

<b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b>	<b>102021000023255</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>08/09/2021</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>08/03/2023</b>

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	24	F	11	52

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	24	F	11	56

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	24	F	11	63

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	24	F	11	64

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	24	F	11	89

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	24	F	110	10

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	24	F	110	20

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	24	F	110	70

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	24	F	120	10

Titolo

METODO E SISTEMA DI CONTROLLO DEL RISCHIO CONTAGIO PER AEREOSOLIZZAZIONE DELLA CARICA VIRALE NEGLI AMBIENTI CHIUSI

## DESCRIZIONE

Annessa a domanda di brevetto per INVENZIONE INDUSTRIALE avente per titolo

### **“METODO E SISTEMA DI CONTROLLO DEL RISCHIO CONTAGIO PER AEREOSOLIZZAZIONE DELLA CARICA VIRALE NEGLI AMBIENTI CHIUSI”**

A nome dell' Inventore: ZIVELONGHI Alessandro

\*\*\*\*\*

## RIASSUNTO

La presente invenzione ha per oggetto un sistema ed un relativo metodo di controllo (in senso probabilistico) del rischio di contagio aereo per aerosolizzazione della carica virale emessa da soggetti potenzialmente infettivi in ambiente chiuso, in particolare in un qualsiasi ambiente chiuso occupabile da persone dotato di accessi apribili e/o finestre per la ventilazione naturale, sebbene il sistema possa integrarsi anche in ambienti chiusi dotati di preesistenti impianti meccanici di ricambio dell' aria. Per "ambienti chiusi" si intendono tutti gli ambienti occupabili da persone e confinati da costruzioni nelle tre dimensioni di altezza, lunghezza e larghezza (uffici, abitazioni, scuole, centri commerciali, ospedali, stabilimenti, navi, aerei, automobili, ecc..).

A seguito dell'emergenza pandemica associata alla diffusione del virus SARS-CoV2 gli ambienti chiusi sono divenuti ambienti di rischio contagio anche a causa del fenomeno dell' aerosolizzazione della carica virale che può diffondersi anche a lunga distanza nell' ambiente chiuso.

Il comfort termoigrometrico negli ambienti chiusi non è più quindi l'unico obiettivo da tenere in considerazione nel controllo dei parametri di qualità dell'aria. Precedenti invenzioni come US5394934A, WO2006099125A2, ITMI20120506A1 avevano come obiettivo il miglioramento della sola qualità dell' aria di ambienti civili o di ambienti critici mediante aerazione automatizzata controllata dalla misurazione della concentrazione in aria di componenti gassosi e/o inquinanti aerei di diversa natura chimica e biologica. Grande rilevanza assume ora anche il controllo dei fattori di rischio contagio aereo da carica virale in ambiente esalata da individui potenzialmente infettivi, non direttamente collegabile ai livelli del solo parametro chimico o biologico misurato in ambiente ma influenzato anche da altri fattori quali il tempo di esposizione degli occupanti, l'attività e il numero degli occupanti, i fattori di ventilazione attivabili in quel particolare ambiente chiuso (misurati in ricambi d'aria orari) e dai parametri termoigrometrici.

L' ambito della presente invenzione inoltre non è riconducibile alla sola epidemia da SARS-CoV2, ma potenzialmente estendibile anche a tutte le altre possibili infezioni virali a trasmissione aerea, noti i parametri specifici di esalazione della carica virale da individuo infetto associabile ad uno specifico virus o variante. Accanto al monitoraggio della temperatura e dell'umidità dell'aria assumono quindi grande rilevanza ai fini del controllo del rischio contagio aereo per aerosolizzazione, il monitoraggio di altri fattori quali la concentrazione di

anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) nell'aria, del numero di occupanti e del tempo di permanenza degli stessi (ovvero di esposizione) all'interno di un ambiente chiuso ove si possano trovare uno o più individui infettivi. In questo nuovo contesto, la concentrazione cumulata di CO<sub>2</sub> (misurata in ppm), assume il ruolo di indicatore indiretto di potenziale accumulo di carica virale nell'ambiente considerato, anche in base alla più recente e validata letteratura scientifica e tecnica. Il Richiedente ha ad esempio empiricamente verificato che in un'aula scolastica di normali dimensioni (150 mc) occupata da 15-20 persone in cui le uniche sorgenti emissive sono gli stessi occupanti della stanza, il valore di concentrazione della CO<sub>2</sub> supera in poco tempo (meno di 1 ora) la soglia dei 1000 ppm, nota soglia indicatrice di bassa qualità dell'aria, richiedendo quindi immediata apertura delle finestre per ricambiare l'aria in ambiente.

Non vi è tuttavia una relazione semplice e diretta tra la concentrazione istantanea di CO<sub>2</sub> e il rischio contagio degli occupanti. La stima del rischio contagio è sì correlata alla CO<sub>2</sub>, ma non al suo valore istantaneo, bensì a quello cumulato nel tempo. E' molto più complessa e coinvolge numerosi altri parametri, tra cui la variazione nel tempo del numero di occupanti/soggetti esposti e i fattori di aerazione. Un problema fondamentale nella costruzione di un sistema efficace di monitoraggio e controllo (in senso probabilistico) del rischio contagio per aerosolizzazione di carica virale in un ambiente chiuso è quindi la corretta elaborazione e verifica periodica di numerosi fattori. Come evidenziato dalle più recenti pubblicazioni scientifiche, non basta infatti limitarsi all'informazione contenuta nel segnale della CO<sub>2</sub> ed impostare soglie opportune sui livelli in ppm di concentrazione della stessa. Questo fatto è facilmente comprensibile anche attraverso il seguente esempio: se fosse impostata una soglia di allarme, ad esempio, su 800 ppm e l'ambiente permanesse ad un livello di concentrazione di equilibrio di 700 ppm, ovvero sotto soglia, non si avrebbe alcuna segnalazione di rischio contagio in quanto sempre "sotto soglia". Tuttavia, ciò non esclude che alcuni occupanti siano rimasti nell'ambiente considerato sufficientemente a lungo tale da aver inspirato un cumulo di carica virale, che, pur sotto soglia, sia stato sufficiente ad infettarsi. Al contrario se le soglie critiche di CO<sub>2</sub> fossero superate periodicamente ma per intervalli brevissimi, ciò produrrebbe una continua segnalazione di allarmi e di richiesta di apertura delle finestre, a fronte di un cumulo di potenziale carica virale inalata dagli occupanti molto esiguo (ovvero le richieste di apertura sarebbero state inutilmente eccessive).

Quello che conta non è quindi la concentrazione istantanea di CO<sub>2</sub>, ma la concentrazione cumulata effettivamente inalata di carica virale da parte degli occupanti, indirettamente associata alla CO<sub>2</sub> effettivamente emessa ed inalata da uno qualsiasi degli occupanti per tutto il tempo di esposizione degli stessi nell'ambiente chiuso. Il segnale della CO<sub>2</sub> è importante per capire (indirettamente) come evolve istantaneamente la carica virale in ambiente, ma soltanto una sua complessa elaborazione temporale unita al monitoraggio di altri parametri quali il numero di occupanti nel tempo e dei fattori di ventilazione (ovvero di diluizione di carica virale), consente una stima corretta del rischio contagio durante tutto il tempo di esposizione. Al contrario, un sistema di allarme e segnalazione basato solo su soglie, comunque arbitrarie, del valore istantaneo di CO<sub>2</sub> può condurre ad una stima non corretta del rischio contagio e a non corrette segnalazioni di apertura/chiusura delle finestre. Vi è inoltre da tenere in considerazione la situazione invernale, più critica di quella estiva per l'impossibilità di tenere le finestre aperte per periodi troppo prolungati, problema particolarmente critico nelle scuole. Un sistema basato sul controllo della funzione di rischio contagio anziché sul controllo delle soglie della concentrazione istantanea di CO<sub>2</sub> consentirebbe di segnalare in anticipo i tempi di apertura ottimali delle finestre, riducendo allo stretto necessario le richieste di apertura delle stesse ed evitando quindi un inutile discomfort termico per gli occupanti nonché un correlato spreco energetico per l'edificio che ospita l'ambiente considerato.

Infine è necessario basare il sistema di segnalazione su una funzione *predittiva* che stimi (sotto opportune ragionevoli ipotesi) la probabilità di contagio future nel successivo periodo di esposizione a partire dall'ultimo ciclo di lettura dei valori misurati, verificando che anche negli istanti *futuri* il rischio contagio per gli occupanti rimanga sotto una soglia critica. Accanto ad un

sistema fisico di monitoraggio sarà quindi necessario implementare un modello matematico/probabilistico basato sulla stima attuale e predittiva della “funzione di rischio contagio R”, associabile al cumulo dei livelli misurati di CO<sub>2</sub>, al numero di occupanti e allo storico degli effettivi livelli di aerazione.

In secondo luogo anche un valore fisso e predeterminato dell'indice di affollamento dell'ambiente (ad esempio desunto da normative) può condurre ad una stima errata del rischio contagio, in quanto il gruppo di persone nell' ambiente è soggetto a cambiamenti anche rapidi durante il tempo di esposizione.

Il problema alla base della presente invenzione è quindi quello di mettere a disposizione un metodo e un sistema fisico per controllare *correttamente* e con feedback *in tempo reale* il rischio di contagio aereo per aerosolizzazione in uno o più ambienti chiusi. Tale metodo e sistema dovrà garantire che determinate soglie di *rischio contagio* (e non necessariamente di concentrazione istantanea di CO<sub>2</sub>) non vengano superate per tutta la durata del tempo di esposizione degli occupanti. Nel seguito il termine “rischio contagio” sottintenderà “rischio contagio per aerosolizzazione della carica virale in ambiente” e “ambiente” sottintenderà “ambiente chiuso” con almeno un accesso e/o una superficie finestrata.

## BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

Intendendo che i disegni allegati raffigurano solo forme di realizzazione esemplificative dell'invenzione e non devono quindi essere considerati limitanti nell'ambito della presente invenzione, essi vengono di seguito descritti:

FIG. 1 illustra uno schema realizzativo del sistema di monitoraggio e controllo del rischio contagio per aerosolizzazione in una struttura educativa/formativa dove è prevista la presenza di persone (occupanti);

FIG. 2 illustra un diagramma di flusso esemplificativo della logica concettuale di funzionamento esplicitata alla successiva FIG.3;

FIG. 3 illustra un diagramma di flusso in cui è esplicitata la logica concettuale di funzionamento con riferimento alla precedente FIG.2;

FIG. 4 illustra l'autostima dal monitoraggio della concentrazione di CO<sub>2</sub> in ppm nell' ambiente considerato dei parametri ER<sub>q,viral</sub> (tasso emissivo di carica virale per il gruppo di N occupanti) e AER<sub>j</sub> (ricambi d'aria all' ora per una specifica configurazione di aperture j);

FIG. 5 illustra una forma di realizzazione di interfaccia grafica utente di esempio in cui è esplicitata la sezione di monitoraggio parametri fisici;

FIG. 6 illustra una forma di realizzazione di interfaccia grafica utente di esempio in cui è esplicitata la sezione di monitoraggio rischio contagio per un caso sotto soglia e 100% di occupanti vaccinati;

FIG. 7 illustra una forma di realizzazione di interfaccia grafica utente di esempio in cui è esplicitata la sezione di monitoraggio rischio contagio per un caso sotto soglia e bassa percentuale di occupanti vaccinati;

FIG. 8 illustra una forma di realizzazione di interfaccia grafica utente di esempio in cui è esplicitata la sezione di monitoraggio rischio contagio per un caso sopra soglia gestibile con apertura delle finestre;

FIG. 9 illustra una forma di realizzazione di interfaccia grafica utente di esempio in cui è esplicitata la sezione di monitoraggio rischio contagio per un caso sopra soglia gestibile solo con evacuazione delle persone;

FIG. 10 illustra tre configurazioni di apertura di una porta e due finestre in una tipica aula scolastica e corrispondenti valori assunti della variabile AER (ricambi d'aria orari);

## DESCRIZIONE DETTAGLIATA

Tutte le problematiche sopra esposte attinenti la stima corretta del rischio contagio nel tempo sono risolte, secondo il richiedente, da un sistema e un metodo complesso, quale quello proposto dalla presente invenzione, atto ad elaborare correttamente la funzione di rischio contagio  $R$  durante tutto il tempo di esposizione, di verificarne periodicamente le soglie di sicurezza e sulla base di ciò segnalare le contromisure più adatte per tenere i livelli di rischio contagio sotto determinate soglie critiche. Tali contromisure segnalate in tempo reale dal sistema potranno essere intervalli ottimali di apertura di una combinazione di porte e/o finestre, o se necessario, l'evacuazione degli occupanti in situazione di rischio critica e non risolvibile mediante ventilazione. La contromisura stabilita dal sistema potrà anche tenere conto della % dei vaccinati nel gruppo monitorato.

Tale scopo è sostanzialmente raggiunto da un metodo e un sistema di seguito illustrati e secondo una o più delle seguenti rivendicazioni, nonché secondo uno o più delle forme realizzative di seguito descritte che prevedono la rilevazione continua della concentrazione di  $CO_2$  nell'ambiente chiuso, l'eventuale rilevazione continua del numero effettivo degli occupanti  $N$ , nonché, la stima indiretta dal decadimento della concentrazione della  $CO_2$  degli effettivi livelli di ventilazione naturale derivanti dalle diverse combinazioni di apertura di porte e finestre per differenti condizioni climatiche.

In un aspetto l'invenzione riguarda un metodo generale per il controllo del rischio contagio per aerosolizzazione in un ambiente chiuso mediante apertura manuale o automatica delle finestre o mediante controllo automatico di un preesistente impianto ad aria. La contromisura di volta in volta stabilita dal sistema sulla base della stima del rischio contagio potrà anche tenere conto della % dei vaccinati nel gruppo monitorato.

Con riferimento alla Figura 1, tale sistema comprende uno o più sensori di rilevazione di  $CO_2$  con incorporati sensori di temperatura e umidità dell'aria in ambiente, anche detti multisensori (4), sensori magnetici di apertura/chiusura porte e finestre (6), una centralina di elaborazione (3) dotata di display e interfaccia utente. La centralina (3) riceve ed elabora i segnali da tutti i sensori e comunica mediante display con l'utente o gli utenti. La centralina (3) può comandare in automatico eventuali attuatori (apertura automatica) o limitarsi a segnalare mediante allarme la richiesta di apertura/chiusura manuale delle superfici finestrate poste tra l'ambiente chiuso e l'esterno dell'edificio e/o della porta di ingresso nell'ambiente chiuso. L'apertura/chiusura delle superfici finestrate comunicanti con l'esterno in eventuale combinazione con l'apertura della porta di ingresso consente la ventilazione naturale dell'ambiente chiuso, dette aperture essendo dotate di mezzi di chiusura regolabili (e.g. ante o vasistas). Preferibilmente, ma non necessariamente, dette aperture sono dotate ciascuna di un attuttore collegato alla centralina e atto a ricevere un segnale di comando inviato da quest'ultima e ad attuare detti mezzi di apertura/chiusura in funzione di detto segnale di comando al fine di regolare automaticamente l'immissione in detto ambiente chiuso di aria di rinnovo proveniente dall'esterno.

Una peculiarità che rende innovativo il sistema proposto rispetto ad arti anteriori (per quanto risultante al Richiedente) è la capacità del sistema di auto-misurare i fattori effettivi di aerazione ( $AER_j$ ) per una data combinazione  $j$  di aperture dello specifico ambiente ove verrà installato il sistema. La capacità del sistema di "auto-apprendere" i valori effettivi di aerazione di quello specifico ambiente (ad esempio di una determinata aula scolastica dotata di specifiche aperture finestrate) rende la stima del rischio contagio molto più affidabile e il controllo del rischio contagio più efficace. È noto, infatti, che i valori di aerazione in termini di effettivi ricambi d'aria all'ora siano influenzati da vari fattori difficilmente conoscibili e programmabili *a-priori* per un particolare ambiente chiuso, quali:

- differenze di temperature  $\Delta T$  diverse nei diversi mesi dell'anno tra interno ed esterno dell'

edificio (questo particolarmente nella stagione fredda)

- valori specifici di umidità relativa (UR) in ambiente
- direzione del vento e variazioni di velocità attraverso le varie superfici apribili
- ubicazione e orientamento di quella specifica aula o ambiente chiuso

Per i suddetti motivi la capacità del sistema di auto-misurare valori di aerazione nell' effettivo luogo di installazione del sistema (giorno per giorno a seguito di ogni evacuazione dell' ambiente) consente al sistema di inserire nella stima della funzione di rischio contagio  $R$  e nella verifica della "condizione di sicurezza" illustrati nella successiva sezione "Schema Generale di Funzionamento" valori assolutamente sensati e "misurati" dei parametri di aerazione  $AER_j$ . I sensori del sistema proposto potranno comunicare mediante cavo o mediante sistemi wireless come, ad esempio, il noto protocollo LoRa. Un'ulteriore peculiarità del sistema proposto è la possibilità di trasmettere i segnali già raccolti dalla centralina dell'aula verso una sistema di gestione centralizzato all' interno della scuola o anche all'esterno dell'edificio mediante ad una ricevente antenna esterna (8) collegabile ad un sistema in cloud (9), in grado di trasmettere/ricevere senza fili i dati anche a grande distanza. L'evidente vantaggio è la possibilità di creare una rete di monitoraggio wireless di aule all'interno dello stesso edificio e/o di scuole all' interno dello stesso distretto o provincia con monitoraggio e analisi dati in cloud. A supporto descrittivo della presente invenzione si allegano le Figure 1-10 precedentemente descritte.

#### Schema generale di funzionamento

Lo schema generale di funzionamento è illustrato nel diagramma di flusso delle Figure 2 e 3 e fa riferimento alla configurazione di esempio di Figura 1, ove il sistema è ipotizzato installato in un'aula di una struttura scolastica. In alcune fasi il sistema adotta la formulazione matematica di rischio contagio per aerosolizzazione della carica virale secondo noti modelli dalla letteratura scientifica quali Riley (Am. J. Epidemiol. Vol 107, n. 5, 431–432. 1978) e Gammaitoni (Emerg. Infect. Dis. 335–342., 1997). Con riferimento alle Figure sopra citate, le fasi dello schema di funzionamento sono:

100 - Inizializzazione di tutte le variabili del sistema di controllo (numero di occupanti  $N$ , valore di fondo  $CO_{20}$ , contacikli  $n=0$ ,  $t=00:00$ ,  $t_{control} = xx$  minuti,  $t_{end} =$  tempo di permanenza medio degli occupanti nello specifico ambiente considerato - nel caso di un'aula scolastica  $t_{end}= 5h$ ).

200 - Acquisizione continua del numero di occupanti  $N(t)$  dal contapersone (5). Acquisizione continua della concentrazione di anidride carbonica in aria  $CO_2(t)$ , della temperatura ambiente  $T(t)$  e dell'umidità relativa  $UR(t)$  dai sensori 4\_1 e 4\_2.

Acquisizione dello status di aperto/chiuso dalle due coppie di sensori magnetici 6\_1a+b e 6\_2a+b posti su ciascuna finestra e dalla coppia 7\_1a+b posta sulla porta di ingresso. Aggiornamento della variabile di stato  $W_j$  di segnalazione aperto/chiuso di tutte le porte e le finestre. Aggiornamento della variabile conta-cicli di controllo  $n = n + 1$ . Possibile acquisizione del numero dei soggetti vaccinati in ambiente e calcolo della relativa percentuale.

Stima del parametro emissivo medio di anidride carbonica  $\overline{ER}_{CO_2}$  applicando al segnale misurato  $CO_2(t)$  della prima mezzora ( $0 < t < 30min$ ) un fit automatico per regressione non lineare, noti il valore di fondo  $CO_{20}$  misurato senza occupanti o all' esterno

dell'edificio e i particolari valore di ricambi d' aria orari  $\overline{AER}_j$  dell' attuale configurazione  $j$  di apertura di porte e finestre dell'ambiente monitorato (inizialmente per il primo giorno di funzionamento tale parametro è definito dall' utente, successivamente è autostimato dal sistema, vedi successiva fase 390). La centralina (3) può stimare il fattore emissivo virale medio per persona dal parametro emissivo medio  $\overline{ER}_{CO_2}$  precedentemente calcolato, mediante relazione lineare  $\overline{ER}_{q,viral} = \alpha \overline{ER}_{CO_2} / \overline{N}(t)$  con  $\alpha$  desumibile per un caso di riferimento con attività respiratoria media nota, dal rapporto  $(\overline{ER}_{CO_2} / \overline{ER}_{q,viral})_0$  tra il valore medio emissivo per persona di anidride carbonica durante tale attività e il valore medio emissivo di carica virale da soggetto infetto (preso da letteratura scientifica per la specifica patologia a trasmissione aerea) durante la stessa attività di riferimento

300 - Verifica della condizione  $t = n \cdot t_{control}$  (controllo periodico della funzione di rischio  $R$ ) unita alla condizione  $N > 0$  (verifica di almeno un presente nell' ambiente). Se la condizione 300 è soddisfatta allora è necessario effettuare il controllo della funzione di rischio  $R$  e si passa alla fase 400. Se la condizione 300 non è soddisfatta si effettua un'ulteriore verifica sul numero di occupanti (350) al fine di procedere ad una stima del parametro  $AER_j$  (in assenza di occupanti)

350 – Verifica istantanea del numero di occupanti  $N$ . Se questa verifica NON è soddisfatta, ovvero se  $N=0$ , si avvia una procedura che riguarda le sotto-fasi (360, 370, 380) atta a verificare che la condizione di assenza di occupanti perduri per almeno mezzora al fine di procedere con l' autostima di un parametro di ventilazione  $AER_j$ .

360 – Acquisizione del numero degli occupanti  $N(t)$ ,  $CO_2(t)$  per 30 minuti a partire dall' istante  $t$  di avvio della fase 360

370 – Verifica periodica del numero di occupanti  $N$ . Se per tutti i 30 minuti è stato verificato  $N = 0$ , si procede all' acquisizione del parametro di aerazione  $AER$  in assenza di occupanti passando alla fase 390 (l'assenza di occupanti è necessaria per non influenzare i livelli di  $CO_2$  e quindi tale misura).

390 – Auto-misura del coefficiente di aerazione  $AER_j$  mediante il metodo del decadimento della concentrazione di  $CO_2$  in ppm a seguito di evacuazione completa dell'ambiente (secondo quanto illustrato nella Figura 4), ovvero mediante regressione non lineare con la seguente funzione esponenziale, dove  $CO_{2,start}$  è il valore di picco all' istante  $t_{start}$  della concentrazione di  $CO_2$  in ppm prima del decadimento:

$$CO_2(t) = CO_{2,0} + (CO_{2,start} - CO_{2,0})(e^{-\overline{AER}_j(t-t_{start})})$$

Il valore stimato  $AER_j$  è relativo ad una particolare combinazione  $j$  di apertura di finestre e porte e per una specifica coppia di valori di temperatura  $T$  in °C e umidità relativa  $UR$ . La terna di valori  $AER_j(T, UR)$  verrà trasmessa per archiviazione al server cloud (9) e alla centralina (3).

400 – Stima della funzione di rischio  $R_n(t)$  dall'istante attuale  $t_n$  fino al termine del tempo di esposizione  $t_{exp}$  utilizzando il valore di  $\overline{ER}_{q,viral}$  ricavato alla fase 200 e i valori  $AER_j$  automisurati alle fasi 370-390 mediante stima numerica approssimata della formula:

$$R_n(t_n < t \leq t_{exp}) = 1 -$$

$$e^{-p_a \int_0^{t_{exp}} q_{viral}(t, \overline{ER}_{q,viral}, N, AER_j(t \leq t_n), AER_{j,last}(t > t_n), \lambda) dt} \approx 1 -$$

$$e^{-p_a \int_0^{t_n} \frac{\overline{ER}_{q,viral}}{AER_j(t \leq t_n) + \lambda} [1 - e^{-(AER_j(t \leq t_n) + \lambda)t}] dt} + \int_{t_n}^t \frac{\overline{ER}_{q,viral}}{AER_{j,last}(t > t_n) + \lambda} [1 - e^{-(AER_{j,last}(t > t_n) + \lambda)t}] dt$$

(\*)

Dove:  $p_a$  indica il tasso medio di inalazione polmonare delle persone esposte durante l'attività specifica che svolgono in tale ambiente; ,  $q_{viral}(t)$  indica la concentrazione istantanea complessiva di carica virale (quanta/m3) per diffusione in detto ambiente secondo il modello di Riley-Gammaitoni emessa da una o più sorgenti infettive;  $AER_j(t)$  è una funzione dei valori di ricambi d'aria nel tempo composta da una parte  $AER_j(t < t_n)$  antecedente l'istante attuale  $t_n$  che contiene lo storico dei valori  $AER_j$  come rilevati dalla registrazione delle aperture dei sensori magnetici (6) e da una parte futura  $AER_j(t > t_n)$  che ipotizza l'ultimo ciclo di apertura ripetuto ciclicamente dall'istante attuale fino al raggiungimento del tempo totale di esposizione  $t_{exp}$ .

$\lambda$  è un valore costante desumibile da letteratura scientifica che corrisponde ad un valore di aerazione corrispondente al tasso di auto-disattivazione della carica virale in ambiente.

Verifica della “condizione di sicurezza” che definisce il più basso livello di rischio L0 (rischio molto basso) sulla base della funzione di rischio  $R_n$  calcolata al ciclo di controllo n-esimo per valori della variabile temporale  $t$  compresi tra l'istante attuale e il tempo totale di esposizione:

$$L0: R_n(t_n < t \leq t_{exp}) < k \frac{1}{N(t_n)} \quad (**)$$

Per la verifica della “condizione di sicurezza” L0 è necessaria la lettura del numero istantaneo  $N(t_n)$  di occupanti all'istante  $t_n$ . La formula estesa di  $R_n$  è riportata in (\*). La condizione (\*\*) esprime matematicamente l'assenza di possibili contagi per aerosolizzazione in un gruppo di  $N$  persone già esposte per un tempo  $t$  e fino alla fine del tempo di esposizione, ove sia supposta la presenza di una sorgente infettiva, mediante il modello di Riley-Gammaitoni-Nucci adattato alla situazione in oggetto (ovvero con volume dell'aula noto e noti gli specifici fattori di aerazione dell'ambiente chiuso).

$t_{exp}$ : tempo di permanenza in ambiente degli occupanti assunto come tempo totale di esposizione. Nel caso di un'aula scolastica corrisponde normalmente a 5 ore.

Se la condizione (400) è soddisfatta ovvero se il livello di rischio attuale e previsto è molto basso, non lanciare alcun segnale di allarme e passa alla fase (450).

Se la condizione (400) NON è soddisfatta allora passa alla fase 500 (contromisure per abbassare il rischio contagio).

450 - [opzionale in caso di lettura del dato %vaccinati] verifica la %vaccinati se pari al 100% degli occupanti.

460 - [opzionale in caso di lettura del dato %vaccinati] se (450) è verificata, segnala la possibilità di togliere le mascherine e torna alla fase (200)

470 - [opzionale in caso di lettura del dato %vaccinati] se (450) non è verificata, segnala la necessità per tutti gli occupanti di tenere indossate le mascherine e torna alla fase (200)



500 – Poichè durante il ciclo di controllo n-esimo la “condizione di sicurezza” (\*\*) per il più basso livello di rischio (L0) non è stata verificata, si aprono diversi scenari in base al valore attuale della funzione di rischio  $R_n(t_n) = R_{tn}$  e al valore finale al termine del previsto tempo di esposizione  $R_n(t_{exp}) = R_{texp}$ , in base ai quali la centralina invierà uno specifico segnale di allarme alle persone occupanti in ambiente e comunicherà una specifica contromisura da attuarsi nell’aula al fine di ridurre più o meno rapidamente il rischio contagio e soddisfare nuovamente la “condizione di sicurezza”.

Tale specifico segnale potrà differenziarsi per differenti livelli di rischio in base al valore assegnato al parametro di sicurezza  $k$  e richiederà differenti livelli di contromisure corrispondenti che l’operatore o gli occupanti potranno attivare. Un possibile valore di  $k$  è, ad esempio, 0.5 che dimezza la soglia di rischio di un contagio, rendendola il doppio più stringente. A titolo puramente esemplare si potranno definire quattro livelli di rischio (basso L1, intermedio L2, elevato L3, molto alto L4) così definiti:

- L1:  $k \cdot 1/N \leq R_{texp} < 1/N \vee (R_{texp,2} < k \cdot 1/N)$   
 L2:  $(R_{tn} < k \cdot 1/N) \vee (R_{texp} \geq 1/N) \vee (R_{texp,2} < k \cdot 1/N)$   
 L3:  $(R_{tn} > k \cdot 1/N) \vee (R_{texp} \geq 1/N) \vee (R_{texp,2} < k \cdot 1/N)$   
 L4:  $(R_{texp} \geq 1/N) \vee (R_{tn} > k \cdot 1/N) \vee (R_{texp,2} > k \cdot 1/N)$

I primi tre livelli L1-L3 sono tali che la nuova funzione di rischio  $R_{texp,2}$  calcolata al termine del tempo di esposizione  $t_{exp}$  soddisfi nuovamente la condizione di sicurezza L0.

In riferimento ad esempio alla Figura 1 (illustrante una tipica aula scolastica con tre aperture ovvero due finestre e una porta) e alla Figura 9 si segnaleranno quindi differenti configurazioni di aerazione manuale tali che:

- al livello di rischio L1 corrisponda la richiesta di apertura di una sola finestra e un livello minimo di aerazione  $AER_1$
- al livello di rischio L2 corrisponda la richiesta di apertura di entrambe le finestre e un livello intermedio di aerazione  $AER_{12}$
- al livello di rischio L3 corrisponda la richiesta di tutte le aperture (sia finestre che porte) a cui far corrispondere il massimo livello di aerazione  $AER_{all}$

In questo esempio specifico e non limitante, durante questa fase (500) la centralina calcolerà un nuovo ciclo di apertura/chiusura ciclica definito dal rapporto  $t_{ow} / t_{cw}$  ( $t_{ow}$  = tempo di apertura,  $t_{cw}$  = tempo di chiusura) delle superfici apribili nella configurazione  $j$  suggerite dalla centralina tale da aversi nuovamente soddisfatta la “condizione di sicurezza” L0 in (400) con la nuova funzione di rischio  $R_{texp,2}$  calcolata con il nuovo ciclo di aerazione  $AER_{j2}(t_{ow} / t_{cw})$  in cui sono state aumentate progressivamente il numero delle aperture. Esempi di funzioni  $AER(t_{ow} / t_{cw})$  sono illustrate con linee tratteggiate di diversi colori nelle Figure 6-9. Sulla base del nuovo ciclo di apertura la centralina segnerà sul display (TSD) gli intervalli di apertura/chiusura di una combinazione ottimale  $j$  di porte e finestre.

Qualora infine non fosse possibile soddisfare la “condizione di sicurezza L0” neanche con il massimo valore di ventilazione naturale ottenibile  $Max[AER_{j2}]$ , ovvero con per nessun nuovo valore  $R_{texp,2}$ , si configura una situazione di rischio contagio molto alto non sanabile per nessuna combinazione di apertura di porte e finestre (L4):

- al questo livello di rischio L4 corrisponderà una richiesta di evacuazione dell' ambiente chiuso, come illustrato in Figura 10.

NOTA: Una versione ulteriormente migliorativa della presente invenzione potrà considerare la chiusura/apertura ottimale in base ai gradienti termici stagionali misurati tra ambiente ed esterno dell' edificio

Ad esempio se la differenza di temperatura è maggiore di una soglia e.g di 15 °C, ciò corrisponde ad una condizione invernale e ai fini del comfort termoigrometrico e dell' efficienza energetica il sistema suggerirà sempre la chiusura di tutte le aperture una volta ottenuto un livello di aerazione minimo per un tempo minimo  $t_{ow}$  atto a soddisfare la “condizione di sicurezza” 400 e un' ulteriore vincolo sul calo di temperatura in ambiente (ad esempio:  $T > 19^{\circ}\text{C}$  sempre).

Se, al contrario, la differenza di temperatura sarà di pochi gradi centigradi (clima moderatamente estivo), il sistema potrà segnalare invece una combinazione ottimale di apertura/chiusura nella quale non verranno mai chiuse tutte le finestre ma soltanto alcune mentre altre resteranno sempre aperte o parzialmente aperte (nel caso ad esempio di sistemi di chiusura a vasistas o mediante fermafinestre), atte sempre a garantire il soddisfacimento della “condizione di sicurezza”400 e, ad esempio,  $T > 19^{\circ}\text{C}$  .

600 – Segnalazione di allarme in quanto la funzione di rischio contagio predittiva ha superato la soglia di sicurezza L1 (rischio moderato) e indicazione tramite display di apertura di una sola finestra corrispondente a un livello di aerazione  $AER_1$  con tempi ciclici di apertura/chiusura ( $t_{ow}/t_{cw}$ )1 – Aggiornamento status di apertura finestre e porta nella variabile W.

700 – Segnalazione di allarme in quanto la funzione di rischio contagio predittiva ha superato la soglia di sicurezza L2 (rischio intermedio) e richiesta tramite display di apertura di entrambe le finestre corrispondenti a un livello di aerazione intermedio  $AER_{12}$  con tempi ciclici di apertura/chiusura stimati dalla centralina ( $t_{ow}/t_{cw}$ )<sub>12</sub>. Aggiornamento status di apertura finestre e porta nella variabile W.

800 – Segnalazione di allarme in quanto la funzione di rischio contagio predittiva ha superato la soglia di sicurezza L3 (rischio elevato) e indicazione tramite display di apertura di tutte le finestre e le porte dell' ambiente chiuso. Ciò corrispondente al massimo livello di aerazione naturale  $AER_{all}$  con tempi ciclici di apertura/chiusura ( $t_{ow}/t_{cw}$ )<sub>all</sub>. Aggiornamento status di apertura finestre e porta nella variabile W.

900 – Segnalazione di allarme in quanto la funzione di rischio contagio predittiva ha superato la soglia di sicurezza L3 (rischio elevato) e indicazione tramite display di apertura di tutte le finestre e le porte dell' ambiente chiuso. Ciò corrispondente al massimo livello di aerazione naturale  $AER_{all}$  con tempi ciclici di apertura/chiusura ( $t_{ow}/t_{cw}$ )<sub>all</sub>. Aggiornamento status di apertura finestre e porta nella variabile W.

Esempio: sistema di controllo del rischio contagio per aerosolizzazione in un'aula scolastica.

Segue una descrizione dettagliata di una forma di realizzazione esemplare, ma non esclusiva, di un metodo e un relativo sistema di controllo della qualità dell'aria in un ambiente chiuso (aula scolastica) in accordo con la presente invenzione. Tale descrizione verrà esposta qui di seguito con riferimento al disegno allegato di Figura 1 (schematico e non in scala) e allo schema a blocchi generale delle Figure 2 e 3.

L' esempio raffigurato in Figura 1 rappresenta il sistema oggetto della presente invenzione per una tipica aula scolastica o universitaria o similare dotata in questo caso di sole due superfici finestrate apribili (per semplicità descrittiva). In riferimento a tale figura si hanno l'ambiente chiuso aula identificato dal numero 2, le due superfici finestrate apribili (6\_1 e 6\_2) e una porta di ingresso (7).

All' interno di detta aula uno o più sensori interni di CO<sub>2</sub> (4a e 4b) e un sensore esterno opzionale (4c) sono operativamente collegati alla centralina (3) e atti a rilevare in almeno un punto dell'ambiente chiuso un valore istantaneo rappresentativo della concentrazione reale assoluta e relativa di biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), ove la concentrazione relativa è calcolata o sottraendo dal segnale dei sensori interni il segnale di fondo misurato all' esterno dal sensore (4c) o, in assenza di sensore esterno, sottraendo il segnale di equilibrio misurato dagli stessi sensori interni in assenza di occupanti.

Un ulteriore sensore è posto in prossimità della porta di ingresso con la funzione di contapersone (5), in grado di trasmettere alla centralina il numero N di occupanti in aula ad un dato istante.

La centralina è inoltre dotata:

- di un display (TSD)
- di un'interfaccia utente con il quale l'utente può inserire i dati di inizializzazione e configurare taluni parametri
- di un sotto-sistema di comunicazione dei dati verso ricevente esterna (8) mediante trasmettitore wireless su protocollo LoRa [LoRa] che consente poi il successivo archivio in web-cloud (9) di tutti i dati misurati dai sensori per una successiva elaborazione e ritrasmissione alla centralina.

In alternativa la centralina stessa (3) potrà fungere da "data logger" mediante apposito sistema locale di archiviazione (e.g. tipicamente memorie estraibili del tipo "SD card") atto a consentire l' archiviazione di tutti i valori istantanei inviati dai sensori per un tempo di monitoraggio complessivo di almeno una settimana (ovvero almeno 168 ore) con risoluzione temporale fino ad un minuto.

Viene di seguito dettagliato attraverso uno schema per fasi A-B-C-D-E il calcolo della funzione di rischio contagio per aerosolizzazione in un'aula scolastica dalla misura della concentrazione di CO<sub>2</sub> in ppm in quell' ambiente.

A - Occorre innanzitutto la stima dei parametri di aerazione per una data combinazione j di apertura/chiusura di porte e finestre (AER<sub>j</sub>). I valori iniziali dei parametri di ventilazione associati all' apertura di una o più finestre/porte sono inseriti manualmente nella centralina il primo giorno di funzionamento del sistema (dedotti dalla letteratura tecnica in base all' area delle superfici finestrate e alla differenza di temperatura T in °Cra interno ed esterno dell'ambiente secondo la norma [EN16798:2018]).

In seguito, tali valori AER<sub>j</sub> possono essere aggiornati in automatico dal sistema di controllo (si vedano le fasi 360-390 dello schema generale) che assocerà ad ogni valore misurato di AER<sub>j</sub> una coppia di valori di Temperatura e Umidità Relativa a sua volta

istantaneamente misurati cosicché la centralina sia in grado di recuperare in automatico il valore  $AER_j$  ottimale per quella particolare coppia di valori (T, UR) misurata ad un dato istante in ambiente.

Elenco livelli di aerazione associati ad una particolare configurazione delle aperture (per ciascuna apertura potranno esserci due livelli: apertura parziale, livello ON1; apertura completa, livello ON2 - si veda anche la Figura 9):

AER1 – ricambi d'aria all'ora per apertura sola finestra1

AER2 – ricambi d'aria all'ora per apertura sola finestra2

AER12 – ricambi d'aria all'ora per apertura entrambe le finestre 1 e 2

...

AERdoor – ricambi d'aria all'ora per apertura sola porta ingresso

AERdoor1 – ricambi d'aria all'ora per apertura porta + finestra1

AERdoor2 – ricambi d'aria all'ora per apertura porta + finestra2

AERdoor12 – ricambi d'aria all'ora per apertura porta + finestra1 + finestra2

B – Si passa quindi ad elaborare il segnale misurato della  $CO_2$  rilevato in ambiente per il calcolo dei fattori emissivi medi di  $CO_2$  ( $\overline{ER}_{CO_2}$ ) e di carica virale ( $\overline{ER}_{q,viral}$ ) degli occupanti (fase 200 dello schema generale). Ipotesi di funzionamento: nessun presente in ambiente prima dell'istante zero e livello di fondo della concentrazione di  $CO_2$  in ppm misurato senza occupanti coincidente con il livello all'esterno dell'edificio a meno di un errore trascurabile.

Dalla prima rampa di salita della concentrazione assoluta  $C_{CO_2}(t)$  di durata  $t_1=30min$ , e dal monitoraggio dei occupanti  $N(t)$  per i primi 30 minuti, si ricava il fattore emissivo medio di  $CO_2$  per persona  $\overline{ER}_{CO_2}/\bar{N}$  dove  $\bar{N}$  è il numero di occupanti medio nell'intervallo considerato ( $N$  è acquisito periodicamente alla fase 350).

C - Dal parametro emissivo medio  $\overline{ER}_{CO_2}$  calcolato in B si calcola il fattore emissivo virale medio per persona presente  $\overline{ER}_{q,viral} = \alpha \overline{ER}_{CO_2} / \bar{N}(t)$  con  $\alpha$  desumibile per un caso di riferimento 0, dal rapporto  $(\overline{ER}_{CO_2} / \overline{ER}_{q,viral})_0$  tra il valore medio emissivo per persona di anidride carbonica  $\overline{ER}_{CO_2,0}$  e il valore medio emissivo di carica virale da soggetto singolo per specifica patologia a trasmissione aerea con attività respiratoria nota associabile al caso di riferimento

D - Mediante la stima di  $\overline{ER}_{q,viral}$  calcolata al punto C viene calcolata la funzione di rischio  $R$  (\*) per il restante tempo di esposizione  $t > t_1$  fino al tempo di fine esposizione  $T_{exp}$  (per una scuola sono  $T_{exp} = 5$  ore di lezione, per un bar, un ufficio, un ristorante tale parametro verrà definito dall'utente, in genere il tempo di esposizione medio coincide con il tempo di permanenza medio di una persona in quell'ambiente). Nel calcolo di  $R$  i fattori di aerazione  $AER_j$  potranno assumere soltanto valori di ricambi d'aria all'ora misurati in quello specifico ambiente dalla centralina o potranno essere definiti dall'utente. La centralina provvederà alla costruzione automatica di un database di valori misurati  $AER_j(temp, UR)$  giorno dopo giorno dall'analisi del decadimento della concentrazione di  $CO_2$  in ppm a locale chiuso ed evacuato, associandolo a diversi valori misurati di temperatura e umidità relativa di quel particolare giorno.

E - Controllo periodico della “condizione di sicurezza” (\*\*) ad ogni intervallo  $t_n$  (400). Nella “condizione di sicurezza” viene introdotto un coefficiente di sicurezza  $k$  non fissato con valori compresi tra zero e uno ( $0 < k \leq 1$ ) da determinarsi anche in base a specifiche normative di sicurezza e ed eventuali adeguamenti, atto a prevedere la possibilità di abbassare ulteriormente la soglia critica di rischio di un contagio al termine del tempo di esposizione.

Se la “condizione di sicurezza” (\*\*) durante un ciclo di controllo non è verificata, il sistema invia alla centralina un segnale di allarme per l’attivazione di una contromisura in base agli identificati livelli di rischio L1-L4. Tale contromisura potrà essere l’apertura periodica di una combinazione  $j$  di porte e finestre di quell’ aula corrispondenti ad un livello di ricambi d’aria effettivi AERj in funzione anche della T e UR misurate (L1-L3) o l’evacuazione dell’aula se l’ attuale livello di rischio è troppo elevato per ridursi con contromisure di sola ventilazione (L4). La durata minima periodica di apertura  $t_{ow} / t_{cw}$  (rapporto intervalli periodici di apertura-chiusura) è sempre derivata dalla “condizione di sicurezza” sulla funzione di rischio  $R$  ma calcolata stavolta come equazione (e non disequazione) per  $t = t_{exp}$ , ovvero al termine previsto del tempo di esposizione, tale da aversi  $R_{t_{exp}} = k * \frac{1}{N(t_n)}$  ovvero tale che il rischio contagio al termine del tempo di esposizione sia ben al di sotto della soglia critica di un contagio. La centralina segnala quindi la richiesta di apertura delle finestre e della porta in una configurazione  $j$  con nuovo ciclo  $t_{ow} / t_{cw}$ . In caso di impossibilità di abbassamento del livello di rischio sotto soglia critica con nessuna nuova funzione di aerazione, il sistema segnala la richiesta di evacuazione (parziale o totale) degli occupanti (Fig. 9).

F - Ripetizione ciclica dei punti B-E ogni  $t_{ot}$  minuti stabiliti dalla variabile di controllo  $t_{control}$  (tale che  $t_n = n * t_{control}$ ) al fine di tenere la funzione di rischio predittiva  $R_n(t_n < t \leq t_{exp})$  sempre al di sotto della soglia critica di un contagio per il gruppo di persone occupanti in ambiente.

Ad ogni  $t_{control}$  minuti verrà aggiornato la lettura del numero di occupanti  $N(t_n)$ , ri-effettuata la stima predittiva del rischio contagio  $R_n(t_n < t \leq t_{exp})$  secondo la (\*) e ri-verificata la condizione (\*\*).

Tale punto dell’algoritmo risolutivo corrisponde alle fasi 200-400 dello schema a blocchi generale descritto nelle Fig. 2 e Fig. 3.

## RIVENDICAZIONI

Annesse alla domanda di brevetto per INVENZIONE INDUSTRIALE avente per titolo  
**“METODO E SISTEMA DI CONTROLLO DEL RISCHIO CONTAGIO PER AEREOSOLIZZAZIONE DELLA CARICA VIRALE NEGLI AMBIENTI CHIUSI”**

A nome dell' Inventore: ZIVELONGHI Alessandro

\*\*\*\*\*

1. Un metodo per il monitoraggio predittivo automatico e controllo del rischio contagio da patologie virali a trasmissione aerea per aerosolizzazione in un ambiente chiuso; tale metodo è caratterizzato da:
  - lettura continua (200) e trasmissione all'unità di controllo (3), della concentrazione di CO2 in ppm, della temperatura T in °C, dell' umidità relativa % UR mediante uno o più multisensori (4) e del numero di occupanti N in ambiente o tramite un contapersone (5) o tramite immissione manuale del dato
  - elaborazione periodica da parte dell'unità di controllo (3), con periodo definito dalla variabile di ciclo tcontrol tale che l'istante attuale  $t_n$  dopo n cicli di controllo sia pari a  $t_n = n \cdot t_{control}$ , della funzione di rischio predittiva  $R_n(t_n < t \leq t_{exp})$  calcolata dall' istante attuale  $t_n$  fino al tempo totale di esposizione  $t_{exp}$  mediante stima numerica approssimata della formula, con riferimento all' n-simo ciclo di controllo (300, 400):

$$R_n(t_n < t \leq t_{exp}) = 1 - e^{-p_a \int_0^{t \leq t_{exp}} q_{viral}(t, \overline{ER}_{q,viral}, N, AER_j(t \leq t_n), AER_{j,last}(t > t_n), \lambda) dt} \approx 1 - e^{-p_a \int_0^{t_n} \frac{\overline{ER}_{q,viral}}{AER_j(t \leq t_n) + \lambda} \left[ 1 - e^{-(AER_j(t \leq t_n) + \lambda)t} \right] dt + \int_{t_n}^t \frac{\overline{ER}_{q,viral}}{AER_{j,last}(t > t_n) + \lambda} \left[ 1 - e^{-(AER_{j,last}(t > t_n) + \lambda)t} \right] dt}$$

dove,  $p_a$  indica il tasso medio di inalazione polmonare (m3/h) delle persone esposte in ambiente chiuso durante l'attività specifica che esse si trovano a svolgere in tale ambiente;  $q_{viral}(t)$  indica la concentrazione istantanea complessiva di quanta di carica virale (unità di misura: quanta/m3) emessa da una sorgente infettiva e diffusa in detto ambiente secondo il modello di Riley-Gammaitoni;  $AER_j(t)$  (unità di misura: h<sup>-1</sup>) indica la variazione nel tempo dei valori di ricambi d'aria orari per ventilazione naturale dell' ambiente chiuso ed è composta da una parte  $AER_j(t \leq t_n)$  antecedente l' istante attuale  $t_n$  (contenente lo storico dei valori di aerazione come rilevati dalla registrazione delle aperture dei sensori (6) di apertura) e da una parte futura rispetto l'istante attuale  $AER_{j,last}(t > t_n)$  che ipotizza l'ultimo ciclo di apertura ripetuto ciclicamente dall' istante attuale  $t_n$  fino al raggiungimento del tempo totale di esposizione  $t_{exp}$ ;  $\overline{ER}_{q,viral}$  è il parametro emissivo medio per occupante di carica virale (quanta/h) che può essere calcolato mediante formula  $\overline{ER}_{q,viral} = \alpha \overline{ER}_{CO_2} / \overline{N}(t)$  dove il fattore di correlazione  $\alpha$  può essere ricavato per un

caso di riferimento di nota attività respiratoria media per persona, e  $\overline{ER}_{CO_2}$  è il fattore emissivo totale di anidride carbonica a sua volta ricavabile per regressione non lineare dal segnale della concentrazione di CO2 misurato dai sensori (4) in ambiente, noti il valore di fondo  $CO2_0$  misurato senza occupanti (o all' esterno dell' edificio) e i valori specifici di ricambi d' aria  $\overline{AER}_j$  associati ad una particolare configurazione  $j$  di apertura di porte e finestre dell' ambiente monitorato;  $\lambda$  è un valore costante, sempre desumibile da letteratura scientifica, che corrisponde al tasso di auto-disattivazione della carica virale in ambiente e misurato in ricambi d' aria orari equivalenti

- auto-misurazione (350-390) da parte dell'unità di controllo (3) del numero dei ricambi d'aria orari in detto ambiente associabili ad una specifica configurazione  $j$  delle aperture dell' ambiente chiuso verso l' esterno ( $AER_j$ ) dovuti all' apertura singola o combinata di porte e finestre dello specifico ambiente ove è installato il sistema (segnalata dai sensori di apertura 6 e 7), mediante analisi di regressione non lineare dell' intervallo di decadimento della concentrazione di CO2 in ppm in assenza di occupanti mediante l'impiego della seguente funzione di decadimento esponenziale:

$$CO2(t) = CO2_0 + (CO2_{start} - CO2_0)(e^{-\overline{AER}_j(t-t_{start})})$$

dove  $CO2_{start}$  è il valore di picco misurato dal sensore (4) all' istante  $t_{start}$  della concentrazione di CO2 in ppm prima del decadimento e  $CO2_0$  è il valore di fondo misurato o all' esterno dell' edificio o nell' ambiente chiuso in assenza di occupanti trascorsi almeno 30 minuti dalla completa evacuazione dello stesso

- verifica (400) da parte dell'unità di controllo (3) del non-superamento da parte della funzione di rischio  $R_n(t \geq t_n)$ , calcolata all'istante attuale  $t_n$ , delle soglie critiche di rischio contagio  $k \frac{1}{N(t_n)}$  mediante disequazione, di seguito nominata "condizione di sicurezza" (\*\*), da verificarsi per tutti i valori della funzione di rischio  $R_n(t_n < t \leq t_{exp})$  per valori della variabile temporale  $t$  che vanno dall'istante attuale  $t_n$  fino al raggiungimento del tempo totale di esposizione previsto  $t_{exp}$ :

$$L0: R_n(t_n < t \leq t_{exp}) < k \frac{1}{N(t_n)} \quad (**)$$

ove  $k$  è un coefficiente di sicurezza con valori compresi tra zero e uno ( $0 < k < 1$ ) atto ad abbassare le soglie di rischio (rendendole più stringenti) e definire i differenti livelli di rischio, da determinarsi anche in funzione di presenti e future normative di sicurezza specifiche

- in caso di non soddisfacimento della "condizione di sicurezza" (\*\*), determinazione da parte dell'unità di controllo (3) degli effettivi livelli di rischio attuali (500) in base ai valori di  $R_{t_n} = R_n(t_n)$  (livello di rischio calcolato all' istante attuale  $t_n$  durante il ciclo di controllo attuale  $n$ );  $R_{t_{exp}} = R_n(t_{exp})$  (livello di rischio previsto al raggiungimento del tempo di esposizione  $t_{exp}$  calcolato durante il ciclo attuale di

controllo n con l' ultima funzione di aerazione  $AER_{j,last}(t_{ow} / t_{cw})$  -  $t_{ow}$  = tempo di apertura,  $t_{cw}$  = tempo di chiusura);  $R_{texp,2}$  (livello di rischio previsto al raggiungimento del tempo di esposizione  $t_{exp}$  con il nuovo ciclo di aerazione  $AER_{j2}(t_{ow} / t_{cw})$  ottenuto con una nuova combinazione j2 ed un aumentato numero di aperture in ON a cui corrisponde un valore progressivamente maggiore dei ricambi d'aria nell' ambiente chiuso)

- segnalazioni agli occupanti nello specifico ambiente monitorato, attraverso il display (TSD) dell'unit  di controllo (3), delle contromisure da adottarsi in base ai differenti livelli di rischio che si traducono in differenti livelli di aerazione manuale attivabili da differenti configurazioni di apertura e chiusura delle finestre/porte dell' ambiente chiuso (600, 700, 800); nel caso di impossibilit  di soddisfare la condizione di sicurezza (\*\*) con nessun livello di ventilazione naturale attivabile dalle possibili configurazioni di apertura, segnalazione della contromisura di evacuazione degli occupanti (900)
- segnalazione ad un eventuale centro di controllo esterno all' ambiente chiuso delle richieste di apertura e chiusura delle finestre/porte dello specifico ambiente e/o evacuazione ove   installato il sistema di monitoraggio e controllo di cui alla presente invenzione mediante rappresentazioni grafiche nel display posto nella centralina (3)
- suggerimento agli occupanti (600, 700) degli intervalli minimi periodici di apertura/chiusura delle finestre (segnalati dall' interfaccia grafica) che, mediante attivazione dei fattori di ricambio d'aria naturale con corrispondenti livelli di aerazione  $AER_j$ , permettono alla funzione di rischio R di soddisfare la predetta "condizione di sicurezza" per tutto il restante tempo di esposizione fino al raggiungimento del tempo totale di esposizione  $t_{exp}$  e che permettano anche di soddisfare un eventuale vincolo di comfort termico sulla temperatura rilevata nell'ambiente chiuso sempre dal dispositivo multisensore (4).

## 2. Un sistema di componenti hardware atto ad implementare il metodo della rivendicazione 1 in uno qualsiasi dei suoi aspetti, comprendente:

- una unit  di controllo (3) per ogni ambiente da monitorare, comprendente: un microcontrollore e un'interfaccia utente visualizzabile su display (TSD), collegata ai suddetti multisensori (4), al contapersone (5), ai sensori di apertura delle finestre (6) e delle porte (7) e agli eventuali attuatori di apertura automatica delle stesse, configurata per:
  - o calcolare e aggiornare la detta funzione di rischio contagio per aerosolizzazione in funzione del tempo  $R_n(t)$  per tutto il tempo di esposizione, nonch  verificare periodicamente la detta "condizione di sicurezza"
  - o automisurare i fattori di aerazione  $AER_j(\Delta T, UR)$  da decadimento della concentrazione di CO2 in ppm rilevata dal multisensore (4); archiviare tali valori in un dataset aggiornato giornalmente di valori di aerazione  $AER_j(\Delta T, UR)$  con valori indicizzati per giorno e ora del tipo:  $AER_j - \Delta T - UR - GGMMAAAA - HH:MM$

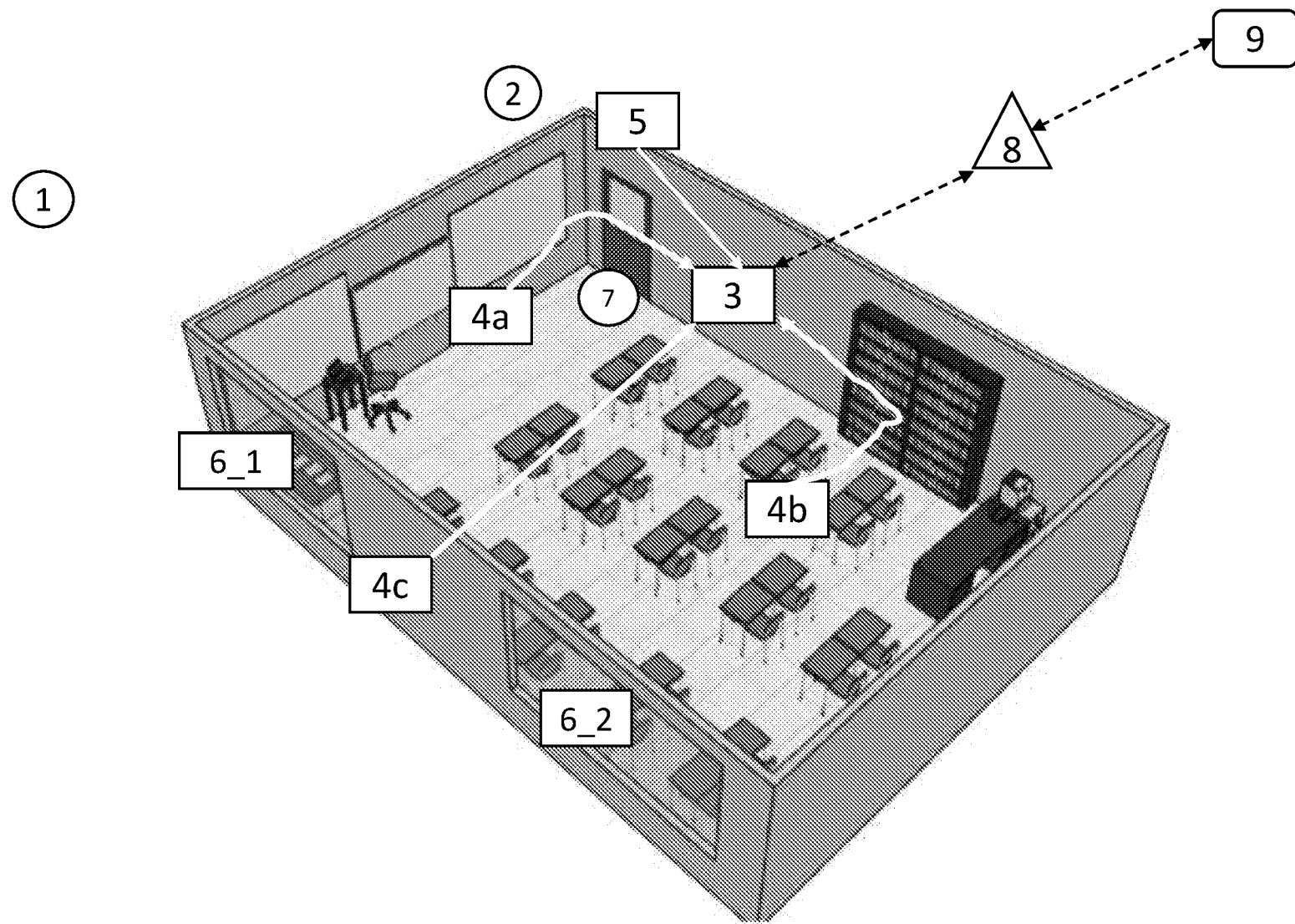


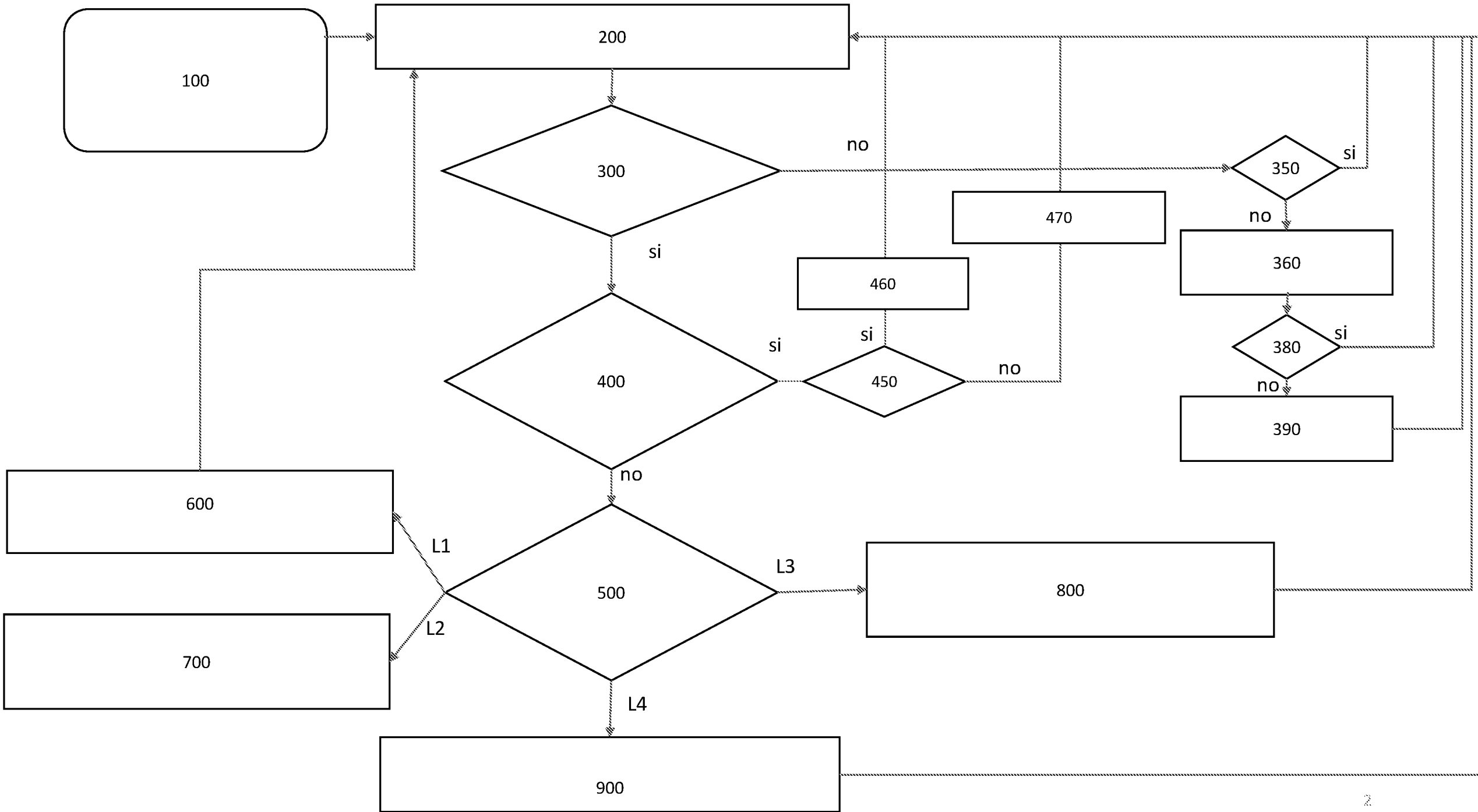
- uno o più multi-sensori (4) all'interno dell'ambiente (2) atti ciascuno a monitorare in continua e trasmettere all'unità di controllo (3) la concentrazione (in ppm) di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), la temperatura e l'umidità relativa (UR) e, preferibilmente, anche un multi-sensore posto all'esterno dell'edificio per la misura dei valori di fondo della concentrazione di CO<sub>2</sub>, e della temperatura e UR esterne
  - un contapersone (5) per la corretta stima del numero di occupanti ad ogni istante (da realizzarsi ad esempio mediante telecamere stereoscopiche) atto a stabilire sia il valore istantaneo degli occupanti  $N(t)$  nonchè l'elaborazione del valor medio degli stessi in un dato intervallo, eventualmente sostituibile da inserimento manuale del valore medio di  $N$
  - almeno una e preferibilmente due coppie (aa+bb) di sensori magnetici per ogni apertura finestrata (6) o porta (7) (siano esse a battente o a scorrimento) atti a monitorare periodicamente lo stato di apertura/chiusura di porte e finestre segnalando due livelli di parziale (ON1) e totale (ON2) apertura
  - un dispositivo trasmettitore/ricevitore bidirezionale montato sulla centralina deputato alla trasmissione/ricezione dei dati wireless mediante, ad esempio, protocollo senza fili LoRa all'interno e all'esterno dell'edificio atta a consentire anche una possibile gestione delle segnalazioni esterna all'ambiente chiuso monitorato ma interna all'edificio ed anche configurazioni multizonali centralizzate sia interne che esterne all'edificio
  - un dispositivo di accesso, visualizzazione, elaborazione e trasmissione remota dei segnali in CLOUD e invio delle relative segnalazioni di allarme al dispositivo trasmettitore/ricevitore bidirezionale montato sulla centralina mediante, ad esempio, protocollo senza fili LoRa al fine di consentire una gestione remota delle segnalazioni
3. Un programma per computer comprendente istruzioni che, quando il programma è eseguito dal sistema hardware della rivendicazione 2, esegue il metodo della rivendicazione 1.
4. Un programma per computer comprendente istruzioni che, quando eseguito da un sistema hardware descritto dalla rivendicazione 2, eseguendo il metodo della rivendicazione 1 in tutte le sue possibili fasi, assicura il funzionamento, sia in modalità manuale che automatica del sistema di segnalazione e controllo del rischio contagio per aerosolizzazione oggetto della presente invenzione, ove, nella modalità manuale, tale programma:
- riceve dall'utente una sola volta i dati di input per la configurazione iniziale del sistema in quella specifica aula (200) e invia i dati di input all'unità di elaborazione come mostrato nella Sezione "Parametri di Input" del touch-screen (TSD), includendo tali dati di input il volume dell'aula  $V$ , il tempo di controllo  $t_{control}$  e i coefficienti di aerazione  $AER_j$  dell'aula definiti dall'utente; se necessario, ovvero in assenza di monitoraggio automatico del numero di occupanti in ambiente, anche il numero di occupanti  $N$  è inserito e fissato manualmente dall'utente alla sezione "Parametri di Input"

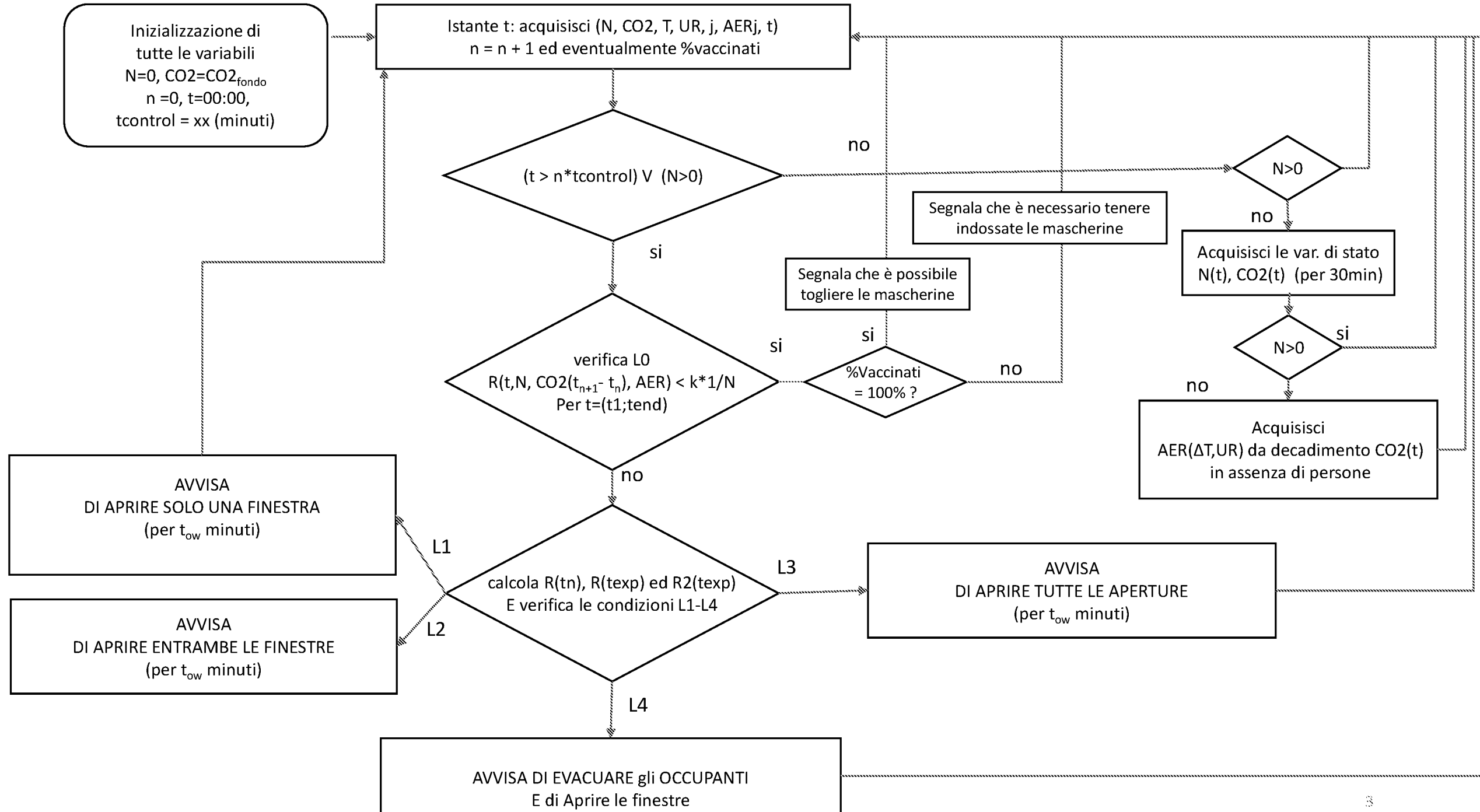
- invia in continua (o comunque con intervalli temporali non superiori a 1 minuto) alla centralina (3) e al server cloud (9) il segnale della concentrazione di CO<sub>2</sub> in ppm e i parametri fisici di temperatura T in °C, umidità relativa % UR rilevata nell'aula dai multisensori (4), lo stato ON/OFF di apertura di porte e finestre come rilevato dai sensori di apertura (6), e in caso di monitoraggio automatico degli occupanti anche il numero N di occupanti rilevato dal contapersone (5)
- elabora la funzione di rischio  $R_n$  e la relativa "condizione di sicurezza", e, previa verifica dello stato attuale di apertura/chiusura delle porte e delle finestre mediante ricezione dei segnali ON/OFF dai sensori di apertura 6, invia le segnalazioni di richiesta di apertura/chiusura di porte e finestre e/o evacuazione (se necessario) sul display TSD della centralina (3) mediante interfaccia grafica

mentre, nella modalità automatica, tale programma:

- riceve dall'utente una sola volta solamente il volume dell'aula V e l'intervallo di controllo  $t_{control}$  alla sezione "Parametri di input" del touch-screen display (TSD)
- invia continuamente (o comunque con intervalli di rilevazione non superiori al minuto) alla centralina (3) e al server cloud (9) il segnale della concentrazione di CO<sub>2</sub> in ppm e i parametri fisici di temperatura T in °C, umidità relativa % UR rilevata nell'aula dai misuratori a multisensore (4), lo stato di apertura di porte e finestre come rilevato dai sensori di apertura (6) e il numero N di occupanti rilevato dall'eventuale contapersone (5)
- elabora periodicamente la funzione di rischio  $R_n$  e verifica la relativa "condizione di sicurezza", nonché verifica lo stato attuale di apertura/chiusura delle porte e delle finestre mediante ricezione dei segnali ON/OFF dai sensori magnetici ed invia le segnalazioni di richiesta di apertura/chiusura di porte e finestre e/o evacuazione (se necessario) sul display (TSD) della centralina (3) mediante interfaccia grafica.

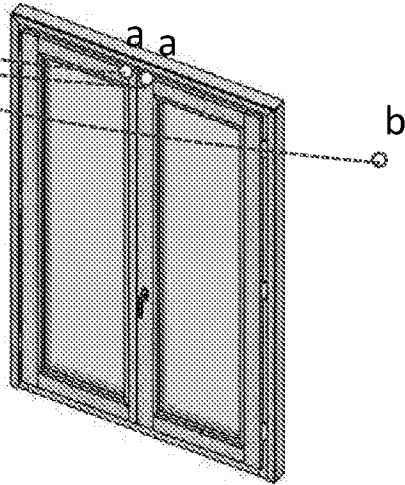




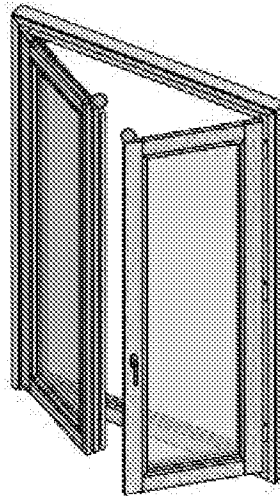


6

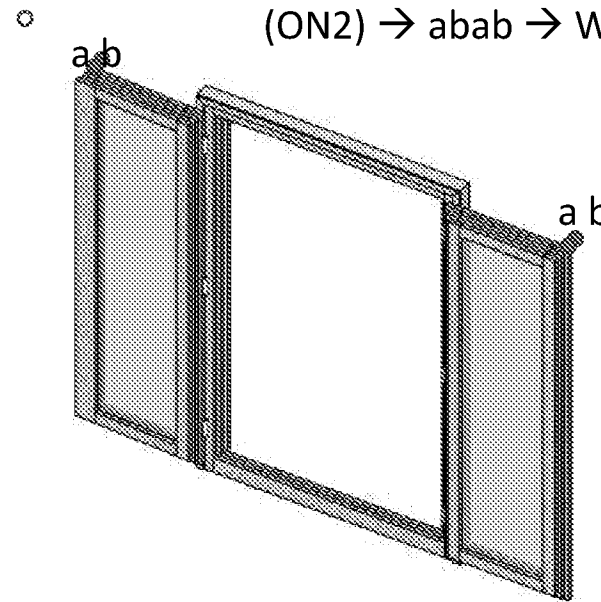
Chiusa (OFF)  $\rightarrow aa \rightarrow$   
 $W_1 = 0$



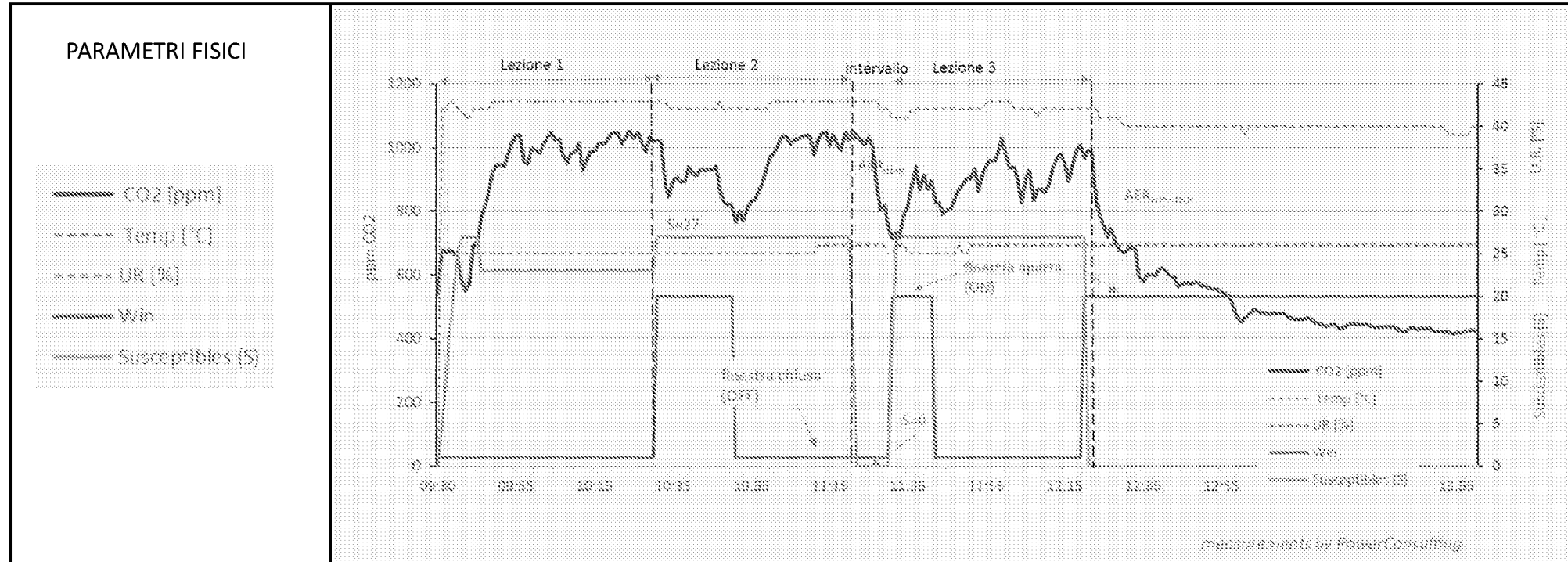
Parzialmente aperta (ON1)  
 $\rightarrow a0a \rightarrow W_1 = 0.5$



Completamente aperta  
(ON2)  $\rightarrow abab \rightarrow W_1 = 1$



## Interfaccia Grafica Utente (GUI)



## Parametri di Input

Calcolo N [manuale/automatico]

Volume aula V (m3) Numero di occupanti N t\_control (min) 

Calcolo ventilazione [manuale/automisura]

Inserimento manuale AERj

n. porte n. finestre 

AERdoor

AER1

AER2

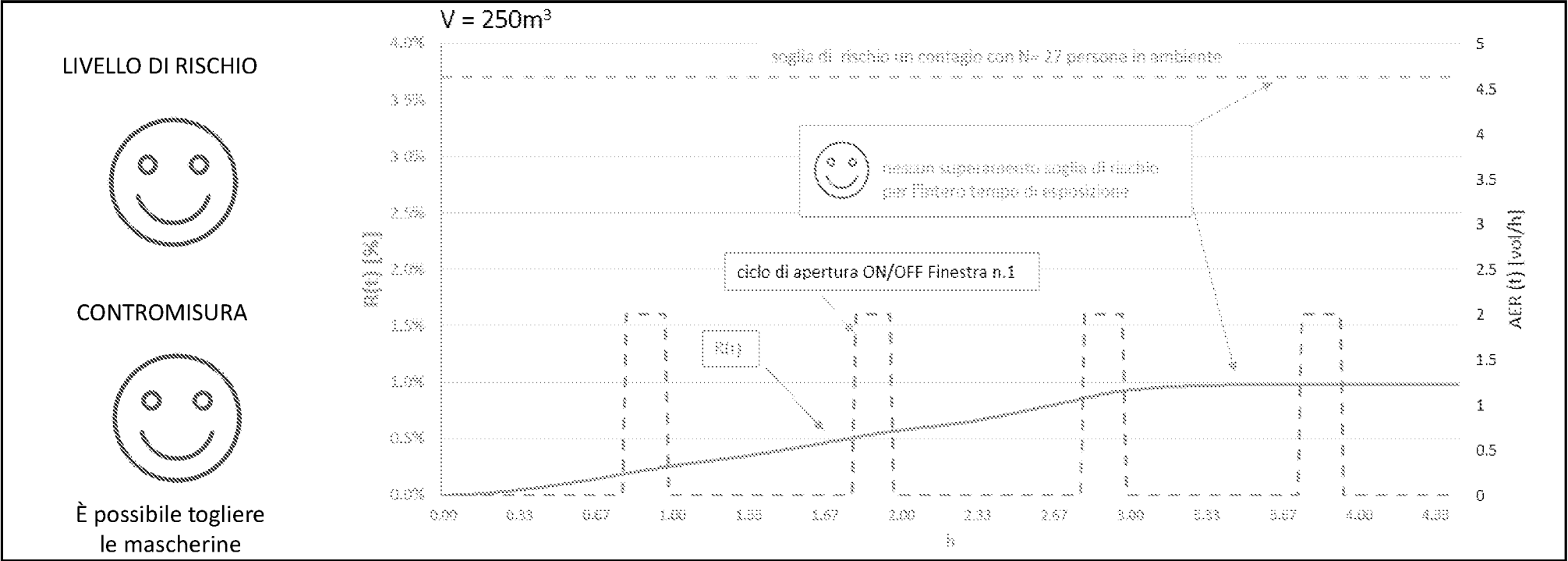
(AERn)

AERall

 $\Delta T$ 

UR

Interfaccia Grafica Utente (GUI)



Parametri di Input

Calcolo N [manuale/automatico]      % vaccinati [solo docente/alcuni stud./tutti]      Volume aula V (m3)

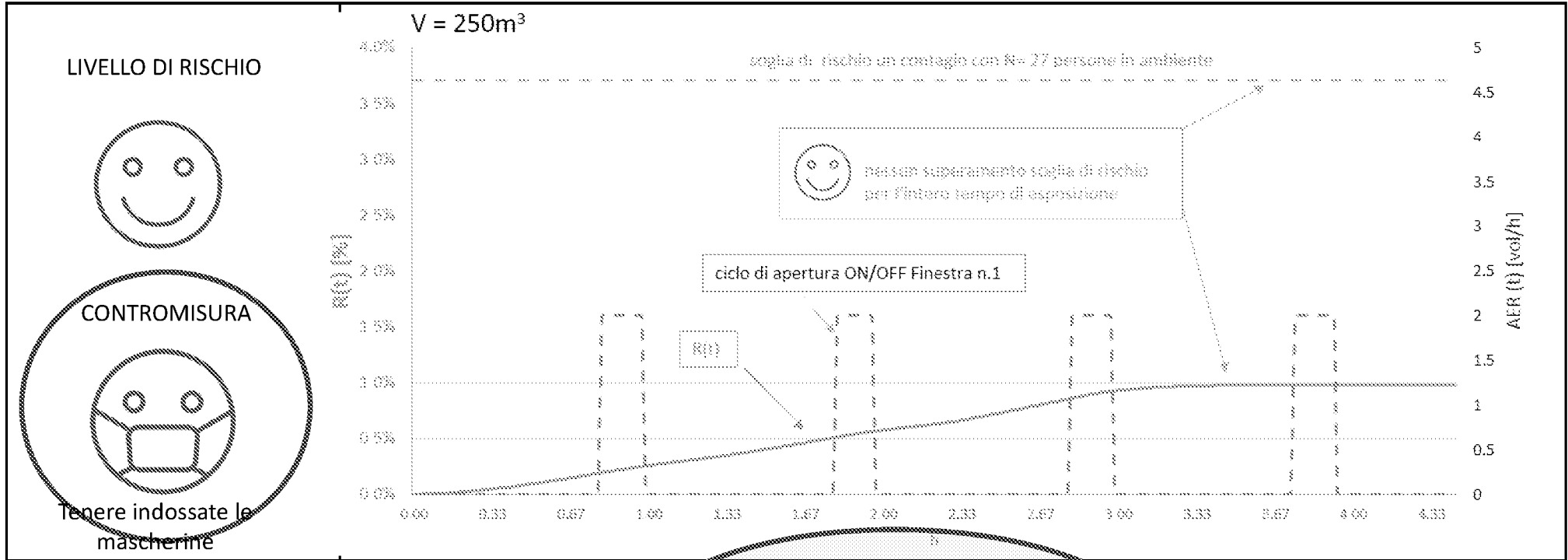
Numero di occupanti N       100%      t\_control (min)

Calcolo ventilazione [manuale/automisura]      Inserimento manuale AERj

n. porte	n. finestre	AERdoor	AER1	AER2	(AERn)	AERall	$\Delta T$	UR
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>



Interfaccia Grafica Utente (GUI)



Parametri di Input

Calcolo N [manuale/automatico]

Numero di occupanti N

% vaccinati [solo docente/alcuni stud./tutti]

Volume aula V (m3)

t\_control (min)

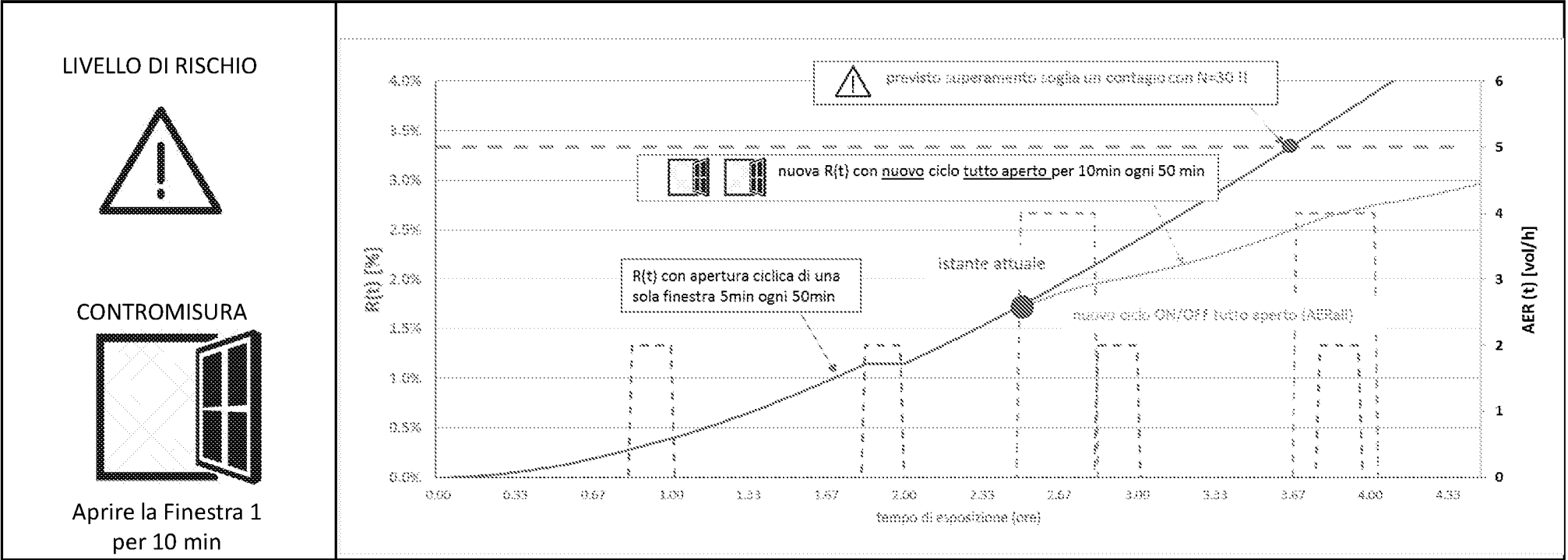
Calcolo ventilazione [manuale/automisura]

n. porte  n. finestre

Inserimento manuale AERj

AERdoor	AER1	AER2	(AERn)	AERall	$\Delta T$	UR
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Interfaccia Grafica Utente (GUI)



Parametri di Input

Calcolo N [manuale/automatico]

% vaccinati [solo docente/alcuni stud./tutti]

Volume aula V (m3)

Numero di occupanti N

< 10%

t\_control (min)

Calcolo ventilazione [manuale/automisura]

Inserimento manuale AERj

n. porte

n. finestre

AERdoor

AER1

AER2

(AERn)

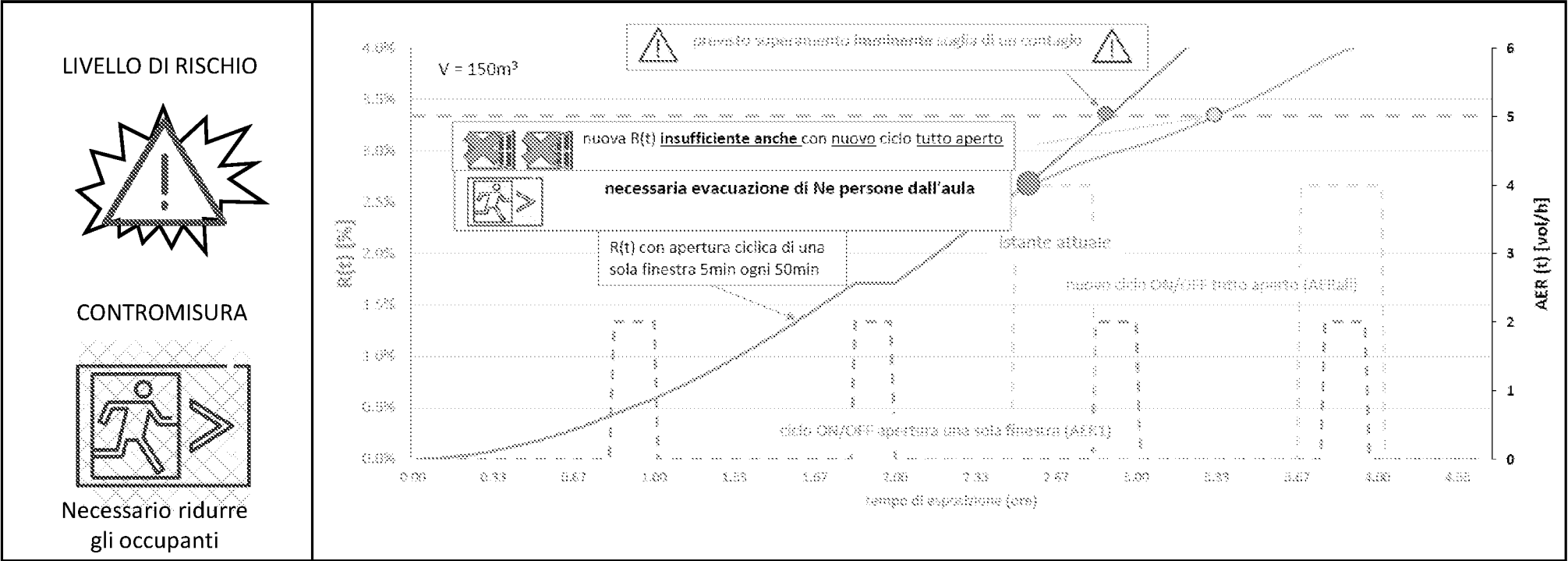
AERall

$\Delta T$

UR

--	--	--	--	--	--	--

Interfaccia Grafica Utente (GUI)



Parametri di Input

Calcolo N [manuale/automatico]

% vaccinati [solo docente/alcuni stud./tutti]

Volume aula V (m3)

Numero di occupanti N

< 10%

t\_control (min)

Calcolo ventilazione [manuale/automisura]

Inserimento manuale AERj

n. porte

n. finestre

AERdoor

AER1

AER2

(AERn)

AERall

$\Delta T$

UR

--	--	--	--	--	--	--