

Progetto e Impianti

L'accurato controllo dei parametri ambientali è un requisito fondamentale per gli impianti di condizionamento a servizio dei laboratori.

Aria sotto controllo nei laboratori

di Cristiano Vergani

I laboratori sono ambienti che richiedono un accurato controllo della qualità dell'aria, parametri microclimatici costanti ed una gestione complessa dei flussi di mandata e di aspirazione. Per questi motivi, l'impianto di condizionamento deve essere realizzato con cognizione di causa, utilizzando particolari accorgimenti di regolazione.

L'ambiente di laboratorio è uno dei più critici in tema di trattamento dell'aria, in quanto è necessario soddisfare contemporaneamente almeno tre esigenze principali:

- il comfort e la tutela della salute del personale;
- il mantenimento dei parametri di temperatura, umidità e pulizia dell'aria ottimali per il funzionamento delle apparecchiature e dei processi;
- il contenimento del fabbisogno energetico.

Inoltre, vi sono le difficoltà tecniche che derivano dalla presenza di numerosi punti di aspirazione localizzata (magari utilizzati in modo discontinuo) e dalla necessità di mantenere dei differenziali di pressione costanti tra il laboratorio nel suo insieme, oppure tra zone delimitate del laboratorio stesso e l'esterno. Tutto ciò dovendo conservare un microclima costante ed omogeneo in un intervallo di valori molto ristretto, secondo quanto previsto dalle normative che regolano il settore di attività: ad esempio, le specifiche per un laboratorio di metrologia sono diverse rispetto a quelle di un laboratorio di analisi nel settore tessile, o della carta, oppure di un laboratorio biologico o nucleare, e così via. Per di più, si deve tenere conto delle diverse condizioni necessarie nei vari ambienti dove si svolgono delle attività particolari, come le pesate di precisione, la manipolazione di elementi pericolosi o molto tossici, la preparazione e l'eventuale decontaminazione del personale e delle attrezzature, eccetera.

E' quindi evidente che ci troviamo di fronte ad un settore iper-specialistico, dove non sono

ammesse improvvisazioni, e dove, in caso di errore, si possono avere delle conseguenze potenzialmente disastrose.

Nei casi più semplici, ad esempio nei piccoli laboratori destinati al controllo di qualità negli stabilimenti produttivi, ci si limita comunque ad applicare dei punti di aspirazione localizzata in corrispondenza delle zone più a rischio (ad es. miscelazione di prodotti, travaso di solventi) e a provvedere ad una climatizzazione simile a quella in uso negli uffici, con piccoli impianti canalizzati dotati di anemostati di diffusione ed uno o più punti di ripresa, in grado di controllare la sola temperatura ambiente con una precisione approssimativa. Con la progressiva applicazione di norme sulla qualità del prodotto (e sulla sicurezza degli addetti) sempre più stringenti, questa tipologia di proto-laboratorio sta scomparendo, per lasciare il posto a realizzazioni molto più evolute, anche al di fuori delle classiche applicazioni chimico-farmaceutiche. Basti pensare ai controlli molto sofisticati che si effettuano attualmente nell'industria alimentare, oppure in numerose industrie di componentistica di precisione. Per questi motivi, è sempre più diffusa la realizzazione di laboratori con impianti di condizionamento ad alte prestazioni, grazie anche all'abbondante disponibilità sul mercato di sistemi di regolazione e di controllo sempre più sofisticati, ma di installazione relativamente semplice.

Impianti a portata variabile controllata da sensori

Attualmente, la grande maggioranza dei laboratori di nuova costruzione è dotata di impianti di ventilazione a portata variabile, che utilizzano ventilatori azionati da inverter comandati da una logica di controllo, in base ai parametri rilevati da una rete di sensori. Il parametro fondamentale è rappresentato dalla pressione relativa da mantenere all'interno dei locali, che può essere di segno negativo (depressione) o positivo (sovrapressione), in dipendenza del tipo di attività e dei materiali trattati nel laboratorio. Come principio generale, il gradiente di pressione deve essere sempre contrario al gradiente di concentrazione degli inquinanti che si desidera tenere sotto controllo: ad esempio, un laboratorio ad elevate esigenze di pulizia dell'aria, assimilabile ad una camera bianca, dovrà sempre essere mantenuto in sovrapressione, per ostacolare l'ingresso degli inquinanti esterni. Al contrario, un laboratorio biologico o chimico che utilizza microrganismi patogeni o sostanze tossiche, dovrà essere sempre mantenuto in depressione per ostacolare la possibile fuga verso l'esterno di tali elementi nocivi. In entrambi i casi, è fondamentale l'utilizzo di filtri ad alta efficienza per impedire il trasporto

dei contaminanti attraverso la normale ventilazione. Il valore di pressione interna desiderato viene ottenuto attraverso un opportuno sbilanciamento tra le portate di immissione di aria esterna trattata e di espulsione all'esterno dell'aria estratta. Il gradiente di pressione ottimale dovrà essere mantenuto stabile nonostante tutti i flussi che potrebbero perturbarlo, di natura continuativa, o episodica (ad es. apertura e chiusura delle porte). Per quanto riguarda il problema dei passaggi di ingresso o di uscita, la soluzione consiste nell'impiego di una anticamera a tenuta con doppie porte (*air-lock*), da azionare separatamente. Invece, per compensare i flussi di perturbazione, è indispensabile agire in tempo reale sulle portate di immissione e di estrazione principali, operando in senso uguale (in portata) e contrario (in direzione) rispetto al flusso da compensare. Ad esempio, l'apertura del pannello frontale di una cappa a contaminazione controllata comporta un immediato aumento della sua portata di aspirazione, in modo da mantenere la minima velocità di sicurezza prevista dalle norme per la sezione di accesso: in tal caso, per mantenere costante il differenziale di pressione complessivo dell'ambiente, si dovrà compensare tale aumento con una corrispondente diminuzione dell'estrazione generale del locale. Inoltre, la portata di immissione di aria trattata dipende anche dalle necessità di mantenere costanti i parametri microclimatici. Anche in questo caso, la logica di controllo compenserà la variazione agendo sulla portata di estrazione generale.

Il sistema di controllo è tipicamente costituito da una unità logica centrale che comanda separatamente la velocità dei ventilatori di immissione ed estrazione dell'impianto principale, in base ai segnali ricevuti da altre unità logiche periferiche, che hanno il compito di tenere sotto controllo l'ambiente interno e lo stato delle aspirazioni localizzate (bracci aspiranti, cappe a contaminazione controllata). Oltre al controllo dei ventilatori, le portate nei vari rami dell'impianto sono regolate attraverso serrande comandate da attuatori elettrici o pneumatici. Le aspirazioni localizzate possono essere attivate, disattivate e regolate manualmente dagli operatori o per mezzo di sensori di presenza e di velocità dell'aria. L'impianto non è mai progettato per soddisfare contemporaneamente le esigenze di tutti i punti di aspirazione localizzati, in quanto si suppone che essi non siano mai utilizzati tutti insieme. In caso di superamento della massima portata ammissibile, un apposito allarme avverte gli operatori che è necessario disattivare le aspirazioni eccedenti.

Le logiche di controllo sono interconnesse tra loro e con i sensori presenti nell'ambiente e nell'impianto, tramite un bus di comunicazione in grado di interfacciarsi, a sua volta, con un eventuale sistema di *building automation* per la gestione generale degli impianti dell'edificio. Oltre ai parametri locali, l'impianto risponderà opportunamente alla

programmazione degli eventi generali (notte/giorno, estate/inverno ecc.).

Laboratori con esigenze microclimatiche particolari

Esistono numerose tipologie di processo e di analisi che richiedono microclimi specifici: per brevità ci limiteremo ad esaminare come esempio le specifiche per i laboratori di metrologia e di controllo dei prodotti tessili.

Laboratori di metrologia

Nei laboratori di metrologia, per minimizzare gli errori di misura dovuti alle variazioni dimensionali dei materiali ed all'instabilità degli strumenti di misura, è necessario mantenere stabili i parametri microclimatici in un intervallo estremamente contenuto. Ricordiamo che la storica norma ISO 1 stabilisce una temperatura di 20°C per le misurazioni geometriche degli oggetti e che, generalmente, i costruttori dichiarano il margine di errore dei propri strumenti proprio a questa temperatura. Per questi motivi, l'impianto di condizionamento dovrà essere regolato in modo da mantenere una temperatura di 20°C nel modo più stabile possibile. Per garantire delle misurazioni con un elevato grado di accuratezza, si dovranno mantenere nel nostro laboratorio i seguenti parametri:

- temperatura di 20°C con variazione massima $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
- umidità relativa 45% con variazione massima $\pm 2\%$
- massimo gradiente termico spaziale $0,5^{\circ}\text{C/m}$
- massimo gradiente termico temporale $0,5^{\circ}\text{C/h}$
- massima velocità ambientale dell'aria 0,15 m/s

Queste indicazioni sono valide anche per i normali laboratori, limitatamente a quei locali destinati a misure di alta precisione, come i locali di pesatura.

Laboratori per l'analisi dei prodotti tessili

Nei laboratori di analisi delle proprietà chimico-fisiche dei prodotti tessili, occorre tenere in

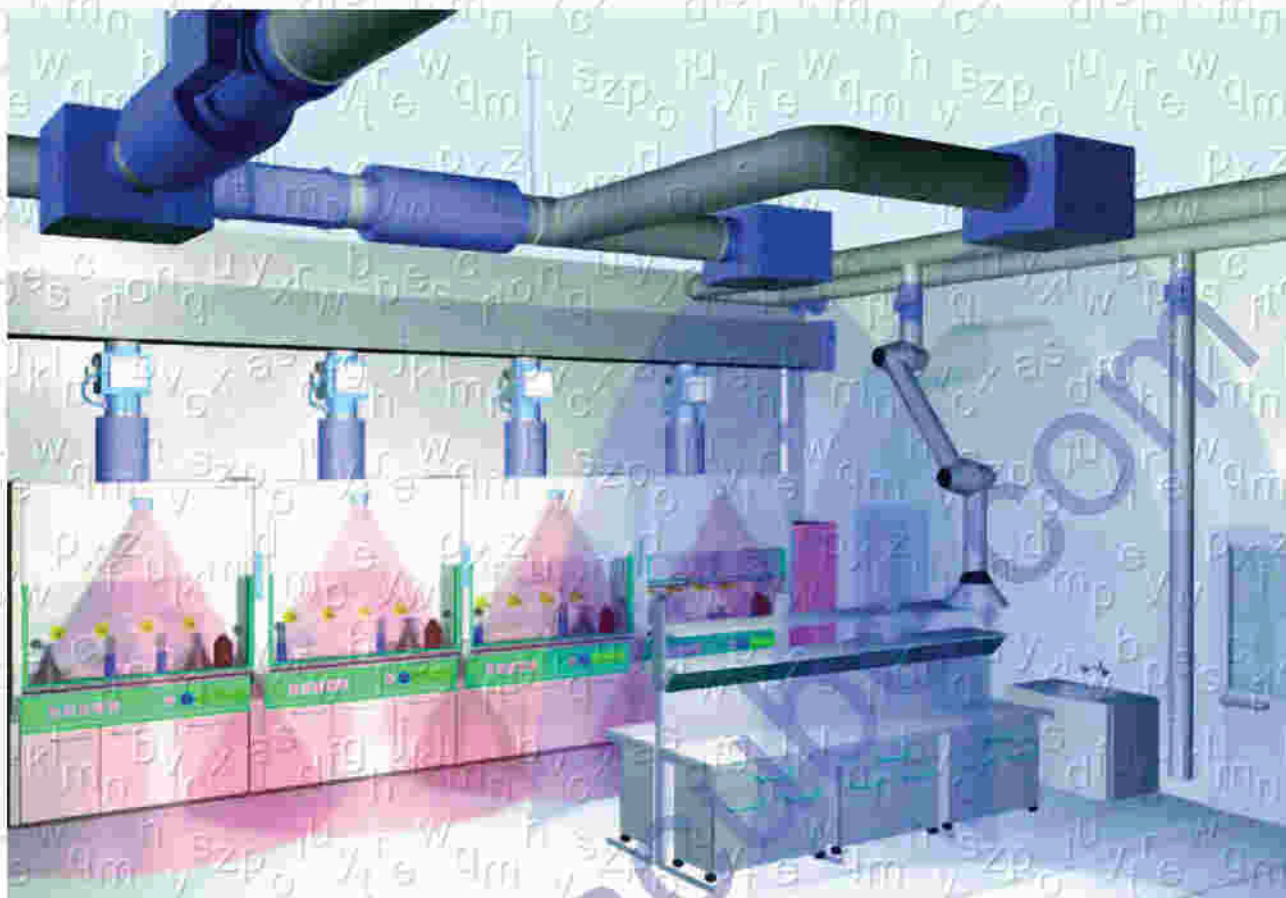
considerazione le esigenze caratteristiche del prodotto da esaminare. Infatti, data la sensibilità dei prodotti tessili ai parametri termoigrometrici, ogni campione, prima di qualsiasi prova, deve essere condizionato in una atmosfera "normale" per un periodo variabile in base alle caratteristiche del materiale ed al tipo di test in programma. Anche le successive operazioni di prova dovranno essere condotte mantenendo gli stessi parametri. La norma ISO 139 stabilisce le caratteristiche di questa atmosfera normale, cioè una temperatura di 20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) ed una umidità relativa del 65% ($\pm 4\%$). Per alcuni prodotti è invece specificata una temperatura di 23°C con un livello di U.R. pari al 50%. La norma BS 4194 specifica, sempre per 20°C al 65% di U.R., due livelli di tolleranza (livello 1, $\pm 2^\circ\text{C}$ e 5%; livello 2, $\pm 1^\circ\text{C}$ e 2%). La norma statunitense ASTM D123-58 riporta invece una temperatura di $21^\circ\text{C} \pm 1,1^\circ\text{C}$ ed una umidità relativa pari al $65\% \pm 2\%$.

Sarà quindi necessario prevedere una regolazione dell'impianto di condizionamento in grado di soddisfare questi requisiti, tenendo conto che le variazioni di temperatura (a parità di contenuto di vapore acqueo) determinano importanti cambiamenti nel valore di umidità relativa: ad esempio, a 20°C ed al 65% di U.R., una variazione di 1°C provoca una variazione di ben il 4% nell'umidità relativa. Per questo, occorrerà prevedere una stabilità in temperatura preferibilmente migliore di $0,5^\circ\text{C}$, un valore più restrittivo di quello previsto dalle norme citate.

Velocità frontale (m/s)	0,4	0,5	0,66	0,75	0,83	1	1,17	1,33
Circ. Min. del Lavoro n. 46 12/06/79								
AFNOR XP X15-203								
BS 7258								
Schede COSHH		 vapori				 polveri		
ACGIH - Industrial ventilation								
SAMA	 bassa nocività	0,5 media tossicità			0,7 alta tossicità, cancerogeni e mutageni			
Raccomandazione UNICHIM	0,4	 vapori			0,85		1 polveri	

Tabella 1

Il parametro più importante per dimensionare la portata massima di estrazione nei laboratori è rappresentato dal valore minimo di velocità frontale prescritto per le cappe a contaminazione controllata. Tale valore cambia secondo la norma di riferimento e la tipologia degli inquinanti coinvolta: in ogni caso è consigliabile non scendere mai al di sotto di 0,5 m/s. La presenza di polveri impone velocità superiori a 1 m/s.

**Figura 1**

In ogni momento, deve essere garantita sulle aspirazioni la corretta velocità dell'aria necessaria ad impedire la diffusione di eventuali sostanze nocive. Oltre ai normali sensori di velocità a bordo cappa, gli impianti più moderni sono dotati di sensori di presenza per adeguare le portate in relazione all'attività degli operatori nelle vicinanze.

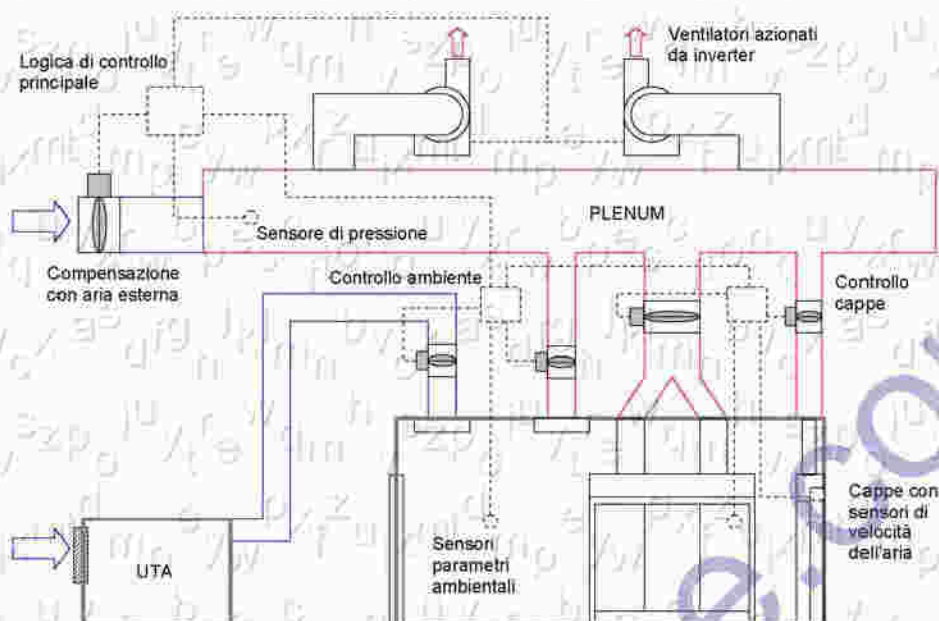


Figura 2

Per mantenere costante la differenza di pressione stabilita di progetto, in seguito all'apertura delle cappe o al variare delle condizioni termogrometriche rispetto ai valori impostati, è necessario ricorrere ad un complesso sistema di regolazione, asservito a numerosi sensori.

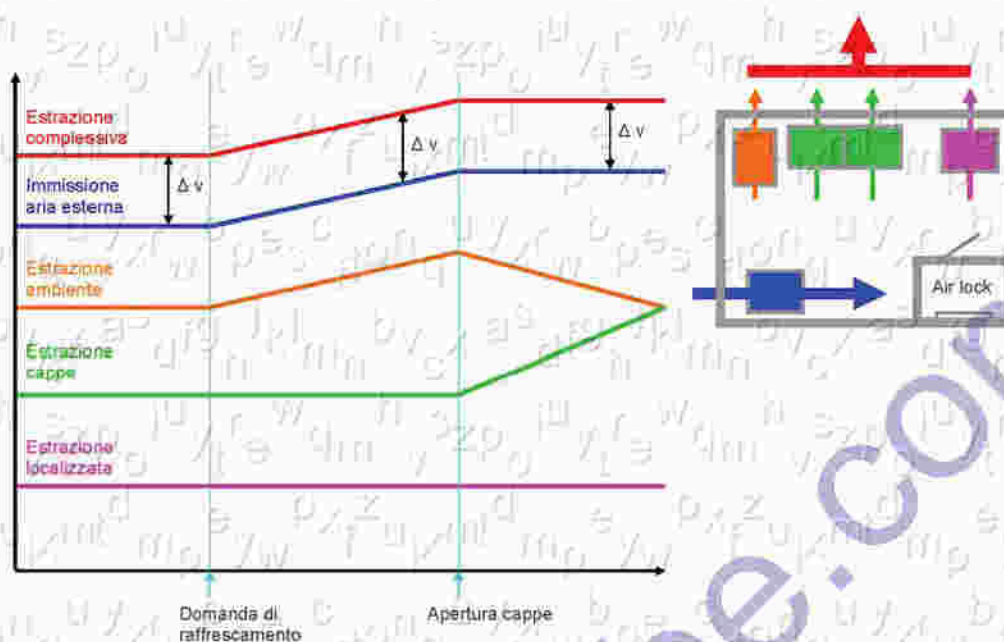


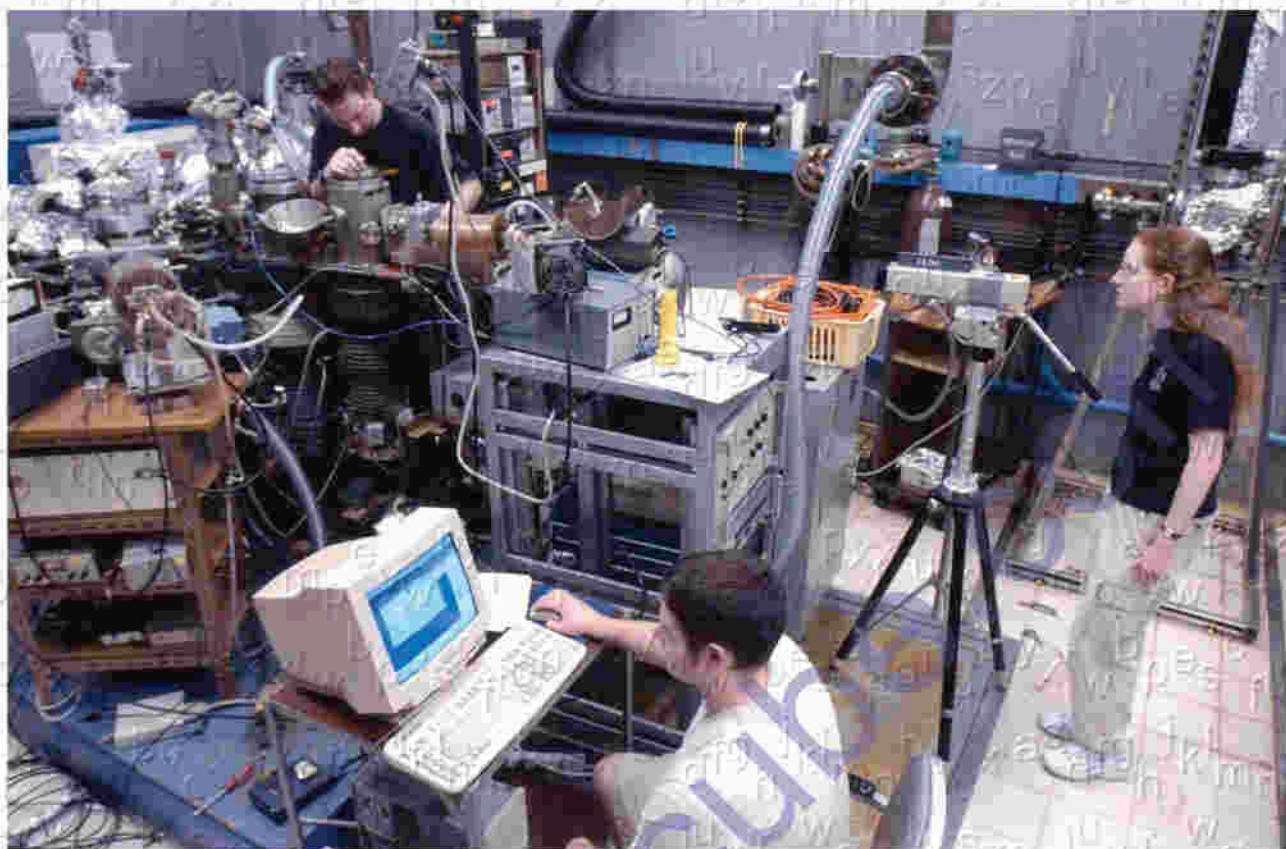
Figura 3

Il valore differenziale di pressione stabilito (negativo, in questo caso) può essere mantenuto costante regolando opportunamente la portata dell'aria estratta dall'ambiente. Ad esempio, quando aumenta la portata di aria esterna trattata, aumenta proporzionalmente l'estrazione dal volume ambientale; se contemporaneamente si apre l'accesso a una o a più cappe, l'aumento della loro portata ne è automaticamente sottratto.



Figura 4

Un moderno laboratorio di una Casa farmaceutica.

**Figura 5**

Ogni tipologia di laboratorio possiede delle problematiche specifiche: un laboratorio di fisica come questo, ad esempio, non richiede un livello di pulizia esasperato dell'aria, piuttosto l'impianto di condizionamento dovrà tenere conto dell'elevato carico termico causato dal notevole assorbimento elettrico delle apparecchiature utilizzate.

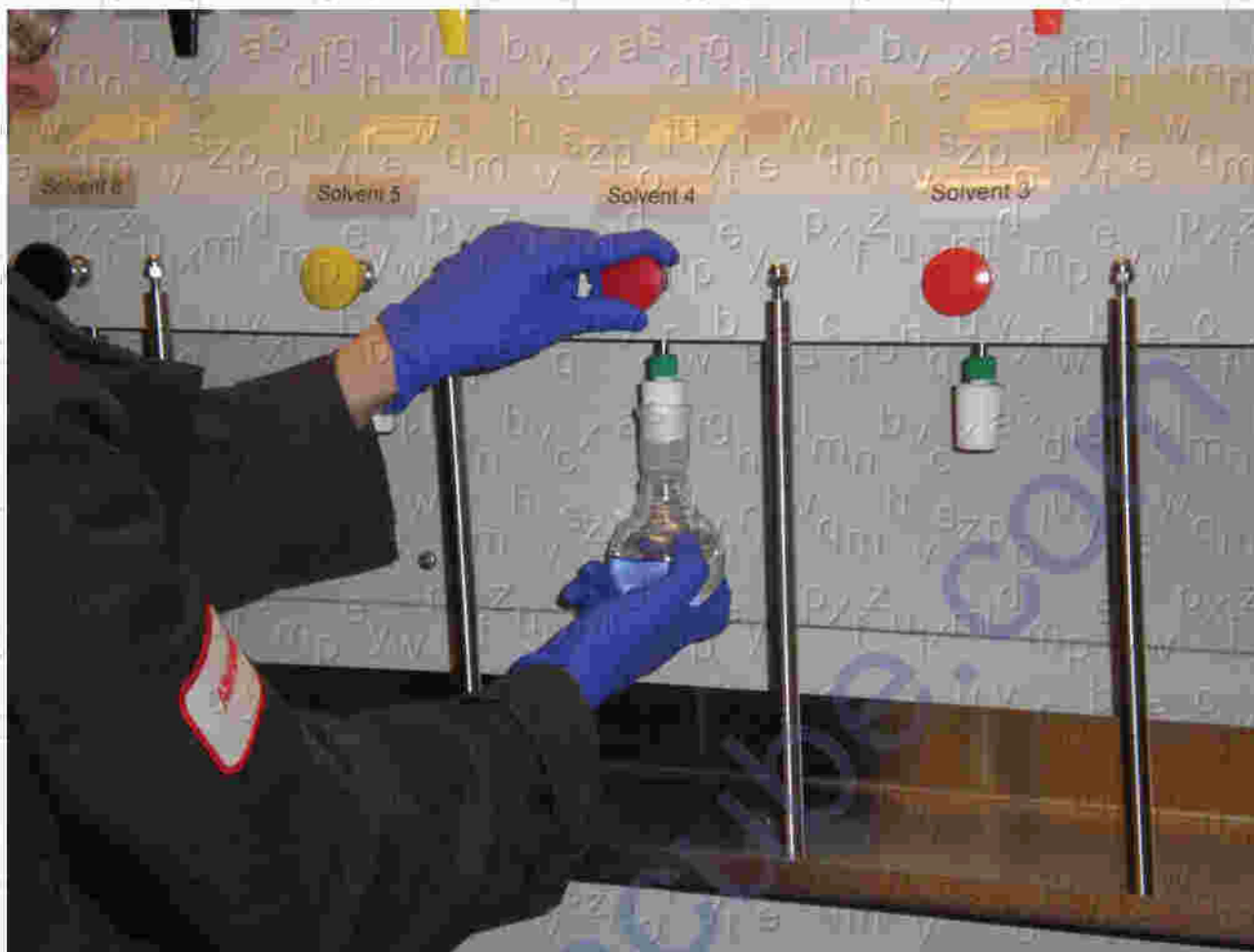


Figura 6

In molti laboratori si utilizzano grandi quantità di solventi: in questi casi, è utile prevedere una zona dedicata per lo spillamento, dotata di punti di prelievo sotto cappa in aspirazione costante.



Figura 7

Le aspirazioni localizzate permettono di controllare efficacemente le fonti di inquinanti, evitando così di ricorrere a ricambi d'aria eccessivamente elevati per mantenere le concentrazioni di sostanze nocive al di sotto dei limiti di sicurezza.