



1 Render del nuovo edificio per laboratori del Politecnico di Milano - campus Bovisa.

REALIZZAZIONI

Impianti speciali per laboratori complessi

I nuovi laboratori integrati del dipartimento di energia del politecnico di Milano – Bovisa presentano, sotto l'aspetto impiantistico, peculiarità di notevole interesse che si sono tradotte in sistemi HVAC e di trasporto gas tecnici di assoluta complessità, coniugando il rispetto dei criteri di radioprotezione, della riduzione dei rischi d'incendio ed esplosione, senza trascurare il contenimento dei consumi energetico.

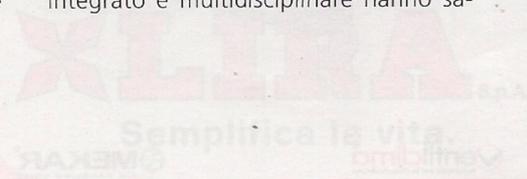
Andrea Crivellaro, Simone Cappelletti, Mauro Strada

È in fase avanzata di costruzione il nuovo edificio per laboratori integrati di tecnologie e processi chimici e di ingegneria nucleare e delle radiazioni nel nuovo dipartimento di energia del Politecnico di Milano - campus Bovisa (figura 1). Appalto Concorso vinto dalla Impresa di Costruzioni Giuseppe Maltauro che si è affidata alla società Steam per la progettazione definitiva

e ed esecutiva. Il complesso si compone di tre corpi di fabbrica denominati A, B, C per un totale di 10.000 metri quadrati utili. Il primo (A) ospiterà su tre piani laboratori altamente specializzati nella ricerca nucleare, elettronica e nelle misure nucleari, nonché un'ampia sezione dedicata a laboratori di chimica industriale. Il secondo edificio (B) ospiterà bunker di irraggiamento raggi X e

Gamma e un potente acceleratore nucleare a scopi di ricerca. Nel terzo edificio (C), infine, troverà collocazione il laboratorio di controllo e tre bunker per prove di combustione in celle catalitiche con gas ad alta pressione.

Il progetto di tale complesso ha dovuto confrontarsi con numerose e interferenti problematiche che solo un approccio integrato e multidisciplinare hanno sa-



puto risolvere. In particolare la presenza e manipolazione di sostanze radioattive unite all'utilizzo di gas infiammabili hanno richiesto un attento studio delle soluzioni impiantistiche al fine di assicurare i migliori livelli di sicurezza, affidabilità e flessibilità delle attività di ricerca. Nonostante la progettazione, completamente in capo alla società di ingegneria Steam di Padova, abbia riguardato l'intero fabbricato, anche sotto l'aspetto strutturale, architettonico, di arredo e dotazione di laboratorio, e nonostante sia difficile, del presente progetto, individuare anche una sola componente che si possa dire "ordinaria", nel presente lavoro verranno espresse le soluzioni impiantistiche delle sole aree che hanno dimostrato maggior complessità.

HVAC e radioprotezione

L'edificio A ospiterà al piano terra un importante centro di ricerca di radiochimica, diviso in "calda" e "fredda" in base alle potenzialità di emissione,

in cui verranno manipolate sorgenti radioattive non sigillate. In tale circostanza all'impianto HVAC è demandata la strategica funzione del confinamento delle eventuali emissioni di sostanze radioattive, confinamento i cui criteri sono contenuti nella UNI 10491 recante "Criteri per la costruzione di installazioni adibite alla manipolazione di sorgenti radioattive non sigillate". La norma individua, al crescere del rischio collegato alla attività delle sorgenti radioattive, in Bq, la tipologia di laboratorio o reparto, dalla A alla D. In base alla tipologia il laboratorio o reparto deve quindi essere suddiviso in zone con rischi di contaminazione crescenti. In questa fase deve essere quindi un Esperto Qualificato in Fisica (come prescritto dalla Legislazione) a delineare, in base alle attività e sorgenti presenti, quali debbano essere le zone.

I laboratori di radiochimica calda sono stati classificati in zone progressive da A a C, è stata esclusa la possibilità di locali in classe D (figura 2).

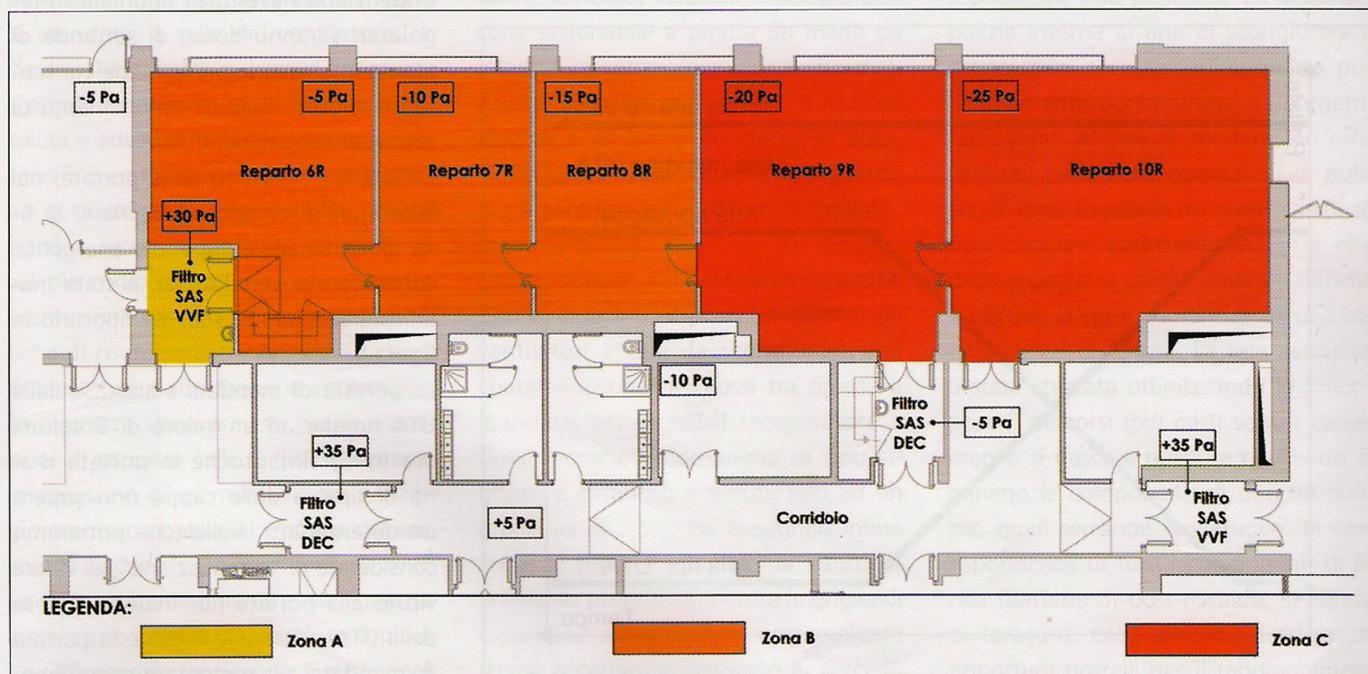
All'individuazione delle zone si accom-

pagna la determinazione delle portate d'aria di mandata, in termini di ricambi ora e dei gradienti di pressione che dovrà generare l'impianto HVAC attraverso lo squilibrio tra portata di mandata e ripresa.

Le portate d'aria di mandata vengono nuovamente indicate dalla UNI 10491:

- zona A e B, 2-5 Vol/h;
- zona C, 5-10 Vol/h;
- zona D, oltre 10 Vol/h

Le ingenti portate d'aria prescritte, rigorosamente e completamente attinta dall'esterno escludendo la possibilità di ricircolo, rispondono alla necessità di diluire le eventuali emissioni di sorgenti radioattive, diminuendo quindi le concentrazioni a cui potrebbe essere esposto l'operatore. Nella definizione delle portate ha inoltre concorso l'esigenza di contenere il rischio derivante da utilizzo di gas infiammabili, necessari per l'esecuzione delle più elementari esperienze di laboratorio e per il funzionamento di particolari apparecchiature come, ad esempio, il gas-cromatografo che nel



2 Suddivisione in zone dei laboratori di radiochimica calda.

suo funzionamento è alimentato da idrogeno. Per effetto della ventilazione meccanica è infatti possibile contenere il rischio derivante da eventuali fughe diluendo le concentrazioni di gas nell'aria libera dei locali e promuovendo un efficiente ricambio; a questo proposito, supportati da una specifica analisi ATEX, i tassi di ventilazione sono quindi stati aumentati a 10-12 Vol/h. Va inoltre sottolineato che l'impianto progettato consentirà in futuro di installare un ciclotrone nel bunker dell'edificio B e ospitare le relative apparecchiature di sintesi, le celle ed il controllo di qualità nell'edificio A. Il sistema HVAC, attraverso opportune riconfigurazioni dei valori di portata di mandata e ripresa (tassi di rinnovo e valori dei de/pressurizzazione dei locali), soddisfa infatti anche i requisiti per accreditamento per preparazione radiofarmaci secondo la Farmacopea Ufficiale Italiana e le Norme di Buona Preparazione (NBP). I valori di depressurizzazione assoluta (rispetto all'esterno) e relativa (tra loca-

li adiacenti), riportati in figura 2, sono stati determinati di concerto con l'Esperto Qualificato in Fisica e nello spirito della UNI 10491.

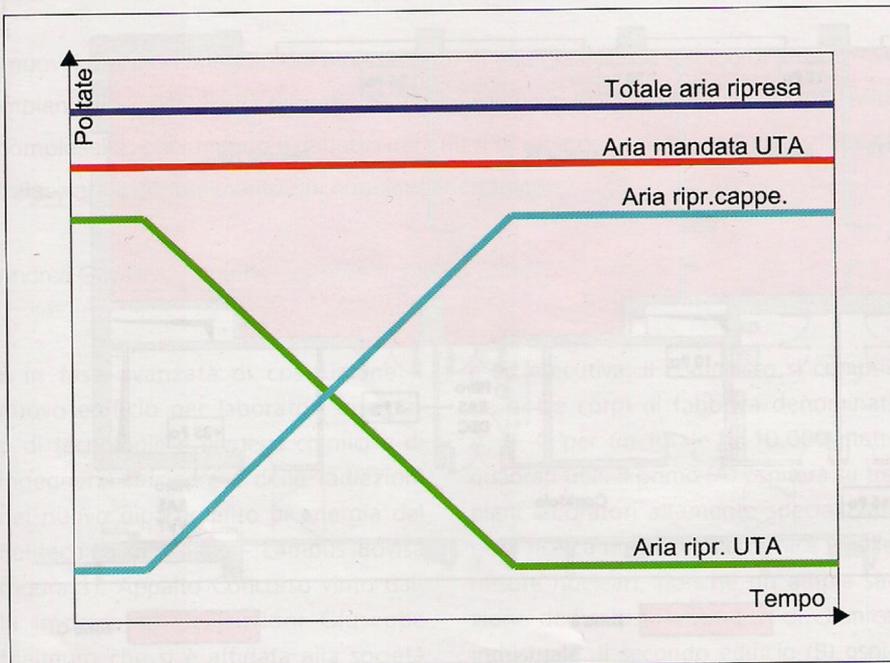
Gli squilibri tra portate di mandata e ripresa sono stati quindi calcolati prendendo a riferimento quanto indicato dalla UNI 12101 - 6 recante "Smoke and heat control systems - Part 6: Specification for pressure differential systems - Kits"; in sostanza, a partire dalle caratteristiche delle fessure presenti tra locali (porte, pareti, passaggi impiantistici) si è determinata la portata di infiltrazione tra locali promossa dal gradiente di pressione da conseguire, tale portata rappresenta lo squilibrio che al minimo deve porsi tra portata di mandata e portata di ripresa. Al fine di compensare il funzionamento delle cappe chimiche presenti nei vari reparti (la cui aspirazione provocherebbe una eccessiva depressurizzazione dei locali) sono stati previsti dei regolatori di portata sia sul ramo di mandata che su quello di ripresa.

La logica di compensazione del funzionamento, nella sua configurazione elementare, è rappresentata in figura 3.

Il regolatore di mandata si preoccupa di mantenere costante, grazie ad un apposito misuratore, la portata d'aria, a prescindere dalle condizioni della rete aeraulica nel suo complesso, comunque stabilizzate dalla presenza di inverter a servizio dei ventilatori di mandata. Il regolatore di ripresa si preoccupa di ridurre la portata a compensazione della portata estratta, su condotti specifici, dalle cappe. A questo fine, quindi, sulle condotte di estrazione dalle cappe sarà installato un misuratore di portata. L'impianto si adatterà quindi con precisione alle varie combinazioni di funzionamento delle cappe. Lo stato delle depressurizzazioni rispetto all'esterno sarà monitorato da appositi sensori di pressione differenziale che, in caso di anomalia, invieranno, attraverso il BMS, un allarme manutentivo urgente. Il BMS si preoccuperà inoltre di registrare lo storico delle misurazioni delle portate evidenziando eventuali anomalie. I regolatori saranno dotati di serranda di tenuta in chiusura, presidio che consente un miglior livello di contenimento di eventuali contaminanti.

La logica di governo delle portate, nei laboratori di chimica industriale, al fine di contenere il dispendio energetico connesso alla ventilazione, è stata modificata secondo lo schema riportato in figura 4.

La portata di mandata elaborata dalle UTA rimane ad un valore di 5 volumi ora ($n=5$) fintantoché la portata d'aria di ripresa delle cappe non supera un determinato livello (che potremmo considerare di "attenuazione", di valore vicino alla portata nominale di ripresa della UTA), oltre tale livello è la portata di mandata ad aumentare a compensazione delle cappe. Tale logica di fun-



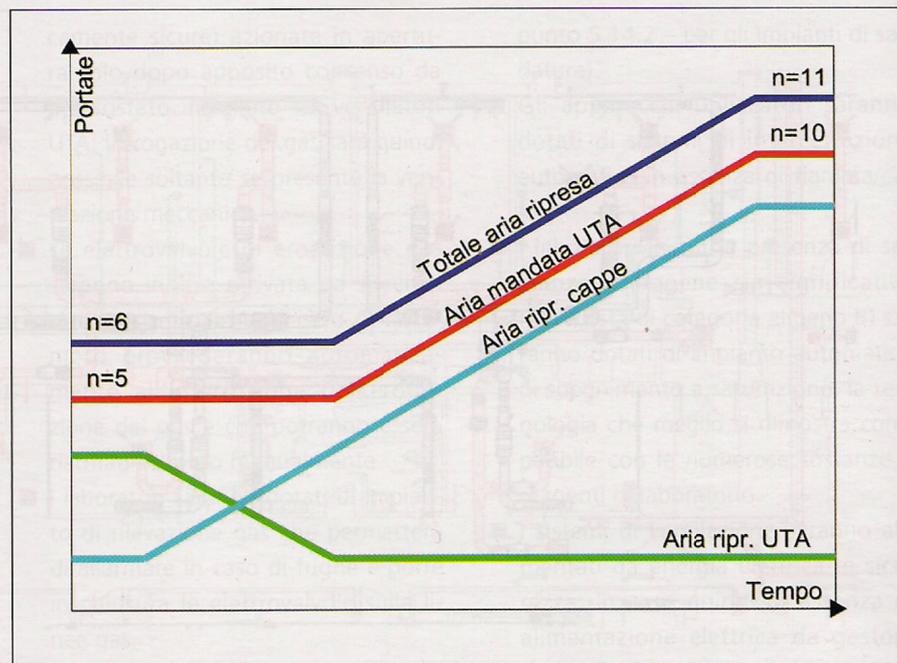
3 Logica di compensazione delle cappe, configurazione elementare.

zionamento permette di limitare, complessivamente, l'aria trattata, con conseguenti benefici energetici.

Al fine di consentire all'operatore la migliore protezione, le cappe con saliscendi vetrato frontale (sash) saranno dotate di potenziometro di rilevamento della posizione di apertura e sensore della velocità frontale dell'aria in aspirazione (face velocity); tali valori, processati da un regolatore installato a bordo della cappa stessa e comunque interfacciato con il sistema di governo centralizzato impianti, permetteranno di regolare la portata d'aria d'estrazione della cappa mantenendo il valore della velocità frontale al di sopra dei valori minimi. Inoltre, le celle di radiochimica saranno dotate di proprio sistema di ventilazione a ricircolo e di estrattore finalizzato a garantire la depressione della cella sigillata. Le scatole a guanti saranno anch'esse aspirate in continuo. I canali di distribuzione aeraulica radiochimica calda sono illustrati in figura 5.

Le unità di trattamento aria saranno dotate di filtrazione assoluta sul ramo di mandata, a valle del ventilatore, di classe H14, mentre, sul ramo di ripresa, a monte dei ventilatori, la filtrazione assoluta e adsorbente sarà ospitata in uno specifico contenitore anticontaminazione di sicurezza a doppio stadio, chiuso tra due serrande a tenuta e dotato di valvola rompivuoto, che permetterà la sostituzione dei filtri con le migliori pratiche di contenimento. Analoghi sistemi di filtrazione e adsorbenti in contenitore di sicurezza sono previsti per le estrazioni di cappe e celle. I filtri di ripresa, infatti, sono gli elementi su cui è maggiormente probabile il deposito del veicolo radiogeno.

Le UTA saranno alimentate da corrente elettrica in continuità assoluta (quindi da UPS seguito da Gruppo Elettrogeno) e quindi assicureranno il servizio anche



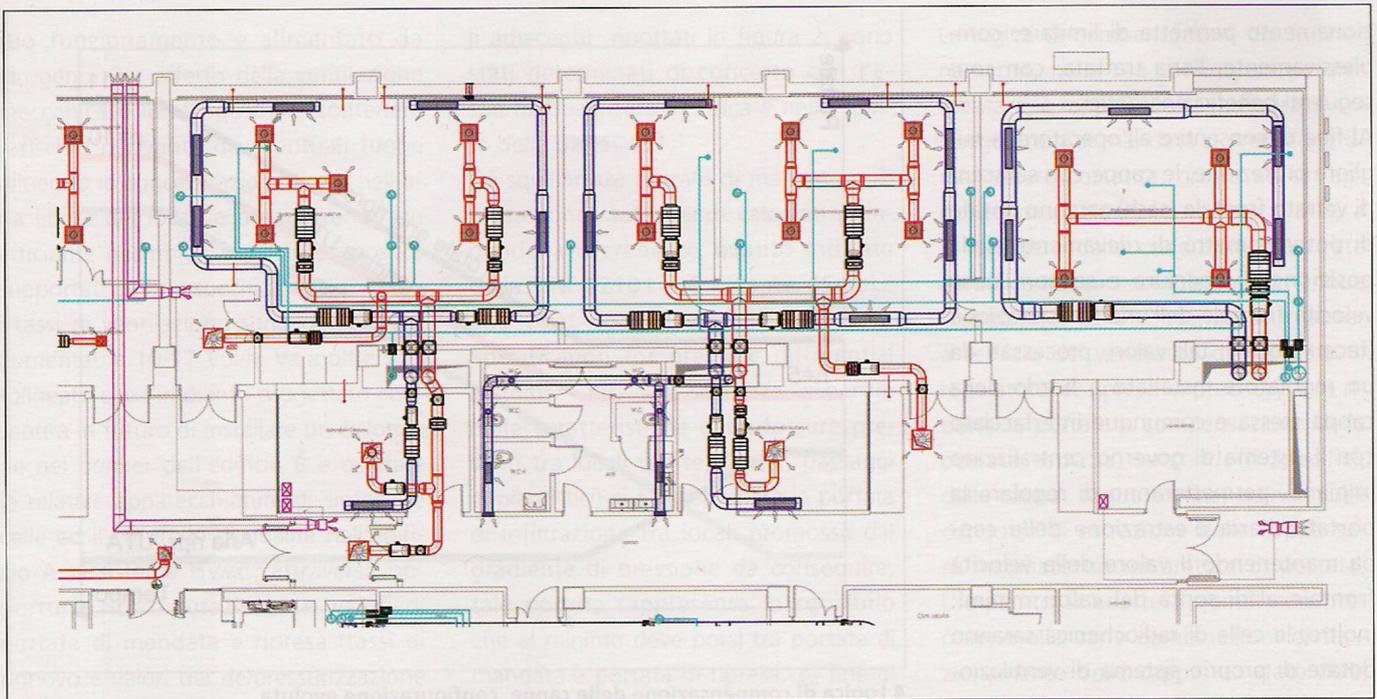
4 Logica di compensazione delle cappe, configurazione evoluta.

in caso di black-out elettrico mentre le sezioni di ventilazione sia di mandata che di ripresa saranno dotate di doppio ventilatore, di cui uno in riserva e di caratteristiche pari a quello in ordinario funzionamento, installati in doppio cassone sezionabile a tenuta (in modo da intervenire senza spegnere il sistema). Anche gli estrattori in PVC a motore esterno a servizio delle utenze di dotazione (cappe, celle, scatole con guanti, ecc.) saranno ridondati con sezionamento a tenuta.

Come visibile nello schema dell'UTA tipo in figura 6, il posizionamento dei ventilatori è tale da scongiurare una contaminazione dei flussi tra ripresa e mandata, attraverso il recuperatore a flussi incrociati, comunque di tipo sigillato e garantito a tenuta fino ad un gradiente di 1.500 Pa. Si segnala infine come le prese d'aria esterna siano sopra-vento prevalente mentre le griglie di espulsione siano sotto-vento prevalente (come accertato e verificato in accordo con l'ASL).

Pulizia delle componenti impiantistiche

Le componenti impiantistiche, soprattutto quelle di trattamento e distribuzione dell'aria, dovranno essere sottoposte ad una periodica ed accurata pulizia interna al fine di scongiurare il progressivo accumulo di sporcizia potenzialmente contaminata da sorgenti radiogene. Al fine di rendere più efficaci tali periodiche operazioni di pulizia si sono innanzitutto scelti canali di tipo circolare caratterizzati, oltre che dalla assenza di spigoli dove sia difficile asportare la sporcizia, anche da una ottima classe di tenuta. La rete aeraulica è stata studiata ottimizzando lo sviluppo dei percorsi (più corti sono i canali meglio si riesce a pulirli) e ricucendo al minimo le componenti di difficile pulizia, quali serrande tagliafuoco. In corrispondenza di tutti i componenti di linea (batterie di post-riscaldamento, serrande di taratura, ecc.) saranno predisposti opportuni portelli per il raggiungimento dei componenti stessi e per l'intro-



5 Canali di distribuzione aerea radiochimica calda.

I PROTAGONISTI DELL'IMPIANTO

Committente

Politecnico di Milano

Progettista

Steam

Impresa esecutrice

Impresa Costruzioni Giuseppe Maltauro

Direzione lavori

Politecnico di Milano

I fornitori

Unità di trattamento tria: TCF

Terminali di erogazione

e regolazione aria: Trox - Trox Lab

Pompe: Grundfos

BMS: Siemens

Cappe e arredi di laboratorio:

Labosystem

duzione di sistemi robotici di pulizia e sanificazione. Le UTA, collocate su di un piano tecnico interamente coperto, ospiteranno ventilatori di tipo Plug-Fun, quindi con girante aperta senza coclea, direttamente calettata sull'albero motore elettrico.

Utilizzo di gas infiammabili

Sotto l'aspetto della prevenzione incendi il complesso ha dovuto rispondere al D.M. 26 agosto 1992 recante "Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica", strumento normativo che purtroppo non si dimostra facilmente

applicabile alle reali necessità delle attività di laboratori di ricerca universitari. L'allegato al D.M., al punto 6.1 prescrive infatti: "Nei locali dove vengono utilizzate e depositate sostanze radioattive e/o macchine radiogene è fatto divieto di usare o depositare materiali infiammabili [...] Gli spazi per le esercitazioni dove vengono manipolate sostanze esplosive e/o infiammabili devono essere provvisti di aperture di aerazione, permanente, ricavate su pareti attestate all'esterno di superficie pari ad 1/20 della superficie in pianta del locale". In sostanza, per rispondere al dettato nor-

mativo si sarebbe dovuto vietare l'utilizzo di fiamme dirette (quali i becchi bunsen) e di apparecchiature di laboratorio alimentate da gas infiammabili (di cui il gas-cromatografo è un esempio prima citato) dove vi sia utilizzo e deposito di sostanze radioattive (senza che sia, nominalmente, individuata una soglia inferiore). Mentre dove vi fosse utilizzo di gas infiammabili, sulle pareti dovrebbero essere creati veri e propri squarci per consentire una ventilazione naturale non inferiore a 1/20 della superficie in pianta, pregiudicando pesantemente la necessaria depressurizzazione dei locali, la classe di filtrazione dell'aria e, naturalmente, le condizioni termo-igrometriche che assicurano il comfort ambientale per gli occupanti.

Si è quindi dimostrato indispensabile ricorrere all'istituto della richiesta di deroga che ha coinvolto il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Milano e la rispettiva Direzione Regionale della Lombardia. In particolare è stata richiesta deroga al divieto di compresenza di

sorgenti radiogene e gas infiammabili e all'obbligo di creazione di superfici di ventilazione naturale. Come ben noto, a fronte del mancato rispetto del dettato normativo, il progettista deve preoccuparsi di proporre una serie di presidi compensativi del maggior rischio derivante. L'assenza di aperture di ventilazione naturale aumenta certamente la probabilità di formazione di atmosfere esplosive, venendo a mancare il flusso d'aria esterna che in caso di fughe di gas diluirebbe la miscela, mentre l'eventuale incendio o esplosione si costituirebbe come ingovernabile mezzo di proiezione verso l'ambiente esterno delle sorgenti radiogene, aumentando notevolmente il danno conseguente al sinistro. La strategia di compensazione del rischio ha quindi mirato a ridurre al massimo la probabilità di creazione di miscele potenzialmente esplosive, dotando il progetto dei seguenti presidi (figura 7):

- Come anticipato precedentemente, la ventilazione meccanica sarà in grado di promuovere un tasso di ricambio non inferiore a 10 Vol/h, valore che, tramite una specifica valutazione ATEX ha permesso di classificare i luoghi come ordinari. Inoltre, traendo ispirazione dalla UNI 7129, parte 2, punto B.2, si sono dotate tutte le linee di adduzione gas di elettrovalvole normalmente chiuse (intrinse-

camente sicure) azionate in apertura solo dopo apposito consenso da pressostato installato sui ventilatori UTA. L'erogazione del gas sarà quindi possibile soltanto se presente la ventilazione meccanica.

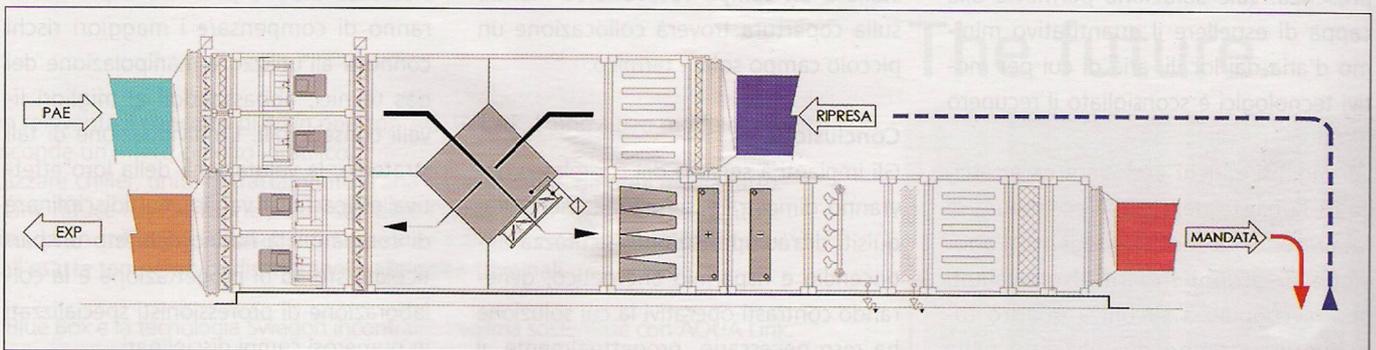
- Le elettrovalvole di erogazione gas saranno inoltre attivate da specifici sensori sismici, che in caso di terremoto provvederanno automaticamente all'interruzione dell'erogazione del gas e che potranno essere riarmati soltanto manualmente.
- I laboratori saranno dotati di impianto di rilevazione gas che permetterà di allarmare in caso di fughe e porre in chiusura le elettrovalvole sulle linee gas.
- Gli spinotti di presa gas saranno differenziati per tipologia gas e congegnati in maniera di rendere impraticabili collegamenti errati (analogamente a quanto previsto per gli impianti gas medicali nel settore ospedaliero). I laboratori saranno infatti serviti da numerose tipologie di gas: infiammabili, comburenti, tossici, inerti, ecc. Il collegamento degli apparecchi a linee gas incompatibili potrebbe infatti costituire un serio pericolo.
- Le linee gas saranno dotate di valvole antiritorno di fiamma (in analogia a quanto previsto dal D.Lgs 81/2008 – Testo Unico Sicurezza – allegato VI,

punto 5.14.2 – per gli impianti di saldatura).

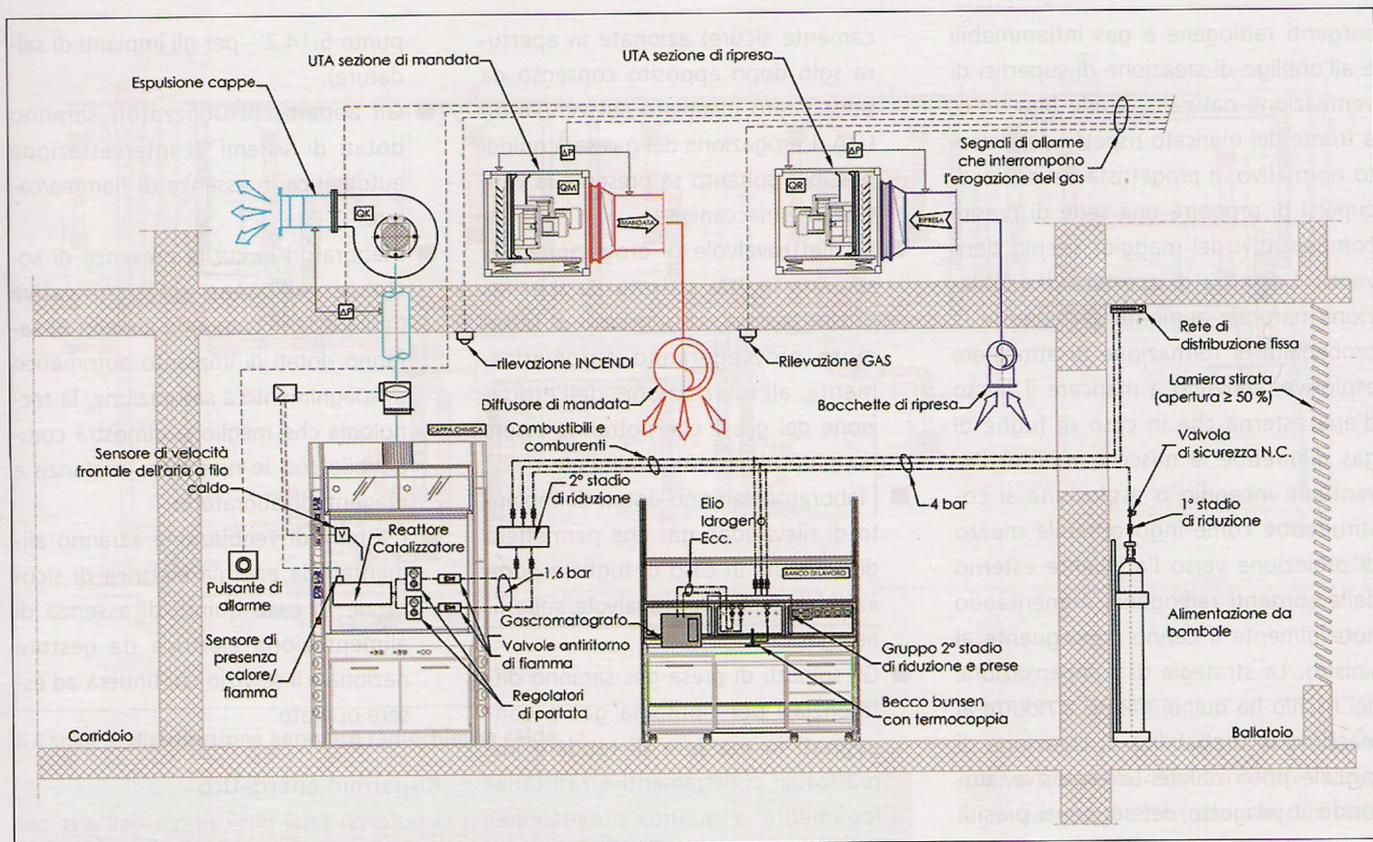
- Gli apparecchi utilizzatori saranno dotati di sistemi di intercettazione automatica in assenza di fiamma/calore.
- I laboratori in cui la presenza di sostanze radiogene sia significativa (nulla osta di categoria almeno B) saranno dotati di impianto automatico di spegnimento a saturazione, la tecnologia che meglio si dimostra compatibile con le numerose sostanze e reagenti di laboratorio.
- I sistemi di ventilazione saranno alimentati da energia elettrica di sicurezza, in caso quindi di assenza di alimentazione elettrica da gestore nazionale il servizio continuerà ad essere operato.

Risparmio energetico

I notevoli tassi di ricambio dell'aria necessari alla garanzia dei criteri di radioprotezione ed al contenimento della probabilità di creazione di atmosfere potenzialmente esplosive compromettono decisamente l'efficienza energetica della realizzazione. Il progetto ha quindi cercato di massimizzare le strategie di risparmio energetico. La primaria azione di contenimento è consistita nel dotare i laboratori, dove possibile, di cappe di tipo VAV, quindi a portata variabile, capaci di mantenere una velocità (face



6 Schema di una unità di trattamento aria tipo.



7 Schema funzionale di ventilazione e distribuzione gas di laboratorio.

velocity) costante del flusso d'aria che dall'operatore si immette nella cappa attraverso la porzione frontale dell'area di lavoro lasciata aperta dal saliscendi (sach), come prima descritto. I sistema di gestione del saliscendi permetterà, inoltre, di prevederne la chiusura automatica in caso di assenza di operatore, grazie ad uno specifico sensore di presenza. Tale soluzione permette alla cappa di espellere il quantitativo minimo d'aria dai locali, aria di cui per motivi tecnologici è sconsigliato il recupero di calore.

Gli ingenti carichi endogeni caratterizzanti l'utilizzo delle apparecchiature di laboratorio ha inoltre suggerito l'adozione di gruppi frigoriferi polivalenti che, accoppiati a circuiti a quattro tubi, permetteranno di utilizzare, nella stagione invernale, i locali richiedenti

raffrescamento quali pozzi energetici a temperatura conveniente, conseguendo quindi efficienze in pompa di calore molto elevate. L'energia residua sarà attinta dalla rete di teleriscaldamento del complesso. Le UTA, come evidenziato nella figura 6 saranno dotate di bypass per funzionamento in free-cooling. Infine, sulla facciata dell'edificio sarà installato un campo fotovoltaico mentre sulla copertura troverà collocazione un piccolo campo solare termico.

Conclusioni

Gli impianti a servizio del complesso dovranno dimostrare simultaneamente requisiti di radioprotezione, sicurezza antincendio e risparmio energetico, generando contrasti operativi la cui soluzione ha reso necessario, progettualmente, il ricorso a tecniche e tecnologie innovati-

ve. I laboratori saranno dotati di impianti di ventilazione caratterizzati da efficienti sistemi di regolazione delle porte finalizzati al mantenimento delle depressioni di confinamento dei contaminati, cappe dotate dei migliori dispositivi finalizzati sia al risparmio energetico che alla garanzia delle migliori condizioni di protezione dell'operatore, dispositivi di sicurezza attivi e passivi che permetteranno di compensare i maggiori rischi connessi all'utilizzo e manipolazione dei gas tecnici, abbassandoli ai migliori livelli conseguibili. L'individuazione di tali strategie, la valutazione della loro effettiva efficacia, il vaglio multidisciplinare di compatibilità hanno richiesto un particolare sforzo di progettazione e la collaborazione di professionisti specializzati in numerosi campi disciplinari.

© RIPRODUZIONE RISERVATA