

Cristiano Vergani
Responsabile R & S
Deparia Engineering S.r.l.
Email: cristiano.vergani@deparia.com

Impianti HVAC e sicurezza

Gli impianti di condizionamento dell'aria rivestono un ruolo di fondamentale importanza nei confronti dei pericoli rappresentati dal terrorismo chimico-biologico o da incidenti ambientali: in modo particolare, i grandi edifici del terziario richiedono l'adozione di alcuni accorgimenti essenziali, in termini di schema di impianto e di criteri generali di gestione, al fine di garantire un accettabile livello di sicurezza ai propri occupanti.

Di questi tempi, sono molti i pensieri che possono disturbare il sonno degli operatori coinvolti nel settore della sicurezza civile. Tra i peggiori incubi immaginabili, possiamo senz'altro annoverare un attacco terroristico avente per obiettivo uno di quei grandi centri di aggregazione civile che costellano le nostre aree suburbane, come megastore, complessi amministrativi o produttivi, cinema multisala e palazzetti ad uso sportivo e di spettacolo. Tutti questi edifici condividono alcuni aspetti fondamentali nell'ottica terroristica: possono ospitare un grandissimo numero di persone, specialmente in certe occasioni facilmente prevedibili; sono difficilmente controllabili in modo capillare, anche disponendo di un gran numero di sorveglianti e di telecamere; dispongono di impianti di condizionamento dell'aria molto potenti e ben ramificati in tutta la volumetria. Quest'ultimo aspetto, qualche tempo fa, era considerato importante, parlando di sicurezza, più che altro in relazione ai problemi legati agli incendi, come è ampiamente noto. Allo stato attuale di conoscenza delle attività di alcuni noti gruppi terroristici, specialmente in relazione al ritrovamento di certi "manuali" destinati alla formazione degli elementi operativi, i grandi impianti di condizionamento dell'aria cominciano oggi ad essere considerati sotto due nuovi

aspetti fondamentali e antitetici tra loro. In primo luogo, un impianto che raccoglie grandi quantità di aria esterna e le distribuisce capillarmente all'interno, può rappresentare un perfetto veicolo per diffondere agenti biologici infettanti oppure sostanze chimiche letali; d'altra parte, se progettato o modificato appropriatamente, l'impianto di condizionamento può invece rappresentare un efficace mezzo di difesa contro la diffusione di quegli stessi agenti chimico-biologici, anche in caso di dispersione diretta nell'ambiente interno.

Prima della distruzione delle Twin Towers, gli aspetti relativi alla sicurezza anti-terroristica non erano semplicemente presi in considerazione dai progettisti di impianti. Purtroppo, l'esperienza ci ha insegnato quanto possano essere distruttivi dei mezzi di offesa impropri e rudimentali, se usati con spietato cinismo: senza ovviamente entrare troppo nel dettaglio, dobbiamo sottolineare che, anche sul versante chimico-biologico, è possibile progettare degli attentati spaventosi sfruttando abilmente materiali "poveri" ed ampiamente disponibili senza restrizioni, sfruttando degli aspetti poco noti o poco considerati, racchiusi nella complessità dei moderni impianti iper-tecnologici che permeano i nostri edifici più avanzati. In realtà, impiegando un minimo di accortezza e di risorse, è possibile fare molto per scongiurare almeno i rischi più banali, ma non per questo meno pericolosi.

Le strategie di difesa degli edifici

Un edificio è fondamentalmente costituito da un insieme di barriere, e questo costituisce di per sé una difesa contro eventuali dispersioni di agenti nocivi nell'aria esterna circostante. Le barriere fisiche interposte tra gli occupanti e l'aria contaminata provvedono ad una protezione di tipo *passivo*, tanto più inefficace quanto maggiore è il tasso di ricambio dell'aria con l'esterno. Una certa quota di ricambio è sempre presente; per questo motivo le difese passive sono in grado di difendere gli occupanti solo per un tempo limitato, fino a che le concentrazioni interne non possano raggiungere un livello inaccettabile.

Una protezione di tipo *attivo* comprende invece un processo di filtrazione dell'aria esterna, forzata all'interno dell'edificio, allo scopo di mantenere un gradiente di pressione positivo. Questo approccio permette di mantenere un elevato grado di protezione per tempi anche molto prolungati. Naturalmente, ciò può comportare dei costi elevati. Una modalità ulteriore di protezione attiva contempla l'utilizzo della filtrazione interna all'edificio: l'aria potenzialmente contaminata viene prelevata all'interno, accuratamente filtrata e reimpressa negli ambienti. La protezione accordata da questo metodo dipende dal rapporto esistente tra portata di immissione e portata di ricircolo, nonché dal livello di efficienza dei filtri.

Entrambi i metodi di protezione, passivo e attivo, possono essere migliorati impiegando sensori di qualità dell'aria. In tal modo, il livello di protezione può essere elevato automaticamente in presenza di contaminanti. Comunque, la protezione passiva pone dei limiti così elevati all'abitabilità da potere essere usata solo per un tempo molto breve.

Un terzo approccio di difesa (esclusione) si basa sull'applicazione di rigide misure di sicurezza per impedire fisicamente che dei malintenzionati possano rilasciare sostanze tossiche nell'area circostante l'edificio: questa tecnica può essere impiegata in ambiti militari o strategicamente militarizzati (centri di comando, centrali nucleari ecc.) ma non si può certo utilizzare per i normali edifici civili, se non in scala molto limitata.

I tre possibili approcci sono quindi i seguenti:

- protezione attiva – filtrazione dell'aria esterna ed interna;
- protezione passiva – uso di barriere per controllare lo scambio d'aria con l'esterno (preferibilmente basata su sensori);
- esclusione – applicazione di misure fisiche di sicurezza.

Proteggere con la sovrappressione

Si tratta di un metodo sviluppato per impieghi militari fin dalla Prima Guerra

Mondiale, utile per difendersi allo stesso tempo da agenti di tipo chimico, biologico e nucleare. Concettualmente è molto semplice, basandosi sul rifornimento continuo all'ambiente di aria esterna decontaminata da filtri ad alta efficienza. Gli spazi protetti devono avere una bassa dispersione da fessure e aperture varie, in modo che non debbano servire grandi volumi d'aria per mantenere uno stato di sovrappressione sufficiente ad impedire possibili infiltrazioni dall'esterno. In questo modo è possibile ottenere un livello di protezione molto alto (Classe I di protezione collettiva). Il livello più basso è quello rappresentato da un ambiente sigillato non ventilato (Classe III). Esiste un livello intermedio (Classe II), costituito da un ambiente fornito di aria esterna efficacemente filtrata, ma ad una portata insufficiente a mantenere un livello soddisfacente di pressione.

Proteggere con la filtrazione

Filtrazione molecolare

Il metodo standard per filtrare le sostanze chimiche gassose (in effetti, si tratta di una filtrazione a livello molecolare), consiste nell'utilizzo di un letto di granuli di carbone attivato ed impregnato. Un filtro a carbone utilizza due differenti processi di rimozione delle molecole contaminanti dal flusso d'aria, l'adsorbimento (processo fisico) e l'assorbimento (processo chimico). L'adsorbimento consiste nell'intrappolamento delle molecole all'interno dei micropori dei granuli di carbone. Il meccanismo è molto efficiente in quanto il carbone attivo possiede una grande quantità di pori di vario diametro, che determinano una superficie disponibile enorme (circa 1200 m² per grammo). Il carbone contenuto in una singola unità di filtrazione da 360 m³/h possiede una superficie equivalente pari a circa 8 km². Il principio dell'assorbimento, però, funziona efficacemente solo con molecole di una certa grandezza, aventi una bassa pressione di vapore (inferiore a 10 mmHg alla temperatura di lavoro del filtro). Per abbattere efficacemente le sostanze maggiormente volatili, il carbone viene impregnato con speciali reagenti, come sali di rame, zinco, argento, molibdeno, TEDA (tri-etilen-diamina), i quali reagiscono con le molecole

contaminanti trasformandole in sostanze innocue oppure adsorbibili dal carbone. I filtri a carbone usati per scopi di protezione collettiva sono progettati per avere una elevata efficienza ed una lunga vita operativa. In genere, in percentuale del proprio peso, un filtro di questo tipo può adsorbire circa il 20% in agenti contaminanti non reattivi e può abbattere chimicamente un ulteriore 5%-10% di sostanze reattive.

La vita operativa utile di un filtro a carboni è definita dalla combinazione tra l'operatività adsorbente e quella reattiva, e dipende da caratteristiche sito-specifiche, in particolare la percentuale di inquinanti atmosferici, la temperatura ambientale e il livello di umidità relativa. Come regola generale, elevate umidità e temperatura diminuiscono sia l'efficienza sia la vita operativa del filtro. L'umidità è in grado di degradare l'efficienza del carbone, per quanto riguarda l'impregnazione reattiva, anche in condizioni non operative.

Filtrazione dell'aerosol

Il filtro d'elezione per l'abbattimento ad alta efficienza del particolato ultrafine da un flusso d'aria è attualmente rappresentato da un filtro di classe HEPA, di norma installato a monte del filtro a carboni, in modo da proteggere quest'ultimo dal pulviscolo e dall'aerosol. Tuttavia, diversi lavori sperimentali hanno dimostrato che la migliore combinazione per efficacia, spettro d'azione ed economia d'esercizio, consiste nell'installazione di un filtro di classe leggermente inferiore, in abbinamento a lampade sterilizzatrici a raggi ultravioletti in banda C (200 – 280 nm). Filtri di classe MERV13 – 15 (ASHRAE 52-2), abbinati a lampade di Intensità URV corrispondente (linee guida IUVA - International UV Association) hanno dato prova di performance molto buone nell'abbattimento di pressoché tutti gli agenti biologici di potenziale uso bellico-terroristico.

Pressurizzazione e livelli di protezione

Contro i contaminanti di origine esterna, il massimo livello di protezione è ottenibile fornendo all'edificio una quantità di aria esterna perfettamente filtrata, in quantità sufficiente a mantenere uno stato di leggera sovrappressione interna.

Questo perché non esistono edifici a perfetta tenuta, e la stessa pressione del vento, unitamente ai normali processi di diffusione, può facilmente far penetrare dei contaminanti in un edificio a pressione neutra o addirittura negativa. I fenomeni di infiltrazione dipendono dalle differenze di pressione che si instaurano tra interno ed esterno, attraverso aperture non intenzionali (fessure, porosità, fori di servizio, scarichi privi di guardia idraulica ecc.) ed intenzionali (porte, finestre, lucernari ecc.). Le differenze di pressione, possono a loro volta distinguersi tra indotte internamente ed esternamente: quelle interne possono instaurarsi a causa di estrazioni forzate (ad esempio quelle delle cucine e dei bagni); quelle esterne dipendono invece dalla forza dei venti e dalla temperatura esterna in raffronto a quella interna. In inverno, l'aria interna più calda e meno densa, tende a risalire all'interno e a sfuggire dalla sommità dell'edificio, richiamando aria fredda esterna alla base della costruzione. In estate, il flusso tende ad invertirsi. Poiché un rilascio di contaminanti è più probabile a livello del piano stradale, le condizioni invernali sono in genere peggiorative.

Negli edifici caratterizzati da estrazioni notevoli (laboratori, mense) non è chiaramente agevole e neppure conveniente mantenere costantemente un livello di pressione positiva, quindi si dovranno utilizzare sistemi alternativi o più complessi (ad esempio basati su sensori).

Dimensionamento dei filtri per le unità di pressurizzazione

La capacità del sistema filtrante da adottare, dipende in sostanza dal livello di perdite dell'involucro della costruzione: per raggiungere il livello di protezione più elevato possibile, il 100% dell'aria in ingresso deve essere filtrata. Ciò può essere assicurato solo fornendo un volume d'aria esterna filtrata maggiore di quello perso attraverso le aperture, contando anche gli effetti dovuti alle condizioni climatiche esterne. Anche se esistono in letteratura dei metodi per stimare teoricamente il livello di perdite d'aria di un edificio, il loro livello di affidabilità è decisamente insufficiente nei casi di tutela della sicurezza. Il metodo migliore consiste nell'effettuare un test modulando la portata

dell'impianto di condizionamento, con dei filtri standard installati, cercando di ridurre fisicamente tutte le aperture verso l'esterno con opportuni interventi di sigillatura. Una volta individuato il valore di portata necessario, questo dovrà essere corretto tenendo conto delle perdite di carico indotte dai filtri supplementari; quindi si dovrà procedere, se necessario, al potenziamento della parte ventilante e all'installazione dei filtri definitivi.

I costi attuali della filtrazione supplementare

Il fattore chiave che ha maggiore influenza sui costi di installazione e di esercizio di un impianto di ventilazione in sicurezza, è costituito dall'indice di perdita dell'edificio: curando particolarmente il contenimento delle perdite non intenzionali (edificio quasi a tenuta d'aria), la portata d'aria necessaria potrà essere solo leggermente superiore a quella comunque necessaria al corretto comfort degli occupanti. In tal modo, tutti i costi addizionali, dovuti al trattamento termico di grandi quantità d'aria, saranno del tutto evitati. I costi del solo sistema di filtrazione, non contando l'installazione ed il resto dell'impianto, già presente ai fini di benessere, si potrebbe quantificare nell'intervallo tra 2,5 e 10 € per m³/h. Per quanto riguarda i costi di gestione, il ricambio dei filtri può variare tra i 2 e i 6 € per m³/h. A questi costi, si dovranno aggiungere anche quelli energetici, dovuti al trattamento termico della portata supplementare necessaria alla sovrappressione, che, come abbiamo visto, va determinata in base al contenimento delle perdite che si riesce ad ottenere.

Uso dei sensori

L'approccio di impianto basato sull'uso dei sensori offre un livello di sicurezza sostanzialmente inferiore rispetto all'utilizzo della sovrappressione costante con aria esterna filtrata. Rispetto ad un rilascio di contaminanti esterno, il livello di sicurezza ottenibile è equiparabile a quello di un rifugio non ventilato. In riferimento ad un rilascio indoor, l'eventuale beneficio è collegato al livello di

ricambio raggiungibile in tempi brevi da un sistema di ventilazione meccanica asservito. In ogni caso, il fattore più critico è rappresentato dal tempo di risposta del sistema, che deve essere estremamente contenuto.

L'uso di sensori al fine di attivare un meccanismo di difesa (incremento del tasso di ricambio, inserimento di ventilatori e filtri supplementari nel circuito di ventilazione ecc.), richiede una capacità di reagire in tempo reale ad una vasta gamma di sostanze contaminanti. I sensori attualmente in commercio, possiedono una tale velocità reattiva solo nei confronti di una gamma molto limitata di agenti chimico-biologici. D'altra parte, l'intervento dei sensori può servire per mettere in opera altre azioni difensive (allertare le autorità e le forze di soccorso, indossare maschere protettive, evacuare l'edificio).

Il tempo di reazione del sistema è costituito da tre componenti fondamentali: il tempo di diffusione dell'agente fino al sensore, il tempo di risposta interno di quest'ultimo e il tempo necessario ad attivare le modificazioni nell'impianto in base alle rilevazioni effettuate. Il livello di sicurezza ottenibile è inversamente proporzionale all'entità complessiva di questi eventi.

La filtrazione interna: le unità di filtrazione a ricircolo

La filtrazione interna comporta il trattamento dell'aria interna, piuttosto che dell'aria esterna di ricambio: questo approccio non è particolarmente adatto alla difesa contro le contaminazioni provenienti dall'esterno ma è più indicato per affrontare eventuali dispersioni indoor. Si possono usare delle unità filtranti collocate sul percorso di un ramo di ricircolo dell'impianto, oppure inserite in unità ventilanti a sé stanti, comunicanti con l'interno degli ambienti da trattare (purificatori d'aria).

In caso di rilascio di un agente contaminante in ambiente, la filtrazione interna può ridurre il livello di rischio attraverso due meccanismi d'azione: interrompendo il percorso di trasmissione verso aree contigue dell'edificio, e riducendo rapidamente le concentrazioni dell'inquinante, in modo più veloce di quanto non sia possibile attraverso la sola diluizione con aria esterna filtrata.

L'uso di purificatori d'aria ad alta efficienza, può inoltre servire ad innalzare il

livello di sicurezza all'interno di locali adibiti a rifugio d'emergenza.

Disposizioni operative per la protezione degli occupanti

Nel caso di un rilascio interno di contaminanti, vi sono quattro possibili azioni da intraprendere:

- rifugiarsi sul posto;
- usare equipaggiamenti protettivi;
- evacuare l'edificio;
- purificare l'ambiente con estrattori o con la filtrazione interna.

Questo tipo di azioni non sono applicabili in modo continuativo, ma possono essere adottate, da sole o in combinazione, per brevi periodi quando si presenti un evento d'emergenza. Inoltre, esse possono essere applicate solo in caso di eventi facilmente avvertibili, direttamente o in base alla presenza di sensori, con il necessario presupposto di avere predisposto uno specifico piano di intervento e di potere contare su personale di assistenza ben informato ed addestrato.

I rifugi di emergenza

L'uso di rifugi di emergenza e l'evacuazione sono le due azioni comunemente previste in caso di una contaminazione chimico-biologica provocata o accidentale. Il vantaggio principale dei rifugi consiste nella rapidità del rifugiarsi rispetto alle operazioni di evacuazione, gli svantaggi sono invece legati al grado di protezione variabile ed inversamente proporzionale alla durata dell'evento.

L'uso dei rifugi (naturalmente in caso di dispersione esterna di agenti) richiede inoltre la rapida attuazione di due misure in modo da massimizzare le difese passive:

- la prima consiste nel ridurre il più possibile la movimentazione d'aria tra esterno ed interno dell'edificio, chiudendo tutte le finestre ed arrestando tutti gli impianti di condizionamento dell'aria;
- la seconda consiste invece nella operazione opposta, cioè di aumentare il più possibile la ventilazione, una volta sicuri che il rilascio di contaminanti si è

esaurito, in modo da rimuovere più efficacemente possibile eventuali residui presenti nell'aria interna. Infatti, per quanto sigillati, i rifugi non offrono una barriera impenetrabile ai contaminanti: i gas sono in grado comunque di penetrare all'interno e i locali devono quindi essere ventilati con la massima rapidità una volta che sia tornata disponibile dell'aria esterna di diluizione.

Anche se i rifugi rappresentano fondamentalmente una difesa contro le contaminazioni esterne, essi possono essere potenzialmente utili anche in caso di contaminazione indoor, ad esempio quando il pericolo è confinato in un piano differente e separato.

Uso dei torrini d'estrazione

L'attivazione di eventuali torrini di estrazione può essere utile nel caso di contaminazione indoor, oppure quando è necessario provvedere alla rimozione di inquinanti penetrati all'interno dell'edificio, una volta che la fonte esterna si sia esaurita.

Uso delle maschere protettive

Attualmente sono disponibili in commercio delle maschere per la protezione individuale di nuova concezione, che sarebbe utile mantenere a disposizione del personale dell'edificio, quantomeno dei responsabili dell'attuazione delle procedure di emergenza: queste maschere hanno la tenuta ermetica in corrispondenza del collo, e quindi non sono difficili da indossare correttamente e sono realizzate in taglia unica. Possiedono una capacità protettiva sovrapponibile alle maschere militari e si conservano attive per circa 5 anni. In genere, esse non proteggono efficacemente contro alcuni gas (es. monossido di carbonio), comunque difficilmente usabili in un attacco terroristico.

Difese di tipo fisico

In prevenzione di un rilascio esterno di agenti contaminanti, è possibile mettere

in atto una serie di barriere fisiche: in particolare, le prese d'aria esterna devono essere spostate alla quota più elevata possibile, gli spazi tecnici devono essere resi inaccessibili ai non addetti e provvisti di adeguate protezioni anti-scasso. Inoltre, è necessario attivare almeno delle elementari procedure di sicurezza sul libero transito agli ingressi dell'edificio, anche in caso di un elevato traffico di visitatori (edificio commerciale). In particolari situazioni di rischio, potrà essere necessario attivare dei controlli tecnologici (metal-detectors) o per mezzo di sorveglianti particolarmente addestrati alla ispezione visuale.

Le zone critiche su cui concentrare l'attenzione sono in genere tre: i vestiboli di accesso del pubblico, l'ufficio di ricezione della posta e i varchi per il transito ed il deposito temporaneo delle merci. Gli impianti di ventilazione che servono queste zone devono essere isolati dal resto degli impianti dell'edificio, applicando le seguenti precauzioni:

- installare in queste aree unità di trattamento aria individuali;
- usare una portata di estrazione supplementare per mantenervi una debole pressione negativa;
- le porte di comunicazione con i locali adiacenti devono essere a chiusura automatica;
- le porte di accesso al pubblico devono essere dotate di vestibolo a tenuta d'aria per mantenere il differenziale di pressione con l'esterno (airlock)

Sistemi compartimentati di accesso e procedure di ingresso ed uscita

L'esperienza accumulata durante gli eventi bellici caratterizzati dall'uso delle armi chimiche, specialmente nel caso della Prima Guerra Mondiale, deve indurci alla riflessione in merito ad alcuni aspetti particolarmente significativi: in particolare, il maggior numero di vittime si è sempre riscontrato durante gli spostamenti delle persone, specialmente durante le operazioni di ingresso e uscita tra luoghi chiusi e l'aperto. Gran parte delle contaminazioni sono avvenute uscendo prematuramente dai rifugi oppure entrandovi trascinando con sé gli agenti tossici. Per questo motivo, occorre prestare particolare attenzione alle transizioni

tra interno ed esterno dell'edificio, nonché ai passaggi interni tra un ambiente e l'altro. Esistono infatti tre meccanismi principali coinvolti nel trasferimento di contaminanti da parte delle persone:

- trasporto indiretto di vapori. Gli abiti possono assorbire facilmente dei vapori, che poi continuano a rilasciare nell'ambiente per periodi molto prolungati;
- trasporto indiretto di liquidi. In caso di dispersione di liquidi, gli abiti e le calzature possono trascinare quantità importanti;
- trasporto diretto di vapori. Durante le operazioni di passaggio, quantità importanti di vapori possono infiltrarsi attraverso le porte, seguendo le differenze di pressione e la scia delle persone in movimento.

E' necessario quindi prevenire, per quanto possibile, il verificarsi di questi fenomeni, attraverso una accurata progettazione delle zone di passaggio.

In corrispondenza delle transizioni particolarmente critiche, che coinvolgono le zone citate in precedenza (varchi per il pubblico, la posta, le merci), è buona norma prevedere l'utilizzo di vestiboli a tenuta d'aria, con le porte a chiusura automatica interbloccate, in modo che non possano essere azionate contemporaneamente. La funzione di interbloccaggio potrebbe essere azionata solo in caso di emergenza chimico-biologica, automaticamente o manualmente, per lasciare libero il passaggio in caso di incendio o di evacuazione rapida. I vestiboli devono essere fortemente ventilati con aria filtrata e l'aria reflua deve essere espulsa all'esterno. Le persone in transito devono sostare per il tempo minimo necessario alla massima ragionevole riduzione della concentrazione dei contaminanti trascinati all'interno (la portata, per una teorica diminuzione della concentrazione dei contaminanti pari al 99,99%, deve essere pari a $Q = 6,9 V/T$; ad esempio un vestibolo di 75 m^3 , prevedendo una sosta di 5 minuti, deve essere ventilato con $6,9 \times 75/5 = 103,5 \text{ m}^3/\text{min}$); gli indumenti contaminati devono essere rimossi e riposti all'interno di sacchi in plastica a tenuta ermetica. Il calcolo della portata necessaria al "lavaggio" del vestibolo non tiene comunque conto di alcuni importanti fattori, come l'efficienza di ventilazione e la quantità di contaminanti eventualmente trasportata per via indiretta (vapori e liquidi adsorbiti): il tempo di permanenza massimo dovrà quindi essere prolungato in accordo alla presenza di fattori peggiorativi.



Figura 1

Unità di filtrazione ad alta efficienza per protezione collettiva. Ogni singola unità può trattare una portata di circa 1019 m³/h.



Figura 2

Singola unità di filtrazione da 1700 m³/h.

www.anaclube.com



Figura 3

Più unità di filtrazione possono essere installate in parallelo per fornire la portata necessaria, in base alla volumetria dell'edificio da proteggere.

www.anaclub.com



Figura 4

Due unità di filtrazione da 25.000 m³/h installate a protezione di un centro amministrativo.



Figura 5

Le unità di filtrazione per la pressurizzazione degli edifici possono essere assemblate con moduli commerciali contenenti in sequenza prefiltri, filtri ad altissima efficienza su particelle da $0,3 \mu\text{m}$, filtri chemiadsorbenti ed assorbenti. L'inattivazione dei microrganismi può essere ottenuta attraverso l'utilizzo di lampade sterilizzatrici UV-C di adeguata potenza, sia installate a livello di unità di filtrazione, sia lungo l'estensione delle canalizzazioni dell'aria.



Figura 6

I filtri per l'abbattimento dei contaminanti chimici si basano sulle proprietà adsorbenti del carbone attivo e sulle reazioni di neutralizzazione chimica ad opera di speciali sostanze impregnanti. I contaminanti a peso molecolare più elevato vengono fisicamente "intrappolati" nella struttura fortemente porosa dei microgranuli di carbone. Le sostanze meno adsorbibili reagiscono invece con speciali reagenti chimici incorporati nella matrice di carbone, trasformandosi in sostanze innocue oppure maggiormente trattenibili per adsorbimento.

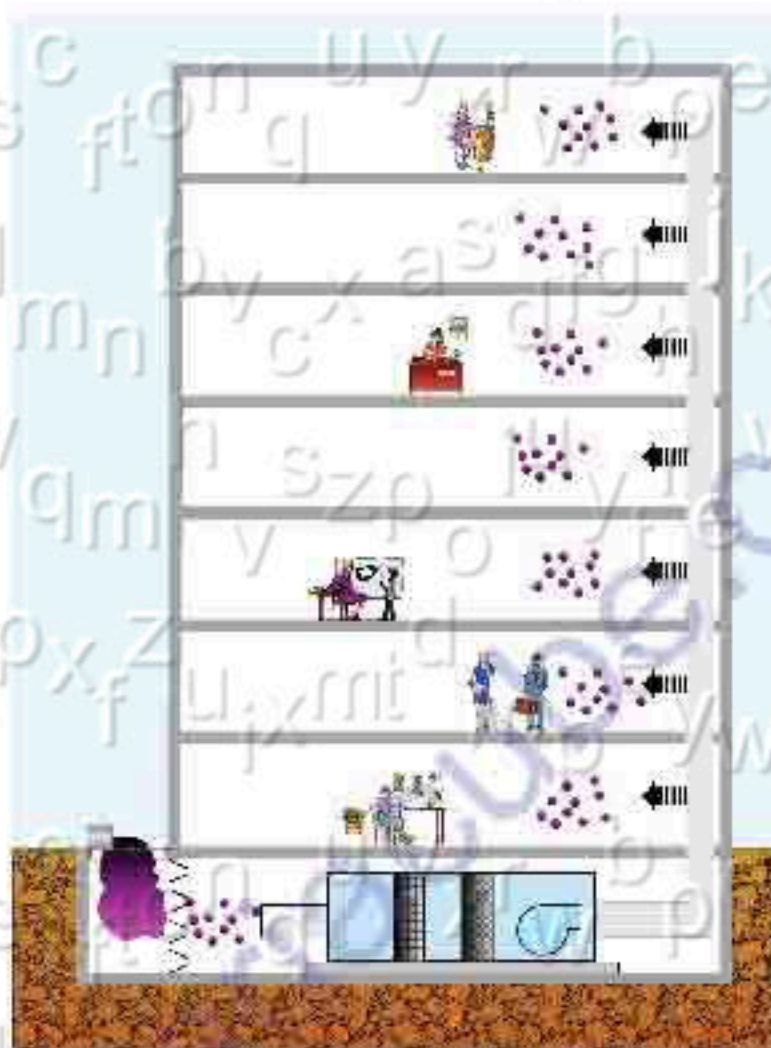


Figura 7

In caso di attacco terroristico di tipo chimico-biologico ad un edificio, il caso peggiore consisterebbe nella dispersione dei contaminanti in prossimità della presa d'aria esterna. In questo modo, si avrebbe una dispersione capillare ed abbondante in tutti gli ambienti serviti dall'impianto. Solo l'installazione di sensori in grado di fermare i ventilatori o di inserire sul percorso dell'aria dei filtri idonei potrebbe offrire un grado di protezione accettabile.



Figura 8

L'eventuale dispersione dei contaminanti in un ambiente interno dell'edificio, rappresenta una eventualità dalle conseguenze meno gravi rispetto all'immissione diretta nella presa d'aria esterna: la captazione dei contaminanti sarebbe meno efficiente e la quantità raccolta sarebbe poi parzialmente diluita dall'aria primaria esterna. In ogni caso, l'uso di contaminanti particolarmente tossici od infettanti potrebbe portare a conseguenze molto gravi.

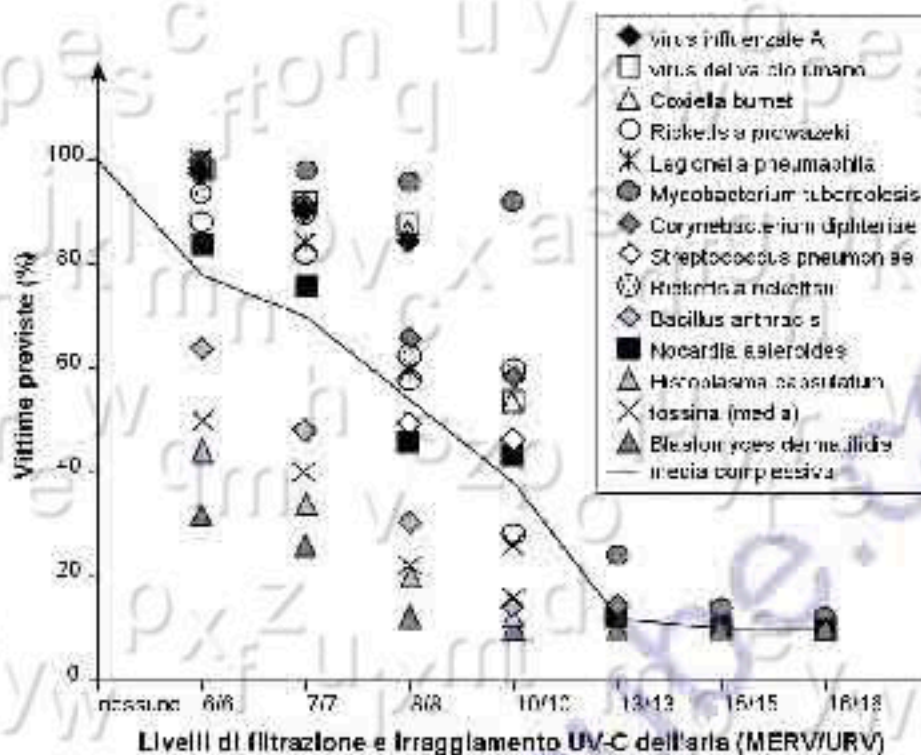


Figura 9

In base a prove sperimentali approfondite, si è determinata la combinazione ottimale di efficienza di filtrazione ed irraggiamento ultravioletto in base al livello di inattivazione desiderato dei contaminanti biologici più pericolosi. La combinazione minima per ottenere un risultato efficace è la 13/13, mentre è praticamente inutile adottare combinazioni superiori alla 15/15, che comporterebbero solo costi maggiori senza aumentare in modo determinante l'efficienza di inattivazione. L'indice MERV si riferisce ai livelli di efficienza, sul particolato del diametro di 0,3 μm , riportati nello Standard ASHRAE 52.2 1999. In pratica, nella classe di diametri compresi tra 0,3 e 1 μm , un valore di MERV13 equivale ad una efficienza strumentale del 75%, mentre un MERV15 equivale ad un intervallo compreso tra l'85% e il 95%. L'indice URV rappresenta invece il livello di irraggiamento delle lampade germicide (IUA, 2003). Il livello URV13 corrisponde a 2000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, l'URV15 a 4000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

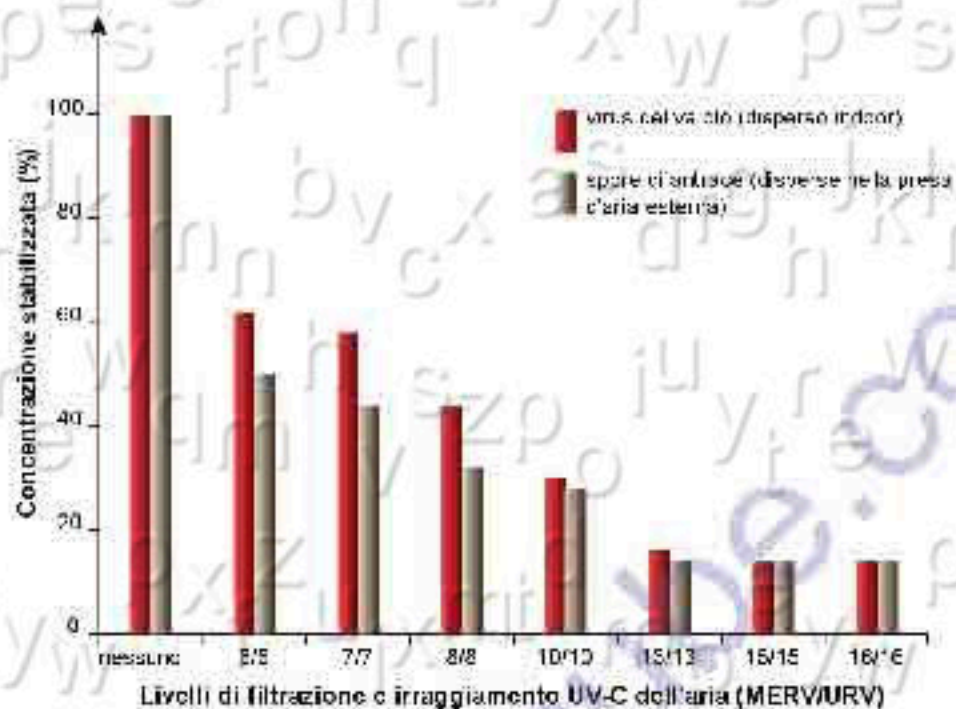


Figura 10

I dati sperimentali coincidono con i valori calcolati per mezzo di simulazioni matematiche (grafico elaborato usando l'equazione di Grimm e Rosaler – 1990), anche per contaminanti biologici fisicamente molto differenti, come il virus del vaiolo e le spore del carbonchio: una ulteriore conferma della non convenienza dell'impiego di combinazioni filtrazione/irraggiamento troppo "spinte".



Figura 11

Il livello effettivo di sicurezza dipende in larga misura dalla qualità della preparazione del personale: è necessario che tutti siano informati ed addestrati in modo appropriato ad affrontare una emergenza di tipo chimico-biologico. In questi casi, una gestione improvvisata può facilmente vanificare l'efficacia di tutto il sistema di prevenzione.

Batteri e virus

Spore di *B. anthracis*



L'antrace, o carbonchio, è una malattia causata dal batterio sporigeno *Bacillus anthracis*. La forma batterica è lunga dai 3 ai 5 micron, per un diametro di circa 1 micron. Le spore misurano dai 2 ai 6 micron di diametro. L'infezione può avvenire per contatto cutaneo, ingestione o inalazione. Le spore, in sospensione liquida, sono molto difficili da nebulizzare efficacemente: per questo motivo, le preparazioni utilizzabili a fini bellici o di terrorismo sono sotto forma di polveri finissime, difficili da realizzare se non

in laboratori dotati di attrezzature molto sofisticate. L'antrace può essere trattato precocemente con antibiotici.

Il botulismo è un avvelenamento che uccide per paralisi respiratoria, causato dalla tossina prodotta dal batterio *Clostridium botulinum*. Può essere diffusa sotto forma di aerosol. Esiste una antitossina che deve essere somministrata molto rapidamente, e che può portare ad una remissione completa dei sintomi nel volgere di qualche mese.

La peste è un morbo causato dal batterio *Yersinia pestis*. Può essere diffuso sotto forma di aerosol, e può trasmettersi facilmente da persona a persona per via respiratoria. Può essere trattato con farmaci antibiotici.

Il vaiolo è una malattia da virus, che può essere facilmente diffuso sotto forma di aerosol. L'infezione si contrae molto facilmente in assenza di una copertura vaccinale efficace. Il vaccino può ridurre la mortalità anche dei soggetti già esposti, se somministrato entro tre giorni dal contagio. La mortalità dei soggetti contagiati e non trattati si aggira intorno al 30%.

La tularemia è una malattia batterica causata dal microrganismo *Francisella tularensis*, di dimensioni molto ridotte (0,2 per 0,2-0,7 micron). Può essere trasmessa da un aerosol, anche se un passaggio diretto da persona a persona per via respiratoria appare poco probabile. Esiste un trattamento farmacologico efficace.

Le febbri emorragiche virali sono causate da una famiglia di virus, tutti trasmissibili tramite inalazione di un aerosol infetto. Questi virus sono molto difficili da isolare e da coltivare, quindi non sono considerati di probabile utilizzo in un attacco terroristico.

La tubercolosi, causata dal batterio *Mycobacterium tuberculosis*, è caratterizzata da una infettività piuttosto bassa: sono infatti necessarie esposizioni ripetute e prolungate affinché il *Mycobacterium* possa instaurarsi a livello polmonare. La maggior parte delle persone esposte non si ammala, però può albergare facilmente nei polmoni l'agente infettivo per molto tempo, fungendo così da portatore inconsapevole.

Tossine

Alcune tossine, come l'Enterotossina B stafilococcica, possono causare malesseri a dosi molto basse. Per ottenere effetti mortali necessitano dosaggi molto più alti. Ad ogni modo, la sola mortalità non è un indice appropriato per quantificare la pericolosità delle tossine; anche quelle apparentemente meno letali possono causare gravissime conseguenze se disperse sotto forma di aerosol all'interno di un edificio. Delle circa 400 tossine conosciute, 17 sono considerate "estremamente tossiche" (tutte di origine batterica), 73 sono "altamente tossiche" (12 batteriche, 5 di origine vegetale, le rimanenti prodotte da organismi ed animali di vario genere), mentre 305 sono classificate come "moderatamente tossiche" (20 batteriche, 31 vegetali e le rimanenti di varia origine). Le "estremamente tossiche" rappresentano dei potenziali mezzi di distruzione di massa; quelle di uso più probabile negli spazi confinati appartengono al gruppo delle "altamente tossiche". L'uso delle "moderatamente tossiche" sembra invece probabile solo in caso di attacchi mirati a singole persone, a causa delle dosi relativamente elevate necessarie per ottenere un effetto letale.

Tutte le tossine più pericolose sono di origine batterica: si tratta generalmente di tossine molto difficili da produrre su larga scala, a differenza di quelle di origine vegetale, più alla portata delle organizzazioni terroristiche. La tossina botulinica, le enterotossine stafilococciche, le tossine della difterite e del tetano rappresentano un esempio tipico di tossina batterica. Una tossina vegetale piuttosto facile da ottenere è la ricina, una tossialbumina estratta dal guscio dei semi del ricino...



I fiori femminili del Ricino danno origine ad una sacca spinosa, contenente dei grossi semi bruni, dal guscio estremamente tossico.

Agenti chimici

Agenti nervini: questi agenti chimici, se inalati, ingeriti oppure assorbiti attraverso la pelle, provocano dapprima delle contrazioni muscolari incontrollate, seguite in breve tempo da paralisi e morte.

- Tabun (GA): è un liquido marroncino che libera vapori trasparenti. Il GA è stato il primo agente nervino, messo a punto dalla Germania prima della Seconda Guerra Mondiale.
- Sarin (GB): è privo di odore e colore, ed è caratterizzato da una accentuata volatilità.
- Soman (GD): è privo di colore sia in forma liquida sia in forma di vapore. Il Soman è il più velenoso degli agenti nervini, a causa della grande facilità con cui è in grado di permeare il sistema nervoso.
- Agenti-V (VX, VX2): questi agenti rimangono sempre allo stato liquido, in quanto scarsamente vaporizzabili. Si tratta di agenti da contatto, e sono estremamente tossici. I vapori rilasciati in piccolissima quantità rappresentano comunque un grande pericolo.

Agenti che agiscono sul sangue: principalmente assumibili per inalazione, sono tutti altamente volatili e quindi non persistenti. Molti sono composti del cianuro. Il cianuro di idrogeno (AC), il cloruro di cianogeno (CK) e l'arsina (SA) sono i più rappresentativi agenti del gruppo. Possono essere facilmente dispersi sotto forma di aerosol oppure con l'ausilio di esplosivi.

Agenti vescicanti: possono essere assorbiti dall'organismo sia internamente che esternamente, causando infiammazione, vesciche ed estese distruzioni tissutali. Possono essere rilasciati in forma liquida o di vapori trasparenti.

Agenti soffocanti: il fosgene (CG) e il difosgene (DP) sono i più noti rappresentanti questo gruppo. Sono fortemente irritanti per il sistema respiratorio, causando tosse e soffocamento. Il CG è un gas incolore, il cui odore ricorda l'erba appena tagliata, che tende a restare adeso al terreno.

Agenti lacrimogeni: sono numerosi (CS, CS1, CS2, CSX, CR, CN), provocano una intensa lacrimazione ed irritazione della pelle. Alcuni sono fortemente irritanti per il sistema respiratorio, altri possono indurre anche nausea e vomito. L'esposizione all'esterno porta in genere a sintomi poco persistenti; l'esposizione indoor può invece essere molto pericolosa o mortale.

Agenti incapacitanti: si tratta di sostanze che inducono effetti sul sistema nervoso tali da comportare inabilità temporanea. A differenza degli altri agenti, dovrebbero possedere una maggiore maneggevolezza, ovvero una notevole differenza tra dose efficace e dose mortale. L'uso in ambito indoor può in realtà comportare facilmente esiti mortali.

Riferimenti Internet

Piano sanitario italiano contro il bioterrorismo:

<http://www.ministerosalute.it/dettaglio/pdPrimoPiano.jsp?id=114&sub=2&lang=it>

Procedure di soccorso in caso di attacco bioterroristico:

http://www.croceverde.org/cv/pg_nbc_index.htm

prodotti e servizi per la protezione NBC:

<http://www.bmd.it/Servizi/Nbc/Default.aspx>

Produzione di carboni attivi impregnati:

<http://www.sutcliffepeakman.com/homefrmr.htm>