, una riduzione dei consumi termici invernali ed estivi ma, unitamente all'utilizzo di infissi a bassa permeabilità all'aria, non si ha la garanzia di avere sufficienti ricambi d'aria. L'edificio deve perciò scambiare aria attraverso la Ventilazione meccanica controllata che mette in contatto diretto l'*indoor* e l'*outdoor*. L'impianto deve, inoltre, garantire che non ci sia alcun rischio di inquinamento e di contaminazione dell'aria.

Si è visto, a proposito della qualità dell'aria, che è fondamentale abbattere le polveri, i particolati e i microrganismi presenti nell'aria esterna immessa negli ambienti. La *filtrazione* è quindi un compito fondamentale della ventilazione meccanica. Negli impianti di VMC sono installati i principali sistemi di filtrazione presenti oggi sul mercato.

In particolare, con l'utilizzo di sistemi filtranti ad elevata efficienza si assicura il corretto ricambio dell'aria, poiché viene immessa aria nuova e filtrata, permettendo l'espulsione di quella inquinata e garantendo un'ottima protezione anche contro le polveri sottili (PM10 e PM2,5)

La filtrazione dell'aria svolge quindi un ruolo essenziale nel controllo e nel mantenimento di livelli di contaminazione accettabili, in quanto è proprio attraverso i filtri che si riesce ad abbattere e controllare il quantitativo di contaminante (particellare e microbiologico) presente nell'aria che viene immessa nei locali.

Una prima possibile scelta è quella di posizionare il sistema di filtrazione esclusivamente sulle prese d'aria esterne (il cosiddetto "*Outside Air Treatment*"), questo soprattutto nel caso di ambienti outdoor particolarmente inquinati quali ad esempio ambienti urbani ad alta densità demografica o vicino strade ad elevato traffico e per tutti quei sistemi in cui il controllo delle concentrazioni indoor viene effettuato soprattutto per diluizione tramite portata d'aria esterna che deve quindi risultare il meno possibile inquinata.

L'installazione dei filtri può essere anche utilizzata per creare zone di *bypass* all'interno del sistema dei condotti di aerazione (*Partial Supply Air Treatment*). Questo è valido nei sistemi in cui sono note le concentrazioni inquinanti indoor e outdoor mentre il livello di riduzione delle concentrazioni inquinanti richiesto è comunque modesto e facilmente gestibile.

I risultati migliori si ottengono nei sistemi in cui la riduzione della portata d'aria esterna viene affiancata dall'installazione di opportuni sistemi di filtrazione sugli eventuali punti di ricircolo e sopra opportuni sistemi di *bypass* (*Full Supply Air Treatment*).

Tuttavia, questi sono sistemi che richiedono il maggior costo per l'installazione dei dispositivi idonei e per il volume necessario all'installazione stessa.

Le principali caratteristiche del filtro sono:

- la frazione arrestata del particolato inquinante (*efficienza*);
- le perdite di carico del flusso d'aria durante l'attraversamento;
- l'intervallo di tempo tra una manutenzione (sostituzione o pulizia dei filtri) e l'altra.

Vi sono 3 tipi di filtri:

- filtri *meccanici*: arrestano polveri tra 0,5 e 1 μm ; sono dei materassini di materiale fibroso attraversati da aria alla velocità tra 1 m/s e 4 m/s; il loro costo è contenuto e la perdita di carico è bassa, ma aumenta in modo rilevante con l'intasamento;
- filtri *elettrostatici*: utilizzati per particelle tra 0,001 μm e 0,5 μm ; il campo elettrico (circa 12 kV) ionizza l'aria e la superficie del particolato contenuto in essa, quindi le particelle aderiscono ad una piastra carica di segno opposto in un campo elettrostatico;
- filtri *chimici*: per eliminare particolari gas o vapori, ad esempio i filtri a carbone attivo; questi filtri sono caratterizzati da processi di adsorbimento.

La filtrazione meccanica dell'aria si basa su diversi meccanismi fisici che possono avvenire singolarmente o accoppiati tra loro; la scelta delle diverse tipologie di filtro è oggi regolata da più normative (UNI EN 10339, EN 779, UNI EN 1822) che permettono di definire con precisione le caratteristiche del filtro in relazione alla propria classe di efficienza e di impiego.

La proposta di aggiornamento della UNI 10339:1995 prevede nuovi valori delle portate di ventilazione (è previsto ancora il metodo *prescrittivo*) secondo la Tabella 4.2.

Tabella 4.2 - I nuovi valori prescrittivi della UNI 10339 aggiornata

Categorie degli edifici	Portata d'aria esterna o di estrazione			Note
	Ambiente	Q_{op} (L/s per persona)	Q_{os} (L/s m ² per persona)	
Residenze a carattere continuativo	Soggiorni, camera da letto	11		
	cucina, bagni/servizi	estrazioni		Nei servizi 4 Vol/h
Uffici e assimilabili	Uffici singoli ed open space	11		
	locali riunione	11		
	centri elaborazione dati	10		
	bagni/servizi	estrazioni		Nei servizi 8 Vol/h

Attività commerciali e assimilabili	Grandi magazzini piano interrato	9		Verificare regolamenti
	grandi magazzini piani superiori	6,5		
	negozi o reparti di grandi magazzini			Verificare regolamenti
	barbieri, saloni di bellezza	14		Verificare regolamenti
	abbigliamento, calzature, mobili, ottici, floristi, fotografi	9		Verificare regolamenti
	Alimentari, lavasecco, farmacie	10		
	Zone pubblico, banche, quartieri fieristici			

La revisione della norma UNI 10339 è volta ad una più attenta progettazione degli impianti aerulici con il fine di garantire ambienti con una migliore qualità dell'aria e migliori condizioni di comfort termo-igrometrico, senza trascurare il risparmio energetico.

Riferendosi, come base di partenza per la stesura, alla EN 13779, parte delle modifiche alla UNI 10339:1995 saranno un recepimento di quest'ultima, in particolar modo per quanto riguarda la classificazione dell'aria.

Si prevede che l'aria venga suddivisa in più tipologie, quali, a titolo di esempio:

- dall'esterno prima di qualsiasi trattamento;
- *aria di apporto* (SUP): aria introdotta nel sistema dopo un qualsiasi trattamento;
- *aria interna* (IDA): aria negli ambienti trattati;
- *aria estratta* (ETA): aria che fuoriesce dal locale trattato;
- *aria di ricircolo* (RCA): aria di estrazione che viene ritrattata dal sistema e riutilizzata come aria di apporto;
- *aria espulsa* (EHA): aria scaricata in atmosfera;
- *aria esterna* (ODA), ovvero aria entrante nel sistema.

Le portate di ventilazione dovranno essere comprensive di una quota fissa costituita esclusivamente da aria di apporto esterna e di una quota dipendente dalla qualità dell'aria interna desiderata, e quindi tale da limitare le concentrazioni massime degli inquinanti critici. Importante è anche l'efficienza di ventilazione che tiene conto dell'effettiva capacità dell'impianto di asporto o diluizione degli inquinanti nel locale occupato.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



5.4.5. Caso 4: utilizzo delle VMC in sostituzione della ventilazione naturale

Rispetto ai casi precedenti si desidera ora esaminare più possibilità di scelta delle VMC in funzione degli spazi disponibili e delle possibilità di installazione delle VMC puntuali. Essendo le portate di ricambio di queste ultime non elevate, la possibilità di raggiungere i 2,5 Vol/h richiede una portata di ventilazione di 607 m³/h.

Si esaminano tre ipotesi:

1. inserimento di una o più VMC che assicurino un ricambio d'aria pari a 1 Vol/h, cioè che ricambino 246 m³/h; è un risultato che può essere raggiunto con VMC puntuali a doppio flusso o con due VMC puntuali da 200 m³/h ciascuna;
2. inserimento di una o più VMC che assicurino un ricambio d'aria pari a 2 Vol/h, cioè che ricambino 492 m³/h; è un risultato che può essere raggiunto con VMC puntuali a doppio flusso da 300 m³/h ciascuna;
3. inserimento di una o più VMC che assicurino un ricambio d'aria pari a 2,5 Vol/h, cioè che ricambino 607 m³/h; è un risultato che può essere raggiunto con VMC puntuali a doppio flusso da 300-350 m³/h ciascuna.

I profili d'uso sono riportati in Figura 5.21 e rappresentano un'occupazione di 3+3 ore ed un intervallo di un'ora.

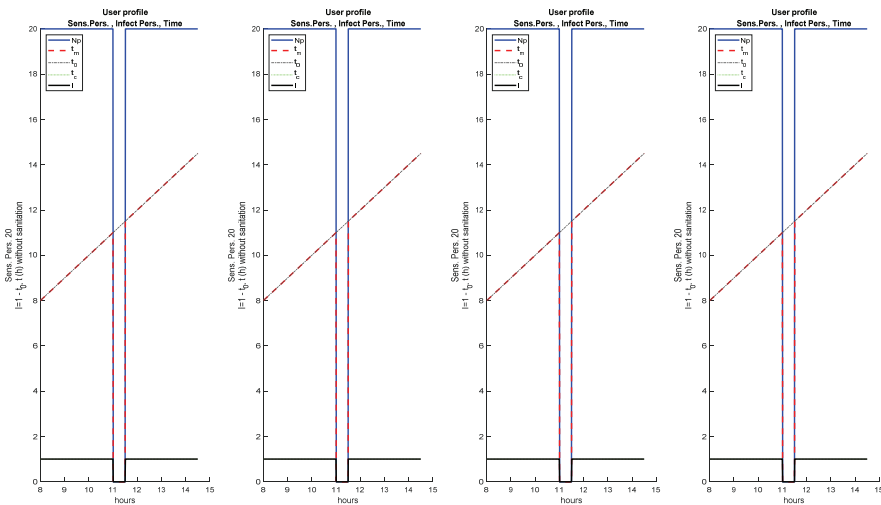


Figura 5.21 - Profili d'uso per aula: caso 4

Le curve di distribuzione delle concentrazioni di CO₂ e di ΔC₀ sono date in Figura 5.22.

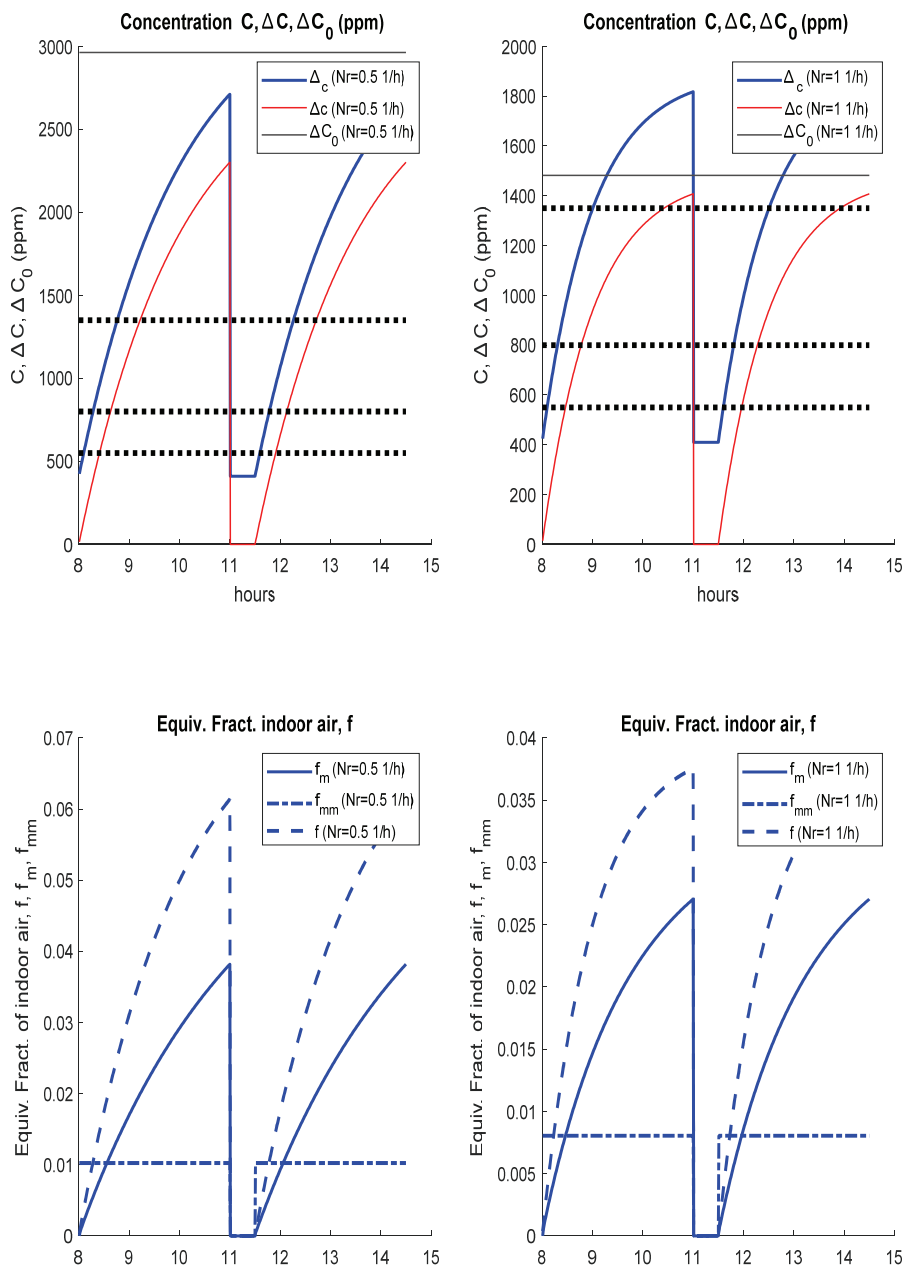


Figura 5.22 - Distribuzione di C e di ΔC_0 per aula: caso 4