



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

TESI DI LAUREA IN
INGEGNERIA DEI PROCESSI INDUSTRIALI E DEI MATERIALI

(Laurea triennale DM 270/04 – indirizzo Processi)

PROGETTAZIONE DI BASE DI UN'UNITA' DI
TRATTAMENTO ARIA PER LOCALI ISO8

Relatore: Prof. Alberto Bertucco
Correlatore: Ing. Renzo Borzi

Laureando: MATTIA ZAMPIERI

ANNO ACCADEMICO 2011-2012

Riassunto

Questo lavoro riguarda le unità di trattamento aria (U.T.A.), utilizzate in uno stabilimento farmaceutico in cui alcune fasi di produzione/finitura devono svolgersi in particolari ambienti a contaminazione rigorosamente controllata.

Nel primo capitolo si presenta l'azienda e lo stabilimento ospitanti, con una breve descrizione delle attività che vi si svolgono.

Il secondo capitolo fornisce le informazioni di base sulle unità di trattamento aria e sui loro elementi costituenti; particolare riguardo viene dato all'aspetto della filtrazione dell'aria che, in questo caso, ha un'importanza notevole.

Infine, nel terzo capitolo viene descritto il progetto di massima, riportando i vari documenti che sono stati realizzati in sede di tirocinio.

Nel corso del lavoro, oltre al materiale fornito dall'azienda ed ai testi riportati nella bibliografia, si è fatto uso di software per l'elaborazione di testi e fogli di calcolo mentre, per gli schemi d'impianto, si è utilizzato il software AUTOCAD.

Indice

INDICE	5
INTRODUZIONE	7
CAPITOLO 1 - LO STABILIMENTO ZACH SYSTEM DI LONIGO (VI)	9
CAPITOLO 2 - ELEMENTI PRINCIPALI DELLE UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA	13
2.1 VENTILATORE.....	13
2.2 BATTERIE DI SCAMBIO TERMICO.....	15
2.3 FILTRI.....	16
2.3.1 <i>Meccanismi di filtrazione</i>	16
2.3.2 <i>Tipi di filtri</i>	17
2.4 AMBIENTI A CONTAMINAZIONE CONTROLLATA.....	19
2.4.1 <i>Normative di riferimento</i>	19
2.4.2 <i>Camere bianche di classe ISO8</i>	21
CAPITOLO 3 - IL PROGETTO DI MASSIMA	23
3.1 BASI DI PROGETTO.....	23
3.2 P&ID.....	25
3.2.1 <i>P&ID sezione premente</i>	26
3.2.2 <i>P&ID sezione aspirante</i>	30
3.3 SPECIFICHE TECNICHE.....	33
3.3.1 <i>Calcoli di dimensionamento di base</i>	36
3.4 SPECIFICA FUNZIONALE.....	39
3.4.1 <i>Sistema di regolazione della sezione premente</i>	39
3.4.1.1 <i>Descrizione generale</i>	39
3.4.1.2 <i>Modalità di funzionamento</i>	41
3.4.1.3 <i>Parametri impostabili</i>	43
3.4.1.4 <i>Strumenti e controlli</i>	43
3.4.1.5 <i>Allarmi</i>	44
3.4.2 <i>Sistema di regolazione della sezione aspirante</i>	44
3.4.2.1 <i>Descrizione generale</i>	44
3.4.2.2 <i>Modalità di funzionamento</i>	46
3.4.2.3 <i>Parametri impostabili</i>	47
3.4.2.4 <i>Strumenti e controlli</i>	47
3.4.2.5 <i>Allarmi</i>	47
3.5 TABELLA FUNZIONI DI BLOCCO.....	48
3.6 LISTA STRUMENTI, SEGNALI, VALVOLE.....	49
CONCLUSIONI	53

Introduzione

Lo scopo dell'attività di tirocinio svolta presso lo stabilimento ZaCh System di Lonigo (VI), e presentato in questa tesi, è stato di eseguire la progettazione di base di un'unità di trattamento aria destinata a locali a contaminazione controllata. Più precisamente, l'attività ha riguardato la preparazione della documentazione progettuale, con un dimensionamento di massima degli elementi principali. Dal punto di vista aziendale, l'interesse per questo progetto sta nella possibilità di usarlo come "standard": l'elaborato costituisce un fascicolo pratico e snello che può facilmente essere impiegato come punto di partenza e linea guida dagli ingegneri di stabilimento per eseguire un dimensionamento vero e proprio dell'impianto. Questo avverrà in un prossimo futuro, quando si renderà necessaria la sostituzione delle unità di trattamento aria attualmente installate: in questo modo inoltre si avvierà un processo di omogeneizzazione della tipologia costruttiva delle U.T.A., con una notevole semplificazione in termini di gestione e manutenzione.

Per quanto riguarda il dimensionamento di massima è doveroso spiegare la "filosofia" alla base del progetto standard, per comprendere la procedura utilizzata. In sostanza, viene scelta a priori la taglia dell'impianto, ossia la portata d'aria da trattare, così da avere una base di calcolo; vengono ipotizzati anche il numero dei locali da servire e la disposizione delle canalizzazioni, elementi che presentano una grande variabilità, al contrario della struttura dell'unità di trattamento, che si mantiene inalterata indipendentemente dalle dimensioni. Il risultato è uno schema d'impianto tipico, semplice e con uno sviluppo "modulare", così da poter essere facilmente estendibile a situazioni di maggior complessità.

Desidero ringraziare la società ZaCh System per avermi permesso di svolgere il tirocinio formativo ospitandomi presso lo stabilimento di Lonigo, in particolare l'ing. Renzo Borzi, mio tutor aziendale, che nonostante i numerosi impegni ha saputo dedicarmi del tempo quando ne ho avuto necessità.

Un ringraziamento va anche agli altri componenti dell'ufficio tecnico, sempre cordiali e disponibili: Antonio, Fabrizio, Giorgio, Luca, Luca, Pierluigi e Umberto.

Infine intendo ringraziare il prof. Alberto Bertucco, mio tutor accademico, per i preziosi consigli che mi ha fornito per la stesura di questa tesi.

Capitolo 1

Lo stabilimento ZaCh System di Lonigo (VI)

Lo stabilimento, costruito nel 1974, è collocato in aperta campagna, nella zona industriale/artigianale del comune di Lonigo e attualmente occupa circa 250 dipendenti.

L'attività è indirizzata alla produzione di intermedi farmacologicamente attivi, mediante processi di sintesi chimica organica e inorganica, destinati alle industrie farmaceutiche di specialità (italiane, europee, americane ed asiatiche). Le principali tipologie di farmaci che ne derivano riguardano antinfiammatori non steroidei, vasodilatatori, mezzi di contrasto, agenti antibatterici delle vie urinarie, agenti mucolitici fluidificanti delle vie respiratorie, antiipertensivi e specialità per uso veterinario.

Gli impianti in cui vengono effettuate le produzioni sono impianti *multi-purpose* (multiuso) e le lavorazioni sono di norma effettuate in modo discontinuo (*batch*) e a campagne.

Oltre agli impianti di produzione, nello stabilimento sono presenti:

- laboratori (controllo qualità, laboratorio ricerche applicate e impianto pilota);
- un reparto di confezione prodotti finiti;
- una centrale termica per la produzione di vapore, smistamento acqua industriale, produzione aria compressa, produzione acqua demineralizzata;
- impianti centrali frigoriferi per la produzione di fluidi di raffreddamento;
- un impianto di autoproduzione di azoto;
- impianti di stoccaggio di azoto liquido e distribuzione di azoto gas;
- un impianto di termodistruzione per incenerimento di acque reflue di produzione e di rifiuti solidi (con annesso sistema di recupero calore per la produzione di vapore e impianto di abbattimento fumi);
- impianti di abbattimento degli effluenti gassosi;
- impianto di depurazione biologica di acque reflue;
- torri evaporative per il circuito acqua di raffreddamento degli impianti e vasca di accumulo per la rete antincendio;
- un magazzino materie prime solide, intermedi e prodotti finiti;
- un deposito materie prime solide, intermedi e prodotti finiti;
- un deposito materie prime liquide in fusti;
- un parco reagenti liquidi;
- un deposito solventi infiammabili (tumulati);
- un sistema di blow-down;
- gruppi elettrogeni;
- impianti di idrogenazione
- portineria, infermeria, mensa, officine di manutenzione.

Lo stabilimento è inoltre dotato di un Sistema di Gestione Ambientale (volontario) per cui è certificato UNI EN ISO 14001 dal 2003 e di un Sistema di Gestione Sicurezza (obbligatorio perché lo stabilimento è classificato “a rischio di incidente rilevante” e pertanto deve sottostare al D.Lgs. 334/99 altrimenti detto SEVESO II) per cui è certificato OSHAS 18000 dal 2004.

In figura 1.1 si riporta la planimetria generale dello stabilimento.

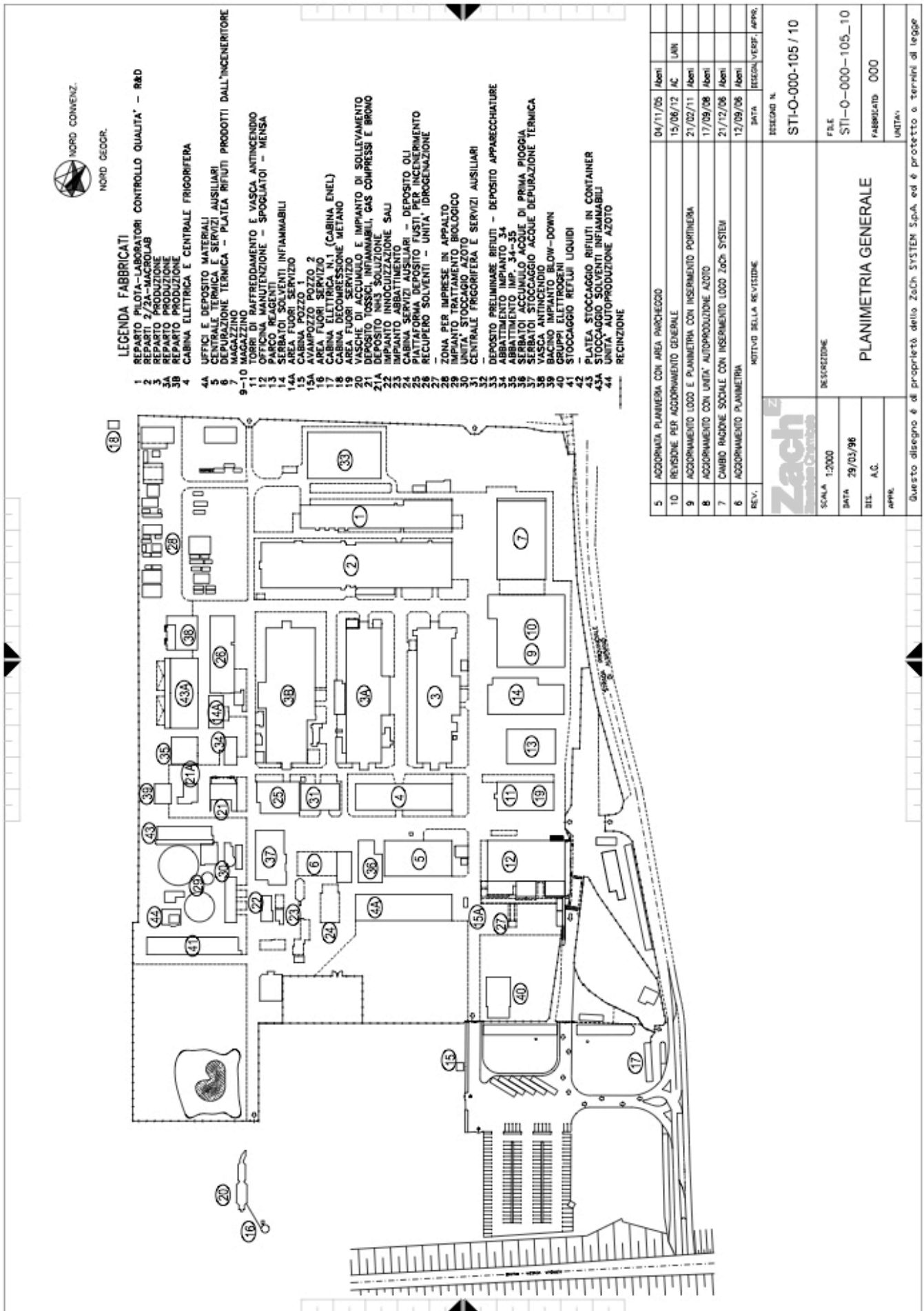


Figura 1.1 Planimetria dello stabilimento ZaCh System

Capitolo 2

Elementi principali delle unità di trattamento aria

Con il termine “unità di trattamento aria” (U.T.A.) si intende una struttura autoportante in pannelli sandwich, che contiene al suo interno gli elementi necessari al trattamento dell’aria, disposti in successione uno di seguito all’altro. In questo capitolo si dà una descrizione generale degli elementi principali, con particolare riguardo ai filtri che, nel contesto degli ambienti a contaminazione controllata, rivestono un’importanza cruciale.

2.1 Ventilatore

Nel condizionamento vengono utilizzati quasi esclusivamente ventilatori centrifughi e all’interno di questa classe la distinzione tra diverse soluzioni viene fatta in funzione della disposizione delle pale della girante (vedere figura 2.1):

- pale inclinate all’indietro, in cui le pale sono piatte e inclinate in senso opposto a quello di rotazione;
- pale incurvate all’indietro, in cui le pale sono incurvate in senso opposto a quello di rotazione;
- pale a profilo alare, in cui le pale sono sagomate ad ala di aeroplano e curvate in senso opposto a quello di rotazione;
- pale incurvate in avanti, in cui le pale sono incurvate nel senso di rotazione.

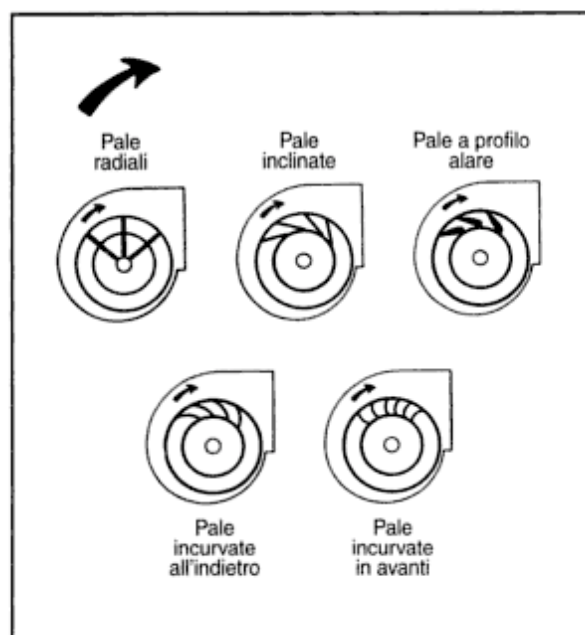


Figura 2.1 Disposizioni delle pale dei ventilatori

A parità di condizioni di lavoro, le principali differenze tra ventilatore a pale incurvate in avanti e quello a pale incurvate all'indietro sono:

- il ventilatore a pale incurvate in avanti ha velocità di rotazione più ridotte;
- il ventilatore a pale incurvate in avanti ha un diametro della girante minore;
- a differenza del ventilatore a pale incurvate in avanti, quello a pale incurvate all'indietro presenta una caratteristica di non sovraccarico (al crescere della portata, la potenza assorbita raggiunge un massimo e poi ricade, come si può vedere nelle figure 2.2 e 2.3);
- il ventilatore a pale incurvate all'indietro ha un rendimento massimo superiore (figure 2.2 e 2.3).

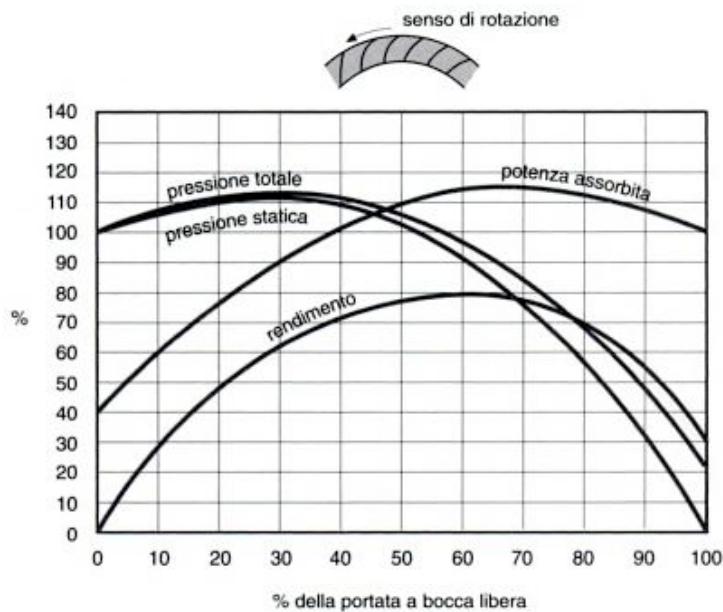


Figura 2.2 Curve con le prestazioni dei ventilatori a pale incurvate all'indietro

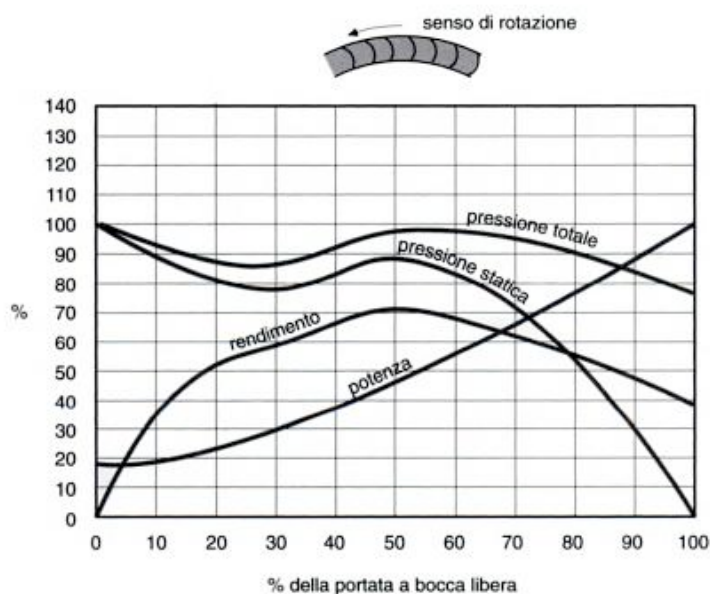


Figura 2.3 Curve con le prestazioni dei ventilatori a pale incurvate in avanti

2.2 Batterie di scambio termico

Nel trasferimento del calore tra un liquido e un gas, come si richiede nel trattamento dell'aria, il problema principale è che il coefficiente di scambio termico lato gas è molto minore di quello lato liquido e ciò si ripercuote sul coefficiente globale di scambio termico, che ne risente negativamente, costringendo all'utilizzo di grandi superfici di scambio. La questione si risolve adottando scambiatori a tubi alettati, che consentono un notevole incremento della superficie lato gas, così da compensare il basso coefficiente di scambio termico. I parametri più importanti che caratterizzano una batteria alettata sono:

- la disposizione dei tubi (usualmente a ranghi sfalsati);
- il diametro dei tubi, il passo longitudinale e quello trasversale;
- il passo delle alette e la loro forma (lisce, corrugate, intagliate).



Figura 2.4 Batteria alettata

Generalmente i tubi sono in rame e l'alettatura in alluminio.

Queste batterie sono utilizzate sia per il riscaldamento dell'aria sia per il suo raffreddamento.

Solitamente le batterie di raffreddamento sono costituite da 4,6 o 8 ranghi e con un numero di alette per pollice compreso tra 7 e 14; le batterie di riscaldamento invece hanno solitamente uno o due ranghi e 3 ÷ 14 alette per pollice.

2.3 Filtri

L'aria, così com'è presente nell'ambiente, non è pura ma contiene moltissime particelle in sospensione: le sostanze più comuni che queste contengono sono costituite da materie derivanti dal suolo, fibre, prodotti di combustione, prodotti vegetali, batteri. Ai fini del condizionamento, l'aria da immettere nei locali deve essere preventivamente trattata per eliminare questo pulviscolo fino ad ottenere il grado di pulizia richiesto per quel particolare ambiente: questa filtrazione può avvenire attraverso vari meccanismi, dei quali si fa una breve panoramica nella sezione successiva.

2.3.1 Meccanismi di filtrazione

Meccanismo di setaccio: le particelle solide sospese nell'aria aventi diametro maggiore della distanza tra le maglie vengono arrestate, proprio come attraverso un setaccio. Questo meccanismo è efficace per particelle grossolane e fibre; in questo modo lavorano i filtri a pannello, contraddistinti da ridotti valori di separazione percentuale.

Meccanismo di inerzia o collisione: l'adesione delle particelle avviene per effetto della viscosità degli olii e degli altri agenti con cui le maglie sono trattate. L'efficacia di questo meccanismo aumenta con la velocità dell'aria, il diametro delle particelle e con il ridursi del diametro delle fibre del filtro; è utilizzato nei filtri a pannello a superficie viscosa, caratterizzati da ridotti o medi valori di separazione percentuale.

Meccanismo di intercettazione: se la traiettoria delle particelle passa a una distanza dalla maglia inferiore al raggio delle particelle esse si fisseranno per forze elementari di attrazione elettrostatica (Van der Waal). L'efficacia del meccanismo aumenta con l'aumentare del diametro delle particelle, con il diminuire del diametro delle fibre e delle distanze tra le fibre; lavorano su questo principio i filtri fini a medio/alto rendimento.

Meccanismo di diffusione: le particelle più minute, con diametri inferiori al micron, subiscono un numero enorme di urti da parte delle molecole d'aria e aumenta così la probabilità di incontrare le fibre del filtro, cui aderiscono anche in questo caso per forze elettriche elementari. L'efficienza del metodo aumenta con il diminuire del diametro delle particelle e delle fibre e con il ridursi della velocità dell'aria; è utilizzato nei filtri con rendimenti di filtrazione molto elevati.

Meccanismo di azione elettrostatica: il flusso d'aria attraversa un intenso campo elettrico che determina la produzione di ioni positivi (molecole di ossigeno/azoto a cui sono stati strappati uno o più elettroni) ed urtando contro le particelle di polveri, trasferiscono loro la carica positiva. All'uscita della sezione ionizzante il flusso d'aria attraversa una sezione soggetta a un campo

elettrico più debole e la raccolta delle particelle avviene su piastre caricate negativamente. Il metodo presenta rendimenti elevati ed è particolarmente indicato per particelle di diametro ridotto.

A livello europeo, la classificazione dei filtri in funzione della loro efficienza è data dalle normative EN779 per filtri grossolani/ad alta efficienza ed EN1822 per filtri assoluti, come riportato in tabella 2.1.

Tabella 2.1 – Classificazione dei filtri d’aria secondo le EN779 e EN1822

EN779		EN1822	
PREFILTRI	EFFICIENZA %	FILTRI HEPA	EFFICIENZA %
G1	50 ÷ 65	H10	85
G2	65 ÷ 80	H11	95
G3	80 ÷ 90	H12	99.5
G4	> 90	H13	99.95
		H14	99.995
FILTRI MEDI	EFFICIENZA %	FILTRI ULPA	EFFICIENZA %
F5	40 ÷ 60	U15	99.9995
F6	60 ÷ 80	U16	99.99995
F7	80 ÷ 90	U17	99.999995
F8	90 ÷ 95		
F9	> 95		

2.3.2 Tipi di filtri

Filtri a pannello: (figura 2.5) sono costituiti da un telaio in cartone o metallo che contiene un materassino filtrante in fibre vegetali, pelo animale, materiale sintetico, fibra di vetro o truciolo metallico. Il setto è disposto piano o con andamento ondulato o pieghettato; l’arresto delle polveri avviene per effetto congiunto di inerzia e di setaccio. Il valore di separazione percentuale tende ad aumentare con la quantità di polveri raccolte dal filtro poiché la stessa polvere raccolta migliora il meccanismo di setaccio ma fino a un certo punto, dopodiché subentra il pericolo che le polveri vengano trascinate a valle del filtro. Generalmente le perdite di carico iniziali sono dell’ordine dei 50 Pa, quelle finali circa 250 Pa. Questi filtri vengono solitamente usati come prefiltri, installati a monte di quelli a maggiore efficienza, per prolungare la vita operativa di questi ultimi (ciò è facilmente intuibile poiché al crescere dell’efficienza cresce anche il costo del filtro e non sarebbe di certo economico sostituire spesso i filtri più costosi).



Figura 2.5 Filtro a pannello

Filtri a tasche: sono costituiti da sacche in materiale filtrante fissate a un'estremità a un telaio di supporto. Esistono filtri a tasche flosce, costruiti come appena detto, che coprono un ampio campo di efficienze, dal 30% al 95%: per quelli a bassi rendimenti le perdite di carico vanno generalmente dai 50 Pa a filtro pulito ai 250 a filtro sporco; per quelli ad alta efficienza l'intervallo di perdite di carico si estende invece dai 120 Pa iniziali ai 400 Pa finali. Esistono poi filtri a tasche rigide (figura 2.6), in cui le sacche (in carta a base di fibre di vetro finemente ripiegata) sono completamente fissate a un telaio di contenimento ed offrono rendimenti elevati (65% - 95%). Le perdite di carico generalmente vanno dai 100 Pa a filtro pulito agli oltre 400 Pa a filtro sporco. Rispetto ai filtri a tasche flosce hanno il vantaggio di consentire una più rapida messa in opera e sostituzione (data la costruzione rigida) e una maggior perdita di carico finale.



Figura 2.6 Filtro a tasche rigide

Filtri assoluti (HEPA e ULPA): il nome di questi filtri deriva dal fatto che sono in grado di arrestare particelle di dimensioni submicroniche con rendimenti elevatissimi. Il rendimento dei filtri HEPA (High Efficiency Particulate Air-filter, figura 2.7) va da un minimo di 99.97% a un massimo, attualmente, del 99.999%; il rendimento dei filtri ULPA (Ultra Low Penetration Air-filter) invece è ancora maggiore, arrivando oltre il 99.99996% per particelle di dimensioni superiori ai 0.12 micron. I meccanismi di filtrazione coinvolti sono quelli di intercettazione e, per le particelle più piccole, di diffusione; il materiale filtrante è costituito da carta a base di fibre di vetro, le cui fibre hanno un diametro mantenuto inferiore al micron. Le perdite di carico vanno in generale dai 250 Pa a filtro pulito ai 750/1000 Pa a filtro sporco. L'utilizzo di questi filtri si rende necessario ove si richieda un controllo rigorosissimo della purezza dell'aria (camere bianche, sale operatorie, laboratori, centri di produzione di sostanze particolari...).



Figura 2.7 Filtri assoluti (HEPA)

2.4 Ambienti a contaminazione controllata

I contaminanti dell'aria possono essere dannosi sia per la salute degli operatori sia per la qualità del prodotto e generalmente si suddividono in quattro categorie principali:

- inerti, che alterano la natura fisica del mezzo su cui si depositano;
- biologicamente attivi, la cui pericolosità dipende dal microrganismo e dal mezzo;
- chimici, che innescano reazioni chimiche con il mezzo;
- radioattivi, che provocano alterazioni di natura fisica o genetica a seconda del mezzo.

2.4.1 Normative di riferimento

La norma ISO 14644-1 definisce gli ambienti a contaminazione controllata (“clean room”) come: “un ambiente in cui la concentrazione di particelle aeroportate è controllata, costruito e usato in modo da minimizzare l'introduzione, la generazione e la ritenzione di particelle e nel quale sono controllati secondo necessità anche altri parametri quali temperatura, umidità relativa e pressione”. A questo proposito la normativa definisce 9 classi di pulizia, cioè una classificazione degli ambienti in funzione della massima concentrazione ammissibile di particelle per unità di volume; la concentrazione massima è determinata con la seguente equazione:

$$C_n = 10^N * (0.1/D)^{2.08} \quad (2.1)$$

C_n = concentrazione massima ammessa [particelle/m³]

N = classe ISO [adimensionale]

D = diametro della particella considerata (tra 0.1 e 5 micron) [μm]

0.1 = diametro minimo di riferimento [μm]

Utilizzando la (2.1), poichè il valore di N (classe ISO) va da 1 a 9, si ottengono i valori riportati in tabella 2.2.

Tabella 2.2 – Classi di pulizia e concentrazione massima di particelle/ m^3 del diametro riportato secondo le ISO14644-1

CLASSE DI PULIZIA	0,1 micron	0,2 micron	0,3 micron	0,5 micron	1 micron	5 micron
ISO 1	10	2	-	-	-	-
ISO 2	100	24	10	4	-	-
ISO 3	1000	237	102	35	8	-
ISO 4	10000	2370	1020	352	83	-
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO 7	-	-	-	352000	83200	2930
ISO 8	-	-	-	3520000	832000	29300
ISO 9	-	-	-	35200000	8320000	293000

Nella classificazione di un locale però, si deve anche tener conto dello “stato occupazionale” cui si fa riferimento:

- *as built*, se il locale è completo dei servizi ma non sono presenti apparecchiature e personale;
- *at rest*, se il locale è completo dei servizi, le apparecchiature sono in funzione ma non è presente il personale;
- *operational*, se il locale è completo dei servizi, le apparecchiature sono in funzione e il personale è operativo.

Questa distinzione è molto importante, perché la presenza di macchinari in funzione e del personale in movimento sono causa di una maggior immissione di particelle nell’aria.

In ambienti chiusi, è la stessa presenza dell’uomo a causare l’inquinamento dell’aria poiché l’attività respiratoria provoca il consumo dell’ossigeno presente e un accumulo dell’anidride carbonica: è quindi fondamentale che ci sia un continuo rinnovo dell’aria presente, attraverso l’immissione di aria proveniente dall’esterno.

Oltre alle ISO, esistono anche le normative europee EC-GMP ANNEX 1 2003, specifiche per il campo farmaceutico, che definiscono 4 classi di contaminazione, come riportato in tabella 2.3.

Tabella 2.3 - Classi di pulizia e concentrazione massima di particelle/m³ del diametro riportato secondo le EC-GMP ANNEX 1 2003

CLASSE	AT REST		IN OPERATION	
	0,5 micron	5 micron	0,5 micron	5 micron
A	3500	1	3500	1
B	3500	1	350000	2000
C	350000	2000	3500000	20000
D	3500000	20000	Dipende dal tipo di operazioni eseguite	Dipende dal tipo di operazioni eseguite

2.4.2 Camere bianche di classe ISO8

Le "camere bianche" costituiscono locali, o gruppi di locali, isolati da quelli circostanti e serviti da un proprio impianto di trattamento d'aria; l'ingresso di polveri o microrganismi dall'esterno rimane così impedito. Una strategia di notevole importanza adottata in queste situazioni è di utilizzare il gradiente di pressione come barriera fisica per impedire il contatto diretto tra locali di classe diversa: sostanzialmente il locale di classe superiore viene mantenuto in leggera sovrappressione rispetto agli altri in modo tale che, aprendo una via di comunicazione (porta), l'aria decontaminata esca impedendo a quella contaminata di entrare.

I requisiti della classe ISO8 possono essere ottenuti con un approccio impiantistico non molto dissimile da quello tradizionale. L'aria filtrata attraverso filtri di classe HEPA viene distribuita dall'alto, sopra la zona occupata, e ripresa da aperture sulle pareti, in prossimità del pavimento. Il flusso d'aria che si determina nell'ambiente ha carattere turbolento, e tale turbolenza è espressamente voluta al fine di distribuire l'aria filtrata in ogni punto del locale. Questo consente una miscela tra la stessa aria filtrata e l'aria ambiente che produce una diluizione delle polveri e dei microrganismi. E poiché il contenuto di polveri diminuisce in proporzione con l'aumentare del numero di ricambi d'aria/ora, il numero di questi ultimi è mantenuto elevato, in genere tra 20 e 50.

Capitolo 3

Il progetto di massima

Come spiegato nell'introduzione, ciò che verrà ora presentato non è stato concepito per un caso particolare ma è frutto di un'ipotesi di lavoro: la filosofia che sta alla base di questo modo di procedere è di ottenere un documento che possa essere utilizzato come modello a cui fare riferimento per una progettazione "su misura", in funzione delle reali esigenze, nonché per facilitare ed accelerare la preparazione della documentazione necessaria.

3.1 Basi di progetto

Le basi di progetto costituiscono il punto di partenza per la progettazione di un impianto: ne vengono descritte le caratteristiche generali, la funzione, i dati di progetto utilizzati per lo sviluppo dei bilanci di materia ed energia ed eventuali altre indicazioni per il dimensionamento di apparecchiature e linee per il trasporto dei fluidi coinvolti.

L'impianto in questione è destinato al trattamento dell'aria per locali a contaminazione controllata classificati ISO8, ai quali si applica un ricambio d'aria di 20 volumi/ora; inoltre è del tipo "a tutta aria esterna". Come dati di progetto si assumono le condizioni termoigrometriche dell'aria: in tabella 3.1 quelle nell'ambiente esterno, in tabella 3.2 quelle che si vogliono ottenere all'interno dei locali serviti, per la cui determinazione si è fatto riferimento a dati di letteratura.

Tabella 3.1 Condizioni termoigrometriche esterne di progetto

	Periodo invernale		Periodo estivo	
	Temperatura b.s.	-7	°C	35
Umidità relativa	80	%	45	%
Densità dell'aria	1,31	kg/m ³	1,13	kg/m ³
Umidità specifica	1,67	g/kg	13,81	g/kg
Entalpia	-0,68	kCal/kg	16,26	kCal/kg

Tabella 3.2 Condizioni termoigrometriche interne di progetto

	Periodo invernale		Periodo estivo	
	Temperatura b.s.	18 / 22	°C	24 / 26
Umidità relativa	40 / 60	%	40 / 60	%

A questo punto è possibile rappresentare in un diagramma psicrometrico gli stati iniziali dell'aria (condizioni esterne) e finali (condizioni interne) per individuare le trasformazioni che essa dovrà subire nell'unità di trattamento.

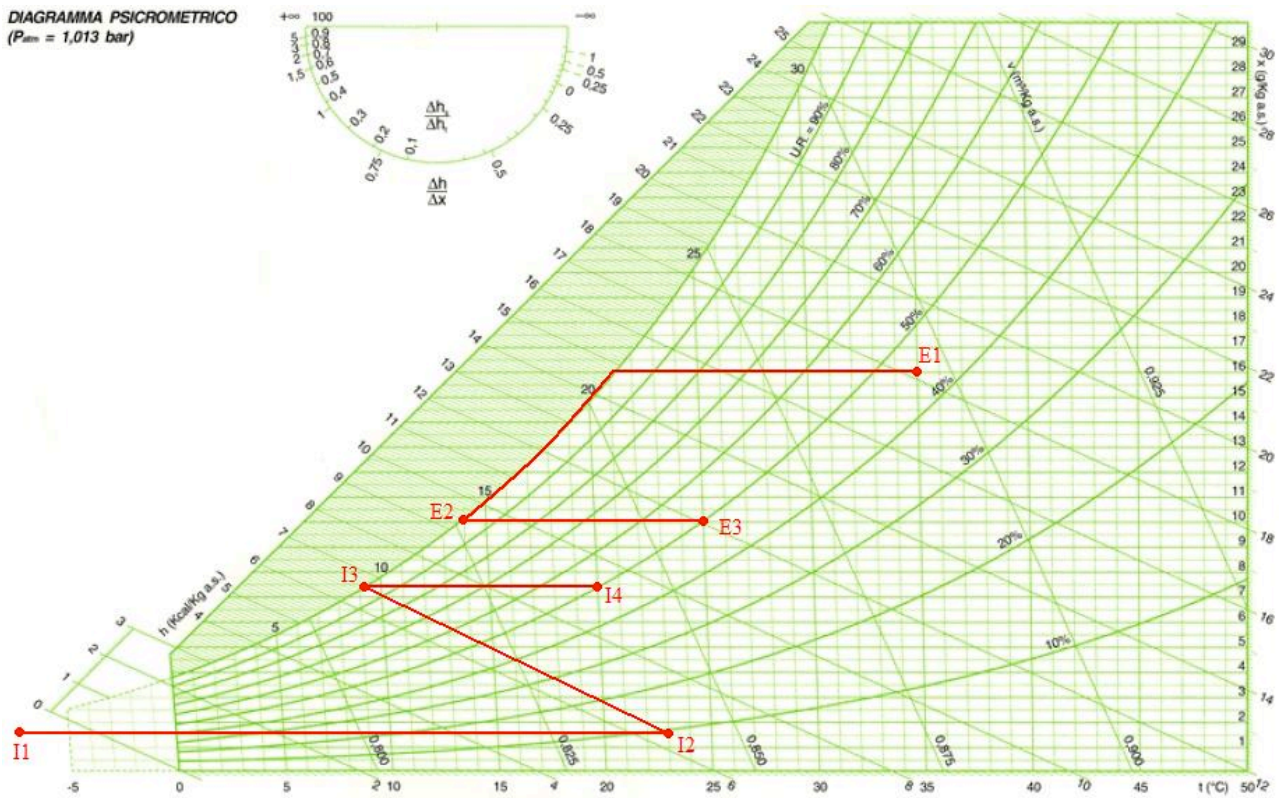


Figura 3.1 Rappresentazione delle trasformazioni nel diagramma psicrometrico

Con riferimento alla figura 3.1, nel funzionamento invernale l'aria subisce un preriscaldamento dalle condizioni del punto I1 [-7°C, 80%UR] a quelle del punto I2 [23°C, 10%UR]; avviene poi il processo di umidificazione ad acqua che porta l'aria alle condizioni del punto I3 [9°C, 100%UR] e infine il postriscaldamento per raggiungere le condizioni di immissione del punto I4 [20°C, 50%UR]. Nel funzionamento estivo l'aria esterna subisce un processo di raffreddamento e deumidificazione dalle condizioni del punto E1 [35°C, 45%UR] fino a raggiungere quelle del punto E2 [14°C, 100%UR] mentre con il postriscaldamento viene portata alle condizioni di immissione del punto E3 [25°C, 50%UR].

Combinando entrambe le esigenze, si perviene allo schema a blocchi di figura 3.2 che consente inoltre di individuare le apparecchiature necessarie.

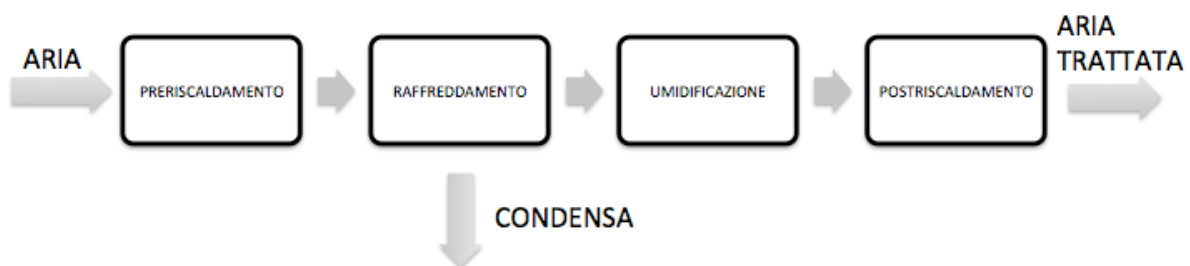


Figura 3.2 Schema a blocchi delle trasformazioni dell'aria all'interno dell'U.T.A.

L'unità di trattamento aria di mandata è quindi costituita da una batteria di preriscaldamento e una di raffreddamento, dalla sezione di umidificazione e da un'altra batteria di postriscaldamento oltre, ovviamente, a un ventilatore; vanno inoltre previste delle sezioni di filtrazione, per i motivi spiegati in precedenza.

Per quanto riguarda l'unità di ripresa invece, è sufficiente prevedere solamente le sezioni di filtrazione, a monte del ventilatore.

Per attuare le trasformazioni sopra descritte, si utilizzano i seguenti fluidi:

- vapore d'acqua saturo a 3 bar ($T = 143^{\circ}\text{C}$), per il riscaldamento;
- miscela di acqua e glicole etilenico al 40% V/V ($T = 5^{\circ}\text{C}$), per il raffreddamento;
- acqua a temperatura ambiente, per l'umidificazione.

Per il dimensionamento di canalizzazioni e tubazioni si fa riferimento a valori di velocità consigliati a seconda del fluido, riportati nelle tabelle 3.3 e 3.4.

Tabella 3.3 Valori consigliati di velocità dell'aria nelle canalizzazioni

Elemento	Velocità [m/s]
canali principali di mandata	6
canali principali di ritorno	6
canali secondari di mandata	5
canali secondari di ritorno	5
stacchi finali	3

Tabella 3.4 Valori consigliati di velocità nelle tubazioni

Tipo di fluido	Velocità [m/s]
acqua e sue miscele	2
vapor d'acqua	20

In seguito, per lo sviluppo dei bilanci di materia ed energia, si fa riferimento a una portata volumetrica di $10000 \text{ m}^3/\text{h}$: la scelta è del tutto arbitraria e serve a dare un'indicazione sulle grandezze in gioco.

3.2 P&ID

Dallo schema a blocchi e dalle descrizioni riportate nel paragrafo precedente si passa alla produzione del P&ID ovvero "Piping and Instrumentation Diagram". Questo è uno schema in cui vengono riportati gli apparecchi installati nell'impianto, le tubazioni, gli strumenti e le loro interconnessioni, ognuno identificato da un codice alfanumerico di ben preciso significato.

Per mantenere contemporaneamente sia una certa generalità sia la semplicità si è scelto di ipotizzare un impianto a singola zona (un solo canale principale) che debba servire due locali, agevolandone un utilizzo "modulare".

3.2.1 P&ID sezione premente

Con riferimento alla figura 3.3, l'aria viene prelevata dall'esterno ed entra nell'UTA attraversando la batteria di preriscaldamento F01, alimentata a vapore saturo. Lo scambiatore F01 è stato introdotto in questa posizione per evitare, in inverno, il possibile congelamento dei filtri: in questa stagione infatti, a causa delle basse temperature l'umidità relativa dell'aria è molto elevata e la sua solidificazione sulla superficie del filtro, oltre a diminuirne l'efficienza, potrebbe portare alla rottura dello stesso, a causa della depressione generata dal ventilatore. In questo caso si è scelto di non automatizzare la regolazione della portata di vapore (con un risparmio sui costi): un operatore provvederà ad aprire manualmente la valvola all'avvicinarsi della stagione fredda per poi richiuderla quando le temperature torneranno a salire. Nella tubazione di ingresso, dopo la valvola appena citata, è installato il filtro antimpurità e un manometro (avente la funzione di segnalare il passaggio del fluido termovettore), dopodiché il vapore entra dall'estremità superiore della batteria, così da facilitare la discesa della condensa, che esce grazie all'apposito scaricatore installato sulla linea di ritorno; è inoltre presente un bypass, poiché lo scaricatore di condensa si intasa facilmente. Come si può vedere le tubazioni sono corredate di un codice alfanumerico, composto da 5 termini di cui si spiega brevemente il significato (nell'ordine):

- diametro nominale (DN);
- fluido circolante;
- numero progressivo (per renderle univocamente identificabili);
- classe di linea (in sostanza il materiale di cui è costituita la tubazione);
- finitura (tubazione isolata termicamente oppure no).

Ad esempio, in questo caso, la tubazione di ingresso ha DN32, il fluido è vapore (5), numero progressivo 101, classe di linea N12A (acciaio al carbonio), coibentata calda (IC).

L'aria incontra poi il filtro a celle piane FG01 (tipo G4, grossolano) e il filtro a tasche FG02 (tipo F9, alta efficienza); ai capi di entrambi è installato un pressostato differenziale (PDSH102 e PDSH103) per la misura della perdita di carico attraverso il filtro stesso. Questo sistema è utilizzato per il monitoraggio dello stato di intasamento perchè, una volta superato il valore impostato come massimo, viene generato un allarme (PDAH102 e PDAH103) a segnalare la necessità di sostituire il filtro per evitare il calo delle prestazioni o, peggio, la rottura del filtro stesso.

Segue la batteria di raffreddamento F02, alimentata dalla miscela acqua / glicole, che entra dall'estremità inferiore dello scambiatore ed esce da quella superiore: in questo modo, le eventuali bolle che possono formarsi si accumulano nella parte alta della batteria e possono così essere facilmente eliminate grazie allo sfiato appositamente predisposto (se così non fosse, si accumulerebbe una tale quantità di bolle da ostacolare il flusso di liquido). La regolazione della portata di acqua glicolata avviene attraverso la valvola pneumatica TV106A, comandata dal regolatore TIC106 a cui è asservita la sonda TT106, per la misura della temperatura dell'aria di mandata. Essendo l'acqua glicolata a temperatura inferiore a quella ambiente sia in ingresso che in uscita, entrambe le linee sono coibentate fredde (IF). Ai capi della batteria, la sonda PDT104 misura

la perdita di carico attraverso lo scambiatore e trasmette il valore al regolatore PDIC104 che azionerà l'inverter in modo da mantenere costante il numero di giri del motore e quindi la portata del ventilatore.¹

L'aria entra poi nella sezione di umidificazione, alimentata ad acqua spruzzata attraverso degli ugelli. La portata è controllata attraverso la valvola MV108, comandata dal regolatore MIC108 a cui è attestata la sonda MT108 che misura l'umidità relativa dell'aria di mandata. La tubazione è coibentata calda, perché l'umidificazione viene eseguita nel periodo invernale e si deve quindi evitare che l'acqua ghiacci all'interno della linea. In questa sezione sono inoltre presenti un sistema per l'abbattimento delle gocce (demister) e, sul fondo, una vaschetta di raccolta, sia per la condensa prodotta dal raffreddamento in estate, sia per l'acqua di umidificazione eventualmente non evaporata; lo scarico avviene in fogna, tramite sifone per impedire il ritorno del liquido dovuto alla depressione generata dal ventilatore.

Vi è poi la batteria di postriscaldamento F03, alimentata a vapore: la modulazione della portata avviene attraverso la valvola pneumatica TV106B, anch'essa comandata dal regolatore TIC106 in funzione del setpoint impostato e del valore acquisito dal misuratore di temperatura TT106. A differenza della batteria di preriscaldamento, questo scambiatore è in funzione durante tutto il corso dell'anno: per questo motivo si è deciso di prevedere qui il loop di regolazione automatica e non sul preriscaldamento; sono invece sostanzialmente identiche le tubazioni, con il filtro antimpurità e un manometro sulla linea di mandata, con lo scaricatore di condensa e bypass sulla tubazione di ritorno.

Infine, il ventilatore V01 è di tipo centrifugo a portata variabile e la velocità di rotazione del motore è regolata dall'inverter, a sua volta comandato dal regolatore PDIC104 in funzione del setpoint e del valore acquisito dalla sonda PDT104. Ai capi del ventilatore viene misurata la differenza di pressione attraverso il pressostato PDSL105 e generato un allarme (PDAL105) nel caso in cui il motore sia in funzione ma il ventilatore non fornisca la pressione impostata come valore minimo. In questo modo è possibile avere la segnalazione di un'eventuale anomalia nel funzionamento del ventilatore, tipicamente la rottura delle cinghie di trasmissione. Il motore del ventilatore viene avviato/fermato attraverso il comando di marcia HS112.

Nella camera all'uscita del ventilatore sono installati i misuratori di temperatura TT106 ed umidità MT108, con la funzione di cui si è discusso in precedenza.

¹ L'automatizzazione della regolazione della portata del ventilatore è subordinata alla fase di collaudo dell'impianto. Con un anemometro portatile si misura la velocità dell'aria nella canalizzazione e, conoscendo il diametro, si risale alla portata circolante: si fa variare la velocità di rotazione del ventilatore fino ad ottenere la portata necessaria ad assicurare il ricambio d'aria di 20 volumi/ora. A questo punto, la sonda PDT104 misura la perdita di carico attraverso la batteria, che è direttamente correlata alla portata; basta poi impostare questo valore come setpoint del regolatore PDIC104 cosicché, attraverso l'inverter, il ventilatore mantenga la velocità (e quindi la portata) desiderata.

L'aria entra poi nella canalizzazione, all'interno della quale è installata un'ulteriore batteria di riscaldamento F03A, da considerarsi alternativa allo scambiatore F03: si dovrà optare per una soluzione o l'altra in base alle esigenze, ad esempio nel caso serva un controllo differenziato della temperatura nei locali (poiché non è questo il caso scelto per lo standard, la rappresentazione sul P&ID di questa soluzione non è completa e sarebbe infatti necessario un altro ramo secondario nella canalizzazione che portasse ad altri locali).

A valle della batteria F03A è installata la serranda tagliafuoco STF111, necessaria per la protezione contro gli incendi. Il suo funzionamento si basa sull'utilizzo di un fusibile: se l'aria nella canalizzazione supera la temperatura di 72°C si ha la rottura del fusibile che sgancia una molla per cui la serranda si chiude immediatamente, impedendo la propagazione dell'incendio e dei fumi. La chiusura della serranda è segnalata dall'interruttore di finecorsa ZSL111 e visualizzata nel centro di controllo.

La canalizzazione si separa poi nei due rami, che portano ai locali: in entrambi i condotti è installata la serranda di regolazione manuale ad alette, per la gestione della sovrappressione. L'aria entra nelle stanze attraverso diffusori completi di filtro assoluto (FG03 e FG04, tipo H13): questa soluzione è nettamente da preferire rispetto all'installazione del filtro assoluto all'interno dell'UTA perché così si evita il rischio che l'aria si contami nuovamente percorrendo la canalizzazione e, soprattutto, si riduce la probabilità che nel caso il ventilatore non sia in funzione (perché spento o per un guasto), ci sia un ritorno d'aria dalla stanza verso la canalizzazione (il locale è in sovrappressione), evitando così fenomeni di *cross-contamination* tra i due locali serviti dallo stesso ramo.

3.2.2 P&ID sezione aspirante

In entrambi i locali è installato un misuratore di differenza di pressione (PDT201 e PDT202), con una presa all'interno del locale (presa positiva) e una all'esterno (presa negativa). Il valore acquisito è visualizzato nella sala di controllo dagli indicatori PDI201 e PDI202. Questi strumenti sono indispensabili per il monitoraggio della sovrappressione, parametro fondamentale per il mantenimento del grado di pulizia richiesto. L'aria viene poi prelevata attraverso le griglie munite di filtro G4, per una prima filtrazione dell'aria dalle polveri eventualmente generatesi all'interno del locale; in entrambi i rami secondari è installata la serranda di taratura per la gestione della sovrappressione. Successivamente i due rami confluiscono nel ramo principale: all'interno di questo è installata la serranda tagliafuoco e un misuratore di pressione. Il funzionamento della serranda tagliafuoco STF203 è lo stesso già discusso: allorché l'aria nella condotta raggiunge la temperatura di 72°C, si ha la rottura del fusibile che sgancia il fermo di una molla causando la chiusura dell'otturatore; la chiusura della serranda è segnalata attraverso un interruttore di finecorsa (ZSL203) e il riarmo dovrà essere fatto manualmente poiché è necessario sostituire il fusibile per ripristinare la funzionalità della serranda tagliafuoco. La sonda PDT204 serve a misurare la (de)pressione nella canalizzazione rispetto all'esterno ed è attestata al regolatore PDIC204, a sua volta connesso all'inverter del motore del ventilatore V02; il sistema è utilizzato per la regolazione della portata del ventilatore: il PDIC204 infatti, in base al valore acquisito dal PDT204 e al setpoint impostato agisce sull'inverter in modo da alimentare il motore con la frequenza necessaria a mantenere il corrispondente numero di giri.² In seguito l'aria entra nell'UTA di ripresa e attraversa tre stadi di filtrazione, in modo da trattenere la più alta percentuale possibile di particelle: il primo stadio è costituito dal filtro FG07 (di tipo G4, grossolano), il secondo stadio dal filtro FG08 (di tipo F9, alta efficienza) mentre il terzo è costituito dal filtro FG09 (di tipo H13, filtro assoluto). Ai capi di ognuno di questi, un pressostato differenziale misura la perdita di carico (PDSH205, PDSH206, PDSH207); così è possibile monitorare lo stato di intasamento del filtro per aver modo di sostituirlo prima di superare il valore di soglia indicato dal produttore, evento segnalato dagli allarmi PDAH205, PDAH206 e PDAH207 rispettivamente. Infine si trova il ventilatore V02. L'accensione e lo spegnimento del motore avvengono attraverso il comando di marcia HS209 mentre la velocità, come già detto, viene regolata dal controllore PDIC204 attraverso l'inverter. Come per i filtri, anche alle estremità del ventilatore viene misurata la differenza di pressione, attraverso il pressostato PDSL208. Questo sistema è utilizzato per il monitoraggio dello stato di funzionamento del ventilatore: a motore acceso infatti, se non viene rilevata la differenza di pressione impostata come minimo,

² La determinazione del valore da utilizzare come setpoint viene effettuata ancora una volta in fase di collaudo.

viene generato un allarme (PDAL208), a segnalare una qualche anomalia (tipicamente la rottura delle cinghie di trasmissione). Dopodiché l'aria è espulsa all'esterno.

3.3 Specifiche tecniche

La specifica tecnica è un documento nel quale sono riportate tutte le caratteristiche costruttive e le condizioni di funzionamento di una apparecchiatura. Nel caso in esame però occorre fare un'importante precisazione. Il compito assegnato non era quello di un dimensionamento dettagliato delle apparecchiature, ma piuttosto di predisporre la documentazione per facilitare l'ordine di acquisto: è prassi aziendale, infatti, lasciare al fornitore il compito di dimensionare e proporre l'apparecchiatura adatta a soddisfare le esigenze del cliente (esigenze riportate proprio nella specifica tecnica) e controllare poi i calcoli di dimensionamento. Nelle tabelle seguenti dunque, vengono riportate le condizioni di funzionamento e le caratteristiche principali che l'apparecchiatura deve possedere e non i dettagli costruttivi (ad esempio passo tra i tubi e passo tra le alette per gli scambiatori riportati nelle tabelle 3.5, 3.6 e 3.7; diametro della girante e numero di palette per i ventilatori riportati nelle tabelle 3.8 e 3.9).

Tabella 3.5. Specifiche tecniche della batteria di preriscaldamento

		LATO FREDDO		LATO CALDO	
FLUIDO		ARIA ESTERNA		VAPORE D'ACQUA	
PORTATA	kg/h	12500		176	
		ENTRATA	USCITA	ENTRATA	USCITA
DENSITA'	kg/m ³	1.31	1.19	2.1	923.6
VISCOSITA'	cP	0.017	0.018	0.0137	0.196
CALORE LATENTE	kCal/kg			510	
CALORE SPECIFICO	kCal/kg C	0.24	0.24	0.54	1.02
CONDUCIBILITA' TERMICA	kCal/h m C	0.02	0.02	0.026	0.59
TEMPERATURA	C	-7	+23	+143	+143
PRESSIONE DI ESERCIZIO	bar	1.013 (atmosferica)		3	
CALORE SCAMBIATO	kCal/h	89750			
PRESSIONE DI PROGETTO	bar	6		6	
TEMPERATURA DI PROGETTO	C	-10 / +150		-10 / +150	
DN LINEE INGRESSO/USCITA SERIE - FINITURA				32 / 15 N12A-IC	
MATERIALE TUBI		RAME			
MATERIALE ALETTE		ALLUMINIO			

Tabella 3.6. Specifiche tecniche della batteria di raffreddamento

		LATO FREDDO		LATO CALDO	
FLUIDO		MISCELA ACQUA GLICOLE ETILENICO 40%		ARIA ESTERNA	
PORTATA	kg/h	12340		11700	
		ENTRATA	USCITA	ENTRATA	USCITA
DENSITA'	kg/m ³	1075	1070	1.13	1.21
VISCOSITA'	cP	0.06	0.04	0.019	0.018
CALORE LATENTE	kCal/kg				
CALORE SPECIFICO	kCal/kg C	0.81	0.84	0.24	0.24
CONDUCIBILITA' TERMICA	kCal/h m C	0.36		0.03	0.02
TEMPERATURA	C	+5	+15	+35	+14
PRESSIONE DI ESERCIZIO	bar	2.5		1.013 (atmosferica)	
CALORE SCAMBIATO	kCal/h	101790			
PRESSIONE DI PROGETTO	bar	6		6	
TEMPERATURA DI PROGETTO	C	-10 / +50		-10 / +50	
DN LINEE INGRESSO/USCITA SERIE - FINITURA		40 / 40 N12A - IF			
MATERIALE TUBI		RAME			
MATERIALE ALETTE		ALLUMINIO			

Tabella 3.7. Specifiche tecniche della batteria di postriscaldamento

		LATO FREDDO		LATO CALDO	
FLUIDO		ARIA ESTERNA		VAPORE D'ACQUA	
PORTATA	kg/h	12100		60	
		ENTRATA	USCITA	ENTRATA	USCITA
DENSITA'	kg/m ³	1.23	1.19	2.1	923.6
VISCOSITA'	cP	0.018	0.018	0.0137	0.196
CALORE LATENTE	kCal/kg			510	
CALORE SPECIFICO	kCal/kg C	0.24	0.24	0.54	1.02
CONDUCIBILITA' TERMICA	kCal/h m C	0.022	0.02	0.026	0.59
TEMPERATURA	C	+9	+20	+143	+143
PRESSIONE DI ESERCIZIO	bar	1.013 (atmosferica)		3	
CALORE SCAMBIATO	kCal/h	30250			
PRESSIONE DI PROGETTO	bar	6		6	
TEMPERATURA DI PROGETTO	C	-10 / +150		-10 / +150	
DN LINEE INGRESSO/USCITA SERIE - FINITURA				20 / 15 N12A - IC	
MATERIALE TUBI		RAME			
MATERIALE ALETTE		ALLUMINIO			

Tabella 3.8. Specifiche tecniche del ventilatore di mandata

TIPO		CENTRIFUGO	
FUNZIONAMENTO		CONTINUO	
GAS TRATTATO		ARIA ESTERNA	
UMIDITA' RELATIVA	%	40 / 60	
		NORMALE	NOMINALE
PORTATA	m ³ /h		10000
TEMPERATURA (ASPIRAZIONE)	C	20 / 25	0 / 150
PRESSIONE STATICA (ASPIRAZIONE)	Pa		- 1000
TEMPERATURA (MANDATA)	C	20 / 25	0 / 150
PRESSIONE TOTALE (MANDATA)	Pa		1700
VELOCITA' DI ROTAZIONE	rpm	3000	
REGOLAZIONE PORTATA		SI', CON INVERTER	
AVVIAMENTO AUTOMATICO		SI'	
INSTALLAZIONE		AL CHIUSO	
ACCOPPIAMENTO MOTORE		TRASMISSIONE CON CINGHIE	
ALIMENTAZIONE ELETTRICA		380 V / 3ph / 50 Hz	
POLI MOTORE		2	
TIPO GIRANTE		PALE INCURVATE ALL'INDIETRO	
MATERIALE GIRANTE		POLIPROPILENE RIGIDO	
TEMPERATURA DI PROGETTO	C	150	

Tabella 3.9. Specifiche tecniche del ventilatore di ripresa

TIPO		CENTRIFUGO	
FUNZIONAMENTO		CONTINUO	
GAS TRATTATO		ARIA DA LOCALI	
UMIDITA' RELATIVA	%	40 / 60	
		NORMALE	NOMINALE
PORTATA	m ³ /h		10000
TEMPERATURA (ASPIRAZIONE)	C	20 / 25	0 / 150
PRESSIONE STATICA (ASPIRAZIONE)	Pa		- 2200
TEMPERATURA (MANDATA)	C	20 / 25	0 / 150
PRESSIONE TOTALE (MANDATA)	Pa		2350
VELOCITA' DI ROTAZIONE	rpm	3000	
REGOLAZIONE PORTATA		SI', CON INVERTER	
AVVIAMENTO AUTOMATICO		SI'	
INSTALLAZIONE		AL CHIUSO	
ACCOPPIAMENTO MOTORE		TRASMISSIONE CON CINGHIE	
ALIMENTAZIONE ELETTRICA		380 V / 3ph / 50 Hz	
POLI MOTORE		2	
TIPO GIRANTE		PALE INCURVATE ALL'INDIETRO	
MATERIALE GIRANTE		POLIPROPILENE RIGIDO	
TEMPERATURA DI PROGETTO	C	150	

3.3.1 Calcoli di dimensionamento di base

Nelle specifiche riassunte nel paragrafo precedente, sono state definite solamente le potenzialità delle apparecchiature, senza procedere a un dimensionamento effettivo. Vengono ora presentati i metodi e le equazioni utilizzati per la determinazione delle suddette potenzialità.

Per quanto riguarda le batterie di scambio termico si è utilizzato il seguente procedimento: una volta individuato sul diagramma psicrometrico il salto di entalpia specifica che l'aria subisce nella trasformazione in esame, note la portata volumetrica e la densità (si è utilizzata la densità media tra le due temperature) si calcola la potenza termica che deve essere scambiata \dot{Q} [kCal/h]:

$$\dot{Q} = \dot{V} * \rho * \Delta h \quad (3.1)$$

dove

\dot{V} = portata volumetrica [m³/h]

ρ = densità [kg/m³]

Δh = salto entalpico specifico [kCal/kg].

A questo punto si determinano le portate dei fluidi termovettori:

- portata di raffreddamento con miscela di acqua e glicole \dot{m} [kg/h]: noto il calore specifico (medio) e il salto termico del glicole (qui scelto pari a 10 C), risulta

$$\dot{m} = \dot{Q} / (c_p * \Delta t) \quad (3.2)$$

dove

\dot{Q} = potenza termica [kCal/h]

c_p = calore specifico medio del fluido [kCal/kg C]

Δt = salto termico del fluido [C].

- portata di riscaldamento con vapore \dot{m} [kg/h]: noto il calore latente di evaporazione alla pressione di esercizio, risulta

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\lambda} \quad (3.3)$$

dove

\dot{Q} = potenza termica [kCal/h]

λ = calore latente di evaporazione [kCal/kg].

Per quanto riguarda l'acqua di umidificazione, una volta individuato il salto di umidità specifica sul diagramma psicrometrico, nota la portata volumetrica e la densità dell'aria è possibile calcolare la portata di acqua \dot{m} [kg/h] che deve essere assorbita:

$$\dot{m} = \dot{m}_{aria} * \Delta x \quad (3.4)$$

dove

Δx = salto di umidità specifica [kg/kg].

Per il dimensionamento di tubazioni e canalizzazioni, è necessario conoscere la portata massiva di fluido \dot{m} [kg/s], la densità ρ [kg/m³] e la velocità v [m/s] (utilizzando i valori consigliati riportati in tabella 3.4), dopodiché il diametro d [m] viene calcolato dalla:

$$d = \sqrt{\frac{4 * \dot{m}}{\rho * v * \pi}} \quad (3.5)$$

E' necessario poi confrontare i diametri effettivamente disponibili e scegliere quello che meglio approssima il diametro calcolato. Nel caso delle canalizzazioni per l'aria è possibile scegliere anche una sezione rettangolare o quadrata, facendo uso della seguente equazione che fornisce il diametro equivalente d [m]:

$$d = 1.3 * \frac{(a * b)^{0.625}}{(a + b)^{0.25}} \quad (3.6)$$

dove

a,b = lati [m].

Per la determinazione della prevalenza del ventilatore, in effetti, il calcolo rappresenta una stima, che risulta però accettabile alla luce di una serie di osservazioni.

In impianti a velocità medio-basse (come in questo caso) le perdite di carico distribuite sono generalmente dell'ordine di 1-2 Pa/m, quelle concentrate dovute alle batterie di scambio termico sono dell'ordine di qualche decina di Pa mentre le perdite dovute ai filtri coprono un intervallo che va dai 250 Pa dei filtri grossolani agli oltre 700 Pa dei filtri assoluti (per le massime condizioni di intasamento consigliate vedere paragrafo §2.1.3).

Un'altra considerazione riguarda il dislivello esistente tra l'unità di trattamento aria e i locali da servire: solitamente l'U.T.A. è posizionata sul tetto dell'edificio o nel sottotetto per cui in generale l'altezza relativa non rappresenta un costo in termini di prevalenza.

Infine, per quanto riguarda la differenza di pressione, basta ricordare che nei locali la sovrappressione massima è pari a 25 Pa.

Queste considerazioni hanno lo scopo di giustificare il criterio utilizzato per il calcolo della prevalenza dei ventilatori che, a prima vista, sembra poco rigoroso.

In sostanza, vengono considerate solamente le perdite di carico dovute ai filtri (nelle condizioni di massimo intasamento raccomandato) e la sovrappressione nei locali, che è un parametro di fondamentale importanza; si adotta inoltre un fattore di sicurezza per sovradimensionare l'apparecchiatura, così da consentire il funzionamento anche nel caso di filtri contemporaneamente tutti intasati, senza mai raggiungere il pieno carico.

Ovviamente questo sistema è utilizzabile perché si conoscono le varie tipologie di filtri che vanno installati, che sono gli stessi adottati nelle unità di trattamento aria già esistenti in stabilimento.

La tabella 3.10 riassume le perdite di carico dei filtri, per il calcolo delle prevalenze dei ventilatori.

Tabella 3.10. Perdite di carico dei filtri utilizzati

filtro	resistenza iniziale [Pa]	resistenza finale [Pa]
G4-griglie di ripresa	100	200
G4-in macchina	100	250
F9	250	600
H13-diffusore	150	500
H13-in macchina	250	750

Il fattore di sicurezza utilizzato è pari a 1.25: alcuni autori consigliano un fattore di 1.5 che è stato però ritenuto eccessivo.

3.4 Specifica funzionale

E' un documento in cui si descrive come funziona l'impianto dal punto di vista dei controlli e dei segnali; riporta inoltre la logica di controllo che deve essere seguita dal programmatore per l'implementazione della strumentazione nel sistema di controllo distribuito (DCS). In questo caso, non vengono specificati i valori di soglia che richiedono un'analisi e una conoscenza più accurate del sistema di regolazione.

3.4.1 Sistema di regolazione della sezione premente

3.4.1.1 Descrizione generale

a) Operazioni di accensione e spegnimento

Prevede a video il pulsante di START per l'azionamento del sistema che eseguirà le sequenze definite nel paragrafo "modalità di funzionamento". Prevede inoltre il pulsante di STOP per l'arresto del sistema che, previa conferma, eseguirà le sequenze anch'esse definite nel paragrafo "modalità di funzionamento".

b) Regolazioni

Loop di regolazione della temperatura (TIC 106 - TV 106A - TV 106B)

La sonda di temperatura TT 106 è asservita al regolatore TIC 106 che, in base al set point impostato regola l'apertura delle valvole di raffreddamento TV 106A e postriscaldamento TV 106B dell'unità di trattamento aria. Le valvole TV 106A e TV 106B con il ventilatore V01 in stato di fermo, dopo un ritardo di 30 secondi devono essere chiuse allo 0%.

Loop di regolazione dell'umidità (MIC 108 - MV 108)

La sonda di umidità MT 108 è asservita al regolatore MIC 108 che, in base al set point impostato regolerà di conseguenza l'apertura della valvola di umidificazione MV 108 dell'unità di trattamento aria. La valvola MV 108 con il ventilatore V01 in stato di fermo, dopo un ritardo di 30 secondi deve essere chiusa allo 0%.

Pressostato differenziale (PDSH 102)

E' un pressostato differenziale segnalante lo stato di intasamento del filtro a celle piane FG01.

Pressostato differenziale (PDSH 103)

E' un pressostato differenziale segnalante lo stato di intasamento del filtro a tasche FG02.

Regolatore della portata di mandata (PDT 104)

E' la sonda di misura e regolazione della pressione posta a cavallo della batteria di raffreddamento. La sonda è asservita al regolatore PDIC 104 che, in base al set point impostato regola la velocità di rotazione del ventilatore di mandata V01 dell'unità di trattamento aria.

Pressostato differenziale (PDSL 105)

Ha la funzione di monitorare la rottura delle cinghie o la mancanza di flusso del ventilatore di mandata V01. Una volta che il motore del ventilatore è stato avviato, il pressostato PDSL 105 verifica (dopo 30 secondi) che il ventilatore sia effettivamente in funzione indipendentemente dallo stato del motore. Con il motore del ventilatore attivo, se dopo il tempo impostato il pressostato non segnala lo stato di funzionamento, viene disattivato il comando al motore del ventilatore V01 e generato un allarme (PDAL105).

Finecorsa serranda tagliafuoco (ZSL 111)

Ha la funzione di segnalare la presenza di un incendio in una parte dell'impianto: questo infatti causerebbe l'aumento di temperatura dell'aria nella canalizzazione, che provoca la rottura del fusibile e quindi la chiusura della serranda tagliafuoco. Il ventilatore V01, con la serranda tagliafuoco chiusa, dopo un ritardo di 1 secondo deve essere in stato di fermo.

Pulsante d'emergenza (HS 113)

Ha la funzione di consentire all'operatore in campo di arrestare manualmente il sistema in caso di emergenza. Una volta premuto il pulsante, dopo un ritardo di 1 secondo, il ventilatore V01 deve essere in stato di fermo.

c) Mancanza di energia elettrica

In caso di mancanza di energia elettrica il sistema deve disattivare tutti i comandi del ventilatore V01. Al ritorno dell'energia elettrica (dalla rete elettrica nazionale) tutti i comandi devono essere automaticamente ripristinati se prima erano in funzione, partendo sempre dal comando di accensione. Il riavviamento del motore del ventilatore V01 deve essere fatto gradualmente.

d) Programmazione oraria

Prevede a video un apposito bottone per attivare/disattivare la programmazione per la gestione della riduzione di portata durante i fine settimana. Per far questo è sufficiente modificare il set point del PDIC 104.

3.4.1.2 Modalità di funzionamento

Si intenderà in seguito con "normale" il funzionamento nel periodo lavorativo che va dalle ore 6:00 del lunedì mattina fino alle ore 22:00 del venerdì sera mentre con "weekend" la restante parte della settimana, ovvero dalle ore 22:00 del venerdì sera alle ore 6:00 del lunedì mattina. Questa distinzione si rende necessaria poiché nel weekend le prestazioni richieste all'unità di trattamento aria sono inferiori a causa della ridotta presenza di personale e della ridotta attività, in particolare se nel caso normale si richiede un ricambio d'aria di 20 vol/h, nel weekend è sufficiente un ricambio di 6 vol/h.

In seguito non verrà fatto cenno alla valvola di regolazione TV109 poiché, come spiegato in precedenza, la batteria riscaldante F03A è da considerarsi alternativa alla F03: nel caso si utilizzi questa seconda soluzione basterà, nel seguente documento, sostituire il nome della valvola.

Nelle tabelle 3.11 – 3.15 vengono riportate le sequenze di accensione e spegnimento dell'unità di trattamento aria nei diversi casi di funzionamento previsti precedentemente: in condizioni di riposo (tabella 3.11), nel periodo estivo (tabelle 3.12 e 3.13) e nel periodo invernale (tabelle 3.14 e 3.15).

Tabella 3.11. – Stato del ventilatore e delle valvole in condizioni di riposo

SIGLA	DESCRIZIONE	AZIONE
V01	Ventilatore	Fermo
TV 106A	Valvola di regolazione acqua glicolata fredda	Chiusa
MV 108	Valvola di regolazione acqua di umidificazione	Chiusa
TV 106B	Valvola di regolazione vapore di postriscaldamento	Chiusa

- Funzionamento estivo (valido sia per il caso “normale” sia “weekend”)

Accensione: dopo che l'operatore ha impostato i parametri e premuto il pulsante di START, partendo dalle condizioni di riposo il sistema esegue in sequenza le azioni di cui alla tabella 3.12, con un ritardo di 2 secondi l'una dall'altra:

Tabella 3.12. – Sequenza di accensione nel periodo estivo

SIGLA	DESCRIZIONE	AZIONE
TV 106A	Valvola di regolazione acqua glicolata fredda	Abilita regolazione da TIC 106
MV 108	Valvola di regolazione acqua di umidificazione	Chiude
TV 106B	Valvola di regolazione vapore di postriscaldamento	Abilita regolazione da TIC 106
V01	Ventilatore	Avvia
V01	Ventilatore	Abilita regolazione da PDIC 104

Spegnimento: dopo che l'operatore ha premuto il pulsante di STOP, il sistema chiede conferma e a conferma avvenuta esegue in sequenza le azioni di cui alla tabella 3.13, con un ritardo di 2 secondi l'una dall'altra, fino al ripristino delle condizioni di riposo:

Tabella 3.13. – Sequenza di spegnimento nel periodo estivo

SIGLA	DESCRIZIONE	AZIONE
V01	Ventilatore	Disabilita regolazione da PDIC 104
V01	Ventilatore	Ferma
TV 106B	Valvola di regolazione vapore di postriscaldamento	Disabilita regolazione da TIC 106
MV 108	Valvola di regolazione acqua di umidificazione	Chiude
TV 106A	Valvola di regolazione acqua glicolata fredda	Disabilita regolazione da TIC 106

- Funzionamento invernale (valido sia per il caso “normale” sia “weekend”)

Accensione: dopo che l'operatore ha impostato i parametri e premuto il pulsante di START, partendo dalle condizioni di riposo il sistema esegue in sequenza le azioni di cui alla tabella 3.14, con un ritardo di 2 secondi l'una dall'altra:

Tabella 3.14. – Sequenza di accensione nel periodo invernale

SIGLA	DESCRIZIONE	AZIONE
TV 106A	Valvola di regolazione acqua glicolata fredda	Chiude
MV 108	Valvola di regolazione acqua di umidificazione	Abilita regolazione da MIC 108
TV 106B	Valvola di regolazione vapore di postriscaldamento	Abilita regolazione da TIC 106
V01	Ventilatore	Avvia
V01	Ventilatore	Abilita regolazione da PDIC 104

Spegnimento: dopo che l'operatore ha premuto il pulsante di STOP, il sistema chiede conferma e a conferma avvenuta esegue in sequenza le azioni di cui alla tabella 3.15, con un ritardo di 2 secondi l'una dall'altra, fino al ripristino delle condizioni di riposo:

Tabella 3.15. – Sequenza di spegnimento nel periodo invernale

SIGLA	DESCRIZIONE	AZIONE
V01	Ventilatore	Disabilita regolazione da PDIC 104
V01	Ventilatore	Ferma
TV 106B	Valvola di regolazione vapore di postriscaldamento	Disabilita regolazione da TIC 106
MV 108	Valvola di regolazione acqua di umidificazione	Disabilita regolazione da MIC 108
TV 106A	Valvola di regolazione acqua glicolata fredda	Chiude

3.4.1.3 Parametri impostabili

Vengono ora riassunti gli elementi controllori dei loop di regolazione installati, con il relativo intervallo di valori della grandezza controllata che possono essere impostati. La sigla S.V. sta per “SetValue”.

Per PDIC 104. SV = 0 / 350 Pa

Per TIC 106. SV = +18 / +28 °C

Per MIC 108. SV = 35% / 65%

3.4.1.4 Strumenti e controlli

Nelle tabelle 3.16 – 3.19, si riportano i valori di setpoint di progetto per i vari elementi controllori. Si osservi che la colonna “range” riporta il valore degli strumenti di misura.

Tabella 3.16. – Setpoint degli elementi controllori nel funzionamento estivo/normale

ITEM	RANGE	SETPOINT
PDIC 104	0/400 Pa	$\Delta P1$ *
TIC 106	0/+50 °C	25
MIC 108	0/100%	50

Tabella 3.17. – Setpoint degli elementi controllori nel funzionamento estivo/weekend

ITEM	RANGE	SETPOINT
PDIC 104	0/400 Pa	$\Delta P2$ *
TIC 106	0/+50 °C	25
MIC 108	0/100%	50

Tabella 3.18. – Setpoint degli elementi controllori nel funzionamento invernale/normale

ITEM	RANGE	SETPOINT
PDIC 104	0/400 Pa	$\Delta P1$ *
TIC 106	0/+50 °C	20
MIC 108	0/100%	50

Tabella 3.19. – Setpoint degli elementi controllori nel funzionamento invernale/weekend

ITEM	RANGE	SETPOINT
PDIC 104	0/400 Pa	$\Delta P2$ *
TIC 106	0/+50 °C	20
MIC 108	0/100%	50

*

$\Delta P1$ = perdita di carico da definire in fase di collaudo per garantire la portata necessaria ad assicurare un ricambio d'aria di 20 vol/h nei locali serviti

$\Delta P2$ = perdita di carico da definire in fase di collaudo per garantire la portata necessaria ad assicurare un ricambio d'aria di 6 vol/h nei locali serviti

3.4.1.5 Allarmi

Nella tabella 3.20 vengono riportati gli allarmi impostati per i pressostati e per i misuratori di temperatura e umidità, che si attivano qualora il valore misurato scenda al di sotto di quello riportato nella colonna LO (low) o superi quello della colonna HI (high).

Tabella 3.20. – Allarmi previsti per la strumentazione della sezione premente

ITEM	LO	HI
PDSH 102		250
PDSH 103		600
PDSL 105	600	
TIC 106	15	30
MIC 108	30%	70%

I valori degli allarmi per PDSH102 e PDSH103 corrispondono alla perdita di carico massima raccomandata dal produttore dei filtri utilizzati mentre quello per PDSL105 è pari alla somma delle perdite di carico minime dei filtri.

3.4.2 Sistema di regolazione della sezione aspirante

3.4.2.1 Descrizione generale

a) Operazioni di accensione e spegnimento

Prevede a video il pulsante di START per l'azionamento del sistema che eseguirà le sequenze definite nel paragrafo "casi di funzionamento". Prevede inoltre il pulsante di STOP per l'arresto del sistema che, previa conferma, eseguirà le sequenze anch'esse definite nel paragrafo "casi di funzionamento".

b) Regolazioni

Finecorsa serranda tagliafuoco (ZSL 203)

Ha la funzione di segnalare la presenza di un incendio in una parte dell'impianto: questo infatti causerebbe l'aumento di temperatura dell'aria nella canalizzazione che provoca la rottura del fusibile e quindi la chiusura della serranda tagliafuoco. Il ventilatore V02, con la serranda tagliafuoco chiusa, dopo un ritardo di 1 secondo deve essere in stato di fermo.

Regolatore della portata di ripresa (PDT 204)

E' la sonda di misura e regolazione della pressione posta nella canalizzazione di ripresa. La sonda è asservita al regolatore PDIC 202 che, in base al set point impostato regola la velocità di rotazione del ventilatore di ripresa V02 dell'unità di trattamento aria.

Pressostato differenziale (PDSH 205)

E' un pressostato differenziale segnalante lo stato di intasamento del filtro a celle piane FG07.

Pressostato differenziale (PDSH 206)

E' un pressostato differenziale segnalante lo stato di intasamento del filtro a tasche FG08.

Pressostato differenziale (PDSH 207)

E' un pressostato differenziale segnalante lo stato di intasamento del filtro assoluto FG09.

Pressostato differenziale (PDSL 208)

Ha la funzione di monitorare la rottura delle cinghie o la mancanza del flusso del ventilatore di ripresa V02. Una volta che il motore del ventilatore è stato avviato, il pressostato PDSL 206 verifica (dopo 30 secondi) che il ventilatore sia effettivamente in funzione indipendentemente dallo stato del motore anch'esso acquisito dal sistema. Con il motore del ventilatore attivo, se dopo il tempo impostato il pressostato non segnala lo stato di funzionamento, viene disattivato il comando al motore del ventilatore V02 e generato un allarme.

Pulsante d'emergenza (HS 210)

Ha la funzione di consentire all'operatore in campo di arrestare manualmente il sistema in caso di emergenza. Una volta premuto il pulsante, dopo un ritardo di 1 secondo, il ventilatore V02 deve essere in stato di fermo.

c) Misure di deltaP nei locali

PDT201 – PDI201

E' l'indicatore di pressione differenziale che provvede a misurare la differenza di pressione tra la stanza 1 (presa +) e l'esterno (presa -).

PDT202 – PDI202

E' l'indicatore di pressione differenziale che provvede a misurare la differenza di pressione tra la stanza 2 (presa +) e l'esterno (presa -).

d) Mancanza di energia elettrica

In caso di mancanza di energia elettrica il sistema deve disattivare tutti i comandi del ventilatore V02. Al ritorno dell'energia elettrica (dalla rete elettrica nazionale) tutti i comandi devono essere automaticamente ripristinati se prima erano in funzione, partendo sempre dal comando di accensione. Il riavviamento del motore del ventilatore V01 deve essere fatto gradualmente.

e) Programmazione oraria

Prevede a video un apposito bottone per attivare/disattivare la programmazione per la gestione della riduzione di portata durante i fine settimana. Per far questo è sufficiente modificare il setpoint del PDIC 204.

3.4.2.2 Modalità di funzionamento

Si intenderà in seguito con "normale" il funzionamento nel periodo lavorativo che va dalle ore 6:00 del lunedì mattina fino alle ore 22:00 del venerdì sera mentre con "weekend" la restante parte della settimana, ovvero dalle ore 22:00 del venerdì sera alle ore 6:00 del lunedì mattina. Questa distinzione si rende necessaria poiché nel weekend le prestazioni richieste all'unità di trattamento aria sono inferiori a causa della ridotta presenza di personale e della ridotta attività, in particolare se nel caso normale si richiede un ricambio d'aria di 20 vol/h, nel weekend è sufficiente un ricambio di 6 vol/h.

Nelle tabelle 3.21 – 3.23 vengono riportate le condizioni di riposo dell'unità di trattamento aria (tabella 3.21) e le sequenze di accensione (tabella 3.22) e spegnimento (tabella 3.23) nei diversi casi di funzionamento previsti precedentemente.

Tabella 3.21. – Stato del ventilatore in condizioni di riposo

SIGLA	DESCRIZIONE	AZIONE
V02	Ventilatore	Fermo

- Funzionamento (valido tutto l'anno sia per il caso "normale" sia "weekend")

Accensione: dopo che l'operatore ha impostato i parametri e premuto il pulsante di START, partendo dalle condizioni di riposo il sistema esegue in sequenza le azioni di cui alla tabella 3.22, con un ritardo di 2 secondi l'una dall'altra:

Tabella 3.22. – Sequenza di accensione

SIGLA	DESCRIZIONE	AZIONE
V02	Ventilatore	Avvia
V02	Ventilatore	Abilita regolazione da PDIC 204

Spegnimento: dopo che l'operatore ha premuto il pulsante di STOP, il sistema chiede conferma e a conferma avvenuta esegue in sequenza le azioni di cui alla tabella 3.23, con un ritardo di 2 secondi l'una dall'altra, fino al ripristino delle condizioni di riposo:

Tabella 3.23. – Sequenza di spegnimento

SIGLA	DESCRIZIONE	AZIONE
V02	Ventilatore	Disabilita regolazione da PDIC 204
V02	Ventilatore	Ferma

3.4.2.3 Parametri impostabili

Viene ora riportato l'elemento controllore del loop di regolazione installato, con il relativo intervallo di valori della grandezza controllata che possono essere impostati.

La sigla S.V. sta per "SetValue".

Per PDIC 204. SV = 0 / 350 Pa

3.4.2.4 Strumenti e controlli

Nelle tabelle 3.24 e 3.25, si riportano i valori di setpoint di progetto per l'elemento controllore installato.

Si osservi che la colonna "range" riporta il valore degli strumenti di misura.

Tabella 3.24. – Setpoint dell'elemento controllore nel funzionamento normale

ITEM	RANGE	SETPOINT
PDIC 204	0/400 Pa	$\Delta P3$ *

Tabella 3.25. – Setpoint dell'elemento controllore nel funzionamento weekend

ITEM	RANGE	SETPOINT
PDIC 204	0/400 Pa	$\Delta P4$ *

*

$\Delta P3$ = depressione da definire in fase di collaudo per garantire la portata necessaria ad assicurare un ricambio d'aria di 20 vol/h nei locali serviti

$\Delta P4$ = depressione da definire in fase di collaudo per garantire la portata necessaria ad assicurare un ricambio d'aria di 6 vol/h nei locali serviti

3.4.2.5 Allarmi

Nella tabella 3.26 vengono riportati gli allarmi impostati per i pressostati, che si attivano qualora il valore misurato scenda al di sotto di quello riportato nella colonna LO (low) o superi quello della colonna HI (high).

Tabella 3.26. – Allarmi previsti per la strumentazione della sezione aspirante

ITEM	LO	HI
PDSH 205		250
PDSH 206		600
PDSH 207		750
PDSL 208	800	

I valori degli allarmi per PDSH205, PDSH206 e PDSH207 corrispondono alla perdita di carico massima raccomandata dal produttore dei filtri utilizzati mentre quello per PDSL208 è pari alla somma delle perdite di carico minime dei filtri.

3.5 Tabella funzioni di blocco

Le tabelle 3.27 e 3.28 sono in sostanza matrici (tabelle a doppia entrata) che riportano nelle righe le possibili problematiche (di una certa gravità) che possono presentarsi durante il funzionamento dell'impianto e nelle colonne le azioni che il sistema deve compiere all'insorgere del problema per limitare i danni. In questo caso non è stato necessario, ma in impianti più complessi si adottano delle vere e proprie procedure per l'analisi del rischio (ad esempio il metodo Hazop) per valutare tutte le possibili situazioni pericolose.

Tabella 3.27. Funzioni di allarme e blocco della sezione premente

SIGLA	SERVIZIO	1	2	3	RITARDO	AZIONE ESEGUITA				
						SIGLA	TV 106A	TV 106B	MV 108	V01
PDAL 105	rottura cinghie ventilatore V01	B	E	MR	30s					X
TIC 106	altissima temperatura aria di mandata	B	E	MR	15s		X			
ZSL 111	chiusura serranda tagliafuoco	M	E	MR	1s	X	X	X	X	
HS 113	pulsante d'emergenza	M	E	MR	1s	X	X	X	X	

LEGENDA

1 LIVELLO DI EMERGENZA B = basso I = medio M = alto

2 TIPO DI INTERVENTO EP = funzione elettropneumatica E = funzione elettrica P = funzione pneumatica

3 TIPO DI RIARMO MR = riarmo manuale AR = riarmo automatico RR = riarmo telecomandato

Tabella 3.28. Funzioni di allarme e blocco della sezione aspirante

SIGLA	SERVIZIO	1	2	3	RITARDO	AZIONE ESEGUITA	
						SIGLA	V 02
ZSL 201	chiusura serranda tagliafuoco	M	E	MR	1s		X
PDAL 206	rottura cinghie ventilatore V02	B	E	MR	30s		X
HS 208	pulsante d'emergenza	M	E	MR	1s		X

LEGENDA

1 LIVELLO DI EMERGENZA B = basso I = medio M = alto

2 TIPO DI INTERVENTO EP = funzione elettropneumatica E = funzione elettrica P = funzione pneumatica

3 TIPO DI RIARMO MR = riarmo manuale AR = riarmo automatico RR = riarmo telecomandato

3.6 Lista strumenti, segnali, valvole

Si riportano infine nelle tabelle 3.29 e 3.30 i documenti con l'elenco degli strumenti e delle valvole comandate che andranno installati, specificandone alcune caratteristiche:

- il tipo di segnale (A = analogico, D = digitale, I = in ingresso, O = in uscita);
- il range (l'intervallo di valori misurabile);
- gli eventuali allarmi (se il valore misurato non deve eccedere certi limiti);
- le criticità (se il buon funzionamento dello strumento o il controllo della variabile misurata hanno importanza cruciale per la sicurezza delle persone, per la qualità del prodotto o per la salvaguardia dell'ambiente).

Tabella 3.29. Lista strumenti e segnali della sezione premente

SIGLA	SERVIZIO	TIPO SEGNALE	RANGE	ALLARMI				CRITICITA'		
				LO	LO LO	HI	HI HI	SICUREZZA	QUALITA'	AMBIENTE
PI	101	AI	0/+6 bar					NO	NO	NO
PDSH	102	DI	0/400 Pa				250	NO	SI	NO
PDSH	103	DI	0/800 Pa				600	NO	SI	NO
PDT	104	AI	0/400 Pa					NO	NO	NO
PDSL	105	DI	0/800 Pa	600				NO	NO	NO
TT	106	AI	0/+50 °C	15		30	50	SI	SI	NO
TV	106A	AO						NO	NO	NO
TV	106B	AO						NO	NO	NO
PI	107	AI	0/+6 bar					NO	NO	NO
MT	108	AI	0/100%	30%		70%		NO	SI	NO
MV	108	AO						NO	NO	NO
TV	109	AO						NO	NO	NO
PI	110	AI	0/+6 bar					NO	NO	NO
ZSL	111	DI						SI	NO	NO
HS	112	DO						NO	NO	NO

Tabella 3.30. Lista strumenti e segnali della sezione aspirante

SIGLA		SERVIZIO	TIPO SEGNALE	RANGE	ALLARMI				CRITICITA'		
					LO	LO LO	HI	HI HI	SICUREZZA	QUALITA'	AMBIENTE
PDT	201	sovrappressione locale (stanza 1)	AI	0/100 Pa					NO	SI	NO
PDT	202	sovrappressione locale (stanza 2)	AI	0/100 Pa					NO	SI	NO
ZSL	203	finecorsa serranda tagliafuoco (antincendio)	DI						SI	NO	NO
PDT	204	depressione della canalizzazione rispetto l'esterno	AI	0/400 Pa					NO	NO	NO
PDSH	205	perdita di carico filtro G4 (filtro intasato)	DI	0/400 Pa				250	NO	SI	NO
PDSH	206	perdita di carico filtro F9 (filtro intasato)	DI	0/800 Pa				600	NO	SI	NO
PDSH	207	perdita di carico filtro H13 (filtro intasato)	DI	0/1000 Pa				750	NO	SI	NO
PDSL	208	pressione ventilatore V02	DI	0/1000 Pa	800				NO	NO	NO
HS	209	comando di marcia ventilatore V02	DO						NO	NO	NO

CONCLUSIONI

Lo scopo di questo lavoro è stato di eseguire la progettazione di base di un impianto per il trattamento dell'aria destinata a locali a contaminazione controllata, al fine di produrre un cosiddetto "standard di progetto", ossia un documento che funga da modello e guida per una progettazione più accurata, in funzione delle reali esigenze.

Sono state sviluppate più sezioni, riguardanti le basi di progetto, dove si riportano i dati di progetto e altre informazioni preliminari riguardanti l'impianto; gli schemi P&I, ovvero i disegni dell'impianto, completi di tubazioni e strumentazione, le specifiche tecniche, dove sono elencate le caratteristiche delle apparecchiature (in questo caso utilizzate per ricevere l'offerta dai fornitori); la specifica funzionale, nella quale si spiega il funzionamento dell'impianto dal punto di vista degli strumenti e dei segnali, definendo anche la logica di controllo che li governa; la tabella delle funzioni di allarme e blocco, nella quale si riportano i pericoli e i problemi che possono presentarsi durante il funzionamento dell'impianto e le azioni che il sistema deve compiere per evitare incidenti o danneggiamenti; la lista degli strumenti, dei segnali e delle valvole previsti, accompagnati da alcune caratteristiche come l'intervallo di misura, gli eventuali allarmi e un'analisi della criticità del loro buon funzionamento.

Il progetto "standard" messo a punto ha grandi caratteristiche di flessibilità e adattabilità, che consentono di applicarlo a situazioni di diversa complessità. Il documento prodotto costituisce quindi un valido punto di partenza per la progettazione di unità di trattamento aria e verrà utilizzato in un prossimo futuro nello stabilimento, consentendo ai progettisti un notevole risparmio in termini di tempo e denaro.

BIBLIOGRAFIA

Briganti A. (1994). Il condizionamento dell'aria (5th ed.). Tecniche nuove, Milano.

Cavallini A. e Mattarolo L. (1992). Termodinamica applicata. CLEUP, Padova.

Robert H. Perry e Don W. Green. Perry's Chemical Engineers' Handbook (7 ed.). McGraww-Hill.

Sinnot R. e Towler G. (2011). Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design (5th ed.)
Butterworth-Heinemann.

Bagatta B. (Foster Wheeler italiana). Considerazioni generali sulla contaminazione aeroportata.

Siti internet di produttori