



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Impianti nelle strutture sanitarie

Impianti tecnologici

Febbraio 2026

prof. ing. Marco Boscolo

Sommario

1. PRESENTAZIONE	9
2. I SERVIZI TECNOLOGICI IN AMBITO OSPEDALIERO	11
3. MONTAGGIO E PROTEZIONE DELLE TUBAZIONI	13
3.1 Premessa	13
3.2 Diametro e pressione nominali	14
3.3 Tipi di tubi	14
3.3.1 Tubi di ghisa sferoidale	14
3.3.2 Tubi in acciaio	15
3.3.3 Tubi in polietilene	17
3.3.4 Tubi in PVC	18
3.3.5 Tubi multistrato	19
3.4 Possibili collocazioni delle tubazioni	20
3.4.1 Percorsi interni ai fabbricati	21
3.4.2 Cunicolo praticabile	21
3.4.3 Interro	22
3.4.4 Pipe rack	22
3.5 Dilatazioni termiche	23
3.5.1 Compensatori a omega od a lira	23
3.5.2 Compensatori assiali a soffietto	24
3.5.3 Compensatori a snodo a soffietto	24
3.6 Supporti	25
3.6.1 Supporto normale	25
3.6.2 Supporto con guida	26
3.6.3 Punto fisso	26
3.7 Pendenza delle tubazioni	27
3.8 Protezione delle tubazioni	27
3.8.1 Protezione delle tubazioni interrate	27
3.8.2 Protezione esterna delle tubazioni aeree	30
3.9 Isolamento delle tubazioni convoglianti fluidi caldi o freddi	30
4. RETI DI DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA	33
4.1 Generalità	33
4.2 Fonti di approvvigionamento	33
4.2.1 Prelievo da acquedotto	34
4.2.2 Prelievo da pozzo	34
4.2.2.1 Tipologia di falde	34
4.2.2.2 Pozzi a percussione	35
4.2.2.3 Perforazioni a umido	36
4.3 Pompe per acqua	37
4.4 Sistemi di accumulo	42
4.4.1 Vasca interrata in cemento	42
4.4.2 Serbatoio fuori terra	43
4.5 Sistemi di pressurizzazione	43
4.5.1 Autoclave	43
4.5.2 Pompe comandate da inverter	44
4.6 Trattamenti di potabilizzazione	46
4.7 Tipi di reti	47
5. IMPIANTI DI ESTINZIONE INCENDIO	49
5.1 Elementi di prevenzione incendi	49
5.1.1 Il triangolo del fuoco	49
5.1.2 Compartimentazione	50
5.1.3 Vie di fuga	51
5.1.4 Tipologie di incendio e agenti estinguenti	51
5.1.5 Estintori	52
5.1.5.1 Estintori idrico	53
5.1.5.2 Estintore a polvere	53

5.1.5.3	Estintore a schiuma	54
5.1.5.4	Estintori ad anidride carbonica	55
5.1.6	Segnalazione degli incendi	56
5.1.6.1	Rilevatori di fumo a camera di ionizzazione	56
5.1.6.2	Rilevatori ottici	57
5.1.6.3	Rilevatori di Fiamma	57
5.1.6.4	Sensori di Calore	57
5.1.6.5	Sistemi a Telecamera	57
5.2	Impianti a idranti	58
5.2.1	Fonti di alimentazione	58
5.2.2	Tipo di rete	60
5.2.3	Tipi di idranti	61
5.3	Impianti a pioggia	64
5.4	Impianti a nebulizzatori	65
5.5	Impianti a CO ₂ ad alta pressione.	67
5.6	Impianti a CO ₂ a bassa pressione.	68
6.	IMPIANTI TERMICI.....	71
6.1	Premessa	71
6.2	Fonti di calore	71
6.3	Generatori di calore	74
6.3.1	Caldaie ad acqua calda a tubi di fumo	74
6.3.2	Generatori di vapore saturo a tubi di fumo	75
6.4	Refrigeratori d'acqua (chiller)	79
6.4.1	Chiller a compressione	81
7.	RETI DI DISTRIBUZIONE DEL CALORE	85
7.1	Tipologie di transfer	85
7.1.1	Acqua	85
7.1.2	Vapore d'acqua saturo o surriscaldato	86
7.2	Tipologie di circuiti	87
7.2.1	Circuiti ad acqua	87
7.2.2	Circuiti a vapore d'acqua	88
7.3	Centrali termiche	89
8.	IMPIANTI E APPARECCHIATURE PER LA CLIMATIZZAZIONE	91
8.1	Generalità	91
8.2	Unità trattamento aria (UTA)	91
8.2.1	Involucro	92
8.2.2	Vaschette di drenaggio	93
8.2.3	Serrande	93
8.2.4	Filtri	93
8.2.4.1	Filtri a pannello	93
8.2.4.2	Filtri a tasche	94
8.2.4.3	Filtri assoluti (HEPA e ULPA)	94
8.2.5	Batterie di scambio termico	95
8.2.6	Separatore di gocce	96
8.2.7	Umidificatore	96
8.2.8	Ventilatori	97
8.2.9	Recuperatori di calore	99
8.3	Ventilconvettori	99
8.4	Pannelli radianti a pavimento	100
8.5	Pannelli radianti a soffitto	101
8.6	Diffusori d'aria ambiente	102
8.7	Termosifoni	103
9.	IMPIANTI GAS MEDICINALI	105
9.1	Generalità	105
9.2	Tipologie di gas medicali	105
9.3	Centrali gas medicali	106
9.3.1	Ubicazione	106
9.3.2	Criteri progettuali	107
9.3.3	Centrali di ossigeno medicinale	107

9.3.4 Centrali di protossido d'azoto medicinale.....	108
9.3.5 Centrale aria medicinale.....	108
9.4 Reti di distribuzione dei gas medicali	109
9.5 Sistemi di monitoraggio e di allarme degli impianti di distribuzione dei gas medicali.....	109

10. VENTILAZIONE DELLE CUCINE INDUSTRIALI 111

10.1 Generalità sul servizio di ristorazione.....	111
10.2 Definizione dei requisiti del sistema di ventilazione	112
10.3 Cappe di aspirazione.....	113
10.4 Prese d'aria esterna	115
10.5 Separazione di grassi e vapori presenti nell'aria di aspirazione.....	115
10.6 Tipi di impianti di estrazione delle grandi cucine.....	116
10.6.1 Impianto a semplice estrazione	117
10.6.2 Impianto di estrazione con reintegro in ambiente	117
10.6.3 Impianto a compensazione in cappa.....	118
10.6.4 Impianto a compensazione con reintegro in ambiente	119
10.6.5 Soffitti aspiranti.....	119
10.7 Elementi di calcolo delle cappe di aspirazione.	120

11. BIBLIOGRAFIA.....122

Indice delle figure

<i>Figura 1 Il comprensorio ospedaliero di Cattinara (Trieste)</i>	11
<i>Figura 2 Elementi costituenti un tratto di tubazione per l'alimentazione di un fluido ad una utenza</i>	13
<i>Figura 3 Caratteristiche dimensionali dei tubi in ghisa sferoidale</i>	15
<i>Figura 4 Tubi filettati in acciaio zincato</i>	16
<i>Figura 5 Tubi lisci in acciaio</i>	16
<i>Figura 6 Rete di distribuzione acqua refrigerata 7°C e antincendio - Parco Nord di Udine - Posa in opera di tubi in PEHD PN16 D.560-450-400-355-315-280 e diametri inferiori per un totale di 6 KM</i>	18
<i>Figura 7 Tubo in PVC con giunto a bicchiere</i>	19
<i>Figura 8 Tubo multistrato</i>	20
<i>Figura 9 Installazione delle reti di tubazioni a controsoffitto</i>	21
<i>Figura 10 Installazione delle reti di tubazioni entro cavedio</i>	21
<i>Figura 11 Cunicolo tecnico</i>	22
<i>Figura 12 Modalità di interro delle reti</i>	22
<i>Figura 13 Esempio di Pipe rack</i>	23
<i>Figura 14 Compensatori a lira</i>	24
<i>Figura 15 Compensatore di dilatazione a soffietto</i>	24
<i>Figura 16 Compensatori a soffietto a snodo semplice e relativa modalità di installazione</i>	25
<i>Figura 17 Compensatore a snodo doppio</i>	25
<i>Figura 18 Supporti normali: a) a collare, b) a rullo</i>	26
<i>Figura 19 Supporto con guida</i>	26
<i>Figura 20 Punti fissi di tubazioni</i>	27
<i>Figura 21 Sfiati automatici d'aria</i>	27
<i>Figura 22 Giunto dielettrico filettato 1/2" Gas</i>	28
<i>Figura 23 Protezione catodica (schema)</i>	28
<i>Figura 24 Rivestimento in polietilene a caldo a nastro o estruso UNI 9099 e/o DIN 30670</i>	29
<i>Figura 25 Tipi di isolante: a) a cella aperta (fibra di vetro), b) a cella chiusa (polistirolo)</i>	31
<i>Figura 26 Materiali isolanti per la coibentazione delle tubazioni. a) Coppella in elastomero espanso rivestita in lamierino di alluminio, b) Coppelle e materassini di fibra di vetro</i>	32

Figura 27 Modalità di isolamento delle tubazioni	32
Figura 28 Modalità di allacciamento all'acquedotto	34
Figura 29 Contatori per acqua: a) a mulinello, b) a turbina	34
Figura 30 Tipologia di falde (schema)	35
Figura 31 Modalità di prelievo da falda: a) da falda freatica, b) da falda artesianica	35
Figura 32 Tubazioni, puntazza e tubo finestrato per la realizzazione di un pozzo a percussione.	36
Figura 33 Configurazione tipica di un pozzo a percussione	36
Figura 34 Modalità di realizzazione di una perforazione ad umido	37
Figura 35 Pozzo artesianico	37
Figura 36 Determinazione della prevalenza richiesta ad una pompa	38
Figura 37 Curva caratteristica di una pompa centrifuga	39
Figura 38 Curve caratteristiche di una pompa al variare della velocità di rotazione	39
Figura 39 Scelta di una elettropompa centrifuga in funzione della caratteristica del circuito idraulico.	40
Figura 40 Pompa centrifuga ad asse orizzontale	40
Figura 41. Pompa centrifuga ad asse verticale: 1. Corpo pompa, 2. Girante centrifuga, 3. Bussola di guida statica, 4. Bussola di guida rotante, 5. Tubo di mandata, 6. Colonna, 7. Albero bilanciato, 8. Piastra, 9. Lanterna, 10. Giunto elastico, 11. Supporto. 12. Motore elettrico asincrono trifase	41
Figura 42 Pompa da pozzo da 4"	42
Figura 43 Vasca interrata per l'accumulo di acqua	43
Figura 44 Serbatoi di accumulo fuori terra	43
Figura 45 Autoclave installata su una rete di alimentazione dell'acqua per la regolazione della pressione.	44
Figura 46 Schema di installazione di un inverter	44
Figura 47 Sistema di utenze alimentate da una pompa centrifuga	45
Figura 48 Controllo della pressione con pompe a velocità di rotazione variabile	46
Figura 49 Schema di un impianto di potabilizzazione dell'acqua. 1. Vasca di preparazione soluzione - 2. Rubinetto di chiusura - 3. Apparecchio di regolazione del dosaggio - 4. Dosatore - 5. Pompa di sollevamento - 6. Diffusore.	47
Figura 50 Rete a maglia: a) prospettiva; b) pianta.	48
Figura 51 Rete a pettine: a) prospettiva; b) pianta.	48
Figura 52 Il triangolo del fuoco	49
Figura 53 Solaio REI 120 ottenuto tramite controsoffittatura in pannelli di fibra minerale	50
Figura 54 Esempio di parete REI 120	51
Figura 55 Estintore idrico	53
Figura 56 Estintore a polvere	54
Figura 57 Estintore a schiuma	55
Figura 58 Estintore ad anidride carbonica	56
Figura 59 Rilevatori di fumo	56
Figura 60 Rete unica per la distribuzione dell'acqua alle utenze industriali, potabili e antincendio.	58
Figura 61 Allacciamento all'acquedotto pubblico	59
Figura 62 Vasca interrata per l'accumulo di acqua	59
Figura 63 Gruppo di pressurizzazione antincendio con motopompa ed elettropompa.	60
Figura 64 Schema delle reti dell'acqua antincendio e industriale alimentate da una vasca seminterrata	61
Figura 65 Idrante UNI 70	62
Figura 66 Superidrante UNI 125, con 4 bocche UNI 70, 1 UNI 100 e 1 UNI 125	62

<i>Figura 67 Idrante UNI 45, a muro o a colonna.</i>	63
<i>Figura 68 Ugelli erogatori del tipo sprinkler e modalità di installazione sulle tubazioni della rete antincendio</i>	64
<i>Figura 69 Schema di un impianto antincendio a sprinkler suddiviso in due settori: uno a secco e uno a umido</i>	65
<i>Figura 70 Nebulizzatore in azione</i>	66
<i>Figura 71 Schema di un impianto antincendio a nebulizzatori suddiviso in due settori, ad intervento manuale e/o automatico.</i>	66
<i>Figura 72 Caratteristiche del getto d'acqua di un nebulizzatore con foro di alimentazione dell'ugello DN 25.</i>	67
<i>Figura 73 Bombole di CO₂ in rastrelliera</i>	68
<i>Figura 74 Schema di un impianto antincendio a CO₂</i>	68
<i>Figura 75 Schema di principio di un impianto termico</i>	71
<i>Figura 76 Scambiatore a fascio tubiero</i>	72
<i>Figura 77 Scambiatore a piastre</i>	72
<i>Figura 78 Scambiatore (recuperatore) di calore a flusso incrociato</i>	72
<i>Figura 79 Scambiatore di calore rigenerativo</i>	72
<i>Figura 80 Schema di principio dei generatori di calore.</i>	74
<i>Figura 81 Caldaia ad acqua calda a tre giri di fumo</i>	75
<i>Figura 82 Generatore di vapore a tubi di fumo</i>	76
<i>Figura 83 Generatore di vapore a tubi di fumo: il recipiente cilindrico</i>	77
<i>Figura 84 Piastra tubiera anteriore di un generatore di vapore a tubi di fumo</i>	77
<i>Figura 85 Generatore di vapore saturo a tubi di fumo (esplosivo)</i>	77
<i>Figura 86 Ciclo frigorifero a compressione</i>	79
<i>Figura 87 Rappresentazione del fenomeno dell'assorbimento</i>	80
<i>Figura 88 Rappresentazione del fenomeno del desorbimento</i>	80
<i>Figura 89 Principio di funzionamento di una macchina frigorifera ad assorbimento</i>	80
<i>Figura 90 Assorbitore a doppio effetto per recupero di calore dai gas di scarico da 5 MW per applicazioni cogenerative</i>	81
<i>Figura 91 Refrigeratore d'acqua con compressore centrifugo, condensato ad acqua (5,3 MW)</i>	82
<i>Figura 92 Evaporatore a fascio tubiero</i>	82
<i>Figura 93 Batteria di scambio termico alettata</i>	83
<i>Figura 94 Torri evaporative</i>	83
<i>Figura 95 Esplosivo di un compressore centrifugo bistadio del tipo oil-free</i>	83
<i>Figura 96 Tipologie di compressori adottati nelle macchine frigorifere</i>	84
<i>Figura 97 Rendimento di trasmissione</i>	85
<i>Figura 98 Schema funzionale di un impianto di riscaldamento ad acqua calda</i>	88
<i>Figura 99 Tipico layout di una centrale termica unifamiliare</i>	88
<i>Figura 100 Schema di impianto a vapore saturo</i>	89
<i>Figura 101 Planimetria di una centrale termica di un ospedale</i>	90
<i>Figura 102 Rappresentazione schematica di un UTA con recuperatore di calore a flusso incrociato</i>	92
<i>Figura 103 Spaccato di un'UTA</i>	93
<i>Figura 104 Serranda ad alette contrapposte</i>	93
<i>Figura 105 Filtri a pannello</i>	94
<i>Figura 106 Filtro a tasche</i>	94
<i>Figura 107 Filtro HEPA</i>	95

<i>Figura 108 Batterie alettate di scambio termico</i>	96
<i>Figura 109 Separatore di gocce.</i>	96
<i>Figura 110 Umidificazione adiabatica (schema)</i>	97
<i>Figura 111 Umidificazione a vapore</i>	97
<i>Figura 112 Tipologie di pale adottate per i ventilatori delle UTA</i>	98
<i>Figura 113 Ventilatore centrifugo a servizio di una UTA</i>	98
<i>Figura 114 Rappresentazione schematica di uno scambiatore di calore a flusso incrociato</i>	99
<i>Figura 115 Ventilconvettore</i>	100
<i>Figura 116 Sistema di riscaldamento a pavimento "ipocausto".</i>	100
<i>Figura 117 Pannello radiante a pavimento (stratigrafia)</i>	101
<i>Figura 118 Soletta radiante tipo</i>	101
<i>Figura 119 Pannello radianti a soffitto</i>	102
<i>Figura 120 Diffusori d'aria: a) a coni regolabili, b) a getto elicoidale, c) ad induzione</i>	102
<i>Figura 121 Radiatori a) alluminio pressofuso, b) ghisa, c) in tubo d'acciaio</i>	103
<i>Figura 122 Centrale gas medicali</i>	106
<i>Figura 123: 1 Pacco bombole; 2 Bombole, Serbatoio criogenico</i>	107
<i>Figura 124 Quadro di riduzione di II stadio e relativi allarmi</i>	110
<i>Figura 125 Esempio di una cucina d'ospedale</i>	111
<i>Figura 126 Esempi di cuocipasta industriali</i>	112
<i>Figura 127 Flussi d'aria indotti dal sistema di ventilazione di una cucina</i>	113
<i>Figura 128 Curve di livello delle velocità e linee di flusso in un piano verticale passante per l'asse longitudinale di una cappa sovrastante una vasca</i>	114
<i>Figura 129 Cappe di aspirazione</i>	114
<i>Figura 130 Cappa di aspirazione con filtro a labirinto</i>	116
<i>Figura 131 Schema di un impianto di aspirazione</i>	117
<i>Figura 132 Impianto a semplice estrazione</i>	117
<i>Figura 133 Impianto di estrazione con reintegro in ambiente</i>	118
<i>Figura 134 Impianto a compensazione in cappa</i>	118
<i>Figura 135 Particolare della cappa</i>	118
<i>Figura 136 Impianto a compensazione con reintegro in ambiente</i>	119
<i>Figura 137 Sezione di una cucina equipaggiata con controsoffitto aspirante</i>	120
<i>Figura 138 Andamento della velocità nella zona di influenza della cappa</i>	120

Indice delle tabelle

<i>Tabella 1 Classi acustiche e valori limite (d.P.C.M. 14 novembre 1997)</i>	12
<i>Tabella 2 Colori convenzionali per le reti di tubazioni</i>	13
<i>Tabella 3 Caratteristiche dei tubi di acciaio commerciali, tipo gas, serie media, filettati, con manicotto</i>	16
<i>Tabella 4 Caratteristiche dei tubi in acciaio commerciali, lisci, trafilati a caldo, senza saldatura con spessori normali</i>	17
<i>Tabella 5 Standard di riferimento per le tubazioni in polietilene</i>	18
<i>Tabella 6 Tubi di PVC rigido per condotte di fluidi in pressione destinate al convogliamento di acqua potabile, liquidi alimentari, impianti irrigui ed industriali con bicchiere e guarnizione di tenuta in materiale elastomerico a battuta esterna</i>	19
<i>Tabella 7 Proprietà del PVC</i>	19

<i>Tabella 8 Caratteristiche dimensionali dei tubi multistrato</i>	20
<i>Tabella 9 Tubi rivestiti esternamente e bitumati internamente</i>	30
<i>Tabella 10 Conducibilità termica dei più comuni isolanti</i>	31
<i>Tabella 11 Classificazione dei fuochi secondo la Norma UNI EN 2:2005</i>	52
<i>Tabella 12 Effettivo contributo all'estinzione usualmente riscontrato per ciascun estinguento</i>	52
<i>Tabella 13 Dati caratteristici degli idranti</i>	63
<i>Tabella 14 Caratteristiche chimico-fisiche dei principali combustibili</i>	73
<i>Tabella 15 Temperature caratteristiche per le reti di vettoriamento calore funzionanti ad acqua calda</i>	86
<i>Tabella 16 Temperatura e umidità relativa assunti a base di progetto per gli ospedali</i>	91
<i>Tabella 17 Utilizzo dei gas medicinali</i>	105
<i>Tabella 18 Parametri di accettabilità dell'aria medica</i>	108
<i>Tabella 19 Valori consigliati della velocità di cattura per le cappe di aspirazione a servizio delle cucine</i>	121
<i>Tabella 20 Portata di aspirazione suggerita per le diverse tipologie di apparecchiature</i>	121

1. Presentazione

Il corso di *Impianti nelle strutture sanitarie* viene acceso nell'AA 2022/23 per gli studenti del corso di laurea magistrale in ingegneria clinica, suddiviso in due moduli, rispettivamente dedicati agli impianti elettrici e agli impianti meccanici.

Le presenti dispense si riferiscono al secondo dei due moduli e sono state redatte con lo scopo di fornire agli studenti un documento di riferimento unico su cui preparare la prova d'esame.

Nel scegliere gli argomenti da trattare si è cercato di compendiare le principali problematiche impiantistiche presenti in ambito ospedaliero nella consapevolezza di non poter essere esaustivi, anche e soprattutto in considerazione del limitato "carico" didattico riservato al corso.

Nell'esposizione si è tenuto nel dovuto conto della necessariamente limitata preparazione degli allievi nelle discipline di base che costituiscono il bagaglio culturale dell'ingegnere meccanico e si è rinunciato a fornire i fondamenti progettuali che sono alla base della progettazione degli impianti di servizio e che di conseguenza dovranno essere eventualmente chiariti in separata sede.

Ne è risultato un lavoro che potrebbe definirsi didascalico, che si pone come obiettivo la fornitura di quei rudimenti che permettano ai futuri ingegneri di interloquire con gli specialisti del settore e di capire le problematiche sottese.

Il materiale presentato è in gran parte tratto dal libro "Elementi di impianti industriali" del Prof. Armando Monte, eventualmente aggiornato ed integrato ove necessario alla luce dell'esperienza maturata dal docente che ringrazia sin d'ora tutti coloro che vorranno segnalare inesattezze, refusi e suggerire eventuali miglioramenti.

Buon lavoro

Marco Boscolo

2. I servizi tecnologici in ambito ospedaliero

Gli impianti adottati in ambito ospedaliero non si differenziano sostanzialmente da quelli propri di altri contesti sia civili che industriali, salvo che per taluni casi particolari che possono ritenersi peculiari di quello in esame, quali gli impianti di distribuzione dei gas medicali, gli impianti di climatizzazione delle sale operatorie, o quelli di produzione e distribuzione del vapore per la sterilizzazione.

Si tratta in genere di impianti di *servizio*, ossia di impianti che non realizzano alcun *ciclo tecnologico completo*, ma che sono ad esso complementari o sono finalizzati allo svolgimento di un particolare compito a supporto dell'attività principale, un *servizio* appunto.

I servizi che vengono usualmente forniti in ambito ospedaliero possono così riassumersi:

- Climatizzazione
- Distribuzione di acqua igienico sanitaria
- Prevenzione incendi
- Sterilizzazione
- Distribuzione dei gas medicali
- Distribuzione dell'energia elettrica
- Fornitura di energia elettrica in modalità non interrompibile per le utenze privilegiate
- Ascensori e motacarichi
- Ristorazione
- Lavanderia

I servizi in precedenza elencati non sempre vengono necessariamente svolti all'interno del comprensorio ospedaliero, per i più disparati motivi, quali quelli organizzativi o per la necessità di contenere i costi.

Così, ad esempio, il servizio di ristorazione può limitarsi alla somministrazione dei pasti, direttamente nei reparti o nelle mense, affidandone la preparazione a ditte appaltatrici che si avvalgono di strutture esterne al comprensorio ospedaliero. Lo stesso dicasi per il servizio lavanderia che può essere appaltato esternamente, ragion per cui il lavaggio dei capi avviene in contesti diversi da quello in esame.

Un aspetto che giova ricordare riguarda la conformazione dei presidi ospedalieri sotto il profilo urbanistico, caratterizzato da comprensori molto ampi, che comprendono diversi fabbricati, collegati da una viabilità interna dedicata (Figura 1).



Figura 1 Il comprensorio ospedaliero di Cattinara (Trieste)

Tale circostanza condiziona gli impianti preposti all'erogazione dei servizi, che risultano in genere caratterizzati da taglie significative e dal ricorso alla centralizzazione.

Ne consegue che gli apparati di generazione o approvvigionamento vengano in genere accentrati in fabbricati tecnologici dedicati, emarginati rispetto al comprensorio, al quale sono connessi per mezzo di *reti* in genere ubicate al di sotto del piano di campagna.

Tale soluzione corrisponde a diverse esigenze quali, ad esempio, la necessità di limitare il livello di rumore in corrispondenza dei padiglioni di degenza. Va ricordato infatti che gli ospedali, in quanto *area particolarmente protetta* come gli asili o le scuole, sono fra i luoghi per i quali è previsto il più basso livello di rumorosità sia diurno che notturno (Tabella 1).

Tabella 1 Classi acustiche e valori limite (d.P.C.M. 14 novembre 1997)

Classi di destinazione d'uso del territorio	EMISSIONE		IMMISSIONE	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturno (22.00-06.00)	Diurno (06.00-22.00)	Notturno (22.00-06.00)
I - aree particolarmente protette	45	35	50	40
II - aree prevalentemente residenziali	50	40	55	45
III - aree di tipo misto	55	45	60	50
IV - aree di intensa attività umana	60	50	65	55
V - aree prevalentemente industriali	65	55	70	60
VI - aree esclusivamente industriali	65	65	70	70

Ulteriore motivo di preoccupazione conseguente all'esercizio degli apparati tecnologici è legato alla trasmissione di vibrazioni che, se non adeguatamente prevenuta, è in grado di dar luogo a fenomeni di risonanza che possono estendersi anche a grandi distanze. Tra tutti i macchinari in grado di dar luogo a fenomeni di questo tipo si ricordano in particolare le pompe centrifughe, i gruppi frigoriferi, i generatori *diesel* di emergenza.

Un altro motivo che suggerisce l'emarginazione dei locali tecnici, riguarda l'intrinseca pericolosità di incendio o di esplosione che spesso caratterizza le *attività* implicate. Va ricordato infatti che la generazione di calore per mezzo di combustibili costituisce un'attività a rischio specifico di incendio e, sopra una determinata *soglia*, deve essere opportunamente separata dalle altre attività per mezzo di strutture adeguatamente resistenti al fuoco o, preferibilmente, tramite adeguato distanziamento (min. 15 m).

Citiamo infine la necessità di raggiungere locali di questo tipo con mezzi d'opera di dimensioni anche rilevanti, che richiedono vie d'accesso adeguate, e dei varchi dedicati sul perimetro del comprensorio, e che perciò è buona norma tenere lontano dalla viabilità ordinaria.

3. Montaggio e protezione delle tubazioni

3.1 Premessa

I comprensori ospedalieri, per poter essere pienamente operativi, abbisognano di alcuni *servomezzi* quali l'energia elettrica, l'acqua, l'aria compressa, il vapore, ecc. Infatti, macchinari e impianti tecnologici funzionano solo se sono alimentati da uno o più di tali fluidi, i quali sono assicurati da appositi impianti denominati *impianti generali*.

Questi, ove possibile, devono essere *visibili* e facilmente *ispezionabili*: a tale fine, si identificano le varie reti con targhe, diciture o colorazioni specifiche (Tabella 2).

Tabella 2 Colori convenzionali per le reti di tubazioni

verde	acqua
grigio argento	vapore e acqua surriscaldata
marrone	oli minerali, combustibili liquidi
giallo ocra	gas (esclusa l'aria)
violetto	acidi e alcali
azzurro chiaro	aria
nero	altri liquidi
rosso	reti antincendio
azzurro	acqua dolce

Giova ricordare che le tubazioni, le valvole ed i vari componenti degli impianti di distribuzione dei servomezzi devono essere installati in modo da non intralciare il transito, non essere danneggiati da veicoli, mezzi di trasporto, ecc., non occupare spazi di lavoro né costituire barriera alla luce naturale.

I principali elementi costitutivi delle reti di distribuzione dei fluidi sono:

- tubi;
- giunti, raccordi e guarnizioni;
- organi di intercettazione e di regolazione;
- accessori (manometri, misuratori di portata, filtri, scaricatori di condensa, ecc.).

Nella terminologia anglosassone le reti di distribuzione sono individuate con il termine "*piping*". La Figura 2 consente di individuare, nel caso molto semplice preso ad esempio, alcuni degli elementi sopra citati.

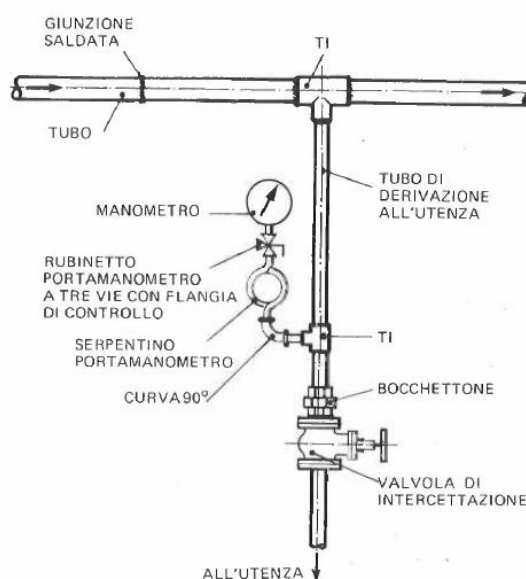


Figura 2 Elementi costituenti un tratto di tubazione per l'alimentazione di un fluido ad una utenza

3.2 Diametro e pressione nominali

Il *diametro nominale* (DN) è una indicazione convenzionale per individuare i diversi elementi accoppiabili di una tubazione (tubi, flange, saracinesche, ecc.) per il convogliamento dei fluidi; esso rappresenta approssimativamente la dimensione in mm del diametro effettivo interno dell'elemento di tubazione. I diametri nominali sono unificati e la serie è la seguente: 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 10 - 15 - 20 - 25 - 32 - 40 - 50 - 65 - 80 - 100 - 125 - 150 - 175 - 200 - 250 - 300 - 350 - 400 - 450 - 500 - 600 - 700 - 800 - 900 - 1000 - 1200-1400- 1600- 1800- 2000.

La *pressione nominale* (PN) indica una pressione convenzionale in bar caratterizzante le possibilità di resistenza degli elementi costituenti una tubazione. Le pressioni nominali sono unificate e le serie è la seguente: 1 - 2,5 - 6 - 10 - 16 - 25 - 40 - 64 - 100 - 160 - 250 - 320 - 400 - 640 - 1000 - 1600 - 2500.

Ad ogni valore della *pressione nominale* corrispondono tre valori della *pressione di esercizio*, a seconda del grado di sicurezza richiesto (stabilito in base alla natura del fluido, alla sua temperatura, ecc.). Per determinare la pressione massima alla quale può essere sottoposta una tubazione, si considerano tre condizioni di esercizio:

- I) la prima condizione fa coincidere la pressione di esercizio con la pressione nominale (nel caso di fluidi non pericolosi, in relazione alla loro natura chimica, e con temperature inferiori a 120°C);
- II) nella seconda condizione, la pressione di esercizio è circa l'80% della pressione nominale (fluidi chimicamente pericolosi a temperature non superiori a 120 °C oppure fluidi non pericolosi a temperature fra i 120° e i 300°C);
- III) nel caso di fluidi molto pericolosi oppure non pericolosi, ma aventi temperature superiori a 300 °C, la pressione di esercizio corrisponde al 64% della pressione nominale (terza condizione di esercizio).

Per meglio comprendere il concetto di pressione nominale, si può far riferimento ad un caso pratico. Si consideri ad esempio il tubo flessibile che porta il combustibile liquido (olio combustibile) al bruciatore di una caldaia, il quale sarà esercito alle seguenti condizioni:

- Pressione di esercizio: 22bar
- Temperatura di esercizio: 110°C

Si tratta evidentemente di un fluido combustibile ad una temperatura superiore a quella di accensione e come tale è da ritenersi molto pericoloso. La pressione nominale del componente che realizzerà il collegamento, è così determinabile:

$$PN = \frac{P_e}{0,64} = \frac{22}{0,64} = 34,375 \text{ bar}$$

Poiché, come visto in precedenza, le pressioni nominali sono in serie discreta, il valore di pressione nominale effettivo andrà scelto tra quello immediatamente superiore disponibile nella serie (PN40).

3.3 Tipi di tubi

3.3.1 Tubi di ghisa sferoidale

I tubi in esame sono realizzati per fusione centrifuga di ghisa sferoidale, ottenuta tramite infusione di magnesio nel bagno di fusione. Tale trattamento provoca una particolare aggregazione della grafite che appare all'esame micrografico sotto forma di sferoidi, a differenza delle lamelle che costituiscono la ghisa grigia (chiamata appunto lamellare).

Questa diversa composizione determina le differenze principali tra la ghisa sferoidale e la ghisa lamellare in quanto gli sferoidi costituiscono un ostacolo geometrico alla propagazione delle cricche, conferendole una importante caratterizzazione di duttilità. Per tale ragione la ghisa sferoidale rappresenta una valida alternativa all'acciaio, garantendo elevate prestazioni a fronte di costi contenuti.

Inoltre, come noto, la ghisa presenta apprezzabili caratteristiche di resistenza alla corrosione, circostanza che la rende adatta per la realizzazione di reti in pressione interrate per il convogliamento sia di acqua che di gas naturale, nonché per la realizzazione di condotte fognarie.

Tra gli inconvenienti, segnaliamo l'impossibilità di eseguire saldature di testa, ragion per cui i le giunzioni vengono eseguite *a bicchiere* (Figura 3).

Quando destinate al convogliamento di acqua potabile, sono internamente rivestite con malta di cemento d'altoforno resistente ai solfati (secondo EN 545 ed ISO 4179). Il rivestimento esterno è realizzato con lega di zinco-alluminio applicata per metallizzazione con finitura di vernice azzurra (acrilica o epossidica) secondo EN 545 e conforme al contatto con acqua destinata ad uso potabile.

Viene commercializzato in verghe di lunghezza pari a 6 m. Disponibili fino a PN40.



DN	Lu	Dimensioni			Spessore Nominale		Massa			Dev. Ang.	Classe
		DE	DB _{AJ}	P _{1, AJ}	S	C	Kg/m	Kg/pz. 5,5m	Kg/pz. 6,0m		
mm	m	mm	mm	mm	mm	mm					
80	5,5/6,0	98	168	80	4,9	4,0	11,9	65,5	71,4	5°	C50
100	5,5/6,0	118	189	82	4,9	4,0	13,9	76,4	83,3	5°	C50
125	5,5/6,0	144	216	85	4,9	4,0	17,4	95,8	104,5	5°	C50
150	5,5/6,0	170	243	88	5,0	4,0	20,9	115,0	125,4	5°	C50
200	5,5/6,0	222	296	94	4,6	4,0	28,6	157,0	171,3	5°	C40
250	5,5/6,0	274	353	94	5,5	4,0	40,3	221,7	241,8	5°	C40
300	5,5/6,0	326	410	95	6,2	4,0	53,3	293,3	320,0	5°	C40
350	5,5/6,0	378	465	98	6,4	5,0	68,1	374,8	408,8	4°	C30
400	5,5/6,0	429	517	100	6,5	5,0	79,7	438,6	478,4	4°	C30
450	5,5/6,0	480	575	103	6,9	5,0	94,1	517,5	564,5	3°	C30
500	5,5/6,0	532	630	105	7,4	5,0	111,8	614,9	670,8	3°	C30
600	5,5/6,0	635	739	110	8,6	5,0	151,5	833,3	909,1	3°	C30
700	5,5/6,0	738	863	135	8,8	6,0	184,7	1015,7	1108,1	3°	C25
800	5,5/6,0	842	974	135	9,6	6,0	227,6	1251,7	1365,5	3°	C25
900	5,5/6,0	945	1082	135	10,6	6,0	278,7	1533,0	1672,4	1,5°	C25
1000	5,5/6,0	1048	1191	150	11,6	6,0	334,8	1841,2	2008,6	1,5°	C25
1200	5,5/6,0	1255	-	-	13,6	6,0	474,6	2610,1	2847,4	1,5°	C25
1400	5,5/6,0	1462	-	-	15,6	9,0	653,4	3593,9	3920,6	1,5°	C25
1600	5,5/6,0	1668	-	-	17,7	9,0	830,2	4566,1	4981,2	1,5°	C25

Figura 3 Caratteristiche dimensionali dei tubi in ghisa sferoidale

3.3.2 Tubi in acciaio

Sono tubi ampiamente adottati per il trasporto di acqua. Salvo casi particolari, in ambito ospedaliero si impiegano i tubi *commerciali*. Si tratta di tubi di produzione corrente, di acciaio Fe 00, senza particolari caratteristiche; sottoposti a pressioni di prova limitate e, fatta eccezione per i tubi da pozzo, facilmente lavorabili.

I tubi commerciali si dividono in tubi *filettati* e tubi *lisci*.

I tubi filettati (detti anche tubi gas. per il tipo di filettatura che li caratterizza) comprendono la serie normale, la media, la pesante ed i tubi da pozzo leggeri e pesanti. La filettatura dei tubi gas è di norma conica ed i tubi sono forniti con manicotto avvitato ad una delle estremità. Dietro richiesta, sono forniti anche tubi gas lisci alle estremità o con filettatura cilindrica o senza manicotto.



Figura 4 Tubi filettati in acciaio zincato

Per i tubi filettati, anziché il diametro nominale, si usa una misura convenzionale del diametro, espressa in pollici. Di solito, tali tubi vengono impiegati fino a diametri non superiori a 4". La Tabella 3 riporta le caratteristiche dei tubi gas, serie normale, di più corrente impiego. I tubi filettati possono essere richiesti con zincatura (eseguita subito dopo la fabbricazione del tubo): tali tubi sono particolarmente adatti nei casi in cui si vogliano evitare processi di ossidazione o corrosione che inquinerebbero il fluido convogliato (caso tipico, il loro impiego per la distribuzione dell'acqua potabile).

Tabella 3 Caratteristiche dei tubi di acciaio commerciali, tipo gas, serie media, filettati, con manicotto

SERIE MEDIA EN 10255 - FILETTABILE UNI-ISO 7/1, CON MANICOTTO UNI-ISO 50							
FILETTATURA DIAMETRO NOMINALE Pollici	DIAMETRO ESTERNO		SPESSORE	MASSA LINEICA – kg/m			
	MAX	MIN		SENZA FILETTATURA		FILETTATI CON MANICOTTO	
	mm	mm		mm	GREZZI	ZINCATI	GREZZI
3/8	17,5	16,7	2,3	0,839	0,876	0,845	0,882
1/2	21,8	21,0	2,6	1,21	1,26	1,22	1,27
3/4	27,3	26,5	2,6	1,56	1,62	1,57	1,63
1	34,2	33,3	3,2	2,41	2,49	2,43	2,51
1 1/4	42,9	42,0	3,2	3,10	3,20	3,13	3,23
1 1/2	48,8	47,9	3,2	3,56	3,67	3,60	3,71
2	60,8	59,7	3,6	5,03	5,17	5,10	5,24
2 1/2	76,6	75,3	3,6	6,42	6,60	6,54	6,72
3	89,5	88,0	4,0	8,36	8,57	8,53	8,74
4	115,0	113,1	4,5	12,2	12,48	12,5	12,80
5	140,8	138,5	5,0	16,6	16,94	17,1	17,30
6	166,5	163,9	5,0	19,8	20,20	20,4	20,80

I tubi lisci (Figura 5) sono utilizzati per convogliare fluidi aventi temperature fino a 225 °C e pressioni nominali fino a 25 kg/cm² (acqua, aria compressa, ecc.). Possono arrivare fino a DN 500-600 e oltre. La Tabella 4 riporta le caratteristiche dei tubi lisci commerciali di più frequente uso.



Figura 5 Tubi lisci in acciaio

Tabella 4 Caratteristiche dei tubi in acciaio commerciali, lisci, trafilati a caldo, senza saldatura con spessori normali

DN	ϕ esterno mm	ϕ interno mm	Spessore mm	Massa kg/m	Sezione di passaggio cm ²	Sezione metallica cm ²	Volume utile dm ³ /m	Superficie esterna m ² /m	Momento d'inerzia cm ⁴	Modulo di resistenza cm ³	Raggio d'inerzia cm
20	21,3	17,3	2	0,962	2,35	1,21	0,235	0,067	0,57	0,536	0,686
	26,9	22,9	2	1,24	4,12	1,56	0,412	0,084	1,22	0,907	0,883
	30	25,4	2,3	1,59	5,07	2,00	0,507	0,094	1,93	1,29	0,983
25	33,7	29,1	2,3	1,79	6,65	2,27	0,665	0,106	2,81	1,67	1,11
	38	32,8	2,6	2,29	8,45	2,89	0,845	0,119	4,55	2,40	1,25
	42,4	37,2	2,6	2,57	10,9	3,25	1,087	0,133	6,46	3,05	1,41
32	44,5	39,3	2,6	2,70	12,1	3,42	1,213	0,140	7,54	3,39	1,48
	48,3	43,1	2,6	2,95	14,6	3,73	1,459	0,152	9,78	4,05	1,62
	54	48,8	2,6	3,32	18,7	4,20	1,870	0,170	13,9	5,15	1,82
40	57	51,2	2,9	3,90	20,6	4,93	2,059	0,179	18,1	6,35	1,92
	60,3	54,5	2,9	4,14	23,3	5,23	2,333	0,189	21,6	7,16	2,03
	70	64,2	2,9	4,83	32,4	6,11	3,237	0,220	34,5	9,85	2,37
65	76,1	70,3	2,9	5,28	38,8	6,67	3,881	0,239	44,7	11,8	2,59
80	88,9	82,5	3,2	6,81	53,5	8,62	5,346	0,279	79,2	17,8	3,03
	101,6	94,4	3,6	8,76	70,0	11,1	6,999	0,319	133	26,2	3,47
	108	100,8	3,6	9,33	79,8	11,8	7,980	0,339	161	29,8	3,69
100	114,3	107,1	3,6	9,90	90,1	12,5	9,009	0,359	192	33,6	3,92
	133	125	4	12,8	123	16,2	12,272	0,418	338	50,8	4,56
	139,7	131,7	4	13,5	136	17,1	13,623	0,439	393	56,2	4,80
125	159	150	4,5	17,1	177	21,8	17,671	0,500	652	82,0	5,46
	168,3	159,3	4,5	18,1	199	23,2	19,931	0,528	777	92,4	5,79
	193,7	182,9	5,4	25	263	31,9	26,273	0,608	1417	146	6,66
200	219,1	207,3	5,9	31	338	39,5	33,751	0,688	2247	205	7,54
	244,5	231,9	6,3	37,1	422	47,1	42,237	0,768	3346	274	8,42
	273	260,4	6,3	41,6	533	52,8	53,256	0,858	4696	344	9,43
250	323,9	309,7	7,1	55,6	753	70,7	75,331	1,017	8869	548	11,2
300	355,6	339,6	8	68,3	906	87,4	90,579	1,117	13.201	742	12,3
	368	352	8	70,8	973	90,5	97,314	1,156	14.665	797	12,7
	406,4	388,8	8,8	85,9	1.187	110	118,725	1,276	21.732	1069	14,1
400	419	401,4	8,8	88,7	1.265	113	126,545	1,316	23.863	1139	14,5

3.3.3 Tubi in polietilene

Le tubazioni in polietilene ad alta densità (PEHD) si prestano in maniera eccellente alla realizzazione di reti interrate per il convogliamento di acqua in pressione mentre il loro impiego per la realizzazione di condotte a vista è da valutarsi attentamente per la vulnerabilità ad azioni meccaniche di lacerazione, punzonatura e foratura che le caratterizza in relazione alla modesta resistenza meccanica del materiale di cui sono fatte.

I diametri e la pressione nominale disponibili non eccedono in genere i 600 mm e PN 16. Le giunzioni sono sia saldate (riscaldando le superfici destinate a venire in contatto fino a circa 160°C) che mediante manicotto.

Tra i vantaggi delle tubazioni in polietilene, citiamo i seguenti:

- *Facilità di installazione e manutenzione.* I tubi in polietilene possono essere facilmente movimentati ed installati grazie alla loro leggerezza e flessibilità, con la conseguente riduzione dei costi gestionali; possono inoltre essere realizzate curve di ampio raggio e le installazioni possono interessare anche aree instabili grazie alla particolare capacità del polietilene di assorbire vibrazioni e sollecitazioni.
- *Ridotte perdite di carico.* La superficie estremamente liscia (coefficiente di scabrezza $K=0,01$ per tubi fino a 200 mm di diametro e 0,05 per i diametri superiori) impedisce la formazione di incrostazioni, assicurando una portata maggiore a parità di diametro rispetto alle condotte in acciaio ed eliminando la necessità delle operazioni di pulizia.
- *Elevata resistenza alla corrosione.* L'inerzia chimica del polietilene ne rende possibile l'impiego anche in terreni aggressivi e in presenza di correnti vaganti senza riduzioni dello spessore di parete; al tempo stesso, il polietilene presenta un'elevata resistenza ai fenomeni di degrado provocati dall'attacco di microorganismi.
- *Elevata resistenza chimica.* Possibilità di utilizzo con una ampia gamma di prodotti chimici e quindi in numerosi settori dell'impiantistica industriale; le sostanze detergenti possono tuttavia

favorire il fenomeno della propagazione della frattura, mentre i composti idrocarburici possono essere assorbiti con la conseguente riduzione della resistenza meccanica.

- *Idoneità al contatto con gli alimenti.* Poiché il polietilene costituisce un materiale completamente atossico, le tubazioni possono trasportare acque potabili o fluidi alimentari nel totale rispetto delle normative vigenti.

Gli standard di riferimento, relativi ai tubi in polietilene continuamente revisionati ed aggiornati per tener conto dell'evoluzione tecnica dei materiali e delle tecnologie di trasformazione, sono elencati distintamente per campo applicativo nel prospetto sotto indicato:

Tabella 5 Standard di riferimento per le tubazioni in polietilene

Settore applicativo	Norma di riferimento
Trasporto di acqua per uso umano in pressione – Scarico e fognatura in pressione	(UNI) EN 12201-2
Proprietà organolettiche (odore e sapore) dell'acqua trasportata	(UNI) EN 1622
Distribuzione di gas combustibili	(UNI) EN 1555-2
Fognature e scarichi interrati non in pressione	UNI EN 12666-1
Trasporto di fluidi industriali in pressione	UNI EN ISO 15494
Scarichi e trasporto di fluidi industriali non in pressione	UNI EN 13476-2



Figura 6 Rete di distribuzione acqua refrigerata 7°C e antincendio - Parco Nord di Udine - Posa in opera di tubi in PEHD PN16 D.560-450-400-355-315-280 e diametri inferiori per un totale di 6 KM

3.3.4 Tubi in PVC

Possiedono caratteristiche comuni a tutte le tubazioni realizzate con materie plastiche, tra le quali:

- buona resistenza alla corrosione da parte degli agenti chimici;
- leggerezza (che si traduce in risparmi nella posa in opera e nelle strutture di sostegno);
- ottime proprietà dielettriche.

Grazie a tali caratteristiche, trovano applicazione sia per il convogliamento di acqua potabile che per la movimentazione delle acque reflue inquinate (sia in pressione che per gravità).

Per contro, non sono adatti per pressioni di esercizio superiori a 20 bar e possono presentare difficoltà di tenuta nelle giunzioni, specie in luoghi caldi (con temperature superiori a 50 ÷ 60 °C) o per frequenti variazioni di temperatura.

Sentito è il problema dell'invecchiamento che li rende fragili se sono sottoposti all'azione della luce, a frequenti sbalzi termici ed a vibrazioni.

Le giunzioni possono avvenire con un giunto a bicchiere o tramite filettatura.

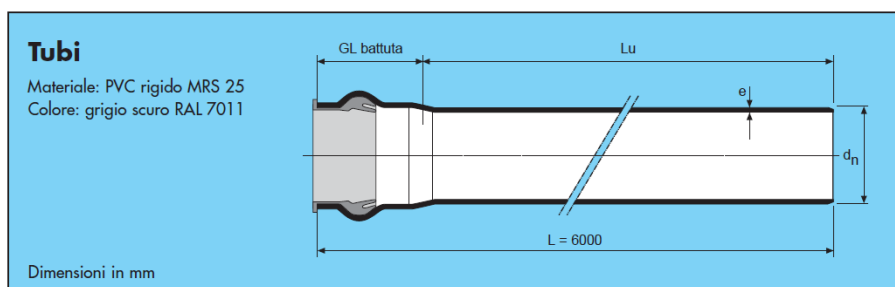


Figura 7 Tubo in PVC con giunto a bicchiere

Tabella 6 Tubi di PVC rigido per condotte di fluidi in pressione destinate al convogliamento di acqua potabile, liquidi alimentari, impianti irrigui ed industriali con bicchiere e guarnizione di tenuta in materiale elastomerico a battuta esterna

Diametro esterno nominale d_n (mm)	Lunghezza GL battuta (mm)	Lunghezza GL tradizionale (mm)	Lunghezza GL incollo (mm)	PN 6	PN 10	PN 16	PN 20
				S 20 SDR 41	S 12,5 SDR 26	S 8 SDR 17	S 6,3 SDR 13,6
				Spessore e (mm)			
110	140	150	120	2,7	4,2	6,6	8,1
125	150	155	a richiesta	3,1	4,8	7,4	9,2
140	160	160	"	3,5	5,4	8,3	10,3
160	165	165	"	4,0	6,2	9,5	11,8
180	170	170	"	4,4	6,9	10,7	13,3
200	175	-	"	4,9	7,7	11,9	14,7
225	180	-	"	5,5	8,6	13,4	16,6
250	200	-	"	6,2	9,6	14,8	18,4
280	220	-	"	6,9	10,7	16,6	20,6
315	225	-	"	7,7	12,1	18,7	23,2
355	-	240	"	8,7	13,6	21,1	26,1
400	-	220	"	9,8	15,3	23,7	29,4
500	-	280	"	12,3	19,1	29,7	36,8
630	-	300	"	15,4	24,1	-	-

In Tabella 7 si riportano le principali caratteristiche chimico – fisiche del PVC

Tabella 7 Proprietà del PVC

Proprietà	Unità	PVC rigido
FISICHE		
peso specifico	kg/dm ³	1,45
MECCANICHE		
resistenza a trazione	kg/cm ²	550
resistenza a flessione	kg/cm ²	1000
resistenza a compressione	kg/cm ²	800
modulo di elasticità	kg/cm ²	300
TERMICHE		
coeff. dilatazione lineare	cm/cm °C	$6,3 \cdot 10^{-5}$
temper. rammollimento	°C	80
conducibilità termica	Cal/mh °C	$16,2 \cdot 10^{-3}$
temperatura di esercizio	°C	-10 ÷ + 60
ELETTRICHE		
resistività di volume	ohm · cm	$15 \cdot 10^{15}$
rigidità dielettrica	kV/mm	24
costante dielettrica	a 100 Hz	3,6
VARIE		
saldabilità		per termofusione

3.3.5 Tubi multistrato

Tubo Multistrato viene impiegato per la realizzazione di condotte interrate in pressione, di impianti di distribuzione di acqua potabile negli edifici abitati, o per la realizzazione di impianti di riscaldamento con temperature di esercizio inferiori a 90°C.

Ha buona resistenza sia alla pressione (PN16) che alla temperatura (fino a circa 90°C) ed è particolarmente resistente alla corrosione.

Ve ne sono di tipologie diverse, che si differenziano per il numero e tipologia di strati. La tipologia più diffusa è costituita da un tubo interno in Polietilene PE 100 (UNI EN 12201) con strato-barriera di alluminio e mantello esterno in polipropilene rinforzato con fibre minerali.

Tabella 8 Caratteristiche dimensionali dei tubi multistrato

DN	Spessore	Diametro interno
25	2,3	20,4
32	3,0	26,0
40	3,7	32,6
50	4,6	40,8
63	5,8	51,4
75	6,8	61,2
90	8,2	73,6
110	10,0	90,0
125	11,4	102,2
140	12,7	114,4
160	14,6	130,8
180	16,4	147,2
200	18,2	163,6

Le giunzioni avvengono per mezzo di raccordi appositamente realizzati con l'impiego di attrezzature particolari (*pressfitting*).

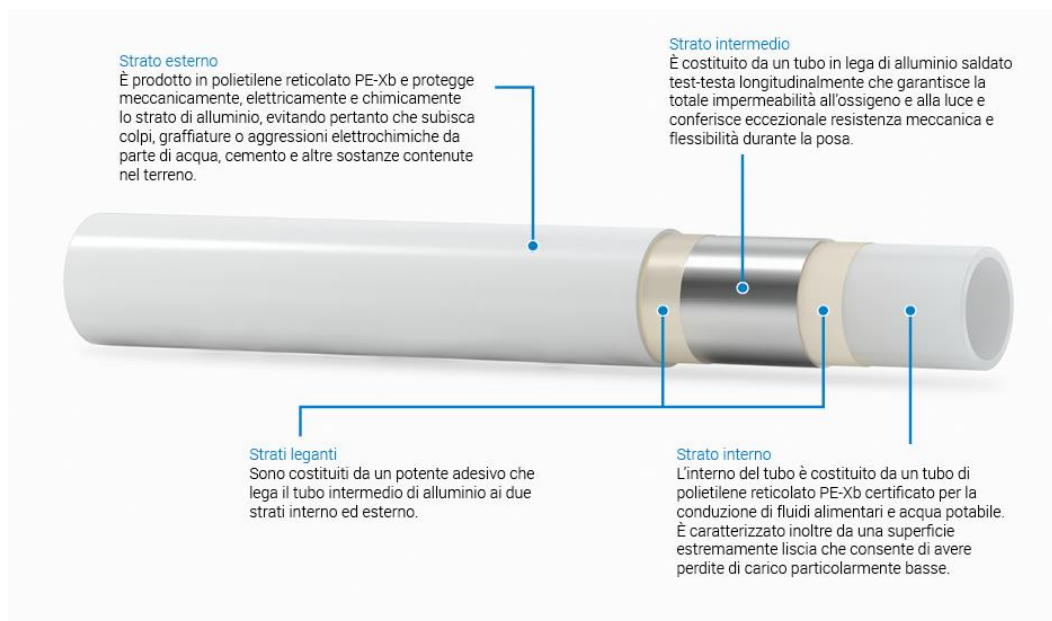


Figura 8 Tubo multistrato

3.4 Possibili collocazioni delle tubazioni

Esaminiamo le modalità di sistemazione e posa in opera delle tubazioni che provvedono al trasporto dei vari fluidi occorrenti in un ospedale. Si deve innanzitutto fare in modo che le reti siano:

- Visibili
- Ispezionabili
- Chiaramente individuabili tramite impiego del colore, indicazioni di vari tipo, sensi di percorrenza ecc.

3.4.1 Percorsi interni ai fabbricati

All'interno dei fabbricati le tubazioni vengono in genere installate a controsoffitto, in particolare dei corridoi, che vengono sfruttati per la copertura dei percorsi orizzontali (Figura 9). Per i tratti verticali (*montanti*) si sfruttano appositi vani denominati *cavedi* (Figura 10).

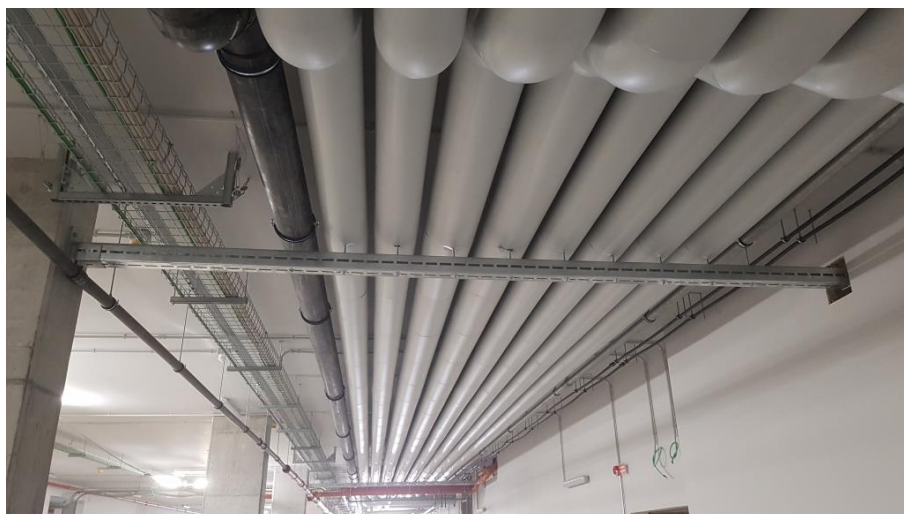


Figura 9 Installazione delle reti di tubazioni a controsoffitto



Figura 10 Installazione delle reti di tubazioni entro cavedio

3.4.2 Cunicolo praticabile

Per la realizzazione dei percorsi esterni colleganti i diversi padiglioni dell'ospedale, vanno di preferenza impiegati dei cunicoli praticabili o delle soluzioni interrato.

I cunicoli praticabili (Figura 11) sono delle vere e proprie gallerie, ricavate al di sotto del piano di campagna, entro le quali le tubazioni vengono disposte lungo le pareti o appese al soffitto. Tale soluzione garantisce il pieno rispetto dei requisiti richiamati in premessa purché le dimensioni siano adeguate a garantire la piena accessibilità della galleria e lo svolgimento delle operazioni di manutenzione in condizioni di sicurezza. A tal fine si richiedono i seguenti requisiti minimi:

- altezza non inferiore a 2,5 m
- larghezza compresa tra i 2 e i 3,5 m.;

- presenza vani adeguati per ospitare gli allacciamenti con le reti di pertinenza degli edifici serviti (sottostazioni);
- accessi esterni di dimensioni adeguate al transito con tutti i materiali necessari alle operazioni di manutenzione
- vie di fuga che si aprano direttamente all'esterno.
- Adeguata illuminazione



Figura 11 Cunicolo tecnico

3.4.3 Interro

La soluzione interrata prevede che le tubazioni siano disposte sul fondo di uno scavo (*trincea*) di profondità adeguata a prevenire fenomeni di congelamento e azioni di punzonatura indotte da carichi mobili concentrati. Le modalità di posa che si devono rispettare sono riportate in Figura 12.

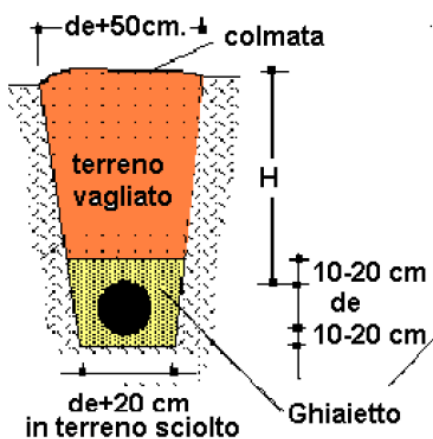


Figura 12 Modalità di interro delle reti

3.4.4 Pipe rack

In alternativa alla soluzione interrata può adottarsi il *pipe rack*, ossia la sospensione delle tubazione a supporti fuori terra conformati in modo da consentire il transito veicolare (Figura 13). Le soluzioni sono le più disparate, sia in esecuzione su misura che modulare.

Va in ogni caso ricordato che le tubazioni risulteranno esposte agli agenti atmosferici, ragion per cui devono essere adeguatamente isolate con materiali possibilmente a cella chiusa adeguatamente protetti da azioni meccaniche (sfaldatura, abrasioni, lacerazioni, deiezioni animali, azione di roditori, ecc.) oltreché dall'invecchiamento indotto dalla luce solare.

Accanto alle soluzioni tradizionali basate su tubazione in acciaio con elastomero espanso e lamierino di alluminio, si possono considerare anche le tubazioni preisolate per teleriscaldamento purché il rivestimento esterno sia appositamente realizzato.

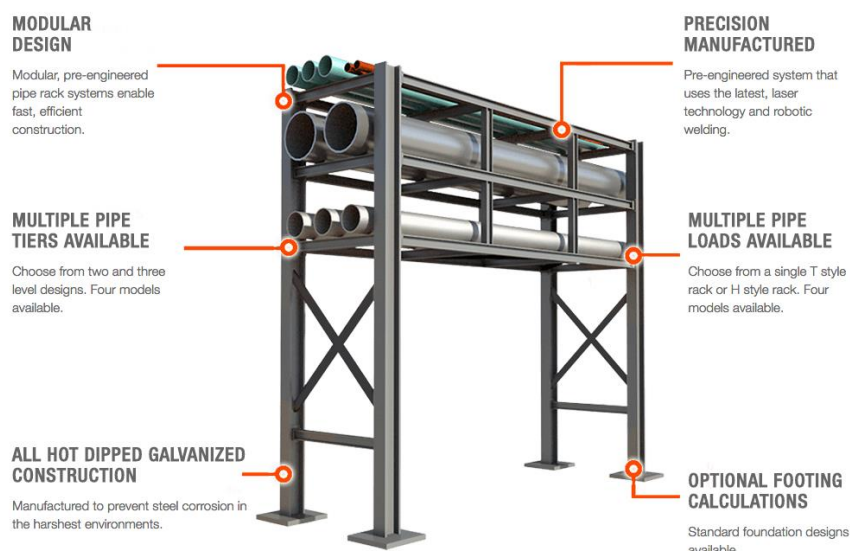


Figura 13 Esempio di Pipe rack

In ogni caso, accanto alle tubazioni, sarà opportuno predisporre una passerella che ne consenta l'ispezionabilità.

3.5 Dilatazioni termiche

Nel caso di trasporto di fluidi caldi, le tubazioni sono soggette a variazioni termiche che determinano allungamenti e contrazioni delle tubazioni stesse. Tali dilatazioni dipendono dal coefficiente di dilatazione lineare del materiale costituente i tubi, dalla lunghezza dei tubi e dal salto di temperatura¹. Le tubazioni devono essere sottoposte a calcoli di verifica, al fine di stabilire se gli sforzi che si generano durante le dilatazioni possono deformare le tubazioni con pericoli di rottura oppure determinare spinte inammissibili sugli impianti ai quali le tubazioni sono collegate.

In pratica, si installano appositi compensatori aventi la funzione di assorbire le dilatazioni delle tubazioni, determinate da variazioni di temperatura per causa del fluido trasportato e/o dell'ambiente. Di seguito se ne presentano le tipologie più comuni.

3.5.1 Compensatori a omega od a lira

I compensatori a omega od a lira vengono realizzati dando alla tubazione stessa una forma particolare (ad *omega* o a *lira* appunto) che, per la modestissima rigidità che la caratterizza, è in grado di assorbire notevoli allungamenti dei punti di estremità senza dar luogo a significativi sforzi. Tali compensatori assorbono quindi le dilatazioni assiali di tubazioni rettilinee.

¹Senza soffermarci sulle diverse procedure che consentono di calcolare le sollecitazioni indotte nelle tubazioni dalle dilatazioni termiche, ricordiamo soltanto che la dilatazione di una tubazione rettilinea libera ad un estremo e lunga L è data dalla:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

dove α è il coefficiente di dilatazione termica che dipende dalla natura del materiale e ΔT la variazione di temperatura. Nel caso di una tubazione in acciaio di 100 m, per una variazione di temperatura di 100°C, essendo $\alpha = 1,2 \times 10^{-5}$, ne consegue una dilatazione lineare pari a

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T = 1,2 \times 10^{-5} \times 100 \times 100 = 0,120 \text{ m}$$

Tale dilatazione, se non adeguatamente compensata, può dar luogo a forze elevatissime in grado di deformare la tubazione o di scardinarne gli appoggi.

Possono essere installati su tubi di piccolo e grande diametro e possono sopportare pressioni interne rilevanti. Essi non richiedono manutenzione, ma presentano degli ingombri significativi e provocano perdite di carico non trascurabili.



Figura 14 Compensatori a lira

3.5.2 Compensatori assiali a soffietto

I compensatori assiali a soffietto (Figura 15) sono costituiti da tronchi di tubi in acciaio legato (od inossidabile) aventi le pareti ondulate. La loro denominazione è dovuta al fatto che sono in grado di assorbire esclusivamente le dilatazioni che avvengono lungo il loro asse longitudinale. Anche questi compensatori devono essere installati lungo i tratti rettilinei delle tubazioni, fra due punti fissi e con guide in corrispondenza degli attacchi, al fine di impedire degli spostamenti non assiali (trasversali), dannosi per i soffietti.

I compensatori a soffietto sono adatti per pressioni interne del fluido di poche atmosfere e per diametri piccoli e medi. Essi sono più costosi di quelli a lira, ma non richiedono manutenzione ed il loro ingombro e le perdite di carico indotte nel fluido risultano minori. Le estremità sono a flangia o lisce (cioè da saldare). La dilatazione che si può assorbire con un compensatore assiale dipende dal numero di onde del soffietto e dall'inverso della pressione di esercizio. Onde evitare fenomeni di fatica, è opportuno conoscere preventivamente il numero dei cicli (espansione + contrazione) previsti per tali compensatori.



Figura 15 Compensatore di dilatazione a soffietto

3.5.3 Compensatori a snodo a soffietto

I compensatori a snodo a soffietto sono costituiti come gli assiali da tronchi di tubo in acciaio legato (o inox) a pareti ondulate. Il loro funzionamento però è diverso da quelli assiali. Infatti, mentre i compensatori assiali sono in grado di deformarsi esclusivamente lungo l'asse longitudinale, i compensatori a snodo si deformano ruotando le estremità. Ciò consente, in base allo schema di installazione e al tipo di compensatore adottato, di assorbire dilatazioni assiali di tubazioni i cui assi non sono coincidenti. Tali deformazioni trasversali avvengono grazie alla presenza di leve a snodo, che impediscono le deformazioni assiali.

Gli angoli di rotazione delle leve a snodo variano in base al numero di onde dei soffietti dei compensatori. Le spinte indotte sugli eventuali punti fissi sono trascurabili.

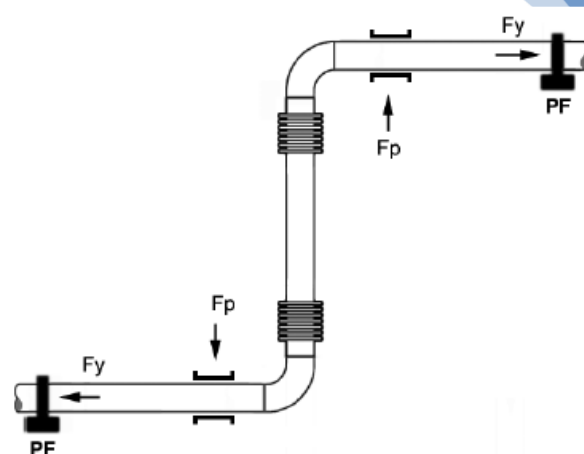


Figura 16 Compensatori a soffietto a snodo semplice e relativa modalità di installazione

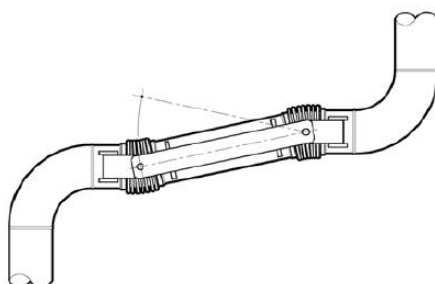


Figura 17 Compensatore a snodo doppio

3.6 Supporti

Tutte le soluzioni distributive in precedenza presentate, ad eccezione dell'interro, presentano la necessità di prevedere adeguati sostegni. A tale fine, si devono prevedere, dei supporti in grado di sostenere il peso delle tubazioni e del fluido convogliato: in altre parole, le tubazioni devono appoggiare su dei sostegni (denominati anche *staffaggi*) che hanno il compito di limitare la freccia di inflessione a valori accettabili, impedendo la formazione di sacche in cui possa stagnare il fluido, nonché di limitare le sollecitazioni sui tubi e sugli attacchi delle macchine, pompe o apparecchiature.

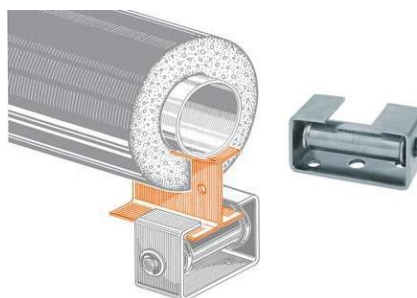
Allorquando la temperatura del fluido convogliato in una tubazione è variabile nel tempo, la scelta del tipo di staffaggio ed il relativo posizionamento devono anche tenere conto delle dilatazioni termiche indotte che dipendono, ovviamente, sia dalle variazioni di temperatura del fluido, sia dal tipo di materiale costituente il tubo. I tipi di staffaggi di più frequente impiego sono di seguito descritti.

3.6.1 Supporto normale

Provvede a scaricare il peso della tubazione e del fluido in essa contenuto su una struttura portante, che può essere parte integrante del fabbricato oppure una struttura all'uopo predisposta. La Figura 18 ne illustra alcuni tipi; quello con rulli è particolarmente adatto per tubazioni convoglianti fluidi caldi, in quanto soggette a dilatazioni notevoli.



a)



b)

Figura 18 Supporti normali: a) a collare, b) a rullo

3.6.2 Supporto con guida

Il supporto con guida (Figura 19) ha lo stesso compito del supporto normale ed impedisce ogni movimento trasversale della tubazione. Viene usato per ridurre la lunghezza libera di inflessione trasversale, per limitare la frequenza di vibrazione di una tubazione orizzontale e per guidarla durante le dilatazioni termiche.



Figura 19 Supporto con guida

3.6.3 Punto fisso

Il supporto a punto fisso (o semplicemente punto fisso) realizza un ancoraggio fisso, in corrispondenza del quale la tubazione non può traslare né ruotare. Di solito, sono fissi i punti di attacco dei tubi agli impianti. Altri punti fissi vengono realizzati lungo le reti in posizioni opportune: ad esempio, è buona norma avere un ancoraggio rigido in corrispondenza delle diramazioni dei tubi aventi diverso diametro (per evitare che le differenti dilatazioni insorgenti nei tubi causino sollecitazioni troppo gravose sul tubo con momento d'inerzia minore).

Normalmente, i punti fissi sono realizzati saldando, fra i tubi ed una struttura rigida, un profilato metallico (Figura 20).

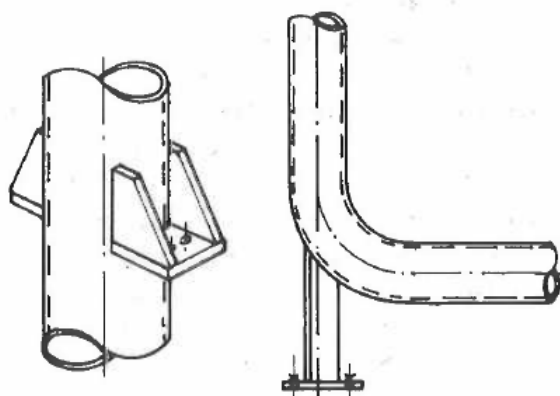


Figura 20 Punti fissi di tubazioni

3.7 Pendenza delle tubazioni

Le tubazioni devono sempre essere dotate di un'adeguata pendenza al fine di consentire, all'occorrenza, il loro svuotamento. Inoltre si deve anche favorire la raccolta dell'aria eventualmente presente nella rete nelle parti alte di questa, da dove può essere evacuata attraverso appositi scaricatori, a comando manuale o automatico. Il problema riguarda in particolare le reti di riscaldamento in quanto, per quelle di acqua potabile, lo sfiato avviene in genere tramite le utenze.

Le pendenze adottate per le tubazioni percorse da fluidi variano, orientativamente, fra 0,2% e 0,5%.

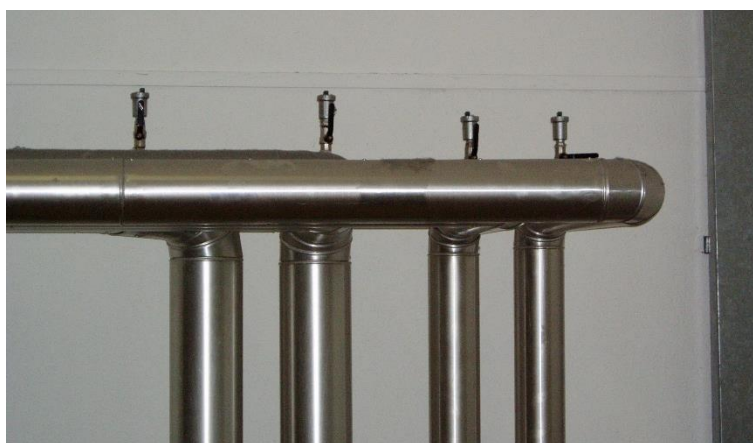


Figura 21 Sfiati automatici d'aria

3.8 Protezione delle tubazioni

3.8.1 Protezione delle tubazioni interrato

I tubi interrati, se metallici, sono soggetti a fenomeni aggressivi che possono provocarne rapidamente la corrosione.

Tali fenomeni sono essenzialmente dovuti ad azioni elettrochimiche fra metallo e soluzioni saline presenti nel terreno. In altri termini, si verifica un fenomeno analogo a quello della pila galvanica: un elettrolita trasferisce gli ioni positivi dall'anodo al catodo e l'anodo, dopo un certo tempo di funzionamento della pila, appare corrosivo.

Nel caso dei tubi di acciaio interrati, l'umidità del terreno può costituire l'elettrolita e in certe zone della superficie esterna dei tubi si possono formare degli elettrodi, mentre il circuito elettrico si chiude attraverso i tubi. La corrente elettrica parte dagli elettrodi positivi e, attraverso l'elettrolita, ritorna agli elettrodi negativi; in corrispondenza dei primi si manifestano corrosioni, mentre sui secondi si forma un sottile velo di idrogeno, prodottosi in seguito alla decomposizione dell'acqua. Tale decomposizione libera pure ossigeno, che contribuisce ad ossidare gli ioni ferro distaccatisi dal tubo.

Il processo elettrolitico può venire esaltato in seguito ad alcune situazioni particolari, quali la presenza di correnti elettriche "vaganti" disperse da binari di ferrovia a trazione elettrica, le variazioni delle caratteristiche del terreno in cui i tubi sono sistemati che possono esaltare le azioni elettrolitiche corrosive nonché l'azione di microorganismi e ancora l'inserimento di tronchi di tubo nuovi in una tubazione interrata da tempo.

I fenomeni aggressivi del terreno possono essere attenuati o addirittura eliminati ricorrendo ai sistemi protettivi di seguito elencati.

- installazione di giunti di isolamento elettrico (*giunti dielettrici*), lungo le tubazioni interrate atti ad interrompere la continuità elettrica delle tubazioni stesse (Figura 22);
- protezione catodica, ottenuta collegando il polo negativo di una sorgente di corrente continua con la tubazione, e il polo positivo della stessa con anodi interrati. La differenza di potenziale (negativa) che si viene ad avere fra il terreno e la tubazione fa sì che quest'ultima funzioni da catodo (Figura 23) impedendo il distacco e la migrazione di ioni metallici dalla tubazione;
- rivestimento dei tubi con materiali impermeabili all'acqua (Figura 24)

I tubi protetti secondo quest'ultima modalità sono in pratica chiamati "tubi rivestiti esternamente". Tali tubi devono ovviamente essere manipolati con cura, al fine di evitare deterioramenti dei rivestimenti stessi (in corrispondenza di tali deterioramenti si potrebbero formare dei focolai di corrosione). E' necessario ripristinare il rivestimento esterno delle tubazioni sia in corrispondenza dei tratti deteriorati sia in corrispondenza dei giunti tra i vari tubi, riproducendo nel miglior modo possibile il rivestimento originale.



Figura 22 Giunto dielettrico filettato 1/2" Gas

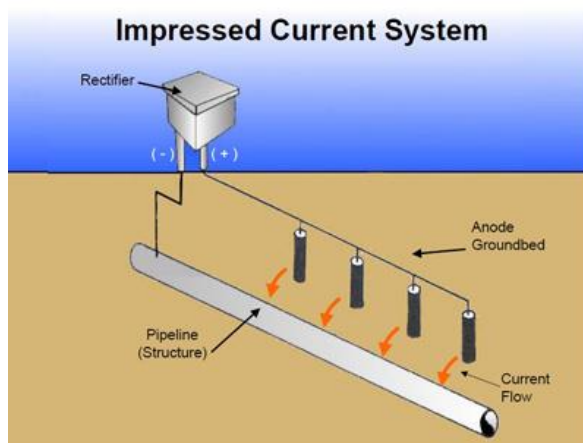


Figura 23 Protezione catodica (schema)

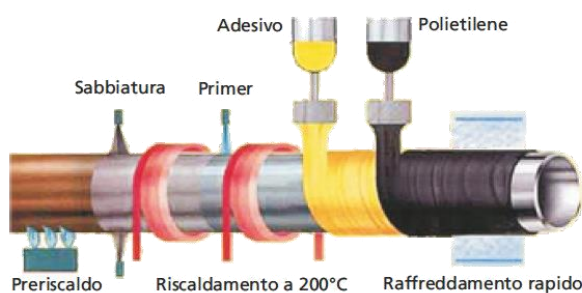


Figura 24 Rivestimento in polietilene a caldo a nastro o estruso UNI 9099 e/o DIN 30670¹

Oltre che dagli agenti esterni, i tubi devono essere sovente protetti anche dagli agenti interni contenuti nel fluido convogliato. Gli agenti chimici possono provocare fenomeni corrosivi, contro i quali si adottano i seguenti rimedi:

1. rivestimento interno bituminoso: tale protezione è ottenuta immergendo i tubi in bagni di bitume caldo liquido: si ottengono così i tubi bitumati esternamente ed internamente. Per i tubi che devono essere interrati, si applicano ancora, sulla superficie esterna, un secondo strato di miscela bituminosa (dopo il raffreddamento del primo), una fasciatura elicoidale con doppio strato di feltro in lana di vetro impregnato di bitume e un ultimo strato di idrato di calce per rendere bianca la superficie. La Tabella 9 riporta alcune caratteristiche di tali tubi, di impiego corrente per reti interrate di distribuzione dell'acqua fredda.
2. Ebanitura della superficie interna delle tubazioni, ossia applicazione di un rivestimento di alcuni millimetri di spessore, costituito da mescole di elastomeri naturali o sintetici ad alto tenore di zolfo.
3. Adozione di tubi in materiali speciali, come gli acciai inossidabili e le materie plastiche; per fluidi debolmente acidi o basici e aventi basse temperature e concentrazioni si impiegano anche acciai legati.
4. Trattamento preliminare del fluido da convogliare ovvero impiego di reagenti chimici, detti inibitori di corrosione, atti ad impedire la corrosione mediante la formazione di pellicole protettive sul metallo.

¹ È il tipo di rivestimento maggiormente diffuso con elevata resistenza all'urto e all'abrasione, agli agenti chimici, atmosferici e con alta rigidità dielettrica. Viene eseguito in accordo alle norme UNI 9099 oppure DIN 30670 o altre richieste del cliente.

Il rivestimento è così eseguito tramite: 1) Sabbiatura e successiva applicazione a caldo del rivestimento nei tre strati successivi formati da 2) primer a base di resine epossidiche, 3) adesivo, 4) polietilene (a banda laterale o a calza).

Tabella 9 Tubi rivestiti esternamente e bitumati internamente

Diametro nominale DN	Diametro esterno ϕ mm	Peso rivest. est. normale kg/m	Peso rivest. est. pesante kg/m
40	48,3	0,743	1,00
50	60,3	0,927	1,25
65	76,1	1,17	1,58
80	88,9	1,56	2,04
100	114,3	2,01	2,62
125	139,7	2,81	3,47
150	168,3	3,38	4,18
200	219,1	4,88	5,92
250	273	6,09	7,37
300	323,9	7,22	8,75
350	355,6	8,71	10,4
400	406,4	9,95	11,9
450	457,2	12,2	15,5
500	508	13,6	17,2
550	558,8	17,7	21,8
600	609,6	19,3	23,7
650	660,4	22,4	27,2
700	711,2	24,1	29,3
750	762	25,8	31,3
800	812,8	27,6	33,4
850	863,6	31,5	37,4
900	914,4	33,3	39,6

3.8.2 Protezione esterna delle tubazioni aeree

Le tubazioni di acciaio installate all'aperto o all'interno di uno stabilimento industriale sono di solito protette dai processi distruttivi dovuti agli agenti atmosferici (l'aria umida, ad esempio, provoca ossidazioni superficiali).

Per ovviare o limitare le conseguenze provocate da tali agenti, si impiegano opportune vernici protettive, aventi colori o contrassegni che consentono la facile individuazione del fluido convogliato nelle singole tubazioni. Tale protezione prevede in genere il seguente ciclo di trattamento:

- pulitura e spazzolatura (o sabbiatura) delle superfici fino alla completa asportazione dello strato di ossido polverulento;
- applicazione di una mano di vernice protettiva (antiruggine);
- applicazione di una o due mani di smalto clorosintetico, in modo da avere in ogni punto della superficie uno strato di vernice dello spessore minimo di 90 micron.

3.9 Isolamento delle tubazioni convoglianti fluidi caldi o freddi

Nel caso di tubazioni convoglianti fluidi caldi o freddi, ci si trova di fronte ad una almeno delle seguenti esigenze:

- a) proteggere dal gelo i liquidi contenuti nelle tubazioni;
- b) ridurre le dispersioni di calore verso l'esterno;
- c) evitare la condensazione sulla parete esterna del tubo dell'umidità contenuta nell'ambiente.

In tutti i casi suddetti si deve ricorrere a degli isolamenti coibenti, che, nel caso c), prendono sovente il nome di rivestimenti *antistillicidio*, in quanto, evitando la condensazione del vapore acqueo atmosferico sulle tubazioni, impediscono lo stillicidio della condensa.

Gli isolamenti coibenti sono realizzati mediante materiali di tipo fibroso o cellulare aventi un basso coefficiente di conduttività (Tabella 10).

La conducibilità varia con la temperatura e in particolare, per le sostanze solide amorfe (costituenti la maggior parte degli isolanti) essa aumenta con questa. La bassa conduttività dei materiali è dovuta alla loro particolare costituzione, caratterizzata dalla presenza di cavità contenenti aria, di cui è nota la bassa conduttività termica: le proprietà isolanti dipendono infatti dal rapporto pieno/vuoto e sono tanto maggiori quanto minore è il valore di tale rapporto. Le cavità possono essere intercomunicanti tra di loro (cavità aperte) o chiuse (Figura 25).

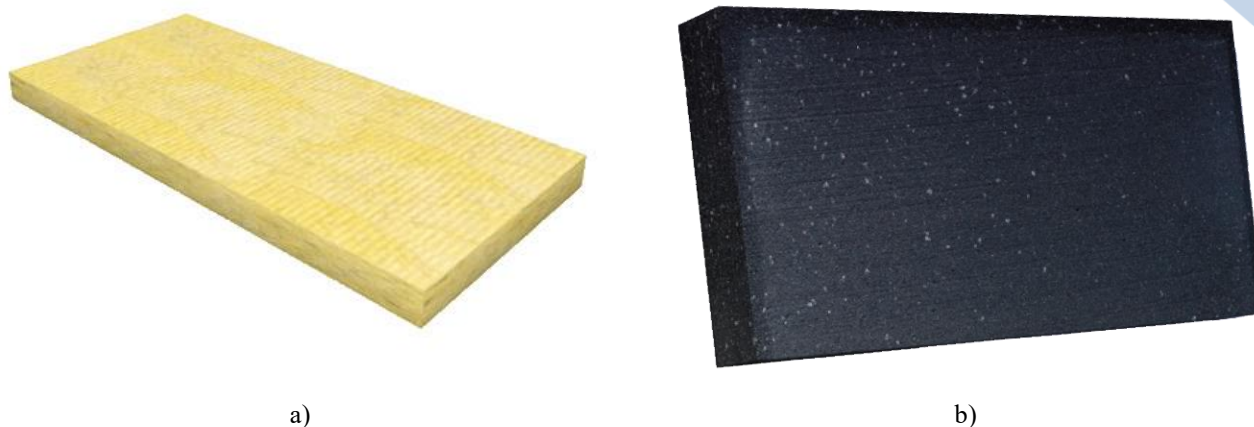


Figura 25 Tipi di isolante: a) a cella aperta (fibra di vetro), b) a cella chiusa (polistirolo)

Riguardo la scelta del tipo di isolante, si può affermare che in linea di massima per le esigenze antistillicidio è preferibile impiegare dei materiali a cavità chiuse. Per fluidi in applicazioni criogeniche, quali ad esempio l'ossigeno liquido a $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ si può adottare il poliuretano, il sughero espanso, lana di roccia o di vetro. Per fluidi a temperatura superiore a quella ambiente ma entro i $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, sia materiali a cella chiusa che lana di roccia o lana di vetro. Al di sopra dei 100°C solo lana di roccia o lana di vetro.

Per il rivestimento delle tubazioni, gli isolanti vengono confezionati sotto forma di coppelle, materassini, corda, ecc. Tali isolanti sono tenuti in opera a mezzo di rete metallica zincata o di filo di acciaio zincato. Il rivestimento finale esterno, avente scopi estetici e di protezione contro gli urti, può essere costituito da lamierino in acciaio di alluminio o foglio di PVC (Figura 26).

Tabella 10 Conducibilità termica dei più comuni isolanti

Materiali isolanti	Conducibilità λ	Densità
	[W/mK]	[kg/m ³]
Lana di roccia	0.040	30
Lana di vetro	0.040	20
Lana di pecora	0.040	25
Polistirene espanso in lastre (EPS)	0.040	20
Polistirene estruso in lastre (XPS)	0.035	35
Poliuretano	0.030	30
Polietilene espanso in lastre	0.040	30
Granuli di sughero	0.050	100
Pannelli di sughero espanso	0.045	110
Cotone	0.040	20 – 40
Vermiculite espansa	0.070	90
Argilla espansa	0.090	350
Materassino in lino	0.040	30
Canapa	0.045	25
Trucioli di legno	0.050	100
Pannelli extraporosi in fibra di legno (130)	0.040	130
Pannelli porosi in fibra di legno (190)	0.045	190
Pannelli porosi in fibra di legno con bitume o lattice	0.060	270
Pannelli in lana di legno mineralizzati con magnesite	0.088	440
Pannelli di calcio silicato	0.060	250
Pannelli in fibre minerale	0.045	115
Perlite espansa	0.050	90
Vetro cellulare (120)	0.041	120
Vetro cellulare (160)	0.050	160
Canneto	0.055	190
Paglia	0.090	340
Fiocchi di cellulosa	0.040	50
Pannelli di cellulosa	0.040	85



a)



b)

Figura 26 Materiali isolanti per la coibentazione delle tubazioni. a) Coppella in elastomero espanso rivestita in lamierino di alluminio, b) Coppelle e materassini di fibra di vetro

I rivestimenti antistillicidio, previsti per tubazioni di fluidi a temperature minori della temperatura di rugiada dell'aria atmosferica, devono essere protetti da uno strato impermeabile al vapore, detto *barriera al vapore* (Figura 27). Lo scopo di tale barriera è quello di impedire che il vapore passi dall'aria atmosferica nel materiale isolante. Tale migrazione, che avviene essenzialmente nell'isolante a cavità aperte e attraverso le eventuali fessure dell'isolante a cavità chiuse, è conseguenza della condensazione del vapore acqueo (contenuto nell'aria dell'isolante) sulla tubazione e nell'isolante stesso, condensazione dovuta al raffreddamento del vapore al disotto della temperatura di rugiada.

E' noto infatti che, allorché si condensa del vapore in un punto, avviene un abbassamento della pressione parziale del vapore in quel punto e quindi un passaggio (per differenza di pressione) di altro vapore dallo spazio circostante nel punto stesso.

Quest'ultimo vapore, raffreddato al di sotto della temperatura di rugiada, si condensa a sua volta, richiamando altro vapore e così via.

Il fenomeno di migrazione del vapore nell'isolante a cavità aperte si arresta allorché l'isolante è pieno d'acqua. Un isolante imbibito ha un potere coibente molto inferiore a quello di un isolante pieno d'aria (l'acqua ha un coefficiente di conduttività pari a 25 volte quello dell'aria), per cui una tubazione rivestita con coibente inzuppato d'acqua presenta generalmente una cospicua condensazione sulla sua superficie esterna per difetto di coibenza.

Le barriere di vapore sono generalmente realizzate avvolgendo i rivestimenti coibenti fogli in materiale plastico. Oltre alle tubazioni, sono sovente rivestiti anche gli accessori, quali saracinesche, valvole, ecc.

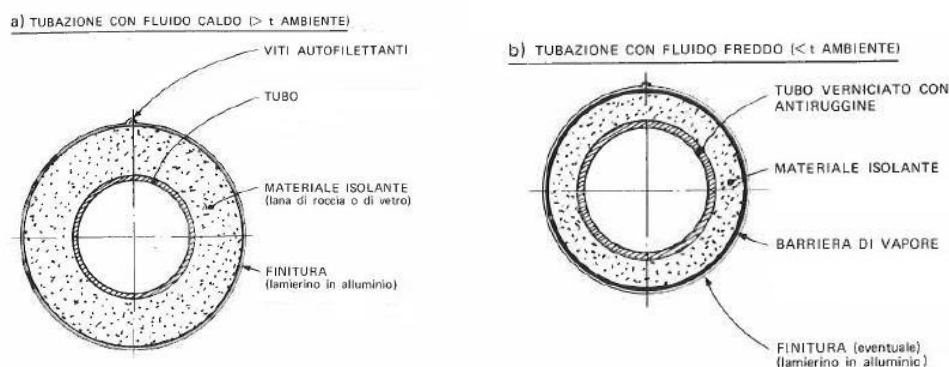


Figura 27 Modalità di isolamento delle tubazioni

4. Reti di distribuzione dell'acqua

4.1 Generalità

Nelle strutture ospedaliere il servizio la distribuzione di acqua ad uso igienico sanitario comprende tre fasi:

- *approvvigionamento* dell'acqua ad uso igienico sanitario (acqua potabile) destinata al consumo umano;
- *messa in riserva* per sopperire a eventuali momentanee deficienze del sistema di approvvigionamento
- *distribuzione* all'interno della struttura ospedaliera presso tutte le utenze ove questa è richiesta (reparti, ambulatori, cucine, servizi igienici, ecc.).

L'approvvigionamento può avvenire essenzialmente secondo due modalità: *da pozzo* o *tramite acquedotto*. Nel primo caso sarà necessario provvedere ad un trattamento di potabilizzazione mentre nel secondo è sufficiente procedere con un trattamento di filtrazione e addolcimento.

La *filtrazione* dell'acqua ha la funzione di eliminare i sali di ferro e manganese eventualmente presenti sotto forma di sedimenti, le sostanze depositatesi nelle tubazioni nonché le sostanze minerali e organiche precipitate a seguito dell'azione ossidante svolta dall'ipoclorito nel processo di clorazione.

L'*addolcimento* ha lo scopo di preservare tutto l'impianto dalle incrostazioni di calcare dovute agli ioni calcio e magnesio naturalmente presenti, pur in diversa maniera, nell'acqua di falda.

Giova ricordare che nei reparti a rischio, occupati da pazienti con basse difese immunitarie (emodialisi, oncologia, malattie infettive, chirurgia trapianti, neonatologia, etc.), l'acqua utilizzata per le operazioni igienico sanitarie deve essere acqua microbiologicamente controllata, e in ultima analisi con requisiti di purezza superiori a quelli comunemente accettati per decretarne la potabilità. In virtù di tali stringenti requisiti e anche per scongiurare possibili inquinamenti originati dalla stessa rete idrica, in questi casi sovente si preferisce procedere con trattamenti localizzati, effettuati direttamente presso le utenze finali.

Dopo il trattamento, l'acqua sanitaria viene suddivisa tra le reti di *acqua calda* e *acqua fredda*. In entrambi i casi è bene provvedere ad un adeguato stoccaggio in serbatoi pressurizzati (autoclavi) che consentono di far fronte ai picchi di richiesta senza impegnare ingenti risorse in termini di portata di approvvigionamento e, nel caso dell'acqua calda, anche di potenza termica impegnata.

La pressurizzazione dell'acqua avviene tramite gruppi di pompe disposti in parallelo, secondo adeguati criteri di ridondanza. Nel caso in cui i fabbricati da alimentare abbiano altezze considerevoli (come nel caso dell'ospedale di Cattinara), le utenze vengono "raggruppate" in base a "scaglioni" di altezza geodetica, ciascuno dei quali viene servito da una rete dedicata. Tale accorgimento consente un risparmio sia sui costi di impianto (le tubazioni a servizio dei piani più bassi possono essere meno robuste) che su quelli di esercizio, per la minor energia complessivamente impiegata.

La *distribuzione* infine avviene tramite reti interne dedicate che per costruzione e modalità di esercizio siano in grado di prevenire fenomeni di inquinamento di natura chimica e/o batteriologica.

4.2 Fonti di approvvigionamento

L'approvvigionamento idrico rappresenta un aspetto critico per l'operatività dell'ospedale, per il quale la disponibilità di acqua deve essere garantita in qualunque circostanza. È in quest'ottica che vengono valutate le diverse modalità di approvvigionamento disponibili per il sito e, più in generale, la modalità di realizzazione degli impianti ad essa dedicati.

In linea di massima si può affermare che le fonti di approvvigionamento di norma sfruttate nei nosocomi sono il prelievo da acquedotto e quello da pozzo.

4.2.1 Prelievo da acquedotto

Per la derivazione dell'acqua da un acquedotto pubblico, occorre prevedere un allacciamento del tipo di quello schematizzato nella Figura 28.

La società che gestisce l'acquedotto provvede ad installare una saracinesca dentro un pozzetto esterno al recinto dell'ospedale, regolandola e piombandola in relazione alla portata e alla pressione richieste. In un pozzetto interno alla recinzione viene sistemato, fra due saracinesche, un contatore del tipo a mulinello (per portate superiori a circa $5 \text{ m}^3/\text{h}$) o del tipo a turbina per portate inferiori (Figura 29). Quando il contatore deve essere controllato o sostituito (ad esempio perché avariato), si apre temporaneamente la saracinesca (che di solito è piombata) installata sul "by-pass"; tale saracinesca viene richiusa una volta ripristinato il contatore.

Sono disponibili contatori a mulinello che consentono di fare a meno della tubazione di by-pass (e relativa saracinesca) in quanto hanno un coperchio estraibile per la revisione del gruppo misuratore senza necessità di rimuovere il corpo del contatore. Per consentire l'afflusso dell'acqua anche durante la revisione del gruppo misuratore, il coperchio estraibile viene provvisoriamente sostituito con una apposita flangia cieca.

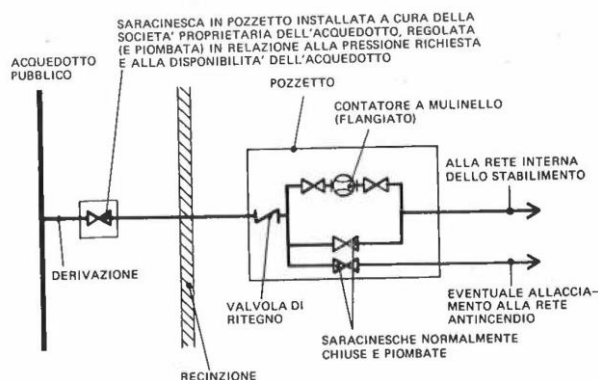
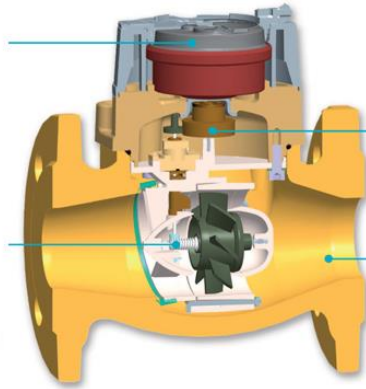


Figura 28 Modalità di allacciamento all'acquedotto



a)



b)

Figura 29 Contatori per acqua: a) a mulinello, b) a turbina

4.2.2 Prelievo da pozzo

4.2.2.1 Tipologia di falde

Le falde si distinguono tra freatiche ed artesiane (Figura 30).

Le *falde freatiche* sono costituite da acque sotterranee a pelo libero, appoggiate su strati impermeabili. Per il prelievo dell'acqua da falde freatiche di poca profondità si ricorre ai pozzi tradizionali (a gola) con pareti in cemento. Nel caso di falde più profonde si ricorre invece a pozzi trivellati dei tipi più avanti citati. La captazione dell'acqua dalle falde freatiche viene fatta per pompaggio.

Le *falde artesiane* sono costituite da acque sotterranee in pressione (in quanto incassate fra strati impermeabili). L'acqua della falda può avere una pressione tale da non richiedere alcun pompaggio per il suo prelievo; quando invece, come avviene nella maggior parte dei casi, la pressione non è tale da far giungere l'acqua sopra la bocca del pozzo, si deve prevedere un impianto di pompaggio.

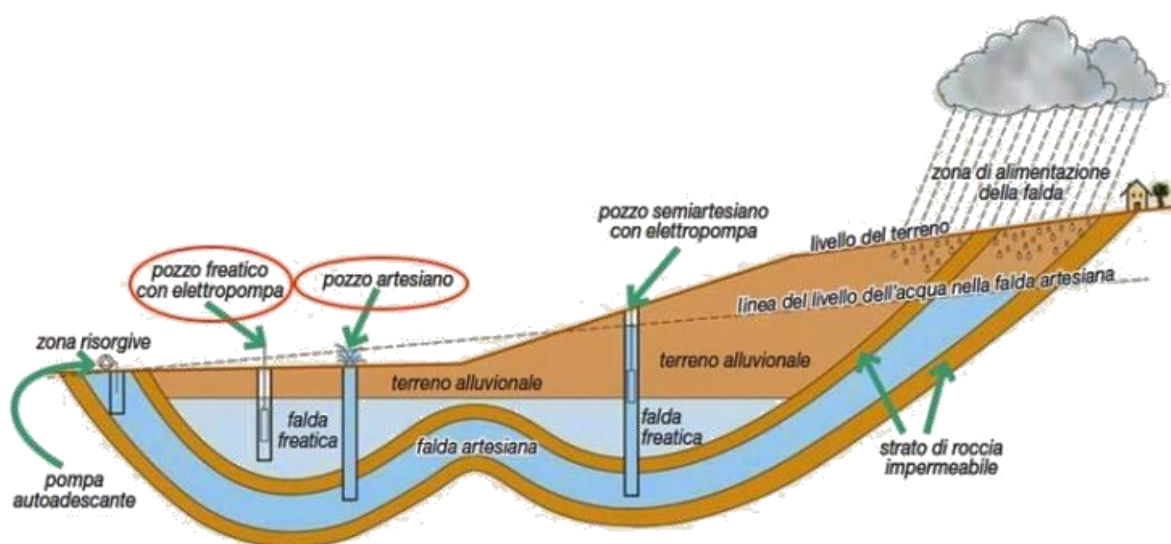


Figura 30 Tipologia di falde (schema)



a)



b)

Figura 31 Modalità di prelievo da falda: a) da falda freatica, b) da falda artesianiana

4.2.2.2

Pozzi a percussione

Dai pozzi tradizionali, scavati a mano, aventi diametro interno minimo di 80 cm e profondità massima di circa 1 m sotto il livello della falda freatica, si è passati ai pozzi Norton, realizzati con tubi di acciaio muniti di puntazza, introdotti nel terreno a colpi di maglio (Figura 32).

In prossimità della punta, i tubi sono forati, per consentire il passaggio dell'acqua, ed hanno un diametro di 1,5 ÷ 2 pollici. Raggiunta la falda acquifera, l'emungimento dell'acqua è ottenuto installando superiormente una pompa aspirante oppure mediante pompe centrifughe ad asse orizzontale sistemate in prossimità del livello delle acque freatiche (al fine di ridurre l'altezza di aspirazione).

Dato il sistema di introduzione delle condotte finestate nel suolo, la profondità di tali pozzi supera raramente i 10 m (Figura 33).



Figura 32 Tubazioni, puntazza e tubo finestrato per la realizzazione di un pozzo a percussione.

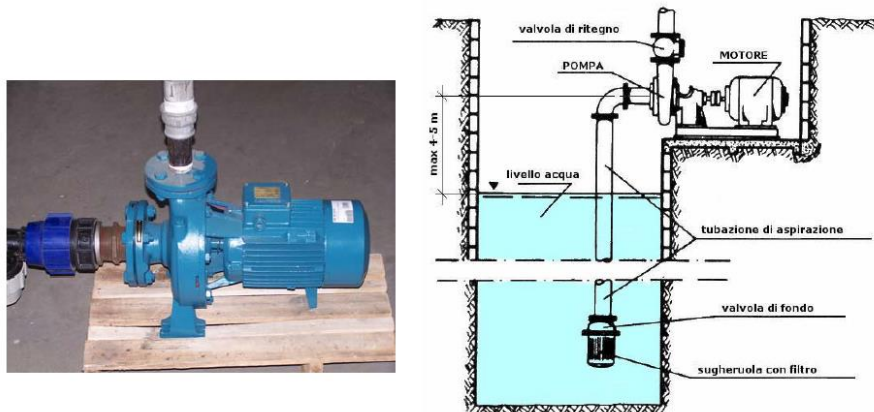


Figura 33 Configurazione tipica di un pozzo a percussione

4.2.2.3

Perforazioni a umido

La perforazione del terreno è effettuata mediante un utensile che avanza come una punta di trapano frantumando il materiale costituente le formazioni attraversate; i detriti che si formano vengono trasportati al piano campagna da una corrente di acqua fangosa immessa dall'alto, sotto pressione, attraverso l'asta cava che trasmette il movimento di rotazione dalla perforatrice all'utensile (la tubazione portante l'utensile prende il nome di asta di perforazione). L'acqua con i detriti risale poi alla superficie attraverso l'intercapedine compresa fra il tubo portautensile e la sezione di scavo (Figura 34).

L'impiego di acqua fangosa oppure di acqua contenente bentonite o prodotti analoghi si rende necessario per aumentare la viscosità ed il peso specifico del fluido: in tal modo, si riesce a contenere l'acqua delle falde attraversate e ad assicurare la stabilità delle pareti del pozzo. Infatti, il fango dà luogo, sulle pareti del perforo, ad una specie di intonaco e consente di eseguire fori di diametro fino a 500/600 mm con elevate velocità di avanzamento.

Le formazioni e le falde acquifere vengono in tal modo "sorprese" dalla perforazione e fermate, prima che si manifestino cedimenti o alterazioni, con la successiva introduzione delle tubazioni metalliche costituenti il pozzo vero e proprio, in parte cieche ed in parte finestate (in corrispondenza delle falde). Fra tali tubazioni e la parete della perforazione si introduce ghiaietto siliceo con funzione di filtro.

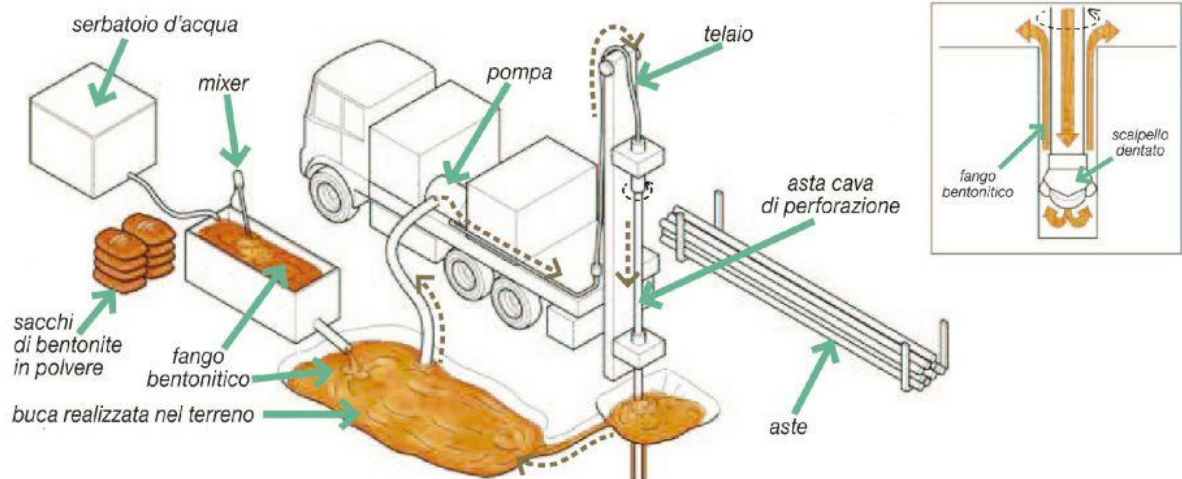


Figura 34 Modalità di realizzazione di una perforazione ad umido

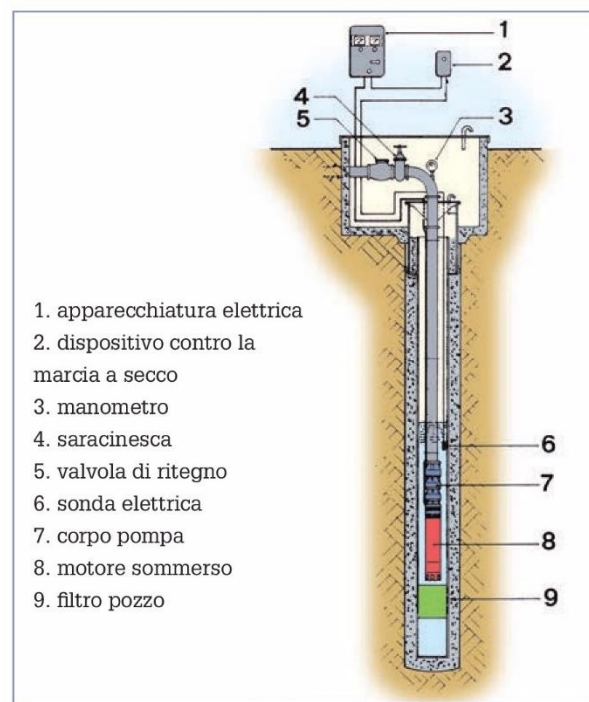


Figura 35 Pozzo artesiano

4.3 Pompe per acqua

Per il sollevamento, il trasferimento e l'alimentazione delle acque alle utenze o ai serbatoi di accumulo, si impiegano di solito elettropompe centrifughe ad asse orizzontale, ad asse verticale o di tipo sommerso. I principali parametri caratteristici delle elettropompe centrifughe sono:

- portata Q (m^3/s);
- prevalenza H (m di colonna d'acqua);
- potenza del motore P (kW);
- velocità di rotazione n espressa in giri al minuto;
- rendimento η

La prevalenza richiesta ad una pompa da installare su un circuito idraulico è data dalla somma delle seguenti componenti:

- prevalenza geodetica H_g ;
- pressione richiesta all'uscita dal circuito h_e ;
- perdite di carico continue e localizzate lungo il circuito Y_{tot} ;

$$H = H_g + h_e + Y_{tot}$$

L'espressione precedente consente di tracciare la curva caratteristica del circuito idraulico, ossia il grafico della pressione richiesta dal circuito al variare della portata (*caratteristica resistente*).

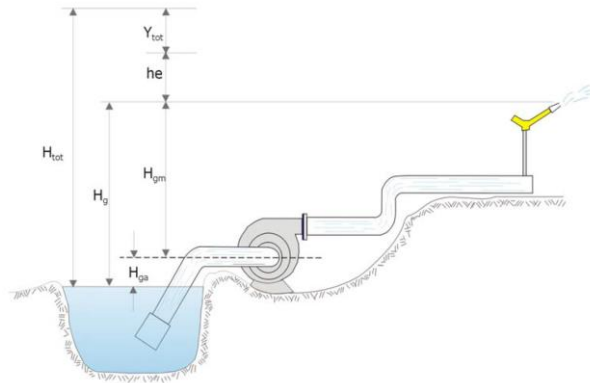


Figura 36 Determinazione della prevalenza richiesta ad una pompa

L'azionamento delle pompe avviene mediante motori elettrici o endotermici, direttamente collegati alla pompa con giunti elastici, oppure impiegando dei variatori di velocità o trasmissioni a cinghia. Nella maggior parte dei casi si ricorre all'azionamento elettrico con motori asincroni trifasi ed il numero di giri al primo della girante della pompa dipende dal numero di poli e dalla frequenza della corrente di alimentazione secondo la nota espressione

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s)$$

Avendo indicato con f la frequenza di rete (Hz), con p il numero di coppie polari e con s lo scorrimento.

Note la portata Q e la prevalenza H , è possibile determinare la potenza assorbita dal motore della pompa P (in kW):

$$P = \frac{\rho g H Q}{\eta}$$

Dove ρ è la densità del fluido (kg/m^3), g l'accelerazione di gravità (m/s^2), H la prevalenza sviluppata dalla pompa (m), Q la portata (m^3/s) e η il rendimento della pompa.

Le pompe centrifughe forniscono, a parità di velocità, tipo costruttivo (profilo delle pale), numero e diametri delle giranti, una portata variabile con la prevalenza.

La Figura 37 riporta la curva caratteristica di una pompa centrifuga: la prevalenza diminuisce all'aumentare della portata. La stessa figura riporta anche l'andamento del rendimento.

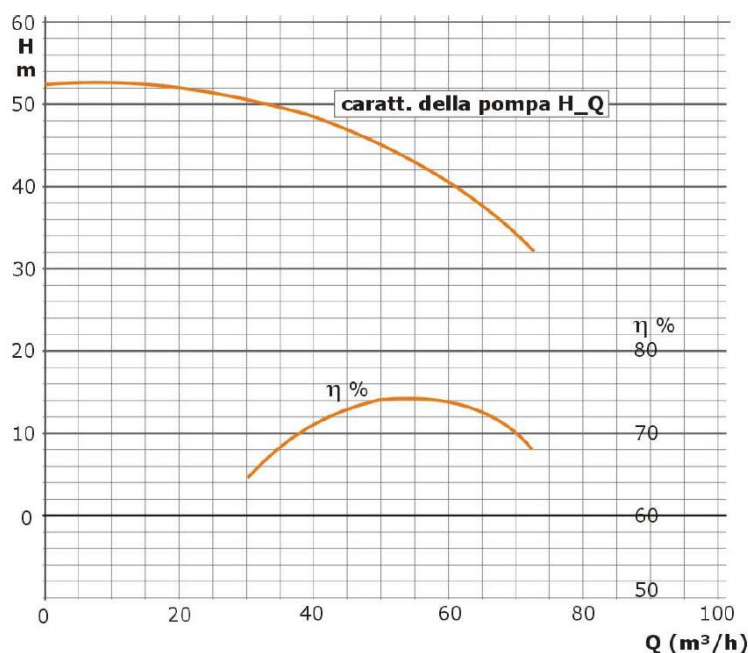


Figura 37 Curva caratteristica di una pompa centrifuga

Variando il numero di giri di una pompa centrifuga si ottengono curve caratteristiche prevalenza-portata diverse (Figura 38). Se, con riferimento ad una pompa a regime di rotazione variabile, si uniscono i punti delle diverse curve caratteristiche prevalenze-portate in corrispondenza dei quali si registra lo stesso rendimento, si ottengono delle curve a rendimento costante.

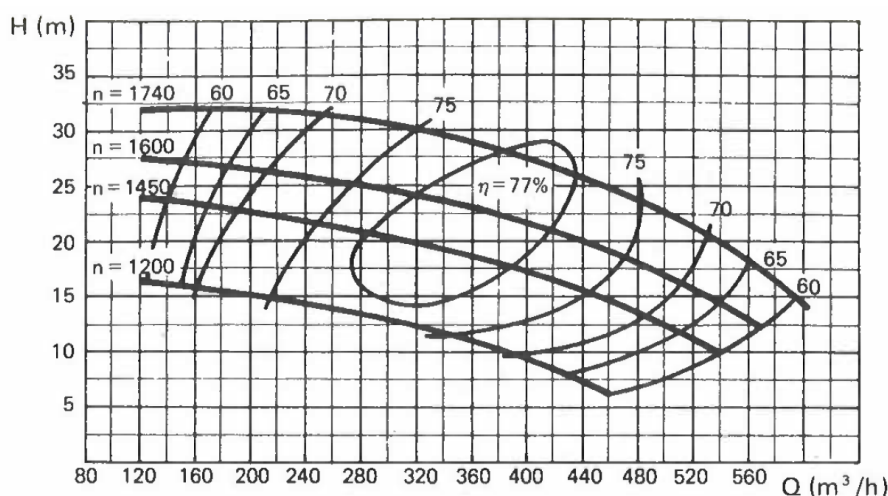


Figura 38 Curve caratteristiche di una pompa al variare della velocità di rotazione

La scelta della pompa che meglio risponde alle esigenze di un circuito idraulico si effettua tracciando preventivamente la curva caratteristica del circuito stesso in funzione della portata.

La Figura 39 riporta la curva caratteristica di un circuito idraulico: l'andamento è parabolico perché H varia con il quadrato della portata. Quindi si sovrappongono alla curva caratteristica del circuito le curve caratteristiche prevalenza-portata delle varie pompe disponibili in base al regime di rotazione determinato dal motore determinando così il punto di intersezione fra la caratteristica del circuito e quella delle pompe in corrispondenza della portata e della prevalenza richieste (*punto di funzionamento*).

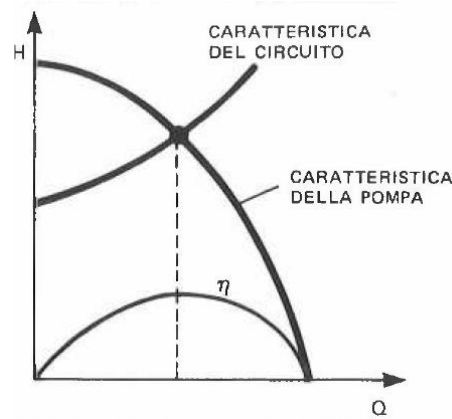


Figura 39 Scelta di una elettropompa centrifuga in funzione della caratteristica del circuito idraulico.

Fra le varie pompe passanti per tale punto, si sceglie quella che in esso assicura il miglior rendimento.

Com'è facile comprendere, quando nel circuito si registrano piccole variazioni della portata e sensibili variazioni della prevalenza, conviene adottare pompe aventi curve caratteristiche ripide; quando invece si verificano grandi variazioni della portata e piccole variazioni della prevalenza, meglio si prestano le pompe con curve caratteristiche piatte.

La Figura 40 si riferisce ad una pompa centrifuga ad asse orizzontale. Le pompe centrifughe installate sopra il pelo libero dell'acqua devono essere riempite del liquido al fine di adescare l'avviamento (11): ciò si può ottenere installando una valvola di ritegno all'estremità del tubo aspirante, riempiendo quest'ultimo con acqua e facendo contemporaneamente sfogare l'aria attraverso valvole di sfiato.

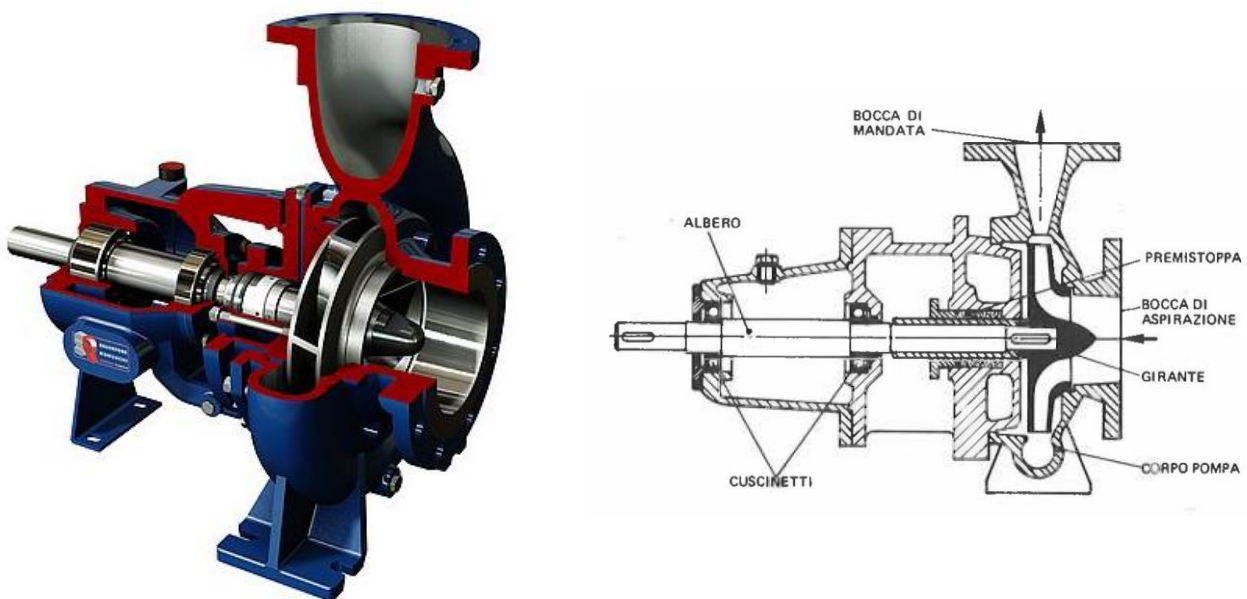


Figura 40 Pompa centrifuga ad asse orizzontale

In Figura 41 è riportata un'elettropompa ad asse verticale: tale tipo di pompa consente di ovviare agli inconvenienti connessi all'adescamento e di fare a meno del locale che invece è quasi sempre necessario per l'installazione delle pompe ad asse orizzontale.

I gruppi sommersi (Figura 42) sono costituiti da una pompa centrifuga ad una o più giranti, direttamente accoppiate ad un motore elettrico a corrente alternata adatto per funzionare in acqua: le elettropompe sommerse vengono impiegate quando l'acqua da captare si trova ad una profondità superiore all'altezza di aspirazione delle normali pompe centrifughe: è la situazione tipica dei pozzi trivellati, nei quali l'elettropompa è immersa sospesa alla tubazione di mandata, sopportata a sua volta da una staffa poggiante sull'orlo del pozzo.

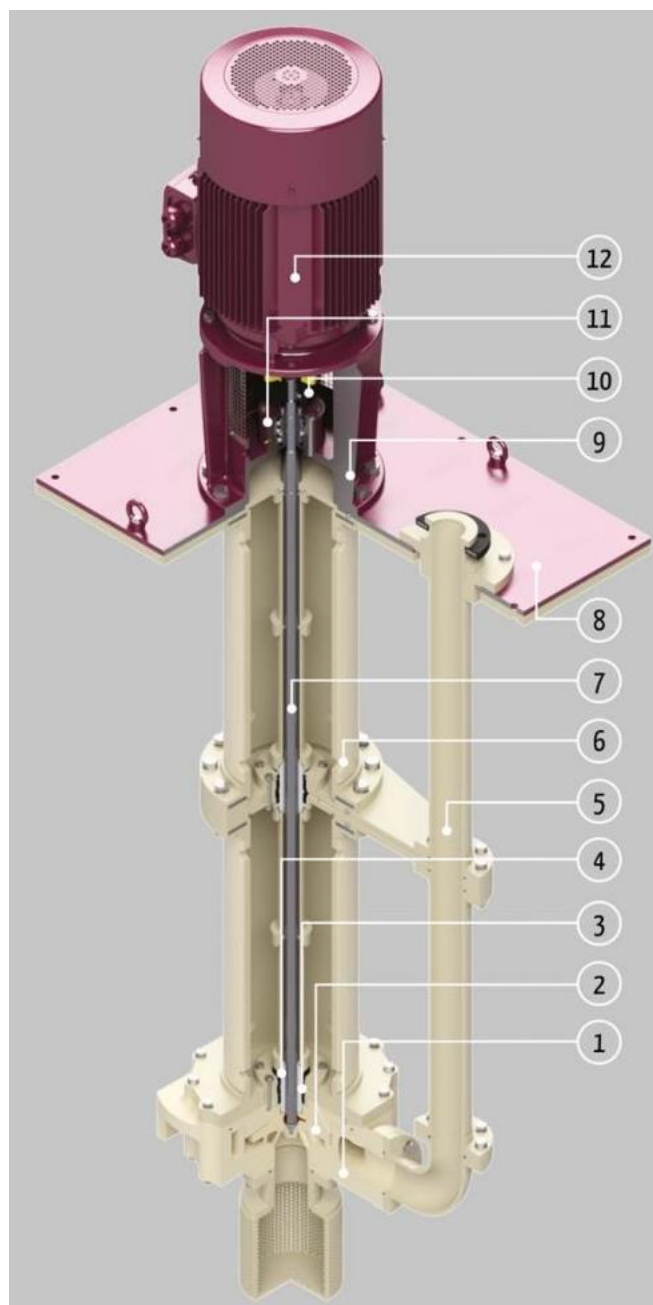


Figura 41. Pompa centrifuga ad asse verticale: 1. Corpo pompa, 2. Girante centrifuga, 3. Bussola di guida statica, 4. Bussola di guida rotante, 5. Tubo di mandata, 6. Colonna, 7. Albero bilanciato, 8. Piastra, 9. Lanterna, 10. Giunto elastico, 11. Supporto. 12. Motore elettrico asincrono trifase



Figura 42 Pompa da pozzo da 4"

4.4 Sistemi di accumulo

Tenuto conto della criticità che il servizio acqua potabile comporta per l'operatività di un ospedale, è opportuno prevedere, a monte della rete di distribuzione interna al nosocomio, un sistema di accumulo dell'acqua in grado di far fronte ad una momentanea indisponibilità della fonte di approvvigionamento, la cui capacità dovrà essere concordata con la Direzione Sanitaria ma che orientativamente può corrispondere ad alcune giornate di prelievo.

Un accumulo siffatto risulta inoltre molto utile in conseguenza della variabilità di prelievo che caratterizza l'ospedale, concentrato soprattutto nelle ore diurne. Grazie all'accumulo è possibile dimensionare le condotte principali di approvvigionamento poste a monte del sistema in base alla portata media e non in base a quella massima, con significativi vantaggi in termini di costi e di regolarità di servizio.

4.4.1 Vasca interrata in cemento

Fra i sistemi di accumulo dell'acqua citiamo anzitutto la vasca interrata in cemento (Figura 43). L'acqua proveniente da pozzi, canali, fiumi, ecc. viene pompata al suo interno che, riempiendosi, assicura una disponibilità di acqua per ogni evenienza (punte, interruzione del rifornimento primario, interventi antincendio, ecc.).

La vasca è in genere realizzata in una struttura di cemento armato adeguatamente impermeabilizzata, con tetto carrabile. Essa risulta dotata delle seguenti connessioni idrauliche:

1. una tubazione che alimenta l'acqua nella parte superiore del serbatoio;
2. una condotta di captazione dell'acqua per uso igienico sanitario che preleva ad una quota tale da lasciare sempre disponibile nel serbatoio il previsto volume di acqua antincendio;
3. la condotta della rete antincendio che parte quasi dal fondo del serbatoio;
4. una tubazione, di solito collegata con la fognatura, per lo scarico di troppo pieno;
5. una tubazione, intercettata da saracinesca, che consente lo scarico totale in caso di necessità.

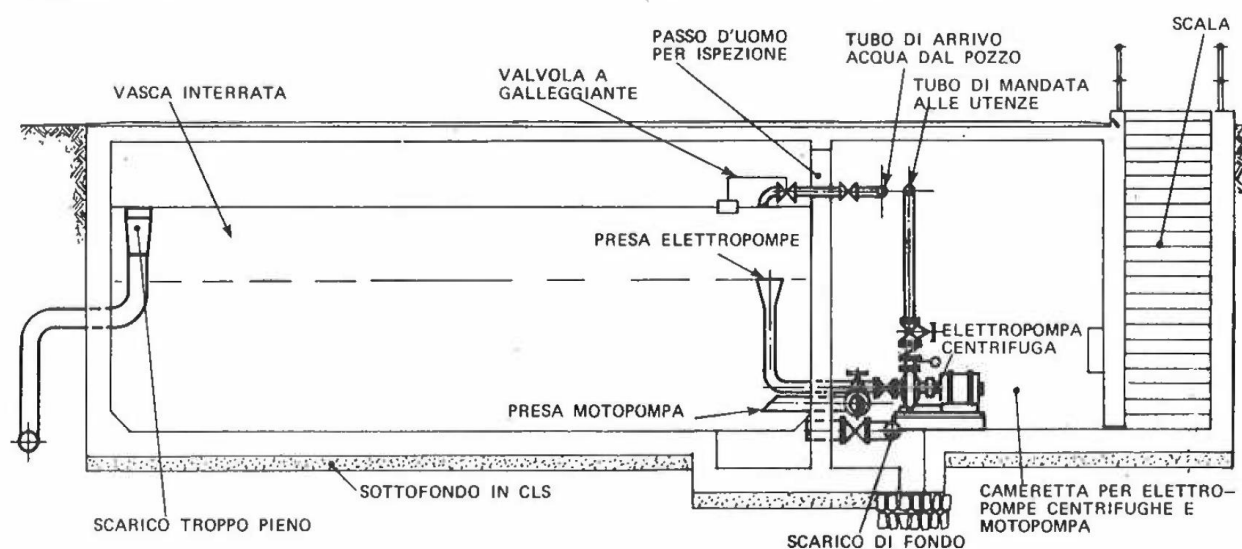


Figura 43 Vasca interrata per l'accumulo di acqua

Quando il sistema di accumulo è ad uso promiscuo, ossia assolve sia alle esigenze della rete di acqua ad uso igienico sanitario che a quelle della rete antincendio, la pressurizzazione tali reti deve avvenire separatamente. Relativamente a quella dell'acqua ad uso igienico sanitario, di pertinenza del capitolo in esame, si ricorda che è buona norma adottare una ridondanza adeguata, non inferiore al 100%.

4.4.2 Serbatoio fuori terra

Oltre a vasche interrate, si ricorre anche a serbatoi metallici fuori terra (fig. 35.4), che presentano tuttavia capacità di accumulo in genere inferiori a quelle delle vasche interrate in cemento e in linea di principio non sono sufficienti a far fronte alle esigenze antincendio.

Se destinati all'immagazzinamento di acqua potabile, tali serbatoi sono di norma realizzati in acciaio inossidabile.



Figura 44 Serbatoi di accumulo fuori terra

4.5 Sistemi di pressurizzazione

4.5.1 Autoclave

L'autoclave è un dispositivo in grado di garantire una pressione di alimentazione pressoché costante della rete, pur in presenza di variazioni di prelievo anche significative.

Essa consiste in un serbatoio allacciato alla rete di alimentazione dell'acqua mediante una elettropompa; al serbatoio è collegato un compressore asservito ad un livellostato ed avente la funzione di mantenere un "cuscin d'aria" nella parte superiore del serbatoio. Quando la pressione interna, a seguito di prelievi di acqua, scende sotto un certo limite inferiore, la pompa viene messa in funzione da un pressostato e riporta la pressione nel serbatoio al limite superiore, raggiunto il quale la pompa si ferma; si ha pertanto una escursione della pressione nella rete di distribuzione, la cui ampiezza viene prestabilita in relazione alle necessità.

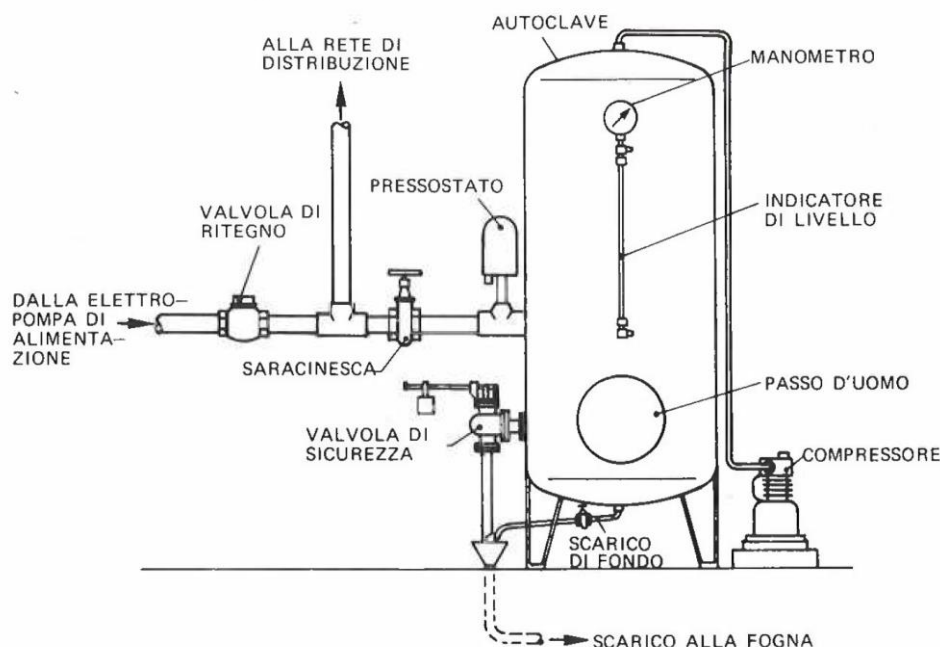


Figura 45 Autoclave installata su una rete di alimentazione dell'acqua per la regolazione della pressione.

4.5.2 Pompe comandate da inverter

L'adozione di pompe alimentate tramite inverter rappresenta una valida alternativa all'autoclave e consente di ottenere una regolazione molto fine della pressione di mandata.

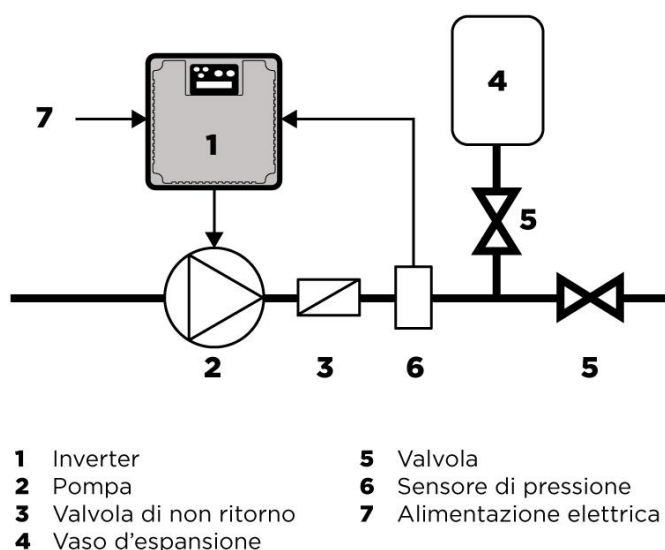


Figura 46 Schema di installazione di un inverter

Il sistema (Figura 46) impiega un inverter asservito ad un segnale (in genere 0÷4 mA) derivato da un pressostato, in base al quale viene variata la frequenza di alimentazione del motore asincrono che movimenta la pompa.

Per comprenderne il funzionamento si faccia riferimento al circuito semplificato di (), che si riferisce ad un sistema di alimentazione di tre utenze, per esempio tre docce uguali.

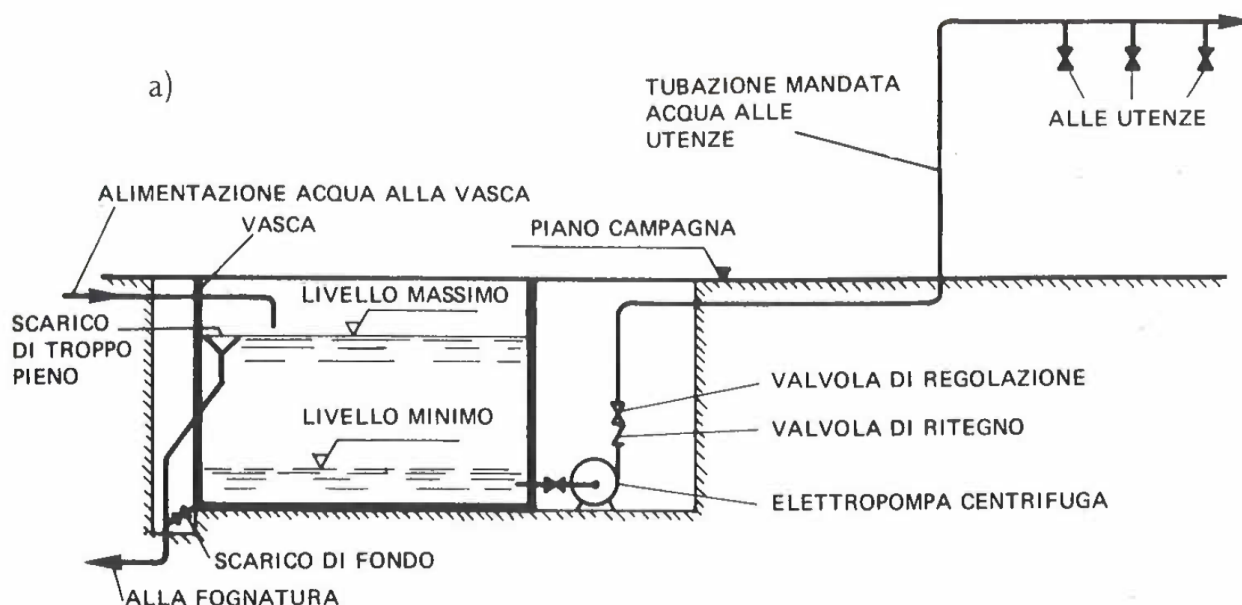


Figura 47 Sistema di utenze alimentate da una pompa centrifuga

Quando una sola delle docce è aperta, la caratteristica resistente del circuito è rappresentata da una parabola (R_1) che intercetta l'asse delle ordinate in corrispondenza del vertice, ad una quota pari all'altezza geodetica H_g . L'accoppiamento di tale circuito con una pompa avente la curva caratteristica n_1 di cui alla (Figura 48), determina il punto di funzionamento (H_1, Q_1).

Si supponga ora di aprire un'ulteriore doccia: la caratteristica resistente del circuito si modifica, dando luogo ad una diversa parabola (R_2) che, pur mantenendo il medesimo vertice della precedente, risulta rispetto a questa più "aperta".

Qualora la pompa mantenesse inalterato il proprio regime di rotazione, si determinerebbe un diverso punto di funzionamento (H_2, Q_2) caratterizzato da una pressione minore (*calo di pressione in linea*) e da una portata complessivamente maggiore alla precedente ancorché non doppia. Ne conseguirebbe un calo della portata in corrispondenza del singolo dispositivo, come ciascuno di noi ha potuto sperimentare in circostanze analoghe.

Il calo di pressione in linea viene tuttavia rilevato dal pressostato e segnalato all'inverter che in questo caso aumenta la frequenza della corrente di alimentazione della pompa facendone di conseguenza aumentare la velocità di rotazione. Ne consegue una nuova curva caratteristica della pompa (n_2) che dà luogo al punto di funzionamento (H_2^*, Q_2^*) caratterizzato dalla stessa prevalenza del punto (H_1, Q_1).

Naturalmente il sistema non è in grado di compensare qualunque caduta di pressione e il processo si esaurisce al conseguimento della massima frequenza di funzionamento ($50\div 60$ Hz) dell'inverter. Da quel punto in poi ogni ulteriore variazione della caratteristica resistente del circuito che implichi un aumento della portata comporterà necessariamente una diminuzione della pressione in linea.

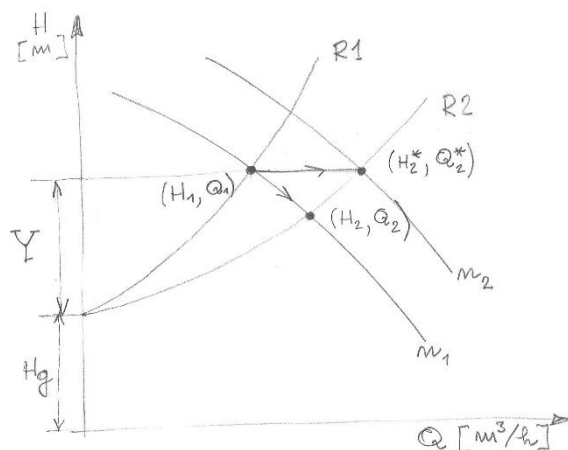


Figura 48 Controllo della pressione con pompe a velocità di rotazione variabile

4.6 Trattamenti di potabilizzazione

Quando l'acqua disponibile non è sicuramente potabile, è necessario sottoporla a trattamenti finalizzati alla rimozione di tutte le sostanze potenzialmente nocive alla salute. Ovviamente tali trattamenti dipendono dalla qualità dell'acqua "grezza" e dalle sostanze inquinanti in essa contenuti.

In linea di principio le acque profonde sono più pure di quelle superficiali e pertanto contengono principalmente sostanze di origine naturale.

I trattamenti di acque di origine sotterranea sono generalmente finalizzati alla rimozione di inquinanti chimici geogenici quali ferro e manganese, arsenico, fluoro, vanadio, boro o uranio o anche composti di origine antropica come tri- e tetracloroetilene, ammoniaca, nitrati, pesticidi, cromo. In particolari contesti possono essere richiesti trattamenti avanzati per la rimozione di composti organici di origine industriale, come i composti perfluoroalchilici.

I trattamenti convenzionali vanno dalla semplice disinfezione a processi più avanzati, che possono basarsi sull'ossidazione chimica in presenza di aria o specifici reagenti in serie con filtrazioni su sabbia, coagulazione, sedimentazione e/o chiariflocculazione, filtrazione e disinfezione. Il trattamento con carboni attivi può essere necessario in presenza di acque contaminate da microinquinanti organici quali pesticidi o solventi organoalogenati.

La fig. 35.9 schematizza un impianto di clorazione dell'acqua: in un serbatoio viene preparata la soluzione sterilizzante (ad esempio, acqua distillata e ipoclorito di sodio in percentuali opportune) che poi perviene alla pompa erogatrice a membrana o a pistone, la cui funzione è quella di dosare nell'acqua pompata alla rete la percentuale di cloro necessaria. Va rilevato che l'azione sterilizzante del cloro persiste solo per un paio di giorni, per cui si devono evitare immagazzinamenti dell'acqua con esso trattata.

Oltre alla sterilizzazione mediante cloro, ricordiamo quella con ozono. Questo procedimento è più costoso della clorazione, ma l'acqua risulta incolore, inodore e insapore. Altri procedimenti di depurazione sono quelli a ultrasuoni ed a raggi ultravioletti.

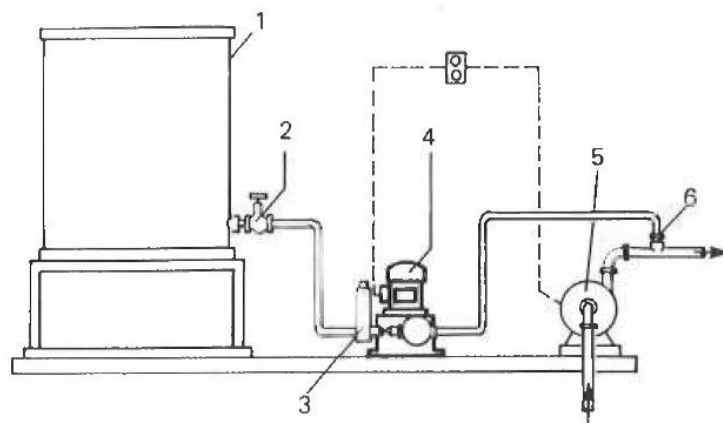


Figura 49 Schema di un impianto di potabilizzazione dell'acqua. 1. Vasca di preparazione soluzione - 2. Rubinetto di chiusura - 3. Apparecchio di regolazione del dosaggio - 4. Dosatore - 5. Pompa di sollevamento - 6. Diffusore.

4.7 Tipi di reti

Al fine di non compromettere la potabilità dell'acqua nella rete di distribuzione interna all'ospedale, questa viene comunemente realizzata con tubi zincati del tipo unificato oppure di PVC di tipo particolare (atossico) o ancora in polietilene.

Per le tubazioni interrate, si ricorre a tubi di polietilene ad alta densità (HDPE), di acciaio bitumati internamente e rivestiti esternamente oppure di PVC o ancora in ghisa sferoidale.

Le giunzioni fra i tubi di acciaio sono realizzate mediante saldatura (ad arco o ossiacetilenica) o flangiatura; se i tubi sono filettati o di plastica, mediante manicotti; nel caso dei tubi in HDPE per termosaldatura.

Anche le curve ed i raccordi impiegati per le reti dell'acqua potabile sono unificati e costruiti in ghisa malleabile zincata (serie gas), acciaio liscio o ottone. Le valvole sono di bronzo ed hanno gli stessi diametri dei tubi unificati.

Per le reti di alimentazione dell'acqua potabile si distingue tra reti *a maglie* e reti *a pettine*.

Nelle prime (Figura 50) ciascuna utenza è raggiungibile tramite due percorsi alternativi e l'interruzione di localizzata della rete non ne preclude la funzionalità (almeno in linea di principio). Per tale motivo tali tipi di reti risultano particolarmente affidabili e facilmente manutenibili.

Nelle reti *a pettine* (Figura 51), al contrario, ciascuna utenza è raggiungibile tramite un unico percorso e, ovviamente, l'interruzione della linea in un punto pregiudica l'alimentazione di tutte le utenze poste a valle. Inoltre, risulta in genere molto difficile installare una nuova utenza inizialmente non prevista perché la portata che le compete viene in genere sottratta alle utenze poste a valle di questa. Per contro la rete a maglie risulta ovviamente più economica di una a maglie.

In entrambi i casi si adotta una pendenza delle tubazioni $0,2 \div 0,4\%$; scarichi della rete strategicamente disposti nei punti bassi.

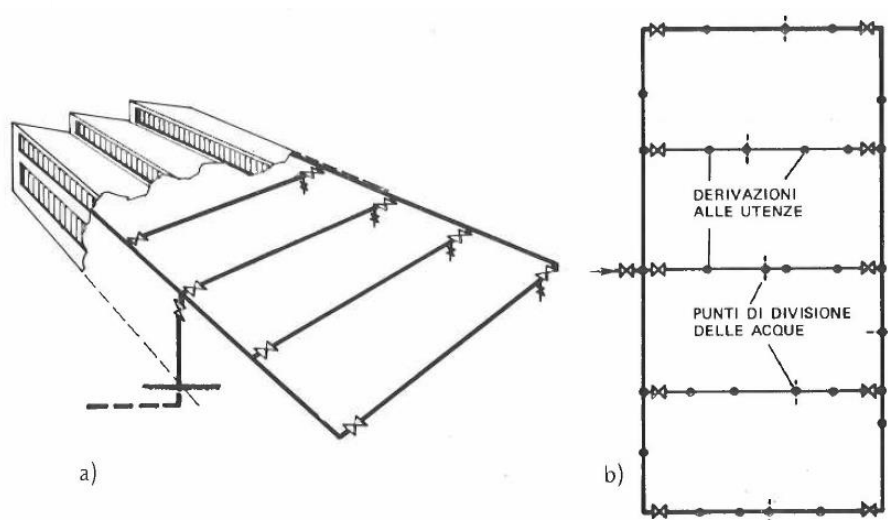


Figura 50 Rete a maglia: a) prospettiva; b) pianta.

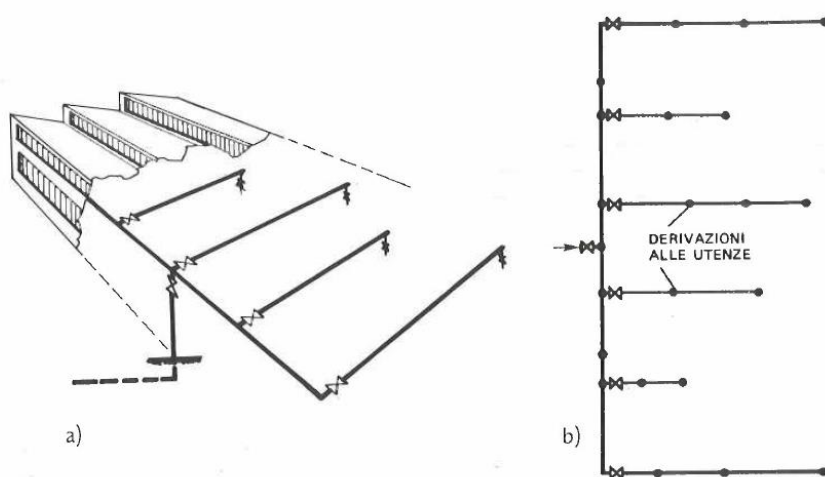


Figura 51 Rete a pettine: a) prospettiva; b) pianta.

5. Impianti di estinzione incendio

5.1 Elementi di prevenzione incendi

La prevenzione incendi all'interno delle strutture ospedaliere è normata dalla “*Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle strutture sanitarie, pubbliche e private*” approvata con il Decreto del Ministero dell'interno del 18 settembre 2002.

Già dal titolo si evidenzia come la prevenzione incendi non si limiti alla predisposizione di quello che viene comunemente indicato come *impianto antincendio*, e comporti altresì tutta una serie di attività che non si possono relegare alla fase progettuale della struttura ospedaliera ma che ne condizionano anche la costruzione e l'esercizio.

Più in generale, sotto il profilo costruttivo di più diretto interesse per i nostri scopi, la prevenzione incendi comporta dei condizionamenti di natura strutturale sui fabbricati e funzionale sugli impianti, che non si limitano a quelli di estinzione ma che interessano anche gli altri impianti tecnologici, quali quello di climatizzazione, quello di distribuzione dei gas medicali, gli ascensori, solo per citarne alcuni.

In linea di principio, gli obiettivi alla base della prevenzione incendi possono così riassumersi

- Prevenire lo sviluppo dell'incendio
- Contenerne lo sviluppo entro volumi delimitati senza che esso abbia ad interessare l'intero edificio
- Consentire un esodo ordinato degli occupanti dai locali interessati
- Mettere a disposizione dei mezzi di estinzione adeguati
- Segnalare tempestivamente l'avvenuto innesco sin dalle sue fasi iniziali

5.1.1 Il triangolo del fuoco

La *prevenzione* dello sviluppo dell'incendio implica una molteplicità di misure che intervengono sui tre elementi che sono alla base dell'incendio: *innesco*, *combustibile* e *comburente*. Tali elementi, secondo una comune rappresentazione, costituiscono il così detto *triangolo del fuoco* (Figura 52): Quando uno dei tre elementi viene a mancare, l'incendio non avviene o, se già in atto, si estingue.

In questo senso va interpretata l'imprescindibile esigenza di realizzare degli impianti *a regola d'arte*, ossia corrispondenti alla normativa europea vigente (in Italia UNI EN). Si ricorda infatti che tali norme vengono sviluppate *anche* per prevenire gli incendi, come nel caso degli impianti elettrici, o di quelli di distribuzione del gas, che, se realizzati male, possono divenire fonte di innesco (i primi) o di alimentazione dell'incendio (i secondi).

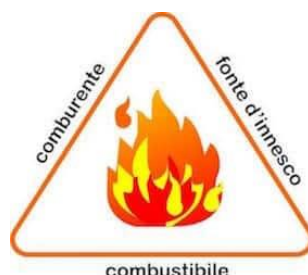


Figura 52 Il triangolo del fuoco

Un'altra direttrice d'intervento riguarda l'adozione di materiali di rivestimento delle pareti, di mobilio e di mobili imbottiti (materassi, poltrone, ecc.) di adeguata *classe di reazione al fuoco*¹, ossia che dimostrino scarsa attitudine a partecipare all'incendio.

¹. Il DM 3 agosto 2015 dà la seguente definizione: “*Classe di reazione al fuoco: grado di partecipazione di un materiale (o di un prodotto) al fuoco al quale è stato sottoposto; viene attribuita a seguito di prove normalizzate tramite cui valutare specifici parametri o caratteristiche, che concorrono a determinarne il grado di partecipazione all'incendio.*”

Una citazione merita la ventilazione di tutti quei locali (centrali termiche a gas naturale, depositi di gas infiammabili, depositi di vernici, autorimesse) dove l'eventuale sviluppo di vapori infiammabili o perdita di gas può dar luogo a miscele potenzialmente esplosive. In questi contesti un'adeguata ventilazione è in grado di prevenire il raggiungimento di concentrazioni pericolose e risulta quindi una misura efficace.

5.1.2 Compartimentazione

Sotto il profilo strutturale e distributivo, si richiede che i fabbricati siano *compartimentati* e dotati di adeguate *vie di fuga*.

La *compartimentazione* consiste nella suddivisione del fabbricato in volumi (comparti) entro i quali l'incendio possa essere confinato per un determinato tempo, senza interessare direttamente l'intera struttura. Nel caso degli ospedali i comparti sono distribuiti sul medesimo livello e hanno superficie singola limitata, che resta determinata in virtù della destinazione d'uso del locale (sale di degenza, impianti di produzione calore, laboratori di analisi e ricerca, depositi, lavanderie, ecc.).

La suddivisione avviene per mezzo di strutture edilizie di adeguata *resistenza al fuoco*, intesa come la *capacità di un elemento di conservare, per un periodo di tempo stabilito, la richiesta stabilità (R) e/o tenuta (E) e/o isolamento termico (I) al fuoco e/o ogni altra prestazione attesa definita in una prova normalizzata di resistenza al fuoco*.

La resistenza al fuoco viene indicata con il simbolo REI seguito da un numero indicante il tempo (in minuti) per il quale i requisiti di resistenza risultano soddisfatti.

Dal punto di vista pratico, una resistenza al fuoco anche elevata (REI 120) può essere facilmente conseguita dalle normali strutture edilizie (pareti e solai) purché queste siano adeguatamente rivestite con materiali isolanti a base di gesso (Figura 53).



Figura 53 Solaio REI 120 ottenuto tramite controsoffittatura in pannelli di fibra minerale

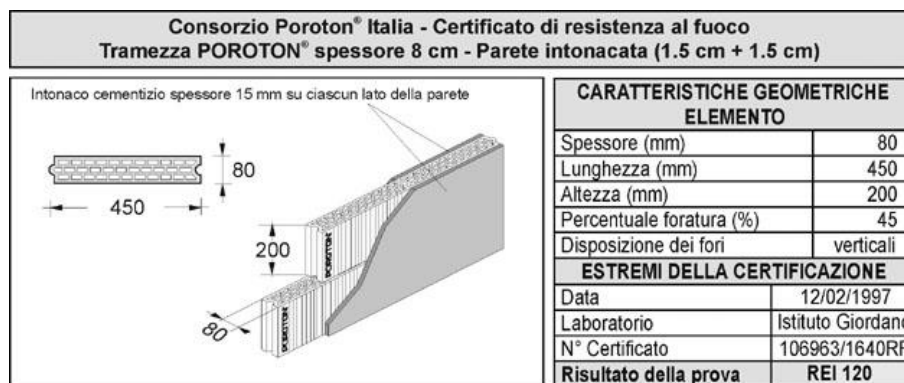


Figura 54 Esempio di parete REI 120

5.1.3 Vie di fuga

La dotazione di adeguate vie di fuga comporta la necessità di ricorrere a porte, corridoi, scale ed eventualmente montastighe con determinati requisiti.

La larghezza di tali elementi architettonici deve essere adeguata al numero di persone che dovrà percorrerli in caso di sinistro. Tale numero è determinato in base alla *capacità di deflusso*, che rappresenta il numero di persone che può essere evacuato da un corridoio di larghezza predefinita (detta *modulo*) e che corrisponde a 60 cm. La capacità di deflusso varia a seconda del piano del fabbricato, tra un massimo di 50 per il piano terra e un massimo di 33 per i piani superiori al primo.

A titolo di esempio, ipotizzando per una sala mensa al piano terra un affollamento previsto di 220 persone, assunta una capacità di deflusso pari a 50 persone per modulo, la larghezza complessiva dei corridoi dovrà essere non inferiore a 4,4 moduli che, arrotondato all'intero immediatamente successivo, fornisce infine 5 moduli. Tale larghezza potrà essere eventualmente ripartita su più corridoi con l'accortezza di non scendere mai al di sotto della larghezza minima prevista di 120 cm per ciascun corridoio.

Ovviamente anche per la determinazione della larghezza delle porte di accesso alla sala si seguiranno criteri analoghi a quelli visti per i corridoi.

Un altro requisito fondamentale consiste nel mantenimento di adeguate condizioni di visibilità durante l'esodo, ragion per cui si adottano diversi accorgimenti finalizzati a mantenere le vie di fuga, e soprattutto le scale, esenti dal fumo sviluppatosi dall'incendio.

Ulteriori accorgimenti sono finalizzati alla prevenzione di quei fenomeni caratteristici di una folla di persone in preda al panico: in tal senso va intesa l'adozione di maniglie particolari sulle porte e la corretta disposizione del senso di apertura che deve sempre favorire l'esodo.

5.1.4 Tipologie di incendio e agenti estinguenti

L'estinzione di un incendio può avvenire *per raffreddamento*, ossia abbassando sotto il punto di accensione la temperatura delle superfici esposte, oppure *per soffocamento*, ossia riducendo la concentrazione di ossigeno nella zona di combustione, o ancora per *inibizione* a mezzo di *sostanze inibitrici* (polveri), che aumentano l'energia di attivazione ostacolando il propagarsi della reazione chimica di ossidazione.

Va ricordato che nello spegnimento dell'incendio le azioni in precedenza richiamate sono in genere concomitanti, con prevalenza dell'una o dell'altra a seconda dell'*agente estinguente* impiegato. Tra i più diffusi agenti estinguenti citiamo i seguenti:

- Acqua
- Schiuma
- Polveri
- Anidride carbonica

Naturalmente non tutti gli agenti estinguenti sono impiegabili su qualunque tipo di incendio, ragion per cui la loro scelta deve conseguire ad un'attenta valutazione del tipo di combustibile che sarà destinato ad alimentarlo.

A tal fine, i tipi di incendio, o *i fuochi*, secondo la Norma UNI EN 2:2005, vengono distinti in cinque classi, secondo lo stato fisico dei materiali combustibili (Tabella 11).

A titolo di esempio si ricorda che l'acqua può essere vantaggiosamente impiegata su materiali solidi che diano luogo a formazione di braci ma non può essere usata su liquidi infiammabili, in quanto, in virtù del maggior peso specifico che la caratterizza, tende a portarsi al di sotto di questi senza conseguire il voluto effetto di raffreddamento e/o soffocamento.

In questi casi si impiega la schiuma che, galleggiando sulle pozze di combustibile, consente di agire per soffocamento.

Si ricorda ancora che per impieghi su materiale sotto tensione si usa anidride carbonica o polvere, evitando l'impiego dell'acqua per non rischiare la folgorazione degli operatori.

In Tabella 12 si compendiano le tipologie di agenti estinguenti e il relativo campo di impiego.

Tabella 11 Classificazione dei fuochi secondo la Norma UNI EN 2:2005

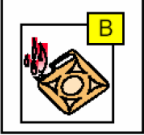
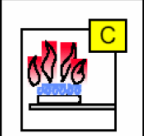
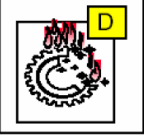
	incendi di materiali solidi con formazione di braci (carta, cartoni, libri, legna, segatura, trucioli, stoffa, filati, carboni, bitumi grezzi, paglia, fuliggine, torba, carbonella, celluloidi, pellicole cinematografiche di sicurezza, materie plastiche, zolfo solido, ...)
	incendi di liquidi infiammabili e solidi che possono liquefare (petrolio, vernici, nafta, benzina, alcool, olii pesanti, etere solforico, glicerina, gomme liquide, resine, fenoli, zolfo liquido, trementina, ...) In funzione della temperatura di infiammabilità i liquidi combustibili vengono raggruppati in tre categorie: • categoria A: liquidi aventi temperatura di infiammabilità inferiore a 21°C • categoria B: liquidi aventi temperatura di infiammabilità compresa tra 21°C e 65°C • categoria C: liquidi aventi temperatura di infiammabilità oltre 65° e fino a 125°C
	incendi di gas infiammabili (metano, propano, g.p.l., cloro, gas illuminante, acetilene, idrogeno, cloruro di metile, ...)
	incendi di metalli combustibili e sostanze chimiche contenenti ossigeno comburente (magnesio, potassio, fosforo, sodio, titanio, alluminio, electron (Al-Mg), carburi, nitrati, clorati, perclorati, perossidi).
	incendi che interessano sostanze usate nella cottura (oli e grassi vegetali o animali)

Tabella 12 Effettivo contributo all'estinzione usualmente riscontrato per ciascun estinguento

	Soffocamento	Raffreddamento	Inibizione chimica
Acqua	Mediocre	Buono	Nulla
Schiuma	Buono	Buono	Nulla
Polvere	Buono	Mediocre	Buono
Anidride carbonica	Buono	Buono	Buono

5.1.5 Estintori

I mezzi di estinzione si distinguono tra *fissi* e *mobili*. I primi consistono in quelli che comunemente sono detti *impianti antincendio* mentre ai secondi afferiscono gli *estintori* (portatili o carrellati) e svariati tipi di veicoli.

Riservandoci di analizzare in maniera più approfondita i mezzi di estinzione fissi di impiego ospedaliero, in questa sede giova soffermarsi brevemente sulle le tipologie di estintori di più comune impiego.

5.1.5.1 *Estintori idrico*

Consiste in un serbatoio contenente acqua (o, in alcuni casi, acqua con l'aggiunta di particolari sostanze chimiche) e di una bomboletta di gas compresso (di solito CO_2) che all'atto dell'intervento pressurizza il serbatoio con conseguente espulsione del liquido. È adatto quale mezzo di primo intervento contro incendi nascenti di sostanze solide (legno, carta, carbone, paglia, tessuti, ecc.).

Non è idoneo per lo spegnimento dei liquidi infiammabili (oli, benzine, solventi) né di gas quali metano, propano, gas illuminante e neppure di apparecchiature elettriche.

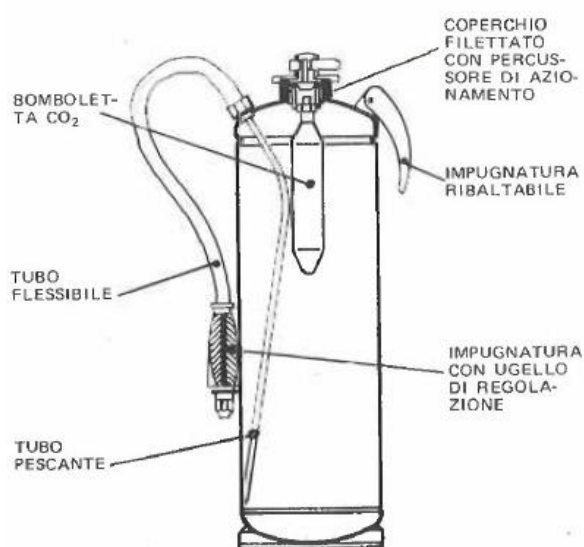


Figura 55 Estintore idrico

5.1.5.2 *Estintore a polvere*

È costituito principalmente da una bombola in lamiera d'acciaio, pressurizzata con gas inerte o aria deumidificata, con funzione di propellente per l'espulsione dell'agente estinguente, consistente in una polvere chimica di solfato di ammonio e fosfato monoammonico (Figura 56).

In altri casi, si impiegano polveri particolari, addizionate al cloruro di sodio per utilizzo su fuochi di classe D, ovvero su polveri di sostanze metalliche infiammabili, come magnesio, potassio, alluminio.

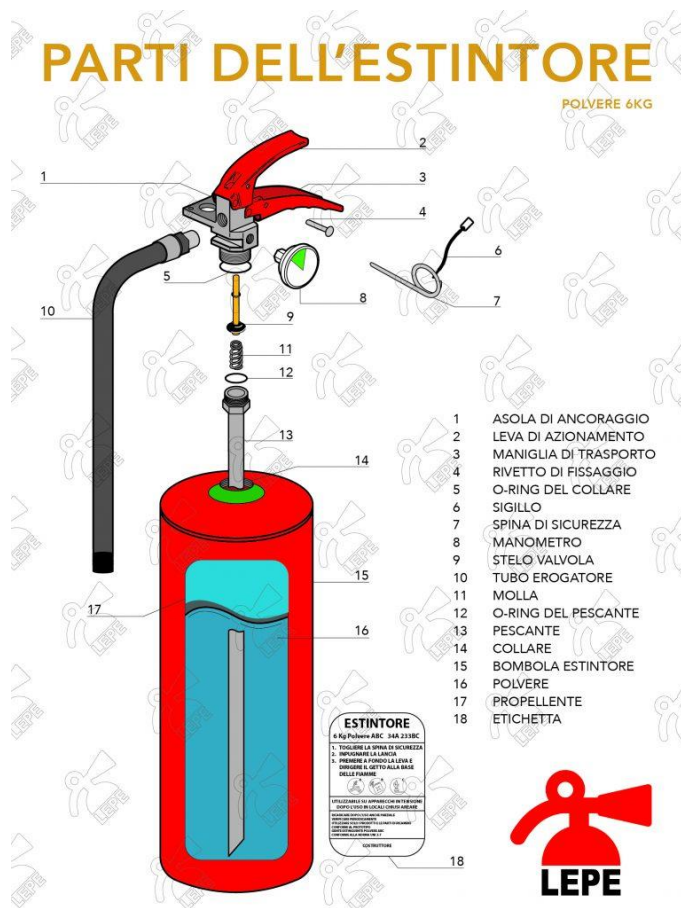


Figura 56 Estintore a polvere

5.1.5.3

Estintore a schiuma

Vi sono due tipi di estintore: a *schiuma chimica* e a *schiuma meccanica*.

L'estintore a *schiuma chimica* consiste in una bombola con due contenitori concentrici, il più piccolo dei quali contiene una soluzione in acqua di solfato di alluminio (carica acida) mentre l'altro, più grande, una soluzione basica (ad esempio, bicarbonato di sodio e polvere di liquirizia).

Rovesciando l'estintore, la soluzione acida si travasa in quella basica dando luogo ad una reazione chimica da cui si sprigiona del gas che agisce da propellente per il liquido. Questo, passando attraverso l'ugello forma, con il gas, una massa compatta di schiuma il cui volume varia da 5 a 10 volte quello iniziale, a seconda dei prodotti usati. La schiuma agisce separando il combustibile dal comburente esercitando su di essi un'azione di soffocamento e deve per ciò essere proiettata verso la base della fiamma. Gli estintori a schiuma chimica sono particolarmente adatti per gli incendi di classe B e A, mentre sono sconsigliabili per lo spegnimento di incendi di gas infiammabili e di apparecchiature elettriche.

In un estintore a *schiuma meccanica* la schiuma è formata da una soluzione acquosa di saponificanti contenuta all'interno di una bombola pressurizzata per mezzo di un gas propellente (azoto, aria o anidride carbonica).

Il meccanismo di erogazione è composto da un tubo alla cui estremità è presente una lancia dotata di fori per l'ingresso dell'aria. Nel momento in cui l'estintore viene messo in azione, attraverso di essi entra l'aria che, mescolandosi con il liquido, produce la schiuma estinguente, il cui volume può arrivare a 6 ÷ 15 volte il volume della miscela originaria.

Naturalmente il peso specifico della schiuma deve sempre essere inferiore a quello dei liquidi su cui viene utilizzata, affinché la prima possa galleggiare sui secondi, dando luogo ad uno spegnimento che avviene per separazione meccanica dell'aria dal combustibile, con sottrazione di calore da parte dell'acqua che evapora. Inoltre la schiuma non deve contenere sostanze corrosive o ad alta tossicità, deve

essere il più possibile omogenea e stabile alle alte temperature. Infine, la schiuma estinguente deve essere dotata di una certa “elasticità” ossia deve essere in grado di dilagare ed espandersi il più rapidamente possibile su piani sia verticali sia orizzontali.

Tali estintori sono indicati per incendi di classe B e A, controindicati per le classi E e C.



Figura 57 Estintore a schiuma

5.1.5.4 Estintori ad anidride carbonica

Gli estintori a CO_2 sono costituiti da bombole contenenti anidride carbonica liquefatta. Alla temperatura di 20°C , la CO_2 ha una tensione di vapore di circa 58 kg/cm^2 e si trova in prossimità del punto critico del suo diagramma di stato. Per temperature maggiori, la pressione cresce molto rapidamente, per cui si rende opportuno evitare - per motivi di sicurezza - un eccessivo riscaldamento delle bombole contenenti CO_2 . Per ovviare, almeno in parte, a tale inconveniente, si riduce la carica di CO_2 nelle bombole, limitando così l'aumento di pressione provocato dalla temperatura.

Il funzionamento degli estintori in esame è semplice e richiede solamente l'apertura di una valvola con direzione verso la base della fiamma del getto fuoriuscente da un cono erogatore. L'azione estinguente della CO_2 avviene non solo per soffocamento, ma anche per raffreddamento. Infatti, per la forte espansione adiabatica, la CO_2 che fuoriesce si trasforma parzialmente in ghiaccio secco. L'estintore di cui ci occupiamo è relativamente costoso, ma non lascia alcun deposito e non corrode: è quindi particolarmente indicato per interventi su macchinari delicati. L'alto potere dielettrico della CO_2 , ne rende possibile l'impiego su apparecchiature elettriche sotto tensione. Essa, inoltre, è adatta per incendi di classe B.

Una riserva su questi estintori proviene dal fatto che il potere estinguente è legato alle condizioni di ventilazione ed è relativamente scarso all'aperto. Inoltre, in certi casi, il brusco raffreddamento prodotto può risultare dannoso.



Figura 58 Estintore ad anidride carbonica

5.1.6 Segnalazione degli incendi

La tempestiva segnalazione di un principio di incendio è importante sia per consentire la pronta evacuazione in condizioni di sicurezza sia per anticipare l'intervento e limitare i danni.

A tale fine, sono stati messi a punto numerosi sistemi di rivelazione di incendi che si basano sulle alterazioni fisiche e chimiche che un incendio provoca nell'ambiente in cui si sviluppa. La scelta del tipo più adatto è funzione della tipologia di incendio attesa ed in genere è normata.

In commercio sono reperibili diversi modelli di rilevatore che si dividono principalmente in tre grandi tipologie:

- Rilevatori di temperatura e di calore
- Rilevatori di fiamma.
- Rilevatori di fumo.



Figura 59 Rilevatori di fumo

5.1.6.1 Rilevatori di fumo a camera di ionizzazione

Basano il loro funzionamento sulla variazione del campo elettrico dovuto alla presenza di ioni (particelle dotate di carica elettrica) originati dalla combustione.

Questo tipo di rilevatori è molto sensibile alle combustioni che originano un rapido sviluppo di fiamma mentre lo è meno per incendi che producono fiamme poco evidenti (es. alcol o altri liquidi infiammabili).

Possono provocare falsi allarmi in presenza di fumi (come il gas di scarico di motori Diesel e il fumo di sigaretta) o di processi produttivi a caldo. Pertanto, è buona norma preferirli e adottarli prevalentemente per zone chiuse, dove non possa esservi fumo di sigaretta e non vi siano apparecchi e dispositivi meccanici che sviluppino forte calore, per non impedire ai sensori antincendio di operare correttamente in caso di emergenza. È inoltre opportuno non installarli in aree dove siano presenti correnti d'aria o in ambienti soggetti a frequenti ricambi d'aria.

5.1.6.2 Rilevatori ottici

Collegato (sempre più spesso) a una centralina dedicata, questo dispositivo è in grado di effettuare un'analisi ottica della luce, cioè di registrare una diminuzione dell'intensità di un fascio di luce (raggi visibili o infrarossi proiettati da un led) dovuta alla presenza di fumo.

L'installazione è particolarmente indicata per grandi ambienti, soprattutto in presenza di soffitti molto alti, essendo di elevate coperture (fino a 1600 m²); tuttavia è consigliabile disporre di più unità, in maniera tale che la distanza tra 2 fasci successivi non superi i 12 metri.

Per questo tipo di rilevatori i falsi allarmi sono dovuti al fatto che percepiscono la diminuzione dell'intensità, sia che essa sia dovuta al fumo che al passaggio di uccelli, o ancora in seguito al posizionamento di scale o ponteggi per interventi di manutenzione. Inoltre, in caso di sviluppo improvviso di fumo molto denso, il rilevatore può inibire la sua funzione perché percepisce l'interruzione completa del passaggio di luce come un guasto elettrico – dando in questo caso un segnale di avaria anziché di allarme.

Pertanto, è meglio installare dei rilevatori di fumo ottici di questo genere solo in coppia con rilevatori accessori (possibilmente di altro genere), che possano fornire una protezione più accurata e non soffrano dei medesimi difetti.

5.1.6.3 Rilevatori di Fiamma

Percepiscono la radiazione elettromagnetica (luce UV o IR) emessa in seguito allo sviluppo di un incendio, dando l'allarme nel caso in cui arrivi al sensore un aumento consistente di luce.

Il loro impiego è consigliato per la sorveglianza in spazi aperti recintati quali depositi, impianti di erogazione di carburanti o altri liquidi infiammabili o per la sorveglianza di macchinari dove circolano liquidi infiammabili. È preferibile impiegare sensori a raggi IR (radiazione che attraversa molto bene il fumo) rispetto a sensori a raggi UV che risultano maggiormente soggetti a generare allarmi.

Dal momento che la luce non è veicolata solo dal fuoco ma anche da moltissime altre fonti che possono essere altrettanto improvvise, è possibile che la rilevazione dell'incendio da parte di questo genere di sistema possa dare, in alcune circostanze, dei falsi positivi. Una buona taratura e l'installazione solo nei luoghi consigliati possono facilmente ovviare al problema.

5.1.6.4 Sensori di Calore

Alimentati a batteria, funzionano registrando la temperatura ambiente e attivando l'allarme quando questa supera il limite prestabilito (a massima).

Quelli di nuova generazione, del tipo differenziale, sono sensibili all'innalzamento improvviso della temperatura ambiente, a differenza dei precedenti.

Nonostante siano apparecchiature molto robuste, non sono considerate molto sensibili e le loro prestazioni dipendono dal luogo in cui vengono collocate. Un rilevatore "a massima" originerà un falso allarme se esposto alla luce diretta del sole mentre quello "differenziale" potrà dare un falso allarme se esposto a flussi improvvisi e di grande entità di aria condizionata.

5.1.6.5 Sistemi a Telecamera

A differenza dei convenzionali dispositivi di rilevazione, il loro funzionamento dipende dall'impiego di un software di "analisi del movimento" in grado di distinguere il movimento del fumo che si sviluppa e quello di macchine o persone.

Questi rilevatori sono particolarmente adatti a tutte le situazioni in cui è prevista l'installazione di telecamere di sorveglianza: tunnel stradali, centri commerciali, banche, aeroporti ecc.

Si tratta di sistemi particolarmente moderni, che sfruttano non un sistema hardware di rilevamento, ma una vera e propria forma di intelligenza artificiale. Sono inoltre molto comodi in quanto spesso non necessitano di apparecchiature ulteriori rispetto a quelle eventualmente già installate ai fini della sorveglianza.

5.2 Impianti a idranti

Per fabbricati molto piccoli e attività poco impegnative (ambulatori isolati, attività turistico alberghiere con poche decine di posti letto, ecc.) che non abbisognino di grandi quantitativi di acqua industriale e nei quali i pericoli di incendio siano limitati, si può realizzare una sola rete dell'acqua (quella potabile), che provvede anche alle esigenze industriali e antincendio. La Figura 60 si riferisce appunto ad una piccola officina nella quale la condotta dell'acqua potabile (alimentata da un pozzo trivellato) serve anche per le limitate utenze industriali e per l'eventuale alimentazione dei due idranti antincendio installati all'interno.

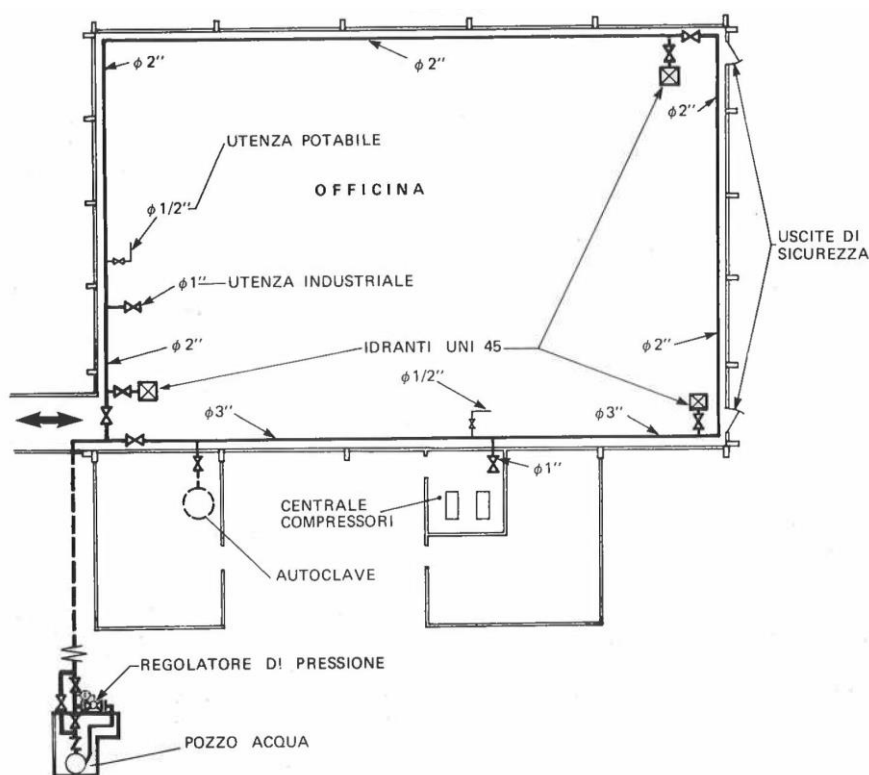


Figura 60 Rete unica per la distribuzione dell'acqua alle utenze industriali, potabili e antincendio.

In genere, però, è necessario costruire reti dell'acqua separate secondo i diversi impieghi (potabile, industriale, antincendio). Infatti, se è vero che l'impianto di una rete di acqua antincendio rappresenta una spesa non indifferente, non c'è dubbio che tale spesa può risultare ampiamente giustificata in caso di incendio.

Esaminiamo allora le caratteristiche essenziali di un impianto antincendio ad acqua del tipo a idranti.

5.2.1 Fonti di alimentazione

L'acqua di alimentazione dell'impianto può provenire da pozzi, canali, fiumi, acquedotti pubblici, ecc.

Se la fonte di alimentazione è l'*acquedotto pubblico*, qualora questo sia in grado di assicurare la pressione minima richiesta in qualunque ora della giornata, sarà possibile evitare la realizzazione di una

vasca di accumulo che costituisca una riserva idrica in grado di garantire l'alimentazione della rete in caso di indisponibilità della fonte di alimentazione primaria.

In tal caso l'allacciamento è privo di contatore (Figura 61) e la rete antincendio è alimentata per mezzo di un saracinesca chiusa e piombata che si deve aprire solo in caso di incendio.

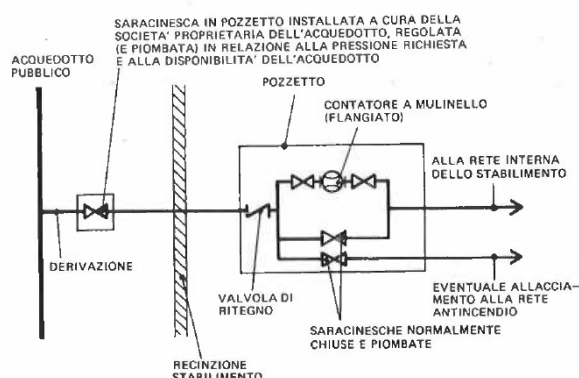


Figura 61 Allacciamento all'acquedotto pubblico

In tutti i casi nei quali la fonte di alimentazione primaria non offra sufficiente garanzia di continuità¹ è necessario prevedere una vasca antincendio di adeguata² capacità di accumulo.

In ambito ospedaliero la soluzione più adottata è quella della *vasca d'accumulo interrata*, che può essere *dedicata* al solo servizio antincendio oppure di tipo *promiscuo*, in grado cioè di alimentare anche la rete di acqua potabile del nosocomio (Figura 43Figura 43), già presentata nei capitoli precedenti.

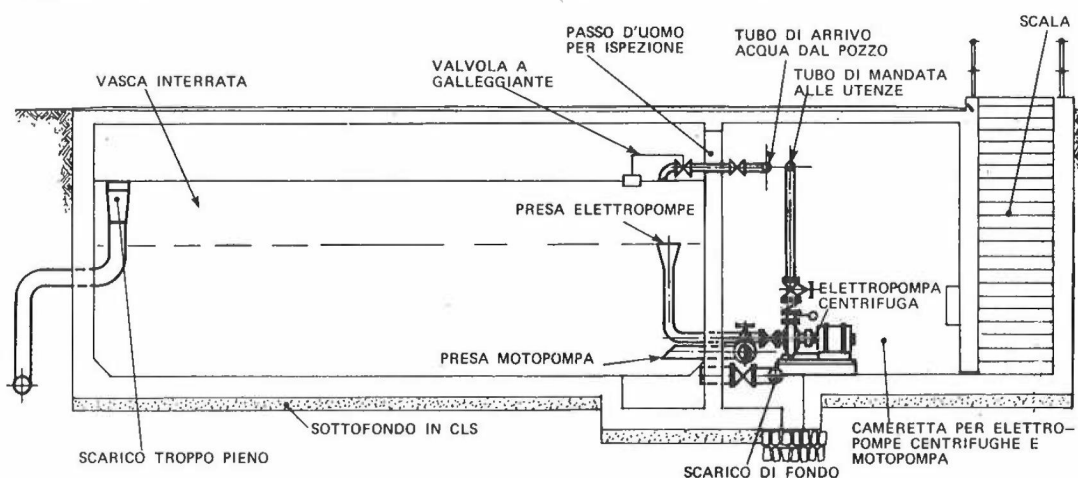


Figura 62 Vasca interrata per l'accumulo di acqua

Le pompe di alimentazione delle reti che fanno capo alla vasca antincendio sono ospitate in apposita camera interrata, per poter operare sotto battente, circostanza che garantisce in ogni caso il pronto innesco della pompa e previene inopportuni fenomeni di cavitazione.

Le pompe destinate al servizio antincendio, del tipo centrifugo, sono almeno due, ciascuna delle quali è in grado di provvedere autonomamente alle esigenze dell'intera rete (ridondanza del 100%). Anche per l'alimentazione delle pompe si ricercano soluzioni di assoluta affidabilità tramite la differenziazione delle fonti di alimentazione. Tra le soluzioni più frequentemente adottate si ricordano le seguenti:

¹ Ricordiamo che in condizioni di siccità sia le acque superficiali che quelle sotterranee possono prosciugarsi, come sempre più spesso avviene.

² La capacità di accumulo viene in genere determinata assumendo che, in caso di incendio, possa essere alimentata almeno la metà degli idranti complessivamente installati per un periodo di tempo non inferiore ad 1 ora.

- Una delle pompe trascinata da un motore elettrico allacciato a linea privilegiata e l'altra equipaggiata con motore endotermico (in genere diesel - Figura 63);
- Entrambe le pompe equipaggiate con motore elettrico, entrambi alimentabili tramite linea privilegiata e gruppo elettrogeno di emergenza.

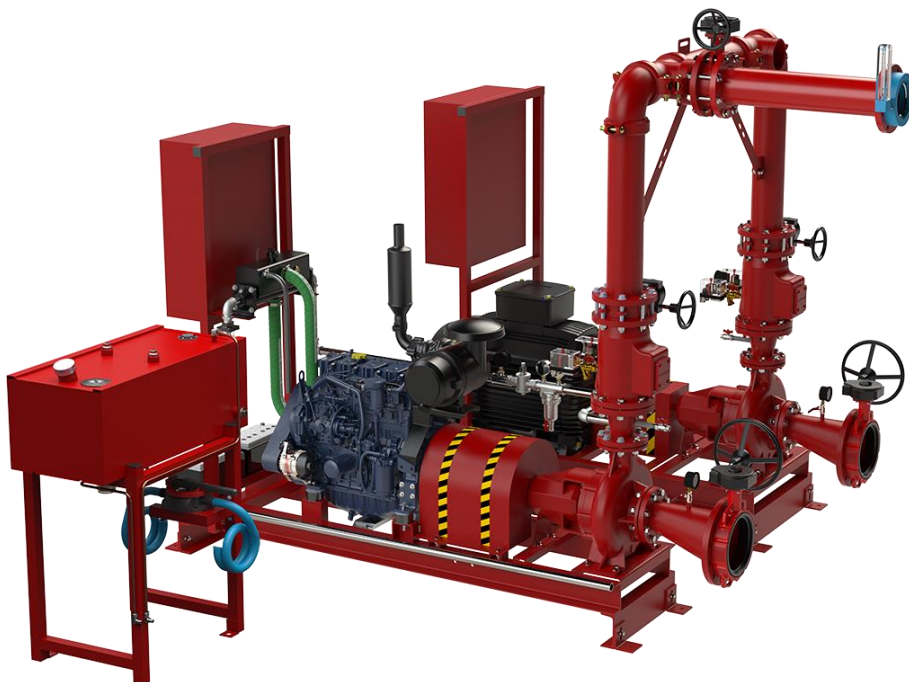


Figura 63 Gruppo di pressurizzazione antincendio con motopompa ed elettropompa.

5.2.2 Tipo di rete

La rete antincendio, sempre del tipo a *maglie*, si sviluppa sia all'esterno che all'interno dei fabbricati del comprensorio ospedaliero.

L'anello esterno è costituito da una tubazione interrata (realizzata con tubo in acciaio adeguatamente trattato contro la corrosione o polietilene ad alta densità) installata ad una distanza di 10 ÷ 20 m dal fabbricato.

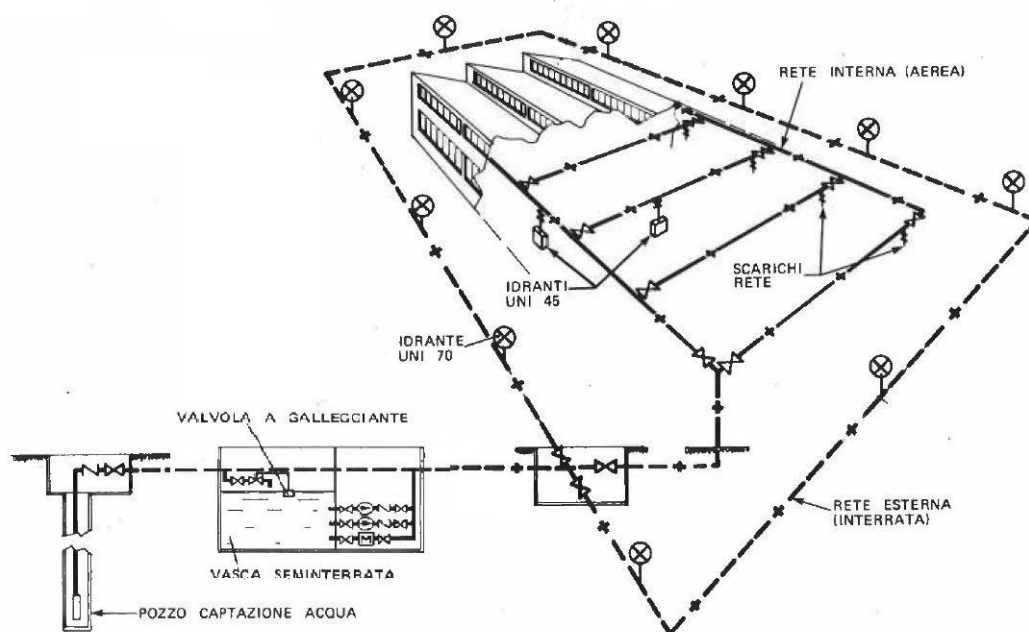


Figura 64 Schema delle reti dell'acqua antincendio e industriale alimentate da una vasca seminterrata

A tale tubazione vengono allacciati di norma idranti del tipo raffigurato in Figura 65 denominato UNI 70, distanziati in relazione al loro raggio di azione utile che dipende dalla lunghezza del tubo flessibile (normalmente $15 \div 20$ m), dalla pressione dell'acqua e dal diametro del bocchello della lancia (Tabella 13).

In pratica, gli idranti UNI 70 non dovrebbero essere distanziati fra di loro più di $50 \div 60$ m. È consigliabile inoltre prevedere un idrante in corrispondenza di ogni ingresso nel fabbricato, in modo che risulti agevole accedere con le tubazioni flessibili.

Sovente, nei punti più pericolosi o strategici, anziché idranti UNI 70, si installano "superidranti" caratterizzati da più attacchi UNI 70 e UNI 100 (o UNI 125): la distinzione fra i tipi di superidranti disponibili sul mercato è basata sul diametro dell'attacco alla tubazione dell'acqua antincendio (ad esempio, DN 125) e sul numero di attacchi unificati (Figura 66).

È consigliabile interporre fra gli idranti e la condotta di alimentazione una saracinesca, che consenta di eseguire eventuali riparazioni sull'idrante senza dover vuotare l'intera rete.

5.2.3 Tipi di idranti

Come si è detto, la Figura 65 rappresenta un idrante UNI 70: sul tronchetto di collegamento è installato il corpo dell'idrante, dotato di una colonnina (smontabile) per l'attacco del tubo flessibile e della lancia. L'idrante è alloggiato in una cameretta, munita, sul fondo, di pozzetto perdente e protetta da un chiusino metallico.

La Figura 66 mostra invece un superidrante con diametro di attacco DN 125: come si può rilevare, la colonna dell'idrante fuoriesce sopra il livello del suolo. Al tronchetto, installato sul collettore interrato, è fissato il corpo dell'idrante; questo presenta dapprima una bocca UNI 125 e una UNI 100 in posizioni simmetriche e, più sopra, quattro bocche di attacco UNI 70; infine, la testa rotante aziona l'organo di chiusura dell'idrante. A tale idrante è possibile attaccare quattro manichette UNI 70 oppure una o due tubazioni flessibili UNI 125 e/o UNI 100 montate sugli automezzi dei Vigili del Fuoco oppure una tubazione flessibile UNI 100 per alimentare una motopompa carrellata.

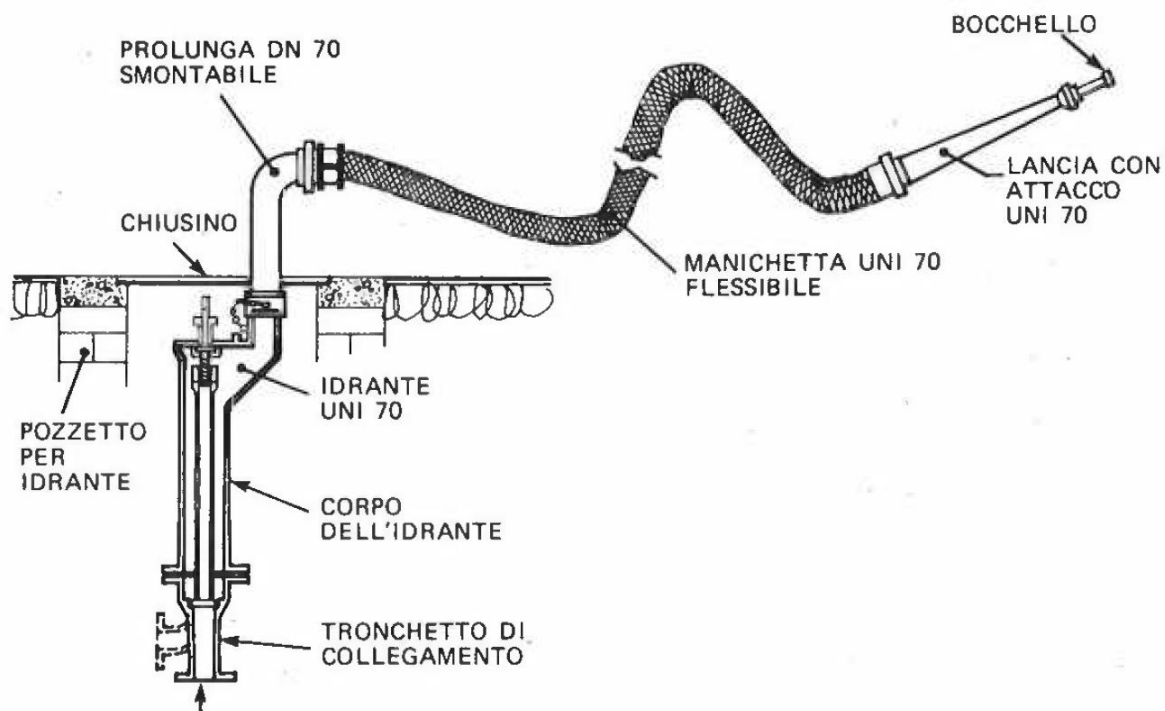


Figura 65 Idrante UNI 70

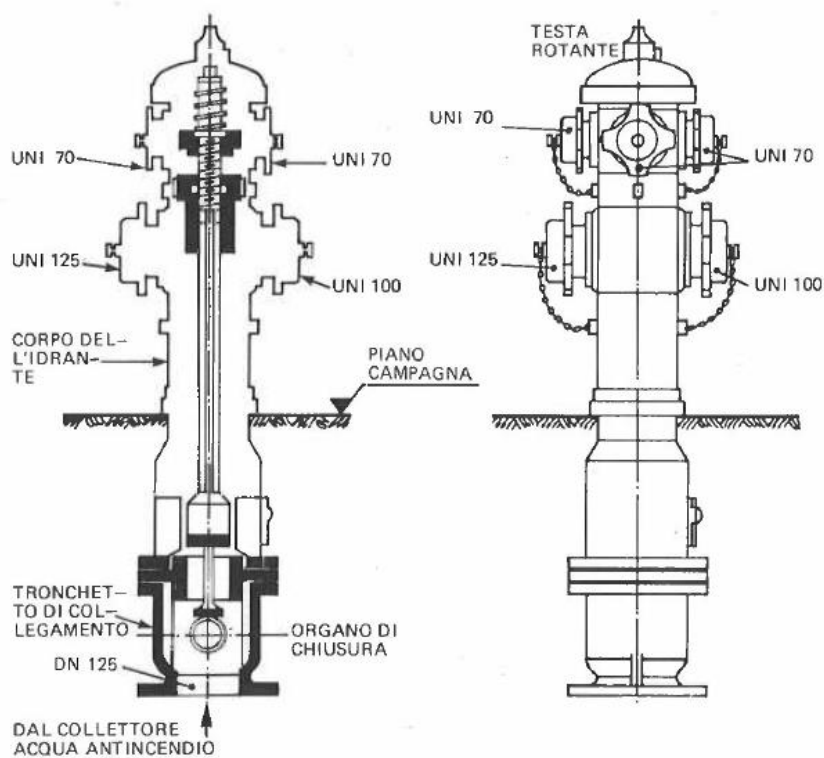


Figura 66 Superidrante UNI 125, con 4 bocche UNI 70, 1 UNI 100 e 1 UNI 125

Tabella 13 Dati caratteristici degli idranti

Lunghezza del getto (in m) di bocchelli per lance idriche in funzione del diametro e della pressione.

kg/ cm ² *	Diametro dei bocchelli (mm)					
	UNI 45			UNI 70		
	10	12	14	16	18	20
3	22	23	24	26	27	28
4	24	25	26	28	29	31
5	26	27	28	30	32	34
6	28	29	30	32	34	37
7	30	32	33	35	37	40
8	31	33	34	38	40	43
9	30	34	35	40	42	45
10	30	34	36	41	43	47
11	29	33	35	42	44	48
12	28	33	35	42	45	49

* Pressione al bocchello delle lance.

Altezza del getto (in m) di bocchelli per lance idriche in funzione del diametro e della pressione.

kg/ cm ² *	Diametro dei bocchelli (mm)					
	UNI 45			UNI 70		
	10	12	14	16	18	20
3	16	17	18	19	20	21
4	18	19	20	21	22	23
5	19	20	21	22	24	26
6	21	22	23	24	26	28
7	22	23	24	26	28	30
8	23	24	25	28	30	32
9	22	25	26	30	31	34
10	22	25	27	30	32	35
11	21	24	26	31	33	36
12	21	24	26	31	34	37

* Pressione al bocchello delle lance.

Portata (in litri al minuto primo) di bocchelli per lance idriche in funzione del diametro e della pressione.

kg/ cm ² *	Diametro dei bocchelli (mm)					
	UNI 45			UNI 70		
	10	12	14	16	18	20
1	66	95	129	169	214	266
2	93	134	183	239	302	373
3	114	165	224	293	370	457
4	132	190	259	338	428	528
5	148	212	289	378	478	590
6	162	233	317	414	524	647
7	175	251	342	447	566	698
8	187	269	366	478	605	747
9	198	285	388	507	641	792
10	209	300	409	534	676	835
11	219	315	429	560	709	875
12	229	329	448	585	741	914

* Pressione al bocchello delle lance.

Gli idranti previsti all'interno del fabbricato sono in genere del tipo UNI 45 a cassetta con manichetta e lancia. L'allacciamento alla rete è effettuato mediante derivazione con tubo e valvola di intercettazione di diametro non inferiore a 50 mm. La sistemazione dell'idrante è quella schematizzata sulla Figura 67: la cassetta, contenente la manichetta e la lancia, viene murata oppure fissata su colonne o pareti, in posizione ben visibile e non ingombrante. Anche per questi idranti la distanza reciproca va scelta in relazione alla lunghezza del tubo flessibile, alla pressione dell'acqua ed al diametro del bocchello della lancia: in ogni caso, non superiore a 30+40 m con tubi flessibili aventi la lunghezza corrente di 15+20 m.

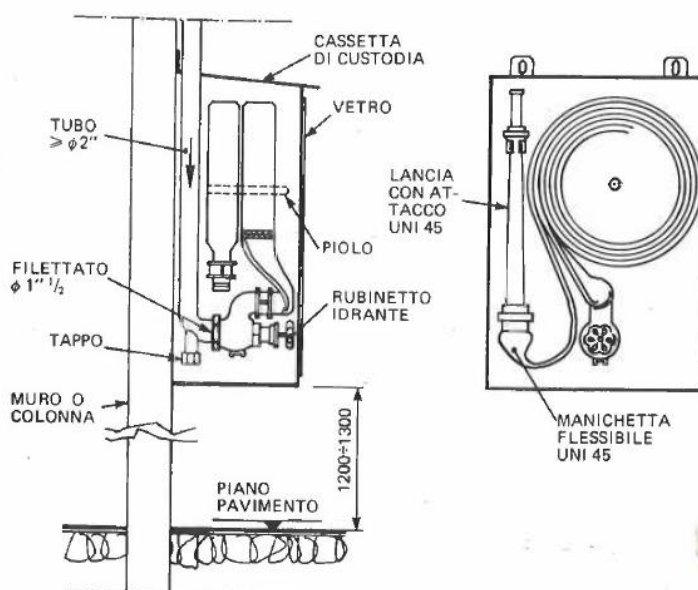


Figura 67 Idrante UNI 45, a muro o a colonna.

Per la progettazione delle reti, i dati di partenza sono ovviamente quelli della portata delle lance antincendio e delle pressioni dell'acqua richieste per assicurare le migliori prestazioni degli idranti. In Tabella 13 si forniscono i valori delle portate teoriche delle lance in funzione della pressione dell'acqua e del diametro dei bocchelli. In genere, si impone una pressione dell'acqua non inferiore a 3÷4 bar all'idrante più lontano. La contemporaneità di funzionamento degli idranti è stabilita di volta in volta (in pratica, la portata minima da considerare non scende mai sotto i 600÷800 l/min alla pressione minima di 3÷4 bar). La velocità dell'acqua nelle tubazioni si assume pari a 2÷3 m/s.

Noti tali elementi, si può risalire al diametro dei tubi e quindi, tenendo conto delle perdite di carico, alla pressione da assegnare all'acqua a monte delle reti: in tal modo, si perviene ad individuare le caratteristiche delle pompe.

L'impiego dell'acqua come mezzo di spegnimento ha trovato un'applicazione ancora più estesa con l'avvento della tecnica dell'acqua frazionata, su cui si basano gli impianti di seguito descritti.

Questi, infatti, realizzano una suddivisione dell'acqua più o meno spinta, a seconda del tipo di ugello adottato, per cui risultano esaltati gli effetti di raffreddamento e di soffocamento (l'aumento di superficie attiva l'assorbimento di calore, mentre la rapida trasformazione delle particelle di acqua in vapore determina una vera e propria azione di soffocamento). Quindi, all'elevato calore di vaporizzazione dell'acqua (1 kg di acqua assorbe, trasformandosi in vapore a 100 °C e alla pressione di 1 ata, circa 540 kcal), si aggiunge l'azione di soffocamento del vapore generato, dovuto al fatto che questo occupa un volume circa 1700 volte più grande di quello della fase liquida.

5.3 Impianti a pioggia

Tale tipo di installazione, noto anche come impianto a sprinkler, è caratterizzata dall'impiego di ugelli erogatori o "teste" (sprinkler) tenuti chiusi da una piastrina di lega metallica fusibile a una temperatura prefissata oppure da un bulbo o ampolla di quarzo contenente un liquido con elevata tensione di vapore, il quale, a temperatura prestabilita, provoca la rottura dell'ampolla (Figura 68).

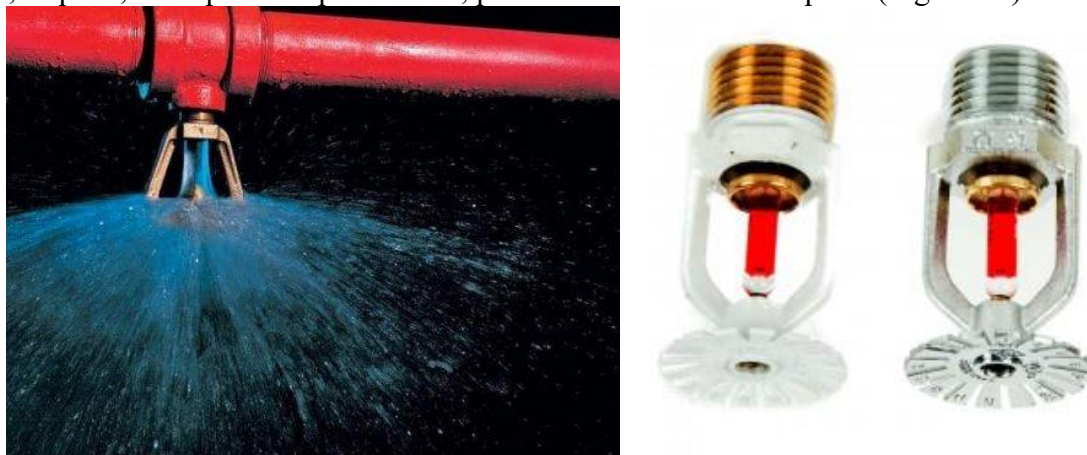


Figura 68 Ugelli erogatori del tipo sprinkler e modalità di installazione sulle tubazioni della rete antincendio

Due sono i tipi fondamentali di impianto:

- "a umido", cioè con tubi sempre pieni di acqua in pressione;
- "a secco", cioè con tubi contenenti aria compressa.

La fig. Figura 69 illustra un impianto antincendio a sprinkler, in parte a umido e in parte a secco. L'impianto a umido è il più comune, specie in locali non soggetti al gelo. Quando la temperatura ambiente raggiunge il valore prefissato, una o più teste si aprono, l'acqua della rete sulla quale esse sono montate inonda l'area sottostante spargendosi, grazie a un apposito frangiflusso o diffusore, secondo un profilo all'incirca conico o "a ombrello". Ogni sprinkler può proteggere una zona di 7÷12 m².

Nell'impianto a secco, le tubazioni sono tenute sotto una pressione d'aria costante. L'apertura degli sprinkler avviene per il calore sviluppato dall'incendio (sprinkler termostatici) oppure per una rapida sopraelevazione della temperatura (sprinkler termodinamici). Quando una o più teste si aprono, l'aria fuoriesce dalla rete e la valvola di controllo installata a monte, non più tenuta chiusa dalla pressione dell'aria, si apre, lasciando via libera all'acqua.

Il vantaggio di avere le tubazioni vuote d'acqua si paga con un ritardo nell'azione di spegnimento rispetto al caso dell'impianto a umido. Questo è il motivo per cui, in genere, si adotta, nel caso degli sprinkler, il tipo di impianto a umido.

Di solito, il deflusso dell'acqua nelle tubazioni aziona un allarme che segnala l'entrata in funzione dell'impianto. Il dimensionamento delle tubazioni non presenta difficoltà, una volta che sia noto il numero

massimo di sprinkler da alimentare contemporaneamente, il tipo di questi e la pressione in rete. Come velocità dell'acqua nei condotti, si assumono di solito valori compresi fra 2 e 3 m/s.

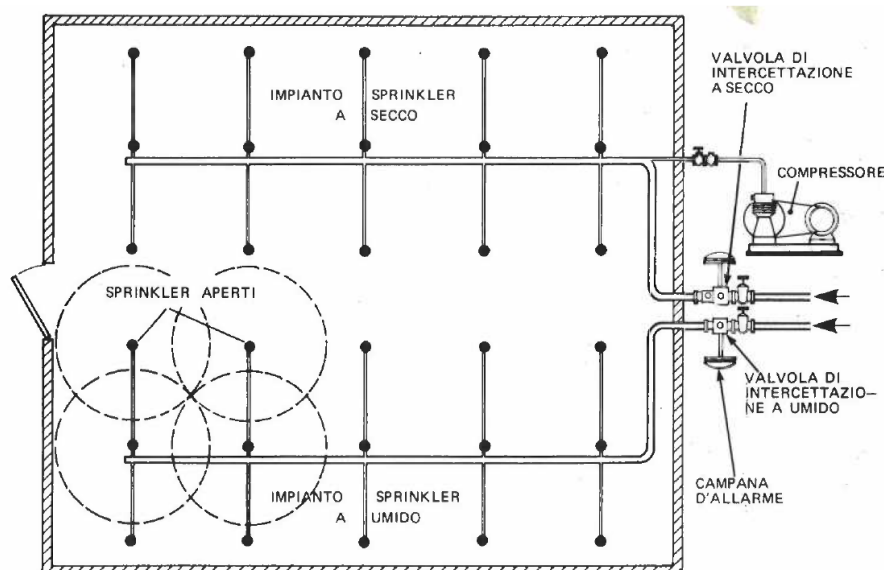


Figura 69 Schema di un impianto antincendio a sprinkler suddiviso in due settori: uno a secco e uno a umido

L'impiego degli impianti a sprinkler offre vantaggi e svantaggi. Molti li giudicano favorevolmente sottolineando la potenza di intervento, la corrispondenza fra area incendiata e area irrorata, la sicurezza dell'allarme (normalmente di tipo idraulico e quindi svincolato da apparecchiature elettriche), il limitato costo di manutenzione. In effetti, il più valido motivo della scelta di tali impianti deriva dagli sconti accordati dalle compagnie assicuratrici a chi li adotta, sconti che possono arrivare fino al 40-50% del premio di assicurazione se il contraente si attiene scrupolosamente, nell'attuazione dell'impianto, alle norme stabilite dalle compagnie stesse.

D'altra parte, prove sperimentali e l'esame delle conseguenze di incendi avvenuti in locali protetti da tali impianti, hanno portato parecchi tecnici ad esprimere scetticismo sulla loro efficacia. Infatti, si è constatato che quando l'elemento sensibile raggiunge la temperatura prefissata, la temperatura dell'aria circostante può essere già molto superiore: ciò è dovuto a particolari condizioni di ventilazione dell'ambiente, in conseguenza delle quali lo sprinkler raggiunge la temperatura di intervento quando l'incendio è ormai in avanzato sviluppo. Inoltre, si possono aprire, quasi contemporaneamente, non uno, ma più sprinkler, e non tutti nell'area strettamente interessata.

Un'altra obiezione che viene mossa agli sprinkler è di essere ad apertura "solo" automatica, per cui è già accaduto che il personale accorso rimanga impotente, mentre l'incendio si sviluppa, in attesa che l'impianto entri in funzione.

Infine, essendo notevole la quantità d'acqua rovesciata su un incendio da un impianto sprinkler, si possono avere allagamenti e danni anche dove l'incendio non è arrivato.

Per contro, gli impianti a sprinkler presentano i seguenti vantaggi: semplicità di installazione, sicurezza di funzionamento, capacità di circoscrivere il sinistro in una zona delimitata e di abbassare notevolmente la temperatura nell'area incendiata con conseguente protezione delle strutture del fabbricato.

5.4 Impianti a nebulizzatori

Tali impianti consistono in una rete di tubazioni portanti speciali ugelli erogatori (Figura 70), sempre aperti, che hanno il compito di suddividere l'acqua in piccolissime gocce e di distribuirle uniformemente in un getto a forma approssimativamente conica o "a ombrello" (Figura 71).

Gli impianti a nebulizzatori sono in genere del tipo a secco e perciò, a impianto non funzionante, la rete di distribuzione è vuota d'acqua; l'alimentazione del liquido avviene solo a seguito dell'apertura di una valvola a comando automatico (attraverso appositi rivelatori) o manuale.



Figura 70 Nebulizzatore in azione

Anche qui l'apertura della valvola provoca l'entrata in funzione di un allarme, quasi sempre di tipo idraulico.

L'area da proteggere è di norma suddivisa in più zone, allo scopo di limitare l'erogazione dell'acqua ai settori che lo richiedono. Sono disponibili nebulizzatori di varie forme, a seconda delle necessità, caratterizzati da portate, pressioni e suddivisioni dell'acqua diverse. In generale, comunque, si può dire che la superficie protetta da un nebulizzatore è all'incirca uguale a quella protetta da uno sprinkler.

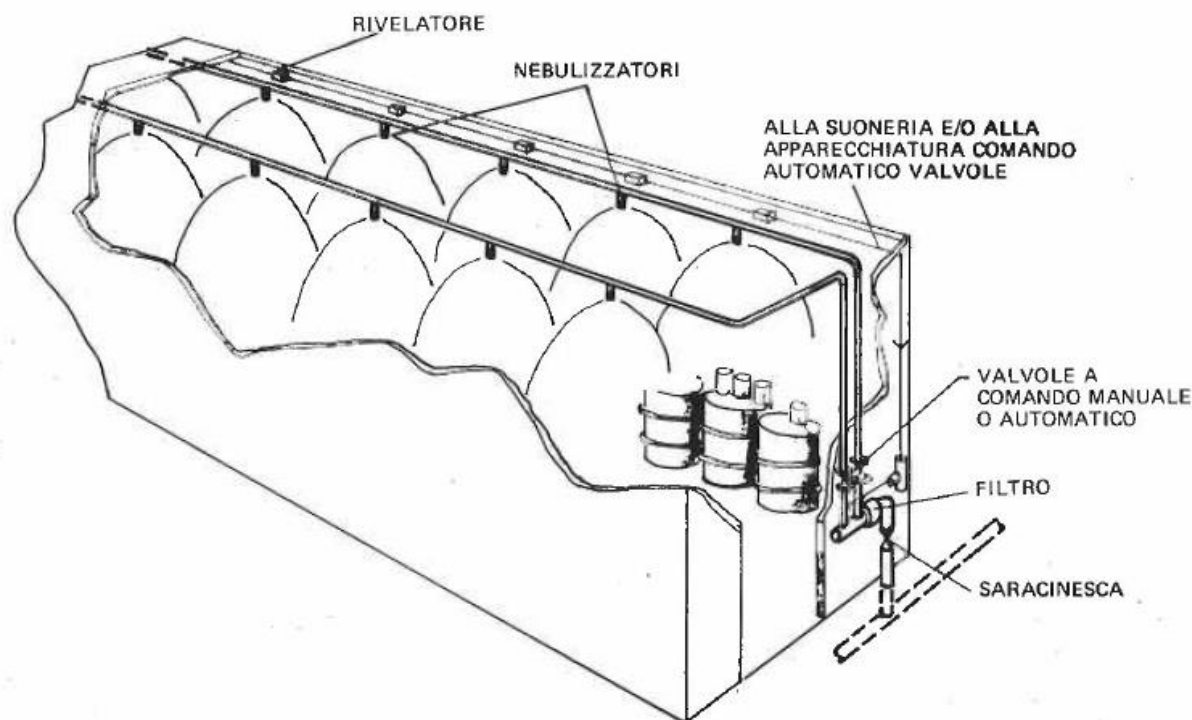


Figura 71 Schema di un impianto antincendio a nebulizzatori suddiviso in due settori, ad intervento manuale e/o automatico.

Il consumo può variare da 20 a 120 l/min, a seconda del diametro, della casa costruttrice e della pressione dell'acqua in rete. Per ogni tipo di nebulizzatore (caratterizzato da forma, grandezza e stato dei fori), la finezza della suddivisione dell'acqua aumenta con la pressione in rete; pressione che non dovrebbe scendere sotto i 3÷4 bar.

Inoltre, per ogni tipo di ugello si può costruire la "rosa" del getto erogato: tale curva peraltro è solo indicativa perché: il getto non è mai nettamente delimitato; usura, tolleranza di lavorazione, intasamenti, condizioni di impiego hanno un'influenza non trascurabile sull'angolo del cono liquido; la sua forma è influenzata dalle correnti d'aria provocate dal getto stesso o dall'incendio.

La Figura 72 riporta il diametro del getto di un ugello nebulizzatore da 1". In base a diagrammi del genere è possibile stabilire la distanza fra i nebulizzatori, facendo in modo che sia assicurata la sovrapposizione dei getti di nebulizzatori vicini.

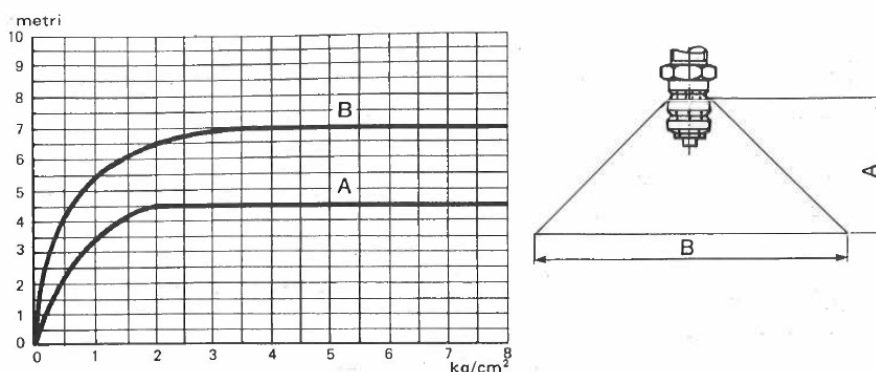


Figura 72 Caratteristiche del getto d'acqua di un nebulizzatore con foro di alimentazione dell'ugello DN 25.

Stabilito il tipo ed il numero di nebulizzatori occorrenti, si può calcolare il diametro delle tubazioni e definire l'intero impianto, adottando velocità dell'acqua di 2÷3 m/s.

Come già per gli sprinkler, anche l'installazione degli ugelli frazionatori deve avvenire ricercando la posizione e l'orientamento che meglio rispondono alle esigenze specifiche. Però, il quantitativo di acqua rovesciata sull'incendio è minore.

Inoltre, l'impianto consente di:

- irrorare parti non ancora lambite dalle fiamme, prevenendone la propagazione;
- diluire con l'acqua finemente suddivisa pericolose masse di gas combustibili che possono accumularsi in zone non ancora raggiunte dall'incendio;
- raffreddare strutture metalliche il cui cedimento potrebbe avere conseguenze disastrose.

5.5 Impianti a CO₂ ad alta pressione.

Consistono in una batteria di bombole contenenti CO₂ allo stato liquido e collegate, mediante una rete di tubazioni e valvole di intercettazione, agli ugelli che erogano CO₂ sotto forma di gas. Il principio di funzionamento è alquanto diverso dagli estintori portatili a CO₂: qui l'impianto agisce prevalentemente per soffocamento, in quanto l'erogazione avviene attraverso speciali ugelli; si rinuncia cioè, almeno in parte, all'effetto di raffreddamento e a quello di "strappamento" della fiamma.

L'impianto si può prefiggere scopi diversi: la saturazione totale del locale, la saturazione localizzata, una scarica lenta. Perché l'azione di soffocamento risulti efficace è necessario che l'ambiente sia completamente chiuso, quindi tutte le aperture debbono potersi chiudere automaticamente, per esempio tramite apparecchiature pneumatiche comandate dal deflusso della CO₂.

L'intervento della CO₂ deve essere segnalato con assoluta sicurezza per permettere al personale di allontanarsi dall'ambiente. È opportuno quindi che la campana di allarme sia azionata dalla stessa CO₂.

Le bombole sono spesso agganciate ad una rastrelliera (Figura 73) montata su un impianto di pesatura automatica che consente di conoscere sempre la quantità di CO₂ disponibile e di rilevare eventuali perdite. Lo schema di Figura 74 illustra un impianto del genere.



Figura 73 Bombe di CO₂ in rastrelliera

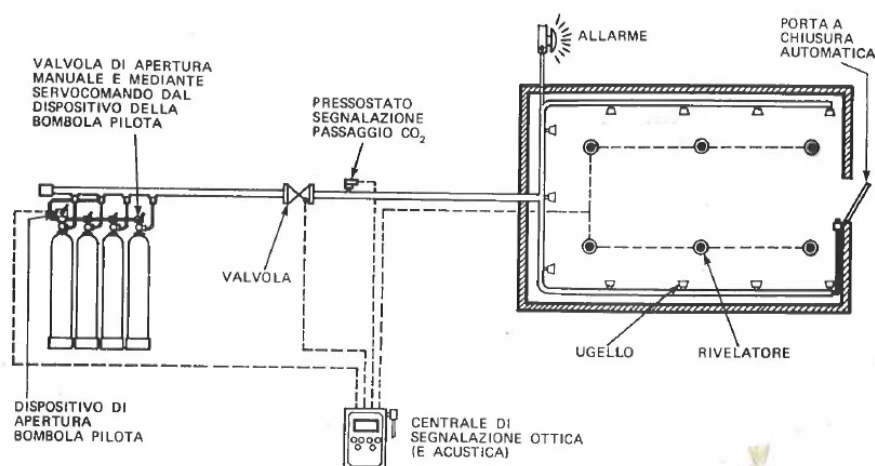


Figura 74 Schema di un impianto antincendio a CO₂

5.6 Impianti a CO₂ a bassa pressione.

La principale differenza rispetto agli impianti ad alta pressione riguarda l'immagazzinamento: non si usano bombole a temperatura ambiente, ma un unico recipiente refrigerato alla pressione di 25 atm e alla temperatura di -12°C montato su una bilancia a stadera.

Il serbatoio è coibentato e provvisto di valvola di sicurezza, manometri a contatti elettrici per il funzionamento automatico del gruppo refrigerante, attacco per il riempimento.

Altre differenze tra gli impianti di CO₂ ad alta e bassa pressione sono le seguenti: il sistema a bassa pressione è più complesso, ma consente interventi multipli (più impianti indipendenti) e prolungati; il sistema ad alta pressione è più adatto per la protezione di locali piccoli e macchinari delicati.

In un impianto di CO₂, il sistema di rivelazione può essere pneumatico, funzionante con gas prelevato direttamente dal serbatoio. Per interventi localizzati e affidati ad un operatore, sono spesso previste manichette di gomma munite all'estremità di dispositivi di erogazione con valvola di intercettazione, derivanti direttamente la CO₂ dalle bombole o dal serbatoio dell'impianto generale.

Il costo degli impianti a CO₂ è relativamente alto, per cui l'applicazione è riservata ai casi di forte pericolo, nei quali è necessario un agente estinguente che non provochi danni.

L'impiego della CO₂ risulta particolarmente adatto per la protezione di apparecchiature elettriche ed elettroniche, depositi e reparti di lavorazione vernici, archivi e biblioteche trafilate e laminati, forni di essiccazione e liquidi infiammabili in genere.

6. Impianti termici

6.1 Premessa

Con la terminologia *impianto termico* si contraddistingue correntemente un *impianto generale* atto ad assicurare, a seconda dei casi:

- il riscaldamento o raffreddamento degli ambienti;
- il calore o il freddo necessario per determinati processi tecnologici;
- l'energia richiesta da motrici termiche (turbine a vapore ad esempio).

Nelle pagine che seguono, con il termine "*calore*" indicheremo sia l'energia fornita all'ambiente od al processo che l'energia sottratta agli stessi.

Un impianto termico è costituito da un insieme di componenti fra i quali emergono per importanza i seguenti (Figura 75):

- il *generatore* (caldaia, forno, riscaldatore elettrico, pannelli solari, recuperatore di calore, impianto frigorifero, reattore nucleare, ecc.): la sua funzione è quella di rendere disponibile l'energia termica nelle condizioni fisiche e tecniche più adatte per l'impiego.
- le *reti di distribuzione*: convogliano il fluido termovettore ("*transfer*") che provvede al trasporto del calore ricevuto nel generatore fino alle utenze. Tali canalizzazioni sono costituite da *tubazioni*, quando convogliano liquidi, vapori, gas a qualsiasi pressione o da *condotti*, di sezione anche non circolare, quando trasportano gas a pressioni da - 200 a + 5000 mm di H₂O. Le caratteristiche costruttive delle reti dipendono dal tipo di "*transfer*", dalla distanza fra il generatore e l'utilizzazione, dall'andamento piano-altimetrico delle stesse;
- l'*utilizzatore*: provvede a cedere l'energia termica occorrente al processo o all'ambiente. Se il transfer opera in circuito aperto, l'utilizzatore deve solo erogarlo correttamente al processo o all'ambiente. Se invece il transfer opera in circuito chiuso, l'apparecchiatura terminale dell'impianto termico è uno scambiatore che assolve contemporaneamente alla doppia funzione di cedere al processo l'energia termica convogliata dal transfer e impedire che esso vi si disperda.



Figura 75 Schema di principio di un impianto termico

Gli scambiatori presentano tipologie e forme diverse (Figura 76, Figura 77, Figura 78 e Figura 79) indotte dalla necessità di adeguarsi alle caratteristiche chimico-fisiche del transfer, nonché alle esigenze del processo.

6.2 Fonti di calore

La scelta del generatore dipende dalla *fonte di calore* disponibile e dal *tipo di fluido* (transfer) utilizzato per convogliare il calore dal generatore stesso alle utenze.

Le fonti di calore attualmente disponibili in ambito ospedaliero sono essenzialmente costituite da:

- energia solare
- calore di recupero da produzione di energia elettrica *in situ* mediante motore endotermico (cogenerazione);
- combustibili gassosi
- combustibili liquidi

L'*energia solare* può essere sfruttata sia per la produzione di acqua calda ad uso igienico sanitario che per la produzione di energia elettrica. In entrambi i casi le superfici richieste per la copertura dei fabbisogni della struttura sono imponenti e non sempre disponibili presso i nosocomi, ragion per cui il ricorso a tale fonte, soprattutto se destinata alla produzione fotovoltaica, non risulta in genere risolutivo.

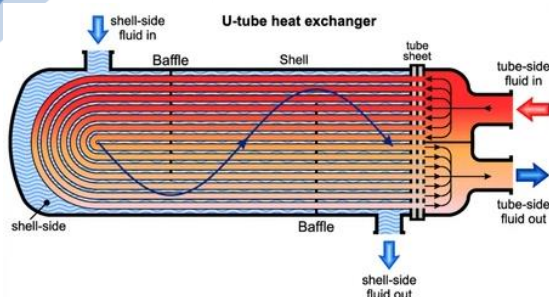


Figura 76 Scambiatore a fascio tubiero

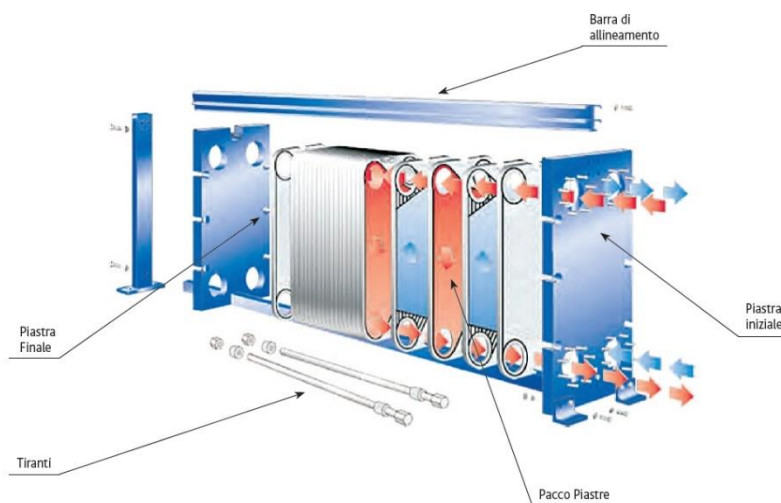


Figura 77 Scambiatore a piastre

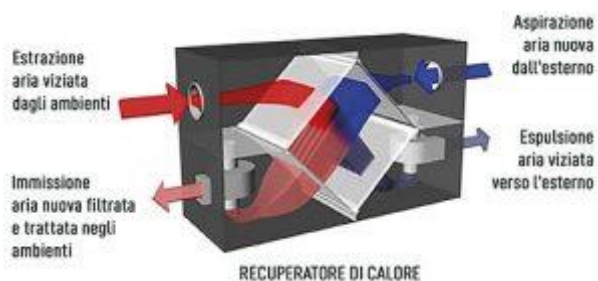
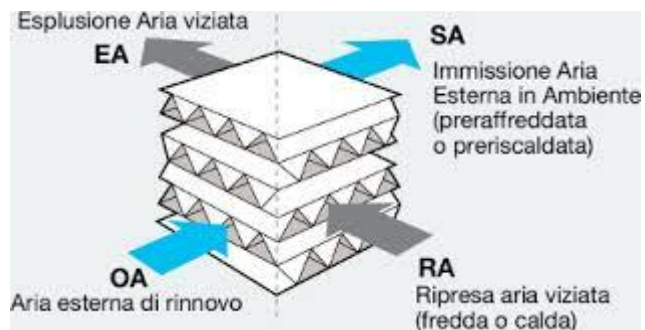


Figura 78 Scambiatore (recuperatore) di calore a flusso incrociato

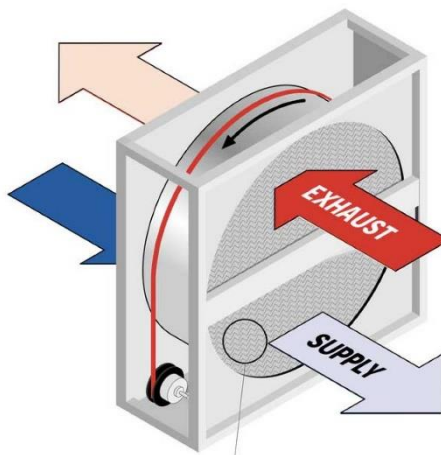


Figura 79 Scambiatore di calore rigenerativo

Il *calore di recupero* nella *cogenerazione* di energia risulta al contrario spesso disponibile, per il diffuso ricorso che a tale pratica si fa nei nosocomi, giustificato dalla concomitanza di ingenti fabbisogni sia termici che elettrici durante tutto l'arco dell'anno. Ciò permette di sfruttare quella parte di energia contenuta nel combustibile primario che altrimenti andrebbe dissipata, come effettivamente avviene nella produzione separata di energia per mezzo di un motore endotermico, dove si è costretti a smaltire il calore di raffreddamento delle camicie dei cilindri e quello contenuto nei gas di scarico.

I *gas metaniferi* sono caratterizzati da fumi privi di polvere e di ossidi di zolfo, sono quindi considerati dei combustibili a minimo inquinamento atmosferico, anche se gli ossidi di azoto che ne derivano sono tendenzialmente più elevati di quelli prodotti dagli oli combustibili.

L'impiego dei gas metaniferi consente inoltre di ottenere elevati rendimenti realizzando il raffreddamento dei fumi sotto la temperatura di rugiada, senza incorrere nelle corrosioni acide dovute agli ossidi di zolfo.

Il combustibile liquido oggi impiegato nelle strutture ospedaliere è il *gasolio per riscaldamento*, essendo stati ormai accantonati sia l'*olio* ATZ (Alto Tenore di Zolfo, cioè con contenuto di zolfo pari al 2,574%) che il BTZ (Basso Tenore di Zolfo, cioè con contenuto di zolfo non superiore all'1 %), per le emissioni acide cui danno luogo in relazione al più o meno elevato contenuto di zolfo che li caratterizza.

Va peraltro rilevato che spesso tale tipo di combustibile viene impiegato per costituire una *scorta strategica* per far fronte a eventuali periodi di indisponibilità della *fonte primaria* (in genere il metano di rete), per la facilità di stoccaggio che lo caratterizza.

Tabella 14 Caratteristiche chimico-fisiche dei principali combustibili

a) Gassosi		pci kcal/Nm ³	pci kcal/Nm ³	densità kg/Nm ³	potere comburivoro Nm ³ /Nm ³	CO ₂ max percentuale
Idrogeno H ₂		3.050	2.570	0,09	2,38	—
Ossido di carbonio CO		3.020	3.020	1,25	2,38	34,7
Metano CH ₄		9.520	8.550	0,717	9,52	11,7
Etanò C ₂ H ₆		16.820	15.370	1,356	16,66	13,2
Propano C ₃ H ₈		24.320	22.350	2,019	23,80	13,8
n-butano C ₄ H ₁₀		32.010	29.510	2,703	30,94	14,1
Acetilene C ₂ H ₂		14.055	13.571	1,171	11,9	17,5
Gas d'altoforno		975	950	1,29		
Propano commerciale		{ 22.800 23.650	{ 21.100 21.750	{ 1,9 1,98		
Butano commerciale		29.100	26.850	2,54		

b) Liquidi	pci kcal/kg	densità kg/dm ³ a 15°C	Viscosità cinematica			Composizione		
			cSt a 20°C	°E a 20°C	°E a 100°C	Percentuale C	Percentuale H ₂	Percentuale S
Benzina auto	10.450	0,73	0,75	—	—	85,5	14,4	0,1
Cherosene	10.400	0,79	1,6	—	—	86,3	13,6	0,1
Gasolio	10.300	0,87	5,0	—	—	86,3	12,7	1,0
Olio fluidissimo	10.000	0,89	50	—	1,26	86,2	12,3	1,5
Olio denso	9.700	0,95	1200	—	—	86,2	11,8	2
Residui di lubrificanti	9.800							

c) Solidi	pci kcal/kg	C	H ₂	O ₂
		Percentuale sul secco e senza ceneri	Percentuale	Percentuale
Torba	3.500	60	6	32
Lignite	5.000	70	8	20
Legno duro	4.400			
Antracite	8.000	94	3	2

6.3 Generatori di calore

Ogni generatore di calore è costituito da due parti essenziali: nella prima viene prodotto il calore, nella seconda il calore è ceduto al transfer (Figura 80); esse sono quindi strutturate e dimensionate rispettivamente in funzione della fonte di calore e del transfer impiegato.

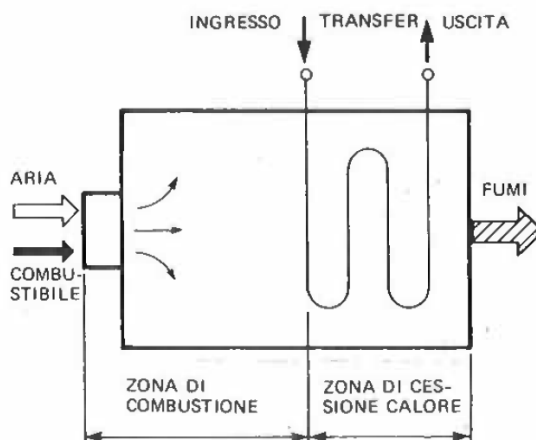


Figura 80 Schema di principio dei generatori di calore.

Con il termine *caldaia*, si intende un generatore di calore che impiega quale *transfer* un liquido vaporizzante. Qualora la caldaia sia del tipo *ad acqua calda*, in essa la vaporizzazione non ha luogo e la massima temperatura del transfer impiegato è inferiore a quella di ebollizione dell'acqua alla pressione atmosferica (100°C).

La caldaia può essere anche del tipo *ad acqua surriscaldata*. In tal caso la massima temperatura del fluido termovettore è essere superiore alla temperatura di ebollizione dell'acqua alla pressione atmosferica, ma in ogni caso l'ebollizione non ha luogo per l'elevata pressione di esercizio con cui viene precaricato il circuito di generatore.

Qualora il fluido termovettore sia effettivamente soggetto a *vaporizzazione*, si parla comunemente di *generatore di vapore*, saturo o surriscaldato a seconda delle condizioni di quest'ultimo.

Di fatto negli ospedali i generatori di calore maggiormente diffusi sono le caldaie ad acqua calda e i generatori di vapore, come nel seguito descritto.

6.3.1 Caldaie ad acqua calda a tubi di fumo

Una caldaia a tubi di fumo (Figura 81) consiste in un recipiente cilindrico ad asse orizzontale, detto *mantello*, al cui interno sono disposti su tre schiere concentriche (*giri*) dei passaggi di sezione circolare (*tubi*) colleganti le due estremità (*calotte*). La configurazione si completa con due coperchi opportunamente conformati per indurre un'inversione di direzione dei flussi gassosi ivi incidenti.

Nel manufatto in esame, si distinguono due distinti flussi, uno gassoso, indotto dai gas di combustione, e l'altro liquido, consistente nel fluido termovettore, che non si mescolano ma che si scambiano calore.

Il flusso dei gas di combustione si sviluppa all'interno dei *tubi di fumo*, originandosi nel primo giro di fumo, costituito da un unico tubo coassiale al generatore, altrimenti noto come *camera di combustione*. Il diametro della camera di combustione è decisamente superiore a quello dei rimanenti tubi in relazione all'altissima temperatura dovuta alla presenza della fiamma (circa 900°C) che dà luogo ad un scambio termico che avviene principalmente per *irraggiamento*, e che richiede un'adeguata superficie di scambio per evitarne il collasso delle pareti e che non può essere ripartita su più tubazioni, essendo unica la fonte radiante (*fiamma*).

I gas escono dalla camera di combustione raffreddati ad una temperatura di circa 500°C, incontrando il coperchio di fondo che imprime loro un'inversione di marcia di 180°, costringendoli entro la seconda schiera di tubi, entro i quali, accanto ad un significativo scambio per irraggiamento, si

manifesta un altrettanto importante scambio per convezione, che li porta, in corrispondenza del coperchio frontale, ad una temperatura di circa 300°.

Qui i fumi subiscono l'ultima inversione di marcia, portandosi nell'ultima e più periferica delle tre schiere, dove il meccanismo di scambio termico predominante è quello per convezione e ove si consegue il raffreddamento finale fino alla temperatura di espulsione di circa 220°C.

In tali condizioni i fumi hanno ancora un apprezzabile contenuto energetico che potrebbe essere ulteriormente sfruttato, ma che ne comporterebbe il raffreddamento al di sotto della *temperatura di rugiada*, ossia al di sotto della temperatura alla quale i fumi condensano, producendo un'acqua (detta di condensa) che, a causa dell'acidità indotta dai prodotti della combustione, risulta estremamente aggressiva e richiede l'impiego di materiali particolarmente resistenti quali l'acciaio inossidabile. Per tale motivo, sovente il recupero termico di tale aliquota energetica avviene esternamente alla caldaia, all'interno di uno scambiatore opzionale interamente realizzato in questo materiale pregiato.

In altri casi ma per taglie fino a 2 MW, relativamente modeste rispetto a quelle usualmente impiegate in ambito ospedaliero, i generatori sono fatti interamente in acciaio inossidabile e prendono il nome di *caldaie a condensazione*.

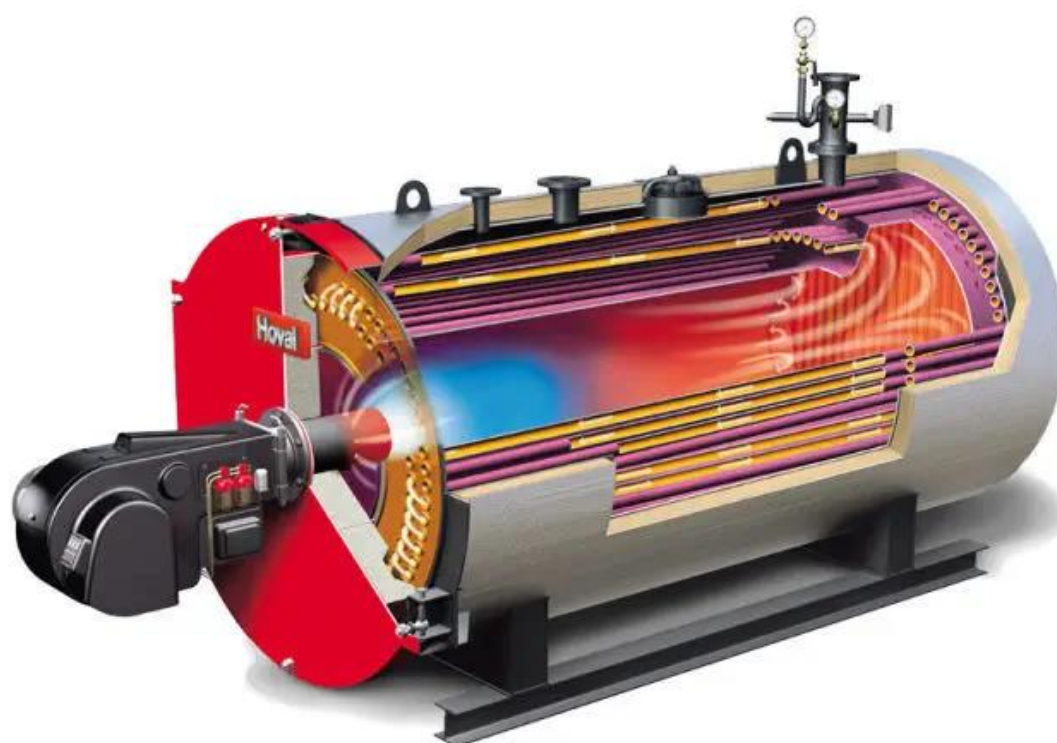


Figura 81 Caldaia ad acqua calda a tre giri di fumo

Per quanto attiene al flusso del fluido termovettore, nella fattispecie costituito da acqua, esso si sviluppa all'interno del volume delimitato dalla superficie interna del mantello, dalla superficie esterna dei tubi di fumo nonché dalle calotte di estremità. In tale volume l'acqua perviene a mezzo di due tubazioni dette rispettivamente di *mandata* (uscita dalla caldaia) e *ritorno* (ingresso in caldaia).

I salti di temperatura che in genere si realizzano sono in genere compresi tra i 15°C e 30°C, le pressioni massime di esercizio contenute entro i 16 bar.

6.3.2 Generatori di vapore saturo a tubi di fumo

Un generatore di vapore a tubi di fumo (Figura 82) consiste in un recipiente cilindrico ad asse orizzontale (Figura 83) al cui interno sono disposti su tre schiere opportunamente disposte (*giri di fumo* - Figura 84) dei passaggi di sezione circolare (*tubi*) colleganti le due estremità (*calotte*). In corrispondenza di ciascuna estremità, la configurazione si completa con dei coperchi opportunamente conformati per indurre un'inversione di direzione dei flussi gassosi ivi incidenti.

Il flusso dei gas di combustione avviene all'interno dei tubi di fumo, analogamente a quanto visto per le caldaie. Esso si origina nella *camera di combustione* dove, in presenza della fiamma indotta dal bruciatore, si registra un'elevata temperatura (circa 900°C) che dà luogo ad un scambio termico che avviene principalmente per *irraggiamento*.

I gas escono quindi dalla camera di combustione raffreddati ad una temperatura di circa 500°C, incontrando il coperchio di fondo che imprime loro un'inversione di marcia di 180°, costringendoli entro la seconda schiera di tubi, entro i quali, accanto ad un significativo scambio per irraggiamento, si manifesta un altrettanto importante scambio per convezione, che li porta, in corrispondenza del coperchio frontale, ad una temperatura di circa 300°.

Qui i fumi subiscono l'ultima inversione di marcia, portandosi nell'ultima e più periferica delle tre schiere, dove il meccanismo di scambio termico predominante è quello per convezione e ove si consegue il raffreddamento finale fino alla temperatura di espulsione di circa 220°C.

In tali condizioni i fumi hanno conservato un apprezzabile contenuto energetico che però non può essere ceduto al fluido termovettore in relazione all'elevata temperatura (circa 160°C) che lo caratterizza. Per tale motivo i fumi cedono l'energia residua all'aria di combustione che viene così preriscaldata, contribuendo a ridurre il consumo di combustibile primario.

Un'altra differenza rispetto alle caldaie riguarda quanto avviene all'interno del mantello, dove l'acqua contenuta si trova in due fasi, liquida e vapore, in equilibrio tra loro.

In particolare la fase liquida riempie la maggior parte del volume disponibile, lasciando che la fase vapore si raccolga in un volume limitato ricavato in corrispondenza della generatrice superiore del cilindro, da dove viene prelevata con continuità per essere inviata alle utenze.

Per evitare il collasso del generatore, è necessario che tutti i tubi di fumo siano sempre immersi nella fase liquida, il cui livello viene costantemente reintegrato per mezzo dell'acqua di condensa proveniente dalle utenze.



Figura 82 Generatore di vapore a tubi di fumo



Figura 83 Generatore di vapore a tubi di fumo: il recipiente cilindrico

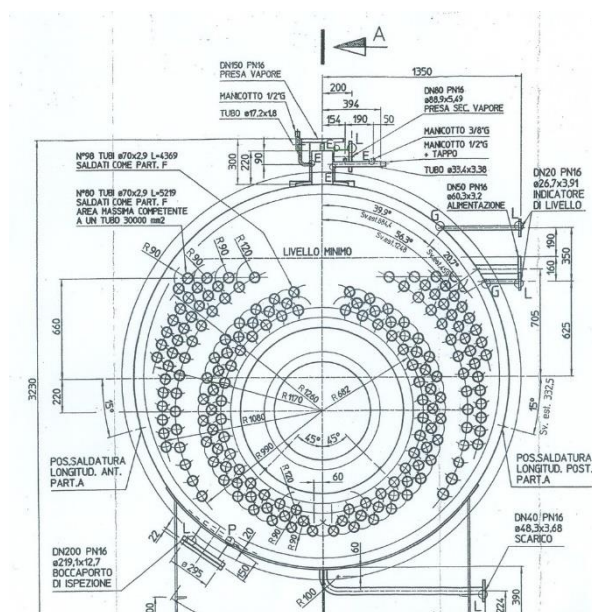


Figura 84 Piastra tubiera anteriore di un generatore di vapore a tubi di fumo

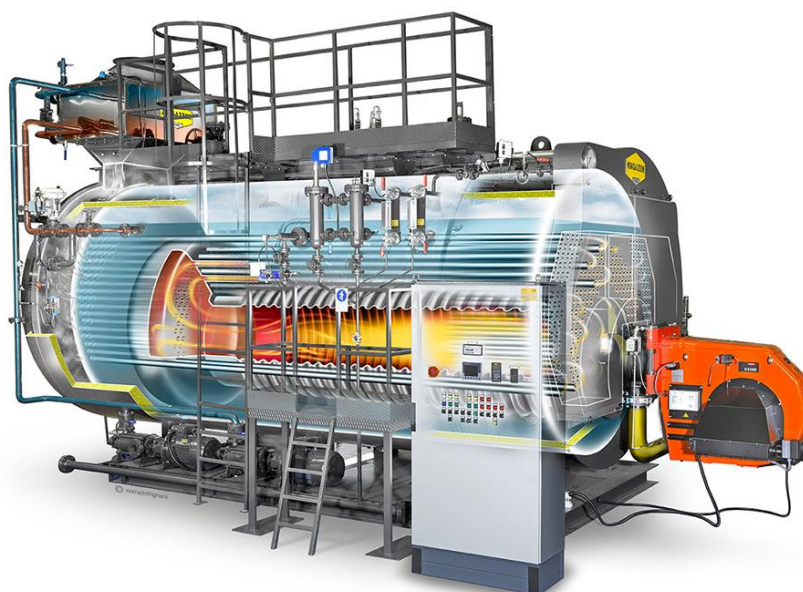


Figura 85 Generatore di vapore saturo a tubi di fumo (esploso)

6.4 Refrigeratori d'acqua (chiller)

I refrigeratori d'acqua (*chiller*) sono dei gruppi frigoriferi che provvedono alla refrigerazione dell'acqua di alimentazione delle utenze di condizionamento, essenzialmente costituite da UTA (Unità Trattamento Aria) e da ventilconvettori, realizzando il trasferimento di calore da una sorgente *fredda* ad una sorgente *calda*, con l'impiego di *lavoro*.

Il ciclo frigorifero (Figura 86) viene fatto tradizionalmente iniziare con la *compressione* che porta il fluido frigorifero allo stato di *vapore* dalla temperatura di inizio compressione (1) alla temperatura (2), che è più elevata rispetto a quella della fonte calda con la quale è quindi in grado di scambiare calore. L'aliquota di calore scambiata, detta *calore di condensazione*, è la responsabile del cambio di stato del fluido, che passa dallo stato di vapore (2) a quello liquido (3). In tale stato il fluido viene fatto passare attraverso un orifizio a geometria variabile, subendo un processo detto di *laminazione*. In seguito a tale processo, il fluido subisce un'improvvisa espansione che ne provoca un repentino abbassamento di temperatura (4), ben al di sotto di quella della sorgente fredda. In seguito a ciò il fluido, allo stato liquido, può evaporare sottraendo calore alla sorgente fredda, riportandosi alle condizioni iniziali (1).

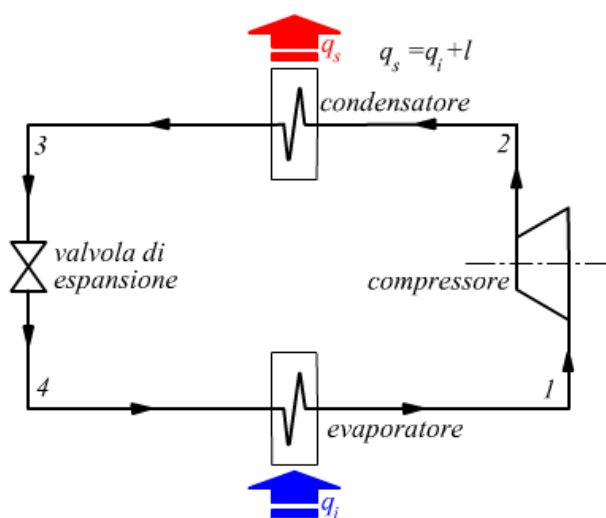


Figura 86 Ciclo frigorifero a compressione

Nei cicli frigoriferi l'efficienza viene espressa tramite il coefficiente di prestazione (*COP* – *Coefficient Of Performance*) che rappresenta il rapporto tra l'effetto utile (calore sottratto alla sorgente – q_i) e il lavoro speso l . Tale rapporto dipende non solo dall'efficienza del compressore ma anche dai valori della temperatura di compressione e di evaporazione, ed è in genere tanto più basso quanto maggiore è la differenza di temperatura tra le due sorgenti.

Una delle varianti del ciclo frigorifero a compressione è costituita dal ciclo *ad assorbimento*, nel quale il compressore elettromeccanico viene sostituito da una fonte di calore ad alta temperatura e da una miscela binaria di fluidi, tipicamente una soluzione di acqua e bromuro di litio ($H_2O-BrLi$), oppure ammoniacale ed acqua (NH_3-H_2O): la prima delle due sostanze della miscela si comporta come fluido refrigerante e la seconda come solvente, in cui il refrigerante è disciolto in concentrazione più o meno elevata, a seconda del punto dell'impianto.

Il processo può spiegarsi con riferimento alla Figura 87, dove si rappresentano due serbatoi collegati da un condotto.

Si assuma che nel serbatoio di sinistra sia presente il liquido *refrigerante* (ammoniaca o acqua) mentre quello di destra sia riempito di fluido assorbente (bromuro di litio). Non appena il condotto di collegamento venga aperto, il refrigerante allo stato di vapore presente nel serbatoio di sinistra tenderebbe a migrare verso quello di destra ove verrebbe *assorbito* passando in soluzione. Tale processo è spontaneo e darebbe luogo sia ad una riduzione della pressione del sistema che ad un abbassamento della temperatura nel serbatoio di sinistra (quello del refrigerante) dovuto all'evaporazione, a seguito del quale esso potrebbe assorbire calore, dando luogo a tutti gli effetti ad una refrigerazione.

Il passaggio del soluto in soluzione provocherebbe tuttavia un progressivo aumento della concentrazione di quest'ultimo e, una volta raggiunte le condizioni di saturazione, sarebbe destinato ad esaurirsi, facendo venire meno anche l'effetto refrigerante desiderato.

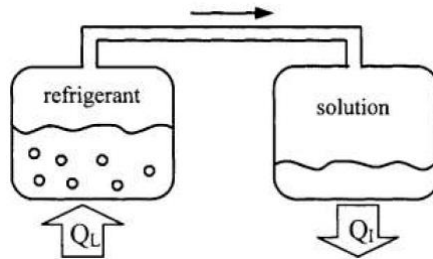


Figura 87 Rappresentazione del fenomeno dell'assorbimento

Il ripristino delle condizioni iniziali richiederebbe l'inversione del processo, ed in particolare la fornitura di calore al serbatoio di destra, a seguito del quale il solvente tenderebbe a liberarsi dalla soluzione (desorbimento) portandosi, per mezzo del condotto di collegamento, in quello di sinistra dove, potrebbe condensare cedendo calore (Figura 88).

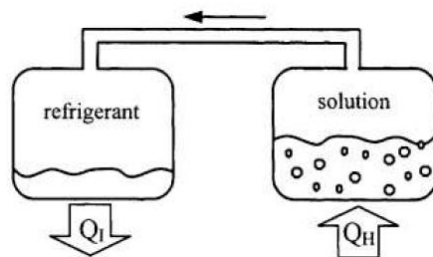


Figura 88 Rappresentazione del fenomeno del desorbimento

Poiché i processi di assorbimento e separazione, per essere efficaci, devono avvenire contemporaneamente, è stato ideato un ciclo che è la combinazione dei due fenomeni e che prende il nome di ciclo di assorbimento (Figura 89).

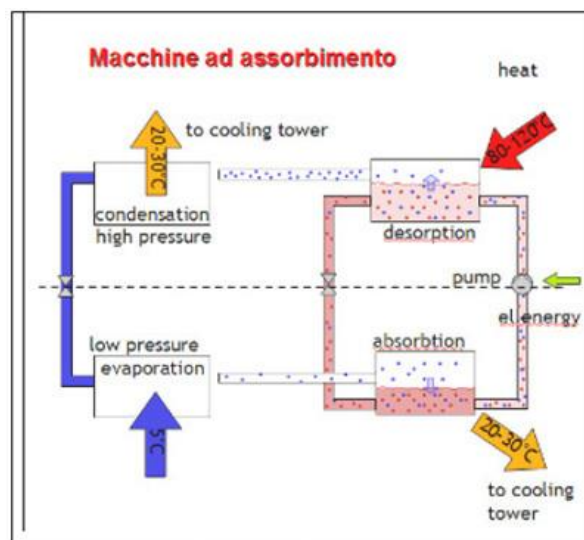


Figura 89 Principio di funzionamento di una macchina frigorifera ad assorbimento

L'effetto frigorifero si basa sull'evaporazione del refrigerante all'interno dell'evaporatore a una pressione molto bassa. Il refrigerante evaporato passa quindi nell'assorbitore, dove ha luogo il passaggio in soluzione (assorbimento), a seguito del quale la concentrazione di miscela tenderebbe ad aumentare fino al raggiungimento delle condizioni di saturazione che, come visto in precedenza, comporterebbe il blocco del fenomeno.

Per stabilizzare la concentrazione di miscela nell'assorbitore, da esso viene continuamente prelevata una portata di miscela concentrata che viene rimpiazzata con una corrispondente portata a bassa concentrazione.

Questa proviene dal *generatore* dove confluisce la miscela concentrata e dove, per mezzo di una fornitura di calore, si ottiene la separazione del refrigerante (*desorbimento*) che, allo stato di vapore ad alta pressione, viene trasferito nel condensatore, dove il ciclo si chiude.

Le varianti al ciclo frigorifero appena presentati sono molteplici e richiederebbero degli approfondimenti ben oltre i limiti propri della trattazione in esame. Vale tuttavia ricordare che lo sviluppo dei gruppi frigoriferi ad assorbimento è legato principalmente alla possibilità di utilizzo di “*cascami termici*” quale il calore generato nella produzione combinata di energia termica e calore (*cogenerazione*) di cui nelle strutture ospedaliere si fa ampio uso (Figura 90).

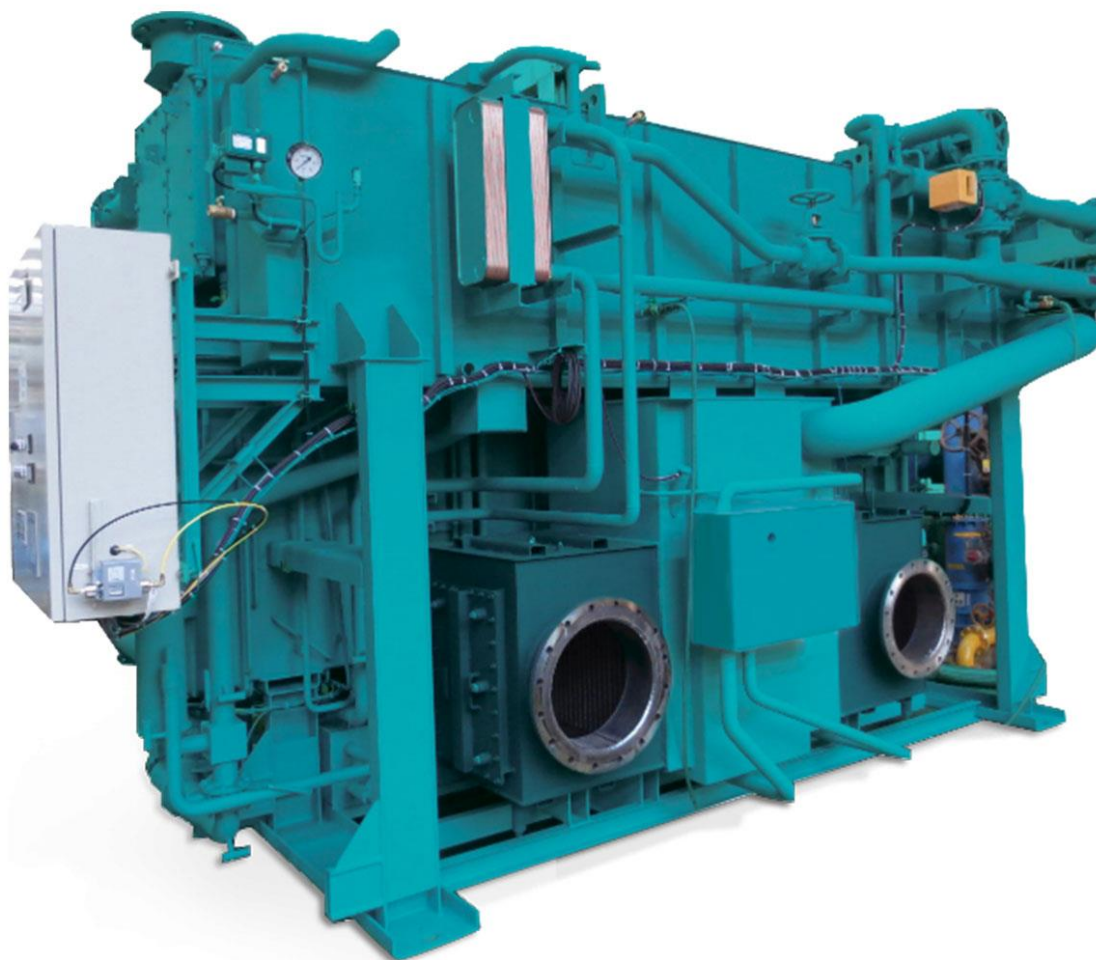


Figura 90 Assorbitore a doppio effetto per recupero di calore dai gas di scarico da 5 MW per applicazioni cogenerative

6.4.1 Chiller a compressione

La Figura 91 si riferisce ad un *chiller* con compressore centrifugo, condensato ad acqua, della potenza frigorifera utile di 5,3 MW. In essa si possono riconoscere i principali elementi che realizzano il ciclo frigorifero in precedenza esaminato.

In primo piano si evidenzia l'evaporatore, facilmente riconoscibile per il colore nero del materiale coibente di cui è rivestito per prevenire i fenomeni di condensa e stillicidio che avrebbero luogo in relazione alle basse temperature che lo caratterizzano (in genere comprese tra i 7°C e i 12 °C). Si tratta sostanzialmente di uno scambiatore a fascio tubiero (Figura 92) al cui interno si incrociano, senza mescolarsi, il flusso di acqua refrigerata (ingresso 12°C, uscita 7°C) e quello del fluido frigorifero (ingresso allo stato liquido e temperatura di circa 2°C, uscita allo stato di vapore alla temperatura di 2°C).

In secondo piano si nota il condensatore a fascio tubiero che non risulta coibentato in quanto ad una temperatura di circa 35°C che non presenta alcun problema di sicurezza. Al condensatore fa capo l'*acqua di torre*, ossia l'acqua proveniente dalle torri evaporative (Figura 94) dove il calore di condensazione sottratto dall'acqua viene ceduto all'atmosfera, realizzando un raffreddamento della portata d'acqua dai 35°C in ingresso ai 30°C in uscita dalla torre.

Non sempre la condensazione avviene per mezzo di acqua di torre ma, soprattutto nei casi più modesti, si ricorre a batterie di scambio alettate (Figura 93). Si realizza così una soluzione più comoda e meno costosa che tuttavia risulta meno efficiente dal punto di vista energetico per le più alte temperature implicate (circa 55°C).

Il compressore, di tipo centrifugo, è posto in alto a sinistra del quadro elettrico. Naturalmente vengono adottati anche altri tipi di compressori, quali quello a vite, ermetico o cilindrico (Figura 95).

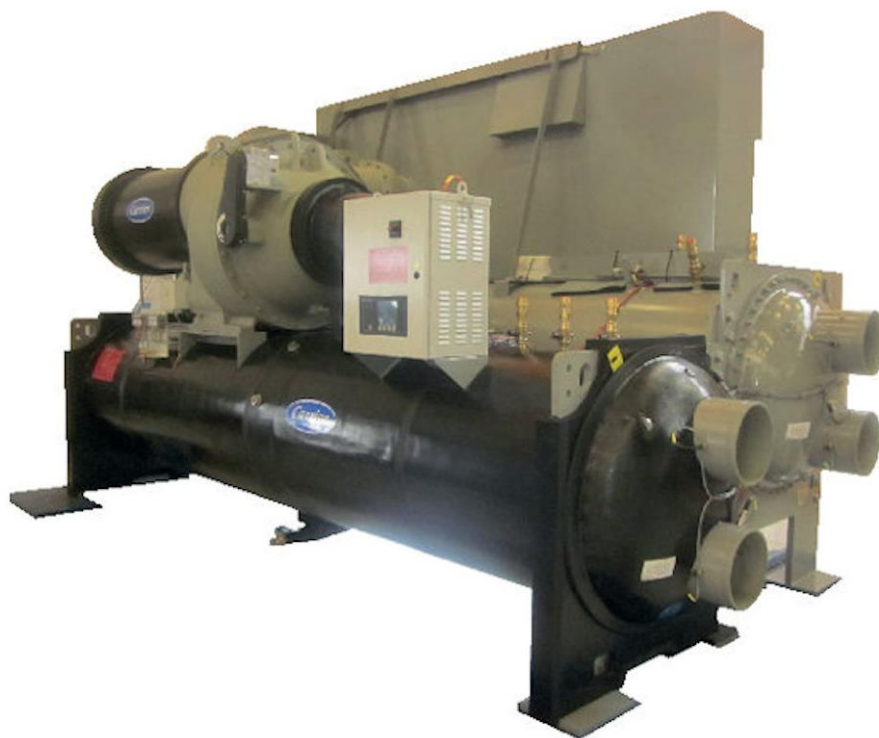


Figura 91 Refrigeratore d'acqua con compressore centrifugo, condensato ad acqua (5,3 MW)

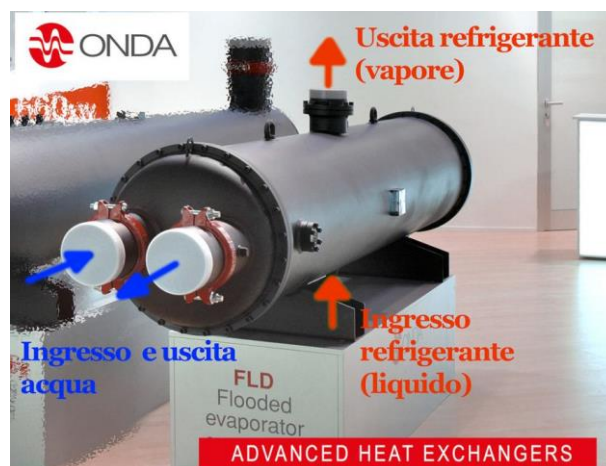


Figura 92 Evaporatore a fascio tubiero

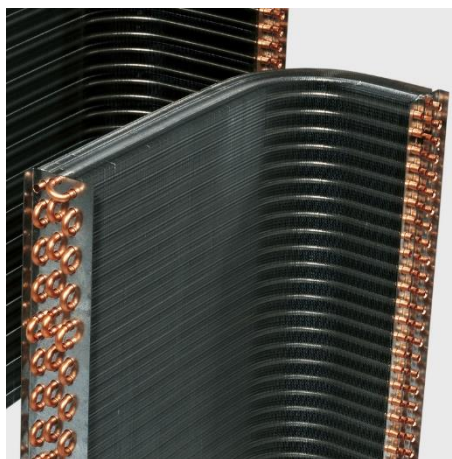


Figura 93 Batteria di scambio termico alettata

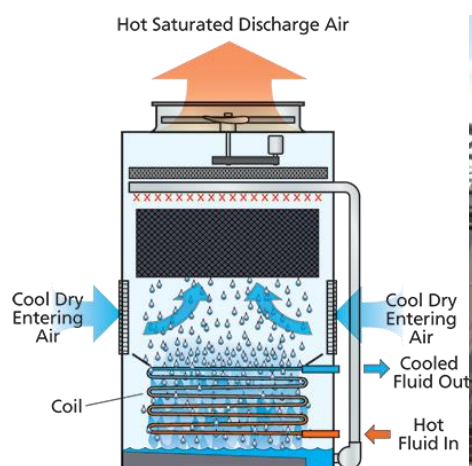


Figura 94 Torri evaporative

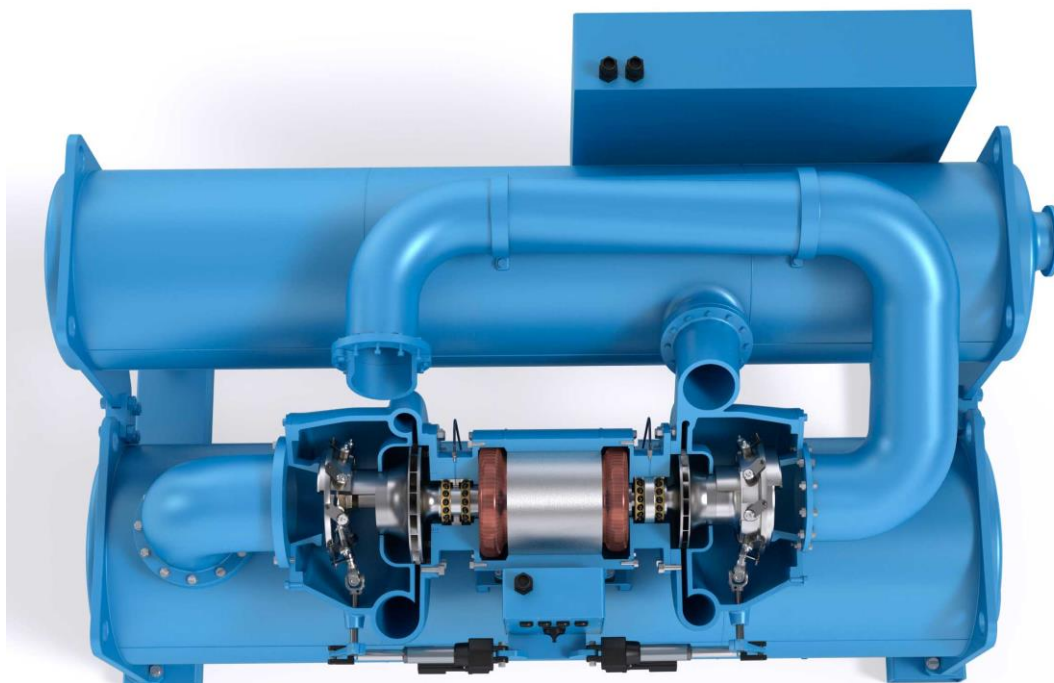


Figura 95 Esploso di un compressore centrifugo bistadio del tipo oil-free

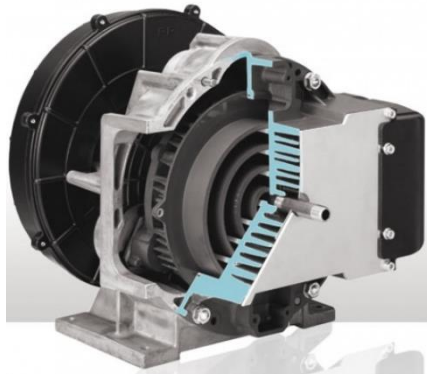
*A vite**Scroll**Alternativo*

Figura 96 Tipologie di compressori adottati nelle macchine frigorifere

7. Reti di distribuzione del calore

7.1 Tipologie di transfer

Con il termine *transfer* si indica un fluido che, attraverso variazioni della sua energia interna specifica dovute a cambiamenti di temperatura e/o di stato fisico, consente di trasportare energia termica dal generatore all'utenza.

Ogni tipo di utenza è caratterizzato da un intervallo di temperature nell'ambito del quale si ottiene il minimo costo gestionale del processo. Tale gamma di valori della temperatura può essere soddisfatta da uno o più transfer: in base all'esperienza, il tecnico sceglie il transfer più adatto, tenendo conto di tutti i fattori in gioco, ivi compresa l'eventuale presenza di più processi che richiedano intervalli di temperatura diversi e che quindi possano essere alimentati "in cascata" con un miglior sfruttamento dell'energia disponibile.

Gli elementi essenziali atti a definire un transfer sono:

- Rendimento di trasmissione elevato: tale rendimento è definito dal rapporto fra il calore ceduto all'utilizzatore ed il calore ricevuto dal generatore (Figura 97); esso non è esclusivamente funzione delle caratteristiche fisiche del transfer ma è in genere influenzato dal ciclo termico adottato e dalle caratteristiche costruttive dell'intero impianto termico;
- Costo totale del transfer, inteso come somma del suo costo iniziale più il costo di mantenimento nelle condizioni necessarie per il corretto impiego;
- Costo del trasporto del calore dal generatore alle utenze, inteso come somma dei costi dell'energia necessaria per la movimentazione del transfer e dell'energia termica persa in tale trasporto;
- Caratteristiche chimico-fisiche del transfer (aggressività verso i materiali, viscosità, coefficiente di scambio termico, calore di evaporazione, diagramma temperatura/ pressione di ebollizione, temperatura limite di impiego, ecc.): tali caratteristiche determinano il tipo di apparecchiature da adottare per l'impianto;
- Pericolosità di impiego;
- Quantità di calore accumulato nell'impianto a seguito del passaggio dalla temperatura ambiente alle condizioni di esercizio.

I transfer più utilizzati in ambito ospedaliero sono l'acqua calda (o surriscaldata) e il vapore saturo.

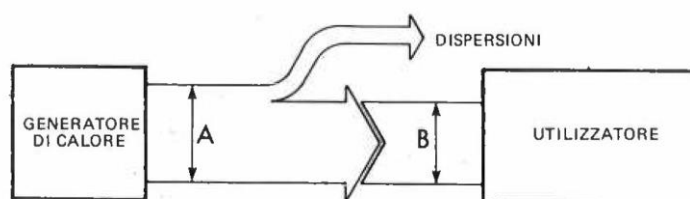


Figura 97 Rendimento di trasmissione

7.1.1 Acqua

Tra le reti di vettoriamento calore che impiegano l'acqua quale termovettore tradizionalmente si distingue tra *acqua refrigerata*, *acqua calda* e *acqua surriscaldata*.

L'*acqua refrigerata* è destinata ad esigenze di refrigerazione (sia di processo che per il confort ambientale), mentre i termini *acqua calda* (a.c.) e *acqua surriscaldata* (A.S.) diversificano convenzionalmente l'acqua destinata ad impieghi di riscaldamento a seconda che la sua temperatura massima di utilizzazione nell'impianto sia rispettivamente inferiore o superiore a quella di ebollizione alla pressione atmosferica locale.

In ogni caso il calore è convogliato sfruttando il raffreddamento dell'acqua in fase liquida nell'utilizzatore, senza cambiamento di stato. La differenza di temperatura (ΔT) tra l'acqua entrante

nell'utenza e quella uscente può variare in genere da 5° a 30°C. L'acqua è un fluido relativamente poco costoso in confronto ad altri transfer liquidi, in quanto l'impiego richiede solo un trattamento chimico al fine di limitarne l'aggressività per le tubazioni (tanto più spinto e quindi più oneroso quanto maggiore è la temperatura massima raggiunta nel ciclo).

Si può contenere il degradamento dell'impianto con trattamenti poco costosi, atti a mantenere le necessarie caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua. La pericolosità è esclusivamente funzione dell'energia accumulata e quindi della temperatura di lavoro.

Le temperature di normale impiego prevedono di non scendere al di sotto di +2 °C per evitare congelamenti. L'adozione di temperature inferiori comporta il ricorso ad anticongelanti (quali in glicole) che consente di operare correttamente sino a -5 °C. Al di sotto di questa temperatura la percentuale di anticongelante risulta così elevata (superiore al 15%) da influenzare considerevolmente il dimensionamento dell'impianto.

Per quanto attiene alle temperature massime, in genere si evita di superare i 180 °C, perché oltre questa temperatura il costo dell'impianto e la pericolosità di esercizio diventano intollerabili.

In linea di principio i più frequenti parametri di progetto per le reti di vettoriamento calore funzionanti ad acqua sono riportati in Tabella 15.

Tabella 15 Temperature caratteristiche per le reti di vettoriamento calore funzionanti ad acqua calda

	Mandata	Ritorno
Riscaldamento tradizionale	75°C	60°C
Riscaldamento a bassa temperatura	40°C	35°C
Raffreddamento	7°C	12°C

7.1.2 Vapore d'acqua saturo o surriscaldato

Con tale transfer il calore è trasportato sfruttando nell'apparecchio utilizzatore prevalentemente il calore di condensazione del vapore (calore latente); se la condensazione avviene alla pressione atmosferica il calore trasportato è di 2257 kJ/kg.

Con il transfer vapore, il costo di trasporto del calore è inferiore a quello dei transfer liquidi perché il calore trasportato per unità di massa è da 10 a 50 volte maggiore. Peraltro, il sistema di trasporto è più complesso, rispetto a quello che impiega transfer liquidi, per svariati motivi, tra i quali ricordiamo i seguenti:

- occorre rapidamente allontanare dalla tubazione del vapore sia il liquido condensato che i gas incondensabili; ciò è particolarmente difficile in fase di avviamento, quando liquido e gas sono presenti in quantità elevata;
 - durante le fermate, la pressione interna dell'impianto scende a valori inferiori a quella atmosferica e quindi si ha entrata di aria. Tutti i componenti di questa devono essere espulsi perché riducono lo scambio termico; inoltre, sia l'ossigeno e l'anidride carbonica sono nocivi perché, sciogliendosi nella fase liquida, rendono questa aggressiva per le tubazioni e gli apparecchi, soprattutto per le parti costruite in acciaio al carbonio;
 - gli scaricatori di condensa ricevano adeguate e frequenti manutenzioni, atte a mantenerli in condizione di lasciar defluire la condensa (transfer sfruttato) intercettando il vapore (transfer da sfruttare): una fuga di vapore attraverso uno scaricatore causa inconvenienti e difficoltà di corretto funzionamento perché, in tal caso, l'impianto opera in condizioni diverse da quelle previste nel ciclo termico di progetto, con inevitabili diminuzioni del rendimento;
 - il volume destinato al vapore non venga occupato, come già si è detto, dall'aria introdottasi durante le fermate, la quale abbasserebbe i coefficienti di scambio.
- Gli scaricatori d'aria pongono problemi manutentivi analoghi, anche se di minore onerosità, a quelli degli scaricatori di condensa.

Il vapore d'acqua può, come è noto, essere saturo o surriscaldato. Quest'ultimo è generalmente utilizzato solo nelle motrici termiche ed è quindi di limitato interesse per gli impianti industriali.

Si ricorda che la temperatura e la pressione del vapore saturo sono legate biunivocamente secondo le curve del vapore saturo del diagramma di Mollier per l'acqua: ad esempio, 1 bar = 100 °C e 30 bar = 250 °C circa.

Poiché ogni processo richiede una determinata temperatura, la pressione del vapore saturo da impiegare deriva di conseguenza.

L'adozione di temperature superiori a 250 °C comporta pressioni superiori a 40 bar e quindi costi di apparecchiature molto elevati: è pertanto eccezionale l'impiego di vapore saturo quale transfer per temperature oltre i 250°C.

La pericolosità del transfer in esame è funzione dell'energia accumulata in tutto il fluido presente nel sistema, cioè è funzione sia della temperatura del transfer che della massa complessiva. La pericolosità di un circuito vapore è pertanto superiore a quella di un circuito ad acqua calda (che può causare danni a persone solo per ustioni) ma inferiore a quella di un circuito ad acqua surriscaldata di pari potenza e di pari livello termico (per la minor massa di *transfer* coinvolta).

Inoltre, il vapore può presentare pericolosità per rottura delle tubazioni dovuta a fenomeni impulsivi di origine termica (improvviso spostamento a velocità elevata di masse di liquido non evacuate dalle tubazioni del vapore, deflusso di “bolle” di vapore nelle tubazioni della condensa, ecc.), generalmente più violenti e frequenti di quelli che si manifestano in un circuito ad acqua surriscaldada correttamente progettato ed esercito.

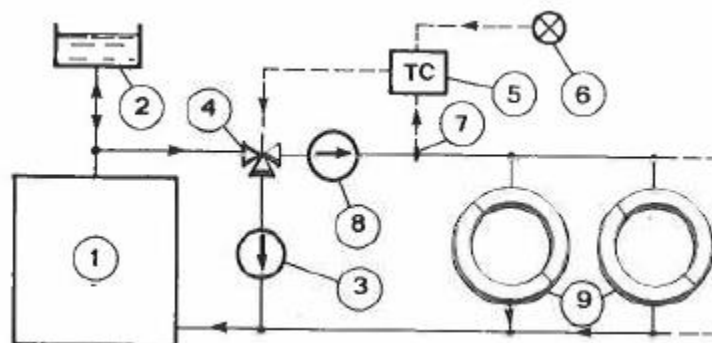
7.2 Tipologie di circuiti

Come detto, i transfer provvedono a trasportare il calore dal generatore all'utenza e possono essere di vario tipo. Di seguito, riportiamo le caratteristiche più salienti dei principali circuiti di interesse ospedaliero.

7.2.1 Circuiti ad acqua

Gli impianti ad acqua in fase liquida sono quelli più comunemente adottati perché con minimo costo di impianto e di esercizio coprono brillantemente le esigenze delle utenze di acclimazione civile e industriale, nonché delle utenze tecnologiche nel campo di temperature sino a 180 °C.

Negli impianti di riscaldamento civile (Figura 98, Figura 99) la temperatura massima di progetto è di 80°C÷95°C, il salto termico è di 5°C÷15 °C e l'acqua è riscaldata direttamente nel generatore (caldaia o gruppo frigorifero); la prevalenza delle pompe varia da 500 mm H₂O per gli impianti unifamiliari a 30 ed eccezionalmente 50 m H₂O per gli impianti di teleriscaldamento.



1. Generatore di calore
2. Vaso di espansione
3. Pompa anticondensa
4. Valvola miscelatrice a tre vie
5. Regolatore della temperatura di mandata
6. Sonda climatica
7. Sonda di temperatura in mandata
8. Pompa di circolazione
9. Utenze

Figura 98 Schema funzionale di un impianto di riscaldamento ad acqua calda

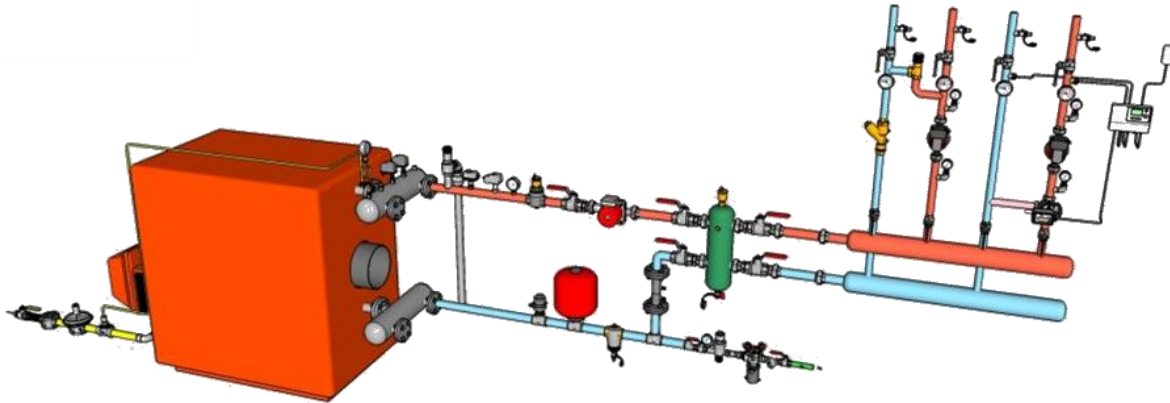


Figura 99 Tipico layout di una centrale termica unifamiliare

7.2.2 Circuiti a vapore d'acqua

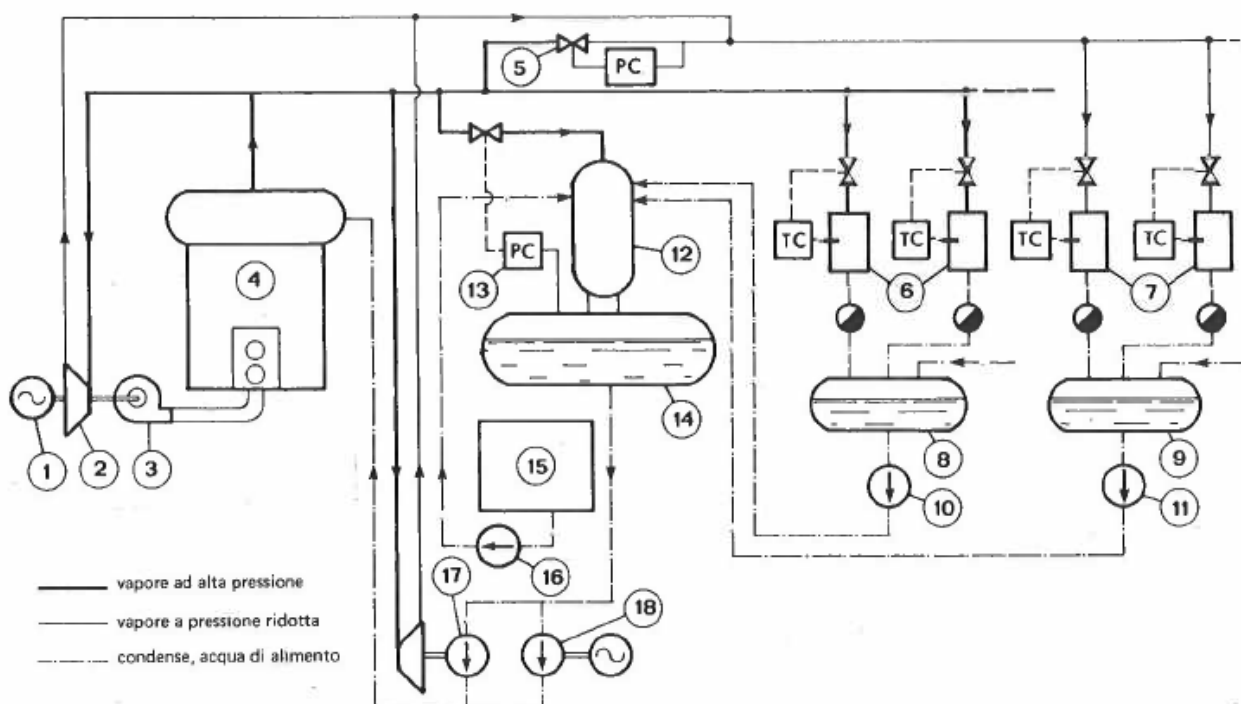
L'impiego di vapore d'acqua è molto diffuso per i numerosi vantaggi già citati (alto coefficiente di scambio, bassa potenza meccanica occorrente per la circolazione, facile regolazione della temperatura, tubazioni di diametro limitato, ecc.).

Per contro vi sono degli svantaggi rispetto ad un circuito ad acqua surriscaldata che risiedono principalmente nella maggiore complessità di impianto e nella facilità di corrosione dello stesso.

Come già detto, negli impianti industriali il vapore d'acqua è utilizzato quale transfer nel campo 1÷30 bar; può anche essere prodotto a pressioni più elevate (sino a 125÷160 bar) e surriscaldato sino a 525°C quando sia sfruttato in turbine per produzione di energia meccanica o elettrica.

Nella Figura 100 è riportato lo schema di principio di un circuito a vapore: oltre alle apparecchiature essenziali, presenti in tutti gli impianti, quali caldaia, pompe di alimento, utenze, impianto di trattamento dell'acqua primaria, sono indicati:

- il degasatore, la cui adozione è opportuna, specie in impianti con interruzione giornaliera del funzionamento, per pressioni anche di sole 10 bar, mentre diventa necessaria a 18÷20 bar e oltre;
- i serbatoi di raccolta condense, indispensabili quando in presenza di circuiti vapore a pressioni diverse, tubazioni molto lunghe, utenze a livello più basso del serbatoio di alimento;
- gruppo di riduzione della pressione del vapore;
- turbine a vapore a contropressione per l'azionamento del ventilatore aria comburente (con motore elettrico di potenza ridotta per l'avviamento) e di una delle due pompe di alimento.



1. Motore elettrico per l'avviamento del ventilatore 3 - 2. Turbina a vapore a contropressione per azionamento del ventilatore 3 - 3. Ventilatore di alimentazione dell'aria comburente nella caldaia - 4. Caldaia a vapore - 5. Valvola riduttrice di pressione del vapore, con regolatore - 6. Utenze alimentate con vapore ad alta pressione, complete di regolazione di temperatura e di scaricatore di condensa - 7. Utenze alimentate con vapore a pressione ridotta, complete di regolazione di temperatura e di scaricatore di condensa - 8. Serbatoio raccolta condense dalle utenze ad alta pressione - 9. Serbatoio raccolta condense dalle utenze a pressione ridotta - 10. Pompe ricupero condense ad alta pressione - 11. Pompe ricupero condense a pressione ridotta - 12. Degasatore - 13. Regolazione della pressione del vapore degasante - 14. Serbatoio acqua degasata - 15. Depurazione acqua primaria - 16. Pompa per integrazione del degasatore - 17. Turbopompa di alimento caldaia (servizio di base) - 18. Elettropompa di alimento caldaia (servizio di emergenza e per avviamento).

Figura 100 Schema di impianto a vapore saturo

7.3 Centrali termiche

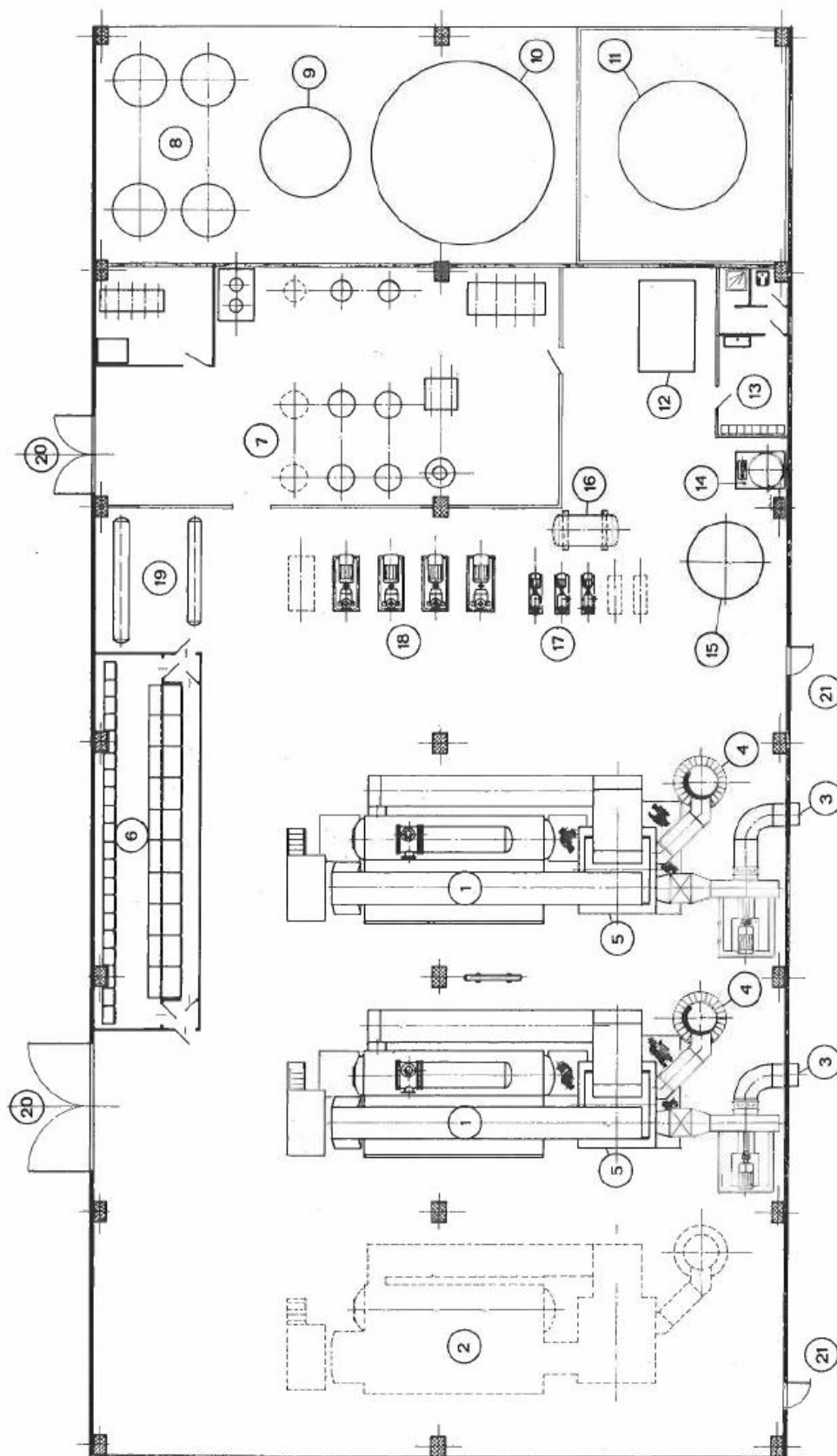
Con la dizione *centrale termica* si intende il locale in cui sono installati tutti o parte degli impianti per la produzione del calore. Questi impianti possono essere classificati in base alle varie funzioni e cioè:

- preparazione del combustibile per l'invio al bruciatore;
- generazione del calore;
- preparazione, accumulo, trattamenti e immissione del transfer nel relativo circuito;
- pompaggio del transfer per la distribuzione alle utenze;
- depurazione degli effluenti gassosi e liquidi;
- controllo, regolazione e misura di pressioni, temperature, portate, ecc.

La Figura 101 riporta il layout di una centrale termica per un ospedale. Sono visibili:

- due caldaie per la produzione di acqua calda, con possibilità di potenziamento futuro;
- le pompe di circolazione ed i collettori;
- gli impianti di trattamento delle acque primaria e di scarico;
- la sala quadri, nella quale è concentrata la strumentazione di controllo e comando di tutti gli impianti termici, elettrici e di trattamento acque; nella stessa sala sono installate le apparecchiature elettriche di potenza (in conformità alle norme CEI per i locali con pericolo di esplosione e incendio). Si noti che la sala quadri è sistemata in posizione baricentrica per consentire il controllo visivo di tutti gli impianti. Inoltre, è costruita con materiali fonoisolanti, in modo da realizzare un ambiente a basso livello sonoro.

I principali componenti della centrale sono accessibili da un corridoio per facilitare le operazioni manutentive.



1. Generatori di calore 2. Area disponibile per l'installazione di un altro generatore di calore 3. Presa d'aria esterna 4. Camini 6. Sala quadri 7. Trattamento acqua alimentazione 8. Serbatoi reagenti per il trattamento acqua alimentazione (HCl e NaOH) 9. Serbatoio per la neutralizzazione degli effluenti liquidi 10. Serbatoio acqua demineralizzata 13 Servizi igienici 15. Vaso di espansione chiuso 18 Pompe di circolazione 20. Ingressi principali 21. Porte pedonali per esodo di emergenza

Figura 101 Planimetria di una centrale termica di un ospedale

8. Impianti e apparecchiature per la climatizzazione

8.1 Generalità

Con il termine *climatizzazione* si intende una molteplicità di azioni finalizzate a conseguire e mantenere entro uno spazio confinato condizioni di clima diverse da quelle che vi si produrrebbero naturalmente e tali da conseguire condizioni di *benessere termico* degli occupanti. Queste ultime dipendono da molteplici fattori, per lo più soggettivi, tra i quali spiccano *l'attività metabolica* e la *“pesantezza”* del vestiario indossato dagli occupanti i locali.

Dal punto di vista pratico, per il raggiungimento del benessere termico nella sua più ampia accezione, si richiede:

- il controllo della temperatura e dell'umidità relativa;
- un'adeguata ventilazione degli ambienti finalizzata a contenere l'inquinamento *indoor* entro valori accettabili;
- assenza di rumorosità fastidiosa;
- assenza di correnti d'aria.

I dati da assumere a base di progetto sono riportati in Tabella 16. Essi si riferiscono a tutti i locali ospedalieri, ad eccezione di ambienti speciali quali sale operatorie e locali annessi, sale ecografiche e radiografiche, deposito salme, isolamento, in cui valgono prescrizioni di tipo specifico.

Tabella 16 Temperatura e umidità relativa assunti a base di progetto per gli ospedali

	Temperatura [°C]	Umidità relativa [-]
Inverno ¹	21°C +/- 1°C	50% +/- 10%;
Estate	26°C +/- 1°C	50% +/- 10%.

Relativamente alla quantità d'aria di rinnovo che deve essere assicurata, questa rimane *di norma*² correlata al numero di occupanti del locale (6 l/s per persona), salvo rare eccezioni quali i servizi igienici e il deposito salme per i quali si procede in termini di *ricambio d'aria*, rapportando la portata d'aria immessa non al numero di occupanti (in genere esiguo) ma al volume complessivo del locale. Sovente si adottano valori di 2 vol/h.

Il controllo dei *parametri termo igrometrici* è demandato ad una molteplicità di dispositivi in grado di provvedere, da soli od in concorso con altri, le seguenti funzioni:

- riscaldamento degli ambienti;
- raffrescamento degli ambienti;
- umidificazione dell'aria;
- deumidificazione dell'aria
- filtrazione dell'aria
- prelievo ed immissione di aria di rinnovo
- prelievo ed espulsione dell'aria viziata.

Va da sé che il servizio di climatizzazione viene reso senza interruzione durante tutto l'anno e nell'arco dell'intera giornata.

8.2 Unità trattamento aria (UTA)

Con il termine “unità di trattamento aria” (U.T.A.) si intende un dispositivo che contiene al suo interno tutti gli elementi necessari al trattamento dell'aria, disposti in successione uno di seguito all'altro.

¹ Il dato di progetto invernale ($T = 21^{\circ}\text{C}$) risulta maggiore rispetto a quanto in genere previsto per gli ambienti residenziali o similari (scuole, uffici, ecc.) e tiene conto della modesta attività metabolica ($\text{met} = 0,7$) dei pazienti e dell'altrettanto modesto grado di isolamento termico del vestiario da loro indossato ($\text{clo} = 0,5$).

² UNI 10339: Impianti aeraulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura

Tale dispositivo è in genere in grado di prelevare l'aria dall'ambiente trattato, rinnovarla in tutto o in parte con aria esterna incontaminata, riscaldarla o raffreddarla secondo necessità, modificarne il contenuto di umidità, filtrarla ed infine inviarla all'ambiente servito (Figura 102).

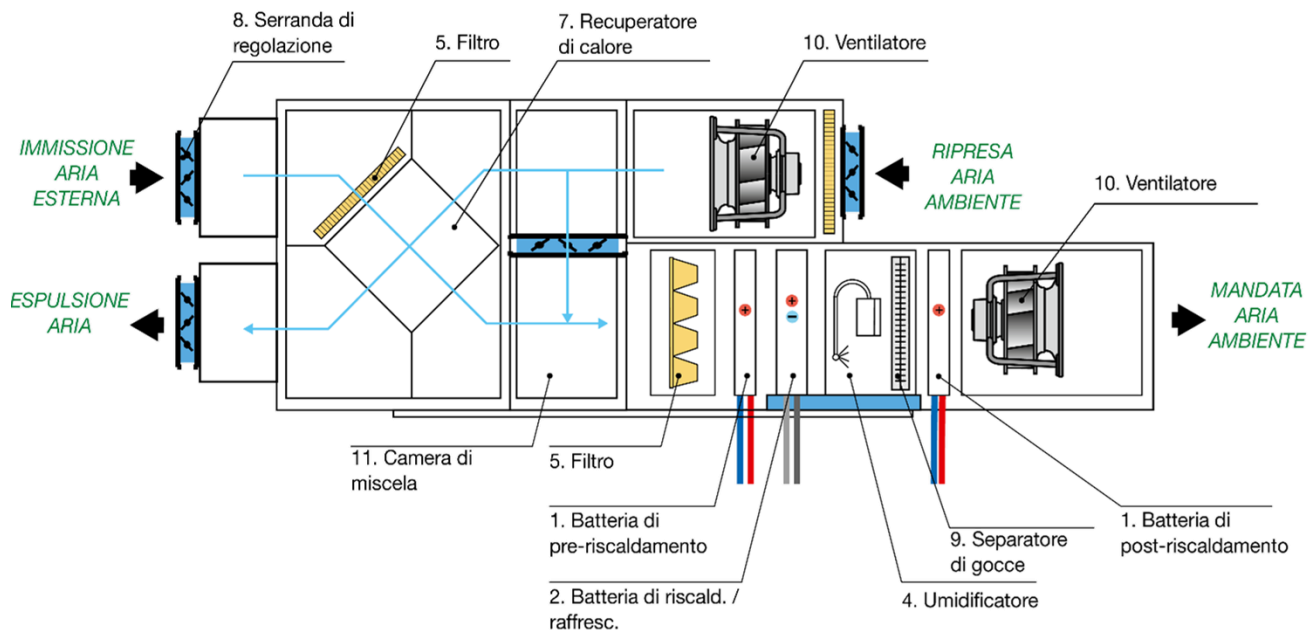


Figura 102 Rappresentazione schematica di un UTA con recuperatore di calore a flusso incrociato

8.2.1 Involucro

La struttura portante è realizzata con un telaio costituito da profilati metallici generalmente cavi, ottenuti per estrusione. I pannelli formanti il vero e proprio involucro esterno sono in doppia lamiera con interposto un isolante (in genere fibra di vetro) di densità media. La lamiera può essere di acciaio zincato o inossidabile, oppure di alluminio a seconda degli ambienti di installazione e delle necessità di igienizzazione più o meno stringenti.

Il fissaggio dei pannelli è di norma ottenuto per mezzo di semplici viti con interposizione di una guarnizione in materiale termoplastico inserita in sedi appositamente ricavate sui profili portanti.

L'unità è provvista di portelli di ispezione di adeguate dimensioni per permettere l'agevole manutenzione dei componenti al suo interno.



Figura 103 Spaccato di un'UTA

8.2.2 Vaschette di drenaggio

Sono costruite in lamiera zincata, eventualmente isolate esternamente, dotate di scarico di fondo e di tubetti per il drenaggio dell'umidità condensata come pure dell'acqua trattenuta con i separatori di gocce posti a valle delle batterie di raffreddamento e deumidificazione.

Scopo della vaschetta è anche quello di raccogliere l'eventuale eccesso d'acqua nebulizzata dagli spruzzatori per l'umidificazione della portata d'aria trattata in regime di condizionamento invernale.

Lo scarico di fondo deve essere dotato di sifone, adeguatamente dimensionato, in modo da poter compensare la pressione o la depressione presente all'interno del vano di alloggio per le batterie. Tale differenza di pressione dipende dalla mutua posizione di ventilatore e batteria di raffreddamento e deumidificazione.

8.2.3 Serrande

Azionabili manualmente oppure mediante servomotore, sono del tipo ad alette contrapposte controrotanti. Le sezioni di attraversamento sono dimensionate per le portate massime di progetto.



Figura 104 Serranda ad alette contrapposte

8.2.4 Filtri

In genere la filtrazione prevede più stadi: ad una filtrazione preliminare di tipo grossolano eseguita mediante filtri a pannello segue una filtrazione più spinta eseguita mediante filtri a tasche.

8.2.4.1 Filtri a pannello

I filtri a pannello sono costituiti da un telaio in rete metallica su cui è disposto un materassino filtrante in fibre di vario tipo (vegetali, pelo animale, materiale sintetico, fibra di vetro o truciolato).

metallico). Il setto è disposto in piano o con andamento eventualmente ondulato o pieghettato per aumentare la superficie filtrante a parità di sezione maestra.

L'efficienza del filtro tende ad aumentare con la quantità di polveri raccolte dal filtro poiché la stessa polvere raccolta migliora il meccanismo di separazione, per lo meno fino a un certo punto superato il quale c'è 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 prolungarne la vita operativa.



Figura 105 Filtri a pannello

8.2.4.2 Filtri a tasche

I 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 Pa 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 106 Filtro a tasche

8.2.4.3 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,) 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.

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 107 Filtro HEPA

8.2.5 Batterie di scambio termico

In ogni unità ve ne sono installate spesso due, una dimensionata per il raffreddamento (batteria fredda), mentre l'altra disposta a valle della precedente, per il solo riscaldamento (batteria calda). La batteria calda permette, ove necessario, di eseguire un post-riscaldamento anche in regime di raffrescamento, che può rendersi necessario in particolari condizioni termoisometriche.

Dal punto di vista costruttivo, le batterie sono del tipo a pacco con tubi in rame. 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).

Per massimizzare la potenzialità di scambio a parità di superficie, è sempre adottata la disposizione dei flussi in controcorrente. Le alette hanno in genere un passo tra 1,5 e 6,5 mm e sono fissate per mandrinatura ai fasci di tubi, che hanno diametro esterno tra 8 e 25 mm, ed un passo tra 15 e 75 mm.



Figura 108 Batterie alettate di scambio termico

8.2.6 Separatore di gocce

I separatori di gocce si adottano per evitare il trascinarsi di goccioline di acqua all'interno della corrente d'aria trattata. Essi vengono in genere installati a valle delle batterie fredde, dove può avvenire la condensazione o subito dopo gli umidificatori. Sono in genere costituiti da alette, in metallo o in materiale plastico, conformate in modo da imprimere delle brusche variazioni di direzione all'aria incidente, a seguito delle quali le goccioline vi vanno a sbattere contro.

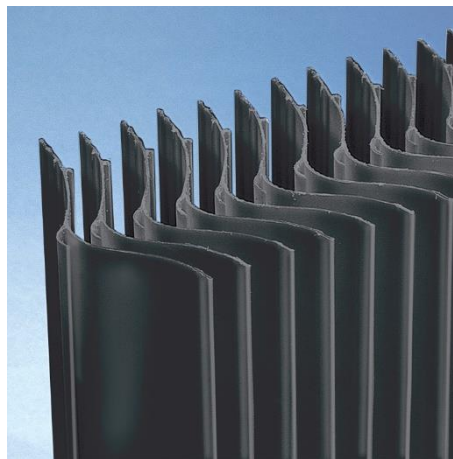


Figura 109 Separatore di gocce.

8.2.7 Umidificatore

Ve ne sono essenzialmente di due tipi: *adibatico* o a *vapore*. Nel primo caso consiste in un banco ugelli da cui viene spruzzata l'acqua per l'umidificazione nel ciclo invernale, che viene prelevata da una sottostante bacinella di raccolta. Tale dispositivo ha il pregio di essere molto economico ma ha l'inconveniente di costituire un luogo ideale per la proliferazione di muffe e batteri, ragion per cui, soprattutto in ambito ospedaliero, sarebbe bene evitare.

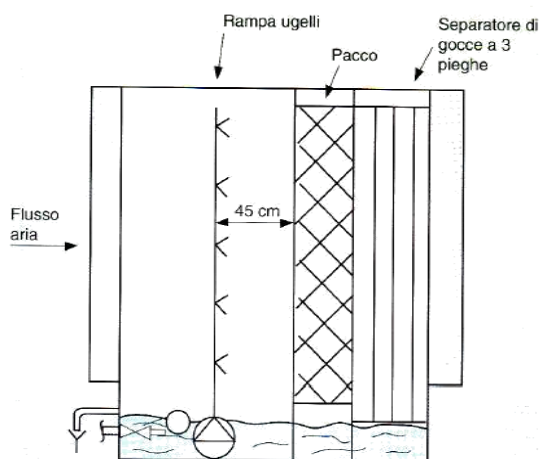


Figura 110 Umidificazione adiabatica (schema)

L'umidificazione a vapore avviene invece per mezzo di un getto di vapore saturo prodotto in un generatore alimentato da una resistenza elettrica. Si tratta evidentemente di un getto sterile che non presenta gli inconvenienti visti in precedenza e che tuttavia risulta significativamente più costoso rispetto l'umidificazione adiabatica sia in termini di costi di investimento che di gestione.



Figura 111 Umidificazione a vapore

8.2.8 Ventilatori

Raramente sono utilizzati ventilatori di tipo assiale, mentre in genere sono preferiti ventilatori centrifughi con pale rovesce, anche se non mancano esempi dove esigenze di spazio inducano ad utilizzarne del tipo a pale radiali o anche rivolte in avanti. Giranti e volute a spirale sono normalmente realizzate in lamiera di acciaio zincato, come pure gli alberi sono di acciaio.

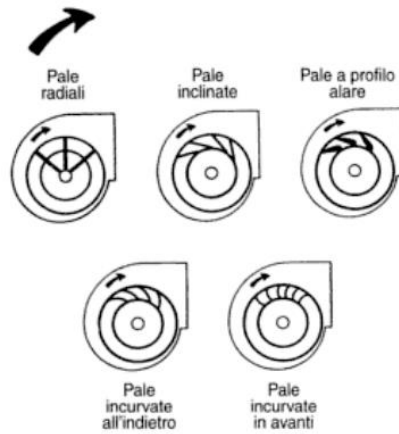


Figura 112 Tipologie di pale adottate per i ventilatori delle UTA

I motori elettrici sono in genere del tipo trifase, e sono accoppiati ai ventilatori mediante una trasmissione del tipo a pulegge a mozzo conico e cinghia. I cuscinetti sono del tipo volvente, prelubrificati ed autoallineanti, essendo l'intelaiatura portante realizzata in carpenteria metallica mediante l'uso di profilati.

Il gruppo motore-ventilatore (Figura 113) per limitare la trasmissione di vibrazioni alla struttura portante è isolato per mezzo di ammortizzatori in elastomero oppure a molla. L'adeguamento della curva caratteristica del ventilatore alle richieste, in termini di portata e di prevalenza, della canalizzazione di mandata alle condizioni di carico parziale, può essere ottenuto mediante

- convertitore di frequenza;
- predistributore con pale orientabili;
- laminazione della portata mediante serrande.

I primi due metodi, seppur caratterizzati da un costo iniziale più alto, garantiscono un maggior risparmio energetico, in quanto non viene modificata la curva caratteristica dell'impianto introducendo delle perdite localizzate, bensì la curva caratteristica del ventilatore stesso.



Figura 113 Ventilatore centrifugo a servizio di una UTA

Lo svantaggio nel caso di utilizzo del predistributore è costituito dalla difficoltà di realizzare l'aspirazione dell'aria nel ventilatore attraverso due bocche contrapposte.

Il layout d'impianto più usuale prevede l'adozione di un ventilatore premente per la mandata dell'aria, e di uno aspirante per l'estrazione. In questo modo si evita che i diversi locali da condizionare risultino soggetti a depressioni o sovrappressioni, che in virtù delle ingenti perdite di carico che caratterizzano le canalizzazioni, potrebbero essere di entità inaccettabile.

8.2.9 Recuperatori di calore

Il recuperatore di calore vengono installati per recuperare quota parte dell'energia contenuta nella massa d'aria espulsa. Tra i diversi tipi di recuperatori esistenti, quelli a *flusso incrociato* sono i più diffusi in relazione alla semplicità costruttiva e alla completa suddivisione tra i due flussi che si incrociano senza dar luogo a contaminazioni che potrebbero risultare intollerabili.

Tali scambiatori sono costituiti da impaccamenti di lamiere d'alluminio pieghettate che delimitano dei percorsi incrociati che le due masse d'aria devono coprire rimanendo ben separate (Figura 114).

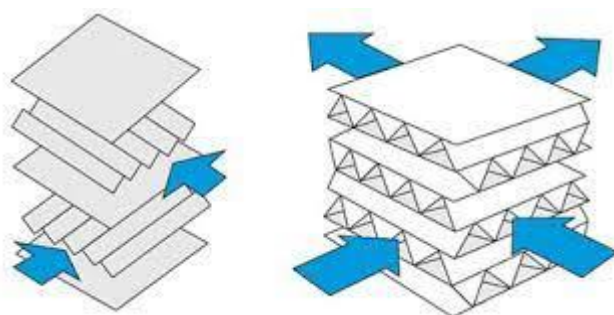


Figura 114 Rappresentazione schematica di uno scambiatore di calore a flusso incrociato

La differenza di temperatura che le caratterizza unitamente all'eccellente conducibilità termica dell'alluminio sono alla base dell'efficace scambio termico che, pur in spazi relativamente ristretti, può assumere in condizioni di progetto valori significativi (50% circa).

Purtroppo tale sistema non è in grado di recuperare l'energia impiegata per condensare l'umidità dell'aria in condizioni di condizionamento estivo, periodo durante il quale il rendimento di recupero è decisamente scarso.

A tal fine si possono impiegare dei recuperatori di tipo rigenerativo (detti *recuperatori entalpici*) che basano il loro funzionamento sull'assorbimento dell'umidità a mezzo di una particolare sostanza fortemente igroscopica, quale l'allumina o il cloruro di litio.

8.3 Ventilconvettori

Il ventilconvettore (Figura 115) è un terminale ambiente costituito da una cofanatura metallica nella quale è alloggiata una batteria alettata di scambio termico tra fluido termovettore (in genere acqua) e l'aria, un ventilatore, un filtro dell'aria e una vaschetta per la raccolta della condensa.

L'aria da riscaldare o raffreddare a seconda delle necessità, viene prelevata dall'ambiente per mezzo di un ventilatore centrifugo (in genere a pale rivolte in avanti) attraverso una feritoia ricavata sul fondo della macchina. Prima di raggiungere la batteria di scambio termico, l'aria viene fatta passare attraverso un filtro piano che rimuove la polvere trascinata dalla corrente d'aria prima che questa possa imbrattarla. Lo scambio termico è del tipo a convezione forzata, e la modulazione della potenza resa viene fatta variando la velocità di rotazione del ventilatore.

In regime di raffreddamento, sulla batteria di scambio può aver luogo una condensazione più o meno marcata che dà luogo alla produzione di condensa, che si raccoglie in un bacinella da dove deve essere rimossa attraverso una rete di scarico dedicata.

I ventilconvettori vengono generalmente utilizzati negli impianti di climatizzazione per coprire in tutto o in parte il carico termico che insiste sull'ambiente, anche e soprattutto in virtù della facilità con cui è possibile, attraverso il loro impiego, modulare la temperatura nei locali serviti secondo le preferenze degli utenti.

I ventilconvettori infine possono essere di diverse tipologie a seconda della modalità di installazione e posizionamento.

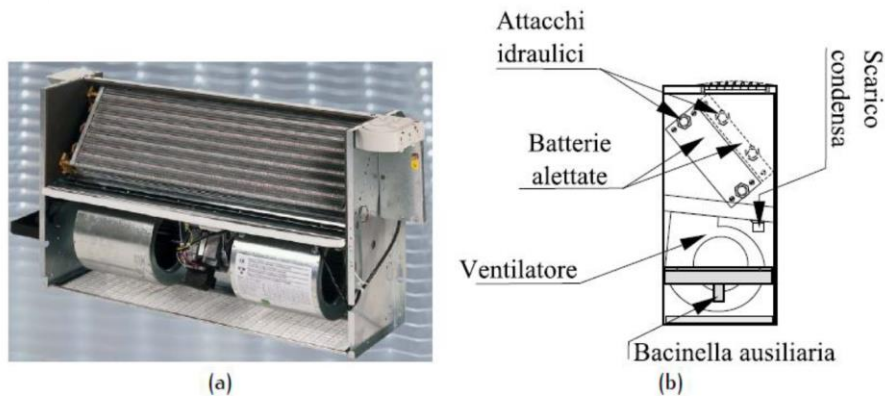


Figura 115 Ventilconvettore

8.4 Pannelli radianti a pavimento

Il riscaldamento a pavimento rappresenta una tecnica adottata sin dall'antichità e ampiamente diffusa presso i romani che, per riscaldare gli edifici di pregio, ricorrevano all'uso degli "ipocausti" (Figura 116). Questi consistevano in dei canali ricavati al di sotto del pavimento entro i quali venivano indirizzati i fumi di combustione prodotti in un attiguo focolare, prima di essere convogliati al camino.

In epoca moderna, la tecnica del riscaldamento utilizzando ampie superfici a bassa temperatura così come oggi viene praticata, con tubazioni percorse da acqua affogate nella struttura, ha trovato sviluppo negli anni 50, sia dal punto di vista teorico che dal punto di vista pratico con varie applicazioni in edifici sia pubblici che privati.

Solamente tuttavia negli ultimi due decenni e con la drastica diminuzione del fabbisogno energetico degli edifici la tecnica si è affermata in modo deciso e costituisce oggi un punto di riferimento imprescindibile nella climatizzazione sia in ambito residenziale che, sempre più spesso, anche in ambito industriale. Tale tecnica infatti consente di impiegare transfer a bassa temperatura ($35^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$) tipici nell'impiego delle fonti rinnovabili e di conseguire al contempo elevati indici di confort.



Figura 116 Sistema di riscaldamento a pavimento "ipocausto".

I pannelli (Figura 117) radianti vengono realizzati adagiando sulla soletta portante del pavimento un materiale isolante (in genere polistirene o poliuretano) di adeguato spessore, eventualmente già conformato per alloggiare le tubazioni che su di esso andranno deposte. Queste sono del tipo multistrato o in polietilene reticolato, con diametri compresi tra 16 e 26 mm.

Al di sopra di esse viene quindi deposta una rete metallica elettrosaldata in maglia 100×100 mm e spessore variabile tra 2 e 4 mm a seconda delle applicazioni, destinata ad essere affogata, unitamente alle tubazioni, in un getto di calcestruzzo di adeguato spessore (in genere 45 mm). La realizzazione del massetto si completa con il rivestimento del pavimento (parquet, materiali ceramici, pavimentazioni tecniche, ecc.) secondo le esigenze della committenza.

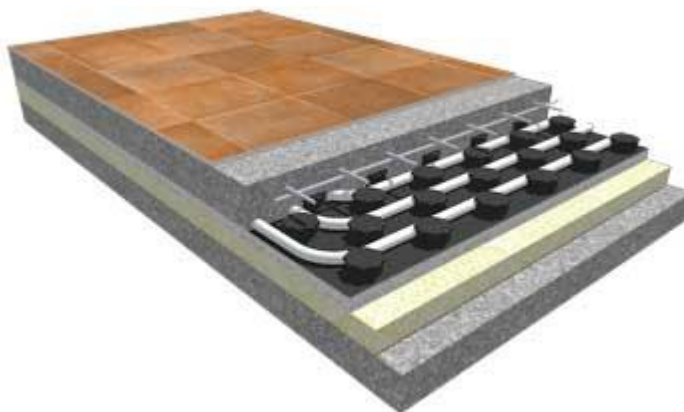


Figura 117 Pannello radiante a pavimento (stratigrafia)

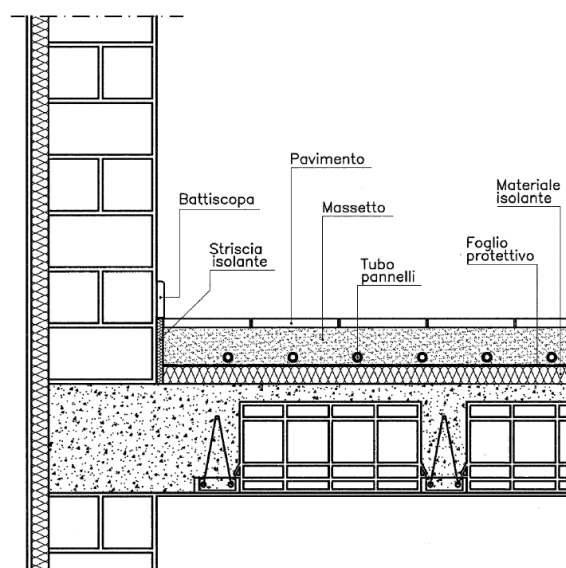


Figura 118 Soletta radiante tipo

Il sistema così realizzato si presta sia al funzionamento in riscaldamento che in raffrescamento. In entrambi i casi non è possibile, per mezzo dei soli pannelli radianti, controllare l'umidità relativa, ragione per cui tali sistemi vanno impiegati unitamente ad altri dispositivi in grado di garantire tale tipo di funzionalità (UTA, deumidificatori, umidificatori, ecc.).

8.5 Pannelli radianti a soffitto

I pannelli radianti a soffitto permettono di realizzare impianti perfettamente integrati negli edifici da climatizzare e dotati di grande efficienza energetica. Tali sistemi offrono prestazioni analoghe a quelle dei sistemi a pavimento, rispetto ai quali, tuttavia, risultano meno intrusivi in quanto possono essere integrati nei controsoffitti, sia durante la realizzazione di nuovi edifici che negli interventi di ristrutturazione.

I sistemi radianti a soffitto sono quindi la soluzione ideale sia nei contesti residenziali, sia nelle strutture destinate a ospitare uffici, spazi commerciali, ospedali, aeroporti, aule scolastiche o altri ambienti legati all'edilizia civile terziaria.



Figura 119 Pannello radianti a soffitto

8.6 Diffusori d'aria ambiente

I diffusori d'aria sono dei particolari terminali ambiente che hanno lo scopo di diffondere l'aria convogliata nei canali aeraulici nell'ambiente servito, garantendo silenziosità, assenza di correnti d'aria fredda e massimizzazione della zona servita.

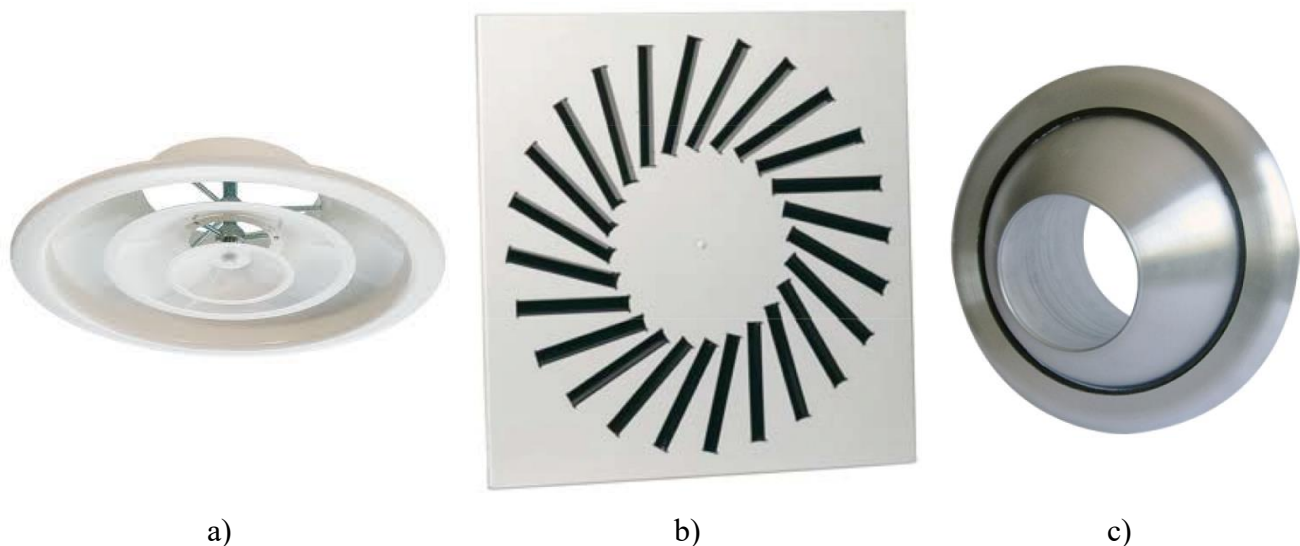


Figura 120 Diffusori d'aria: a) a coni regolabili, b) a getto elicoidale, c) ad induzione

In Figura 120 se ne riportano le tipologie principali. I diffusori *circolari a coni regolabili* vengono montati in aderenza al soffitto dove, per mezzo della geometria che li caratterizza, danno luogo ad un getto radiale che rimane “attaccato” allo stesso, dal quale si allontana solo dopo alcuni metri ricadendo su un'ampia superficie dove viene adeguatamente diluito miscelandosi con l'aria ambiente, senza dar luogo a correnti fredde che sono in genere mal tollerate dagli utenti.

I *diffusori a getto elicoidale* sono caratterizzati da feritoie opportunamente disposte in grado di imprimere all'aria un moto elicoidale discendente che garantisce un'adeguata diluizione del getto, sempre al fine di prevenire le correnti d'aria fredda.

I *diffusori ad induzione*, sviluppano un getto d'aria a velocità elevata, che consente loro di coprire locali anche molto estesi. Tuttavia, l'elevata velocità del getto emesso richiede delle altrettanto elevate altezze di installazione per assicurare una adeguata miscelazione con l'aria ambiente prima che esso investa gli occupanti.

8.7 Termosifoni

I termosifoni (o *radiatori*) sono dei terminali ambiente che realizzano uno scambio per irraggiamento e convezione naturale tra un fluido termovettore (acqua) e il locale in cui sono installati.

Ve ne esistono di diversi tipi. Ricordiamo quelli in alluminio pressofuso, in acciaio stampato, in ghisa, in tubo d'acciaio (Figura 121).

La loro diffusione è legata soprattutto alla semplicità e alla robustezza che li caratterizza, e che li rende adatti a tutte le applicazioni di tipo residenziale.

Oggi giorno subiscono la concorrenza dei sistemi a pavimento e a soffitto in quanto non sono adatti alle applicazioni che implicano fluidi termovettori a bassa temperatura, in ragione delle superfici di ingombro intollerabilmente elevate cui darebbero luogo.

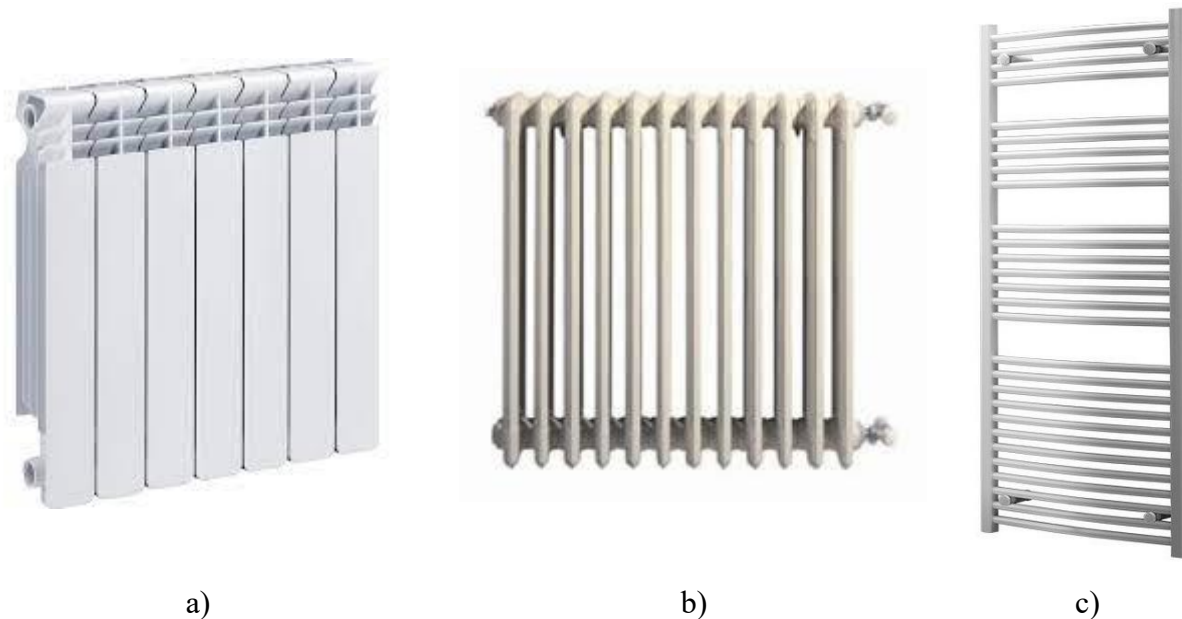


Figura 121 Radiatori a) alluminio pressofuso, b) ghisa, c) in tubo d'acciaio

9. Impianti gas medicinali

9.1 Generalità

All'interno delle strutture ospedaliere i gas medicali vengono resi disponibili presso le utenze di preferenza per mezzo di *impianti fissi*, evitando il ricorso a recipienti mobili che porrebbero problemi logistici e di sicurezza non indifferenti.

Va infatti ricordato che taluni gas, in determinate concentrazioni, presentano rischi di asfissia (protossido di azoto, anidride carbonica) mentre altri possono aumentare significativamente l'infiammabilità dei materiali combustibili (ossigeno). Per non parlare dei rischi di ustione da contatto quando tali sostanze sono conservate allo stato liquido a bassa temperatura (azoto e ossigeno liquido).

Per tali motivi lo stoccaggio dei contenitori impone l'adozione di adeguate misure di prevenzione incendi e di areazione dei locali, che, con riferimento ad un unico centro di raccolta, risultano più facilmente affrontabili.

In linea di principio dunque, i gas medicali vengono stoccati in uno o più "magazzini", a seconda delle necessità, per essere capillarmente distribuiti alle utenze che lo richiedono per mezzo di un impianto fisso. Gli obiettivi fondamentali che un tale tipo di sistema si pone sono:

- la garanzia della qualità del prodotto al punto di utilizzo;
- la continuità di erogazione anche in situazioni eccezionalmente critiche;
- la sicurezza di tutti (pazienti, personale sanitario, visitatori).

Un impianto centralizzato è costituito essenzialmente da uno stoccaggio, da una rete di distribuzione, da unità terminali alloggiate normalmente in colonne pensili, in travi testa letto e/o a muro e da sistemi di controllo.

La centrale può essere realizzata con un gas compresso (ossigeno medicinale) o liquefatto (protossido d'azoto) in bombole, oppure con gas criogenico liquefatto a bassa temperatura e contenuto in serbatoi adeguatamente isolati sottovuoto fissi o mobili.

La rete di distribuzione costituita generalmente da un insieme di canalizzazioni in rame, provvede alla distribuzione dei gas dalla centrale alle prese di erogazione. Tutto è realizzato con materiali compatibili con l'ossigeno.

9.2 Tipologie di gas medicali

I gas medicinali trovano utilizzo in applicazioni cliniche, diagnostiche, di ricerca e di analisi. I gas possono anche essere combinati in miscele, denominate "medicinali", se prodotte su prescrizione medica, per soddisfare specifiche esigenze d'impiego quali ad esempio l'uso respiratorio, terapeutico e di laboratorio.

Tabella 17 Utilizzo dei gas medicinali

Tipo di gas medicale	applicazioni	Colorazione ogiva
Ossigeno	Anestesia, ossigenoterapia, ventilazione, aerosolterapia, miscele respirabili	 bianco
Protossido d'Azoto	Anestesia, analgesia	 blu
Anidride Carbonica	Miscela stimolanti della respirazione	 grigio
Azoto	Produzione di aria medicinale sintetica, come gas motore	 nero
Monossido d'Azoto	Vasodilatatore nella terapia dell'ipertensione polmonare,	 giallo + blu ch.



In linea di massima si può affermare che presso le strutture ospedaliere lo stoccaggio dei gas medicali avvenga in maniera centralizzata e che questi siano quindi capillarmente distribuiti presso le utenze per mezzo di reti dedicate che, considerate le implicazioni di sicurezza del servizio reso, devono essere particolarmente affidabili.

9.3 Centrali gas medicali

La centrale di erogazione è il luogo dove avviene lo stoccaggio centralizzato dei gas medicali che alimenta una rete fissa di distribuzione. Essa può essere costituita da bombole di gas in pressione raggruppate in *rampe* che, attraverso un sistema di decompressione, assicurano l'erogazione del gas ai punti di utilizzo, oppure da un unico recipiente criogenico contenente il gas a bassa temperatura e alla pressione atmosferica.



Figura 122 Centrale gas medicali

9.3.1 Ubicazione

Le principali precauzioni da adottarsi nella realizzazione delle *centrali* riguardano innanzi tutto l'ubicazione che deve avvenire unicamente in locali al *solo piano terra*, non sovrastanti né sottostanti ad altri locali, opportunamente¹ distanziati da altri fabbricati.

I locali, con accesso diretto all'esterno, devono avere dei muri perimetrali in *calcestruzzo* dello spessore non inferiore a 15 cm e *copertura leggera*, costituita da strutture portanti in laterizio armato e manto di lastre in fibro-cemento semplicemente appoggiate, per limitare i danni dell'eventuale esplosione dei contenitori. Inoltre i locali devono essere opportunamente aerati con aperture praticate sui muri, sia in corrispondenza del soffitto che in prossimità del pavimento, aventi una superficie di aerazione almeno pari a 1/30 della superficie in pianta. Tale misura si rende necessaria per evacuare i gas aventi densità rispettivamente superiore o inferiore a quella dell'aria.

Sempre al fine di consentire la corretta evacuazione dei gas con densità superiore a quella dell'aria, il pavimento dovrà essere opportunamente sopraelevato, rispetto al piano praticabile esterno, ed essere realizzato con materiali non combustibili.

¹ Distanze di sicurezza previste dalla Circolare del Ministero dell'Interno n. 99 del 15 ottobre 1964.

Andrà inoltre evitata la destinazione ad uso promiscuo dei locali di centrale, evitando in particolare di installarvi compressori per aria respirabile, concentratori di ossigeno o centrali per il vuoto.

La Temperatura ambiente deve essere compresa tra i 10 °C e i 40°C.

Limitatamente ai *serbatoi criogenici*, si osserva che essi non dovranno mai essere installati in strutture sotterranee (rifugi, scantinati) e dovranno essere distanziati di almeno 5 m da aperture che portino a strutture sotterranee, gallerie, fognature e scarichi e da strade ad accesso pubblico. Tale precauzione si rende necessaria soprattutto per i gas con densità superiore a quella dell'aria per evitare che, a seguito di una fessurazione accidentale del contenitore, il gas allo stato liquido possa insinuarsi in spazi confinati ipogei da dove, una volta evaporato, sarebbe difficilmente disperdibile dando luogo ad atmosfere potenzialmente asfissianti o esplosive.

L'installazione dei serbatoi criogenici dovrà avvenire *a cielo aperto*, a livello del suolo, in ogni caso non su tetti, prevedendo un accesso adeguato ai veicoli destinati al rifornimento e una pavimentazione in materiale incombustibile.

9.3.2 Criteri progettuali

In conseguenza della necessità di garantire la continuità di erogazione anche in situazioni eccezionalmente critiche, le centrali di alimentazione devono prevedere almeno tre tipologie di accumulo indipendenti. Le modalità di stoccaggio più comuni sono le seguenti (Figura 123):

- Gas in bombole o pacchi di bombole:
- Liquido non criogenico in bombole
- Liquido criogenico o non criogenico in contenitori fissi
- Aria compressa prodotta *in situ* tramite compressore e serbatoio di accumulo
- Produzione di gas per miscelazione di gas puri
- Produzione di ossigeno tramite concentratore



1



2



3

Figura 123: 1 Pacco bombole; 2 Bombole, Serbatoio criogenico

La capacità di ciascun sistema di accumulo viene stimata assumendo a base di progetto un'autonomia tra i 15 e i 35 giorni per la sorgente primaria, tra le 36 e le 72 ore per quella secondaria e per quella di riserva.

9.3.3 Centrali di ossigeno medicinale

Il sistema stoccaggio ed erogazione *primario* è in genere costituito da un contenitore criogenico, denominato *Evaporatore Freddo* (E.F.), adibito allo stoccaggio primario di Ossigeno allo stato liquido, dotato di evaporatore atmosferico in grado di gassificare ed erogare ossigeno allo stato gassoso fino ad una portata massima di 0,08 m³/h per posto letto ad una pressione massima di 15 bar. Il sistema primario è completato da:

- indicatore di livello in grado di rilevare le soglie di riempimento previste dalla normativa, rispettivamente al 50% e al 30% della capacità utile;

- manometro atto al rilievo e segnalazione a distanza della soglia di pressione minima di emergenza all'evaporatore;
- valvole di scarico ad intervento automatico contro le sovrappressioni previste dall'ISPESL.

Il sistema di stoccaggio ed erogazione *secondario* può essere costituito *pacchi bombole*¹ o, in alternativa da un *serbatoio criogenico* analogo al precedente ma di capacità più contenuta (circa 1/3). In ogni caso sia la portata erogabile che la pressione devono attestarsi ai valori in precedenza considerati (0,08 m³/h per posto letto ad una pressione massima di 15 atm).

Il serbatoio secondario funge esclusivamente da riserva nel caso di guasto a quello primario e la sua entrata in funzione deve essere automatica, con invio dell'allarme al sistema di telecontrollo per la notifica al personale interessato.

Per la terza fonte di erogazione si adotta in genere dei pacchi di bombole da 50 litri contenenti ossigeno allo stato gassoso ad una pressione di 200 bar. Il diverso stato fisico dell'ossigeno stoccato comporta il ricorso a metodiche di rifornimento diverse a tutto vantaggio della sicurezza di approvvigionamento.

9.3.4 Centrali di protossido d'azoto medicinale

I dati di fabbisogno generalmente assunti a base di progetto prevedono un consumo annuo *procapite* di 25 kg/anno PL ed un consumo giornaliero di 0,07 kg/PL.

Il sistema di stoccaggio ed erogazione *primario* è costituito da un contenitore criogenico e relativo evaporatore freddo (E.F.) adibito allo stoccaggio di *protossido d'azoto* allo stato liquido, in grado di assicurare alla massima portata di progetto una pressione di 15 bar. Il sistema è completato da:

- indicatore di livello in grado di rilevare le soglie di riempimento previste dalla normativa, rispettivamente al 50% e al 30% della capacità utile;
- manometro atto al rilievo e segnalazione a distanza della soglia di pressione minima di emergenza all'evaporatore;
- valvole di scarico ad intervento automatico contro le sovrappressioni previste dall'ISPESL.

La fonte secondaria e quella terziaria sono in genere identiche e prevedono il ricorso a pacchi bombole in grado di garantire un'autonomia non inferiore a 72 ore, obiettivo in genere facilmente raggiungibile anche in contesti caratterizzati da un numero elevato di posti letto in considerazione dei più modesti fabbisogni rispetto a quelli caratteristici dell'ossigeno.

La Riserva di Sicurezza, allacciata alla tubazione primaria a valle dell'evaporatore freddo, interviene automaticamente con le stesse modalità precedentemente presentate.

9.3.5 Centrale aria medicinale

I dati di fabbisogno generalmente assunti a base di progetto prevedono un consumo annuo *procapite* di 100 m³/anno per posto letto un consumo medio giornaliero di 0,27 m³ per posto letto.

Il sistema *primario* è in genere costituito da un centrale di compressione equipaggiata di due linee di compressione ridondanti, ciascuna delle quali adotta un compressore a vite refrigerato ad aria, filtro di aspirazione, manometro di regolazione e valvola di sicurezza. I parametri di accettabilità dell'aria medicale sono riportati in Tabella 18.

Tabella 18 Parametri di accettabilità dell'aria medicale

Pressione	10 bar
CO ₂	< 500 ppm
SO ₂	< 1 ppm
NO _x	< 2 ppm
CO	< 5 ppm

¹ In caso di ricorso a pacchi bombole, si richiede al sistema un'autonomia di 72 ore che, tenuto conto della modesta capacità di ciascuna bombola (129 m³), comporta un elevato numero di bombole e conseguentemente un elevato ingombro, soprattutto in strutture ospedaliere caratterizzate da un elevato numero di posti letto.

olio	< 0,1 mg/mc
H ₂ O	60 ppm (p.to di rugiada: - 47°C)
punto di rugiada minimo garantito	- 60°C

Prima di essere immessa in rete, l'aria compressa viene fatta passare attraverso un filtro sterile, dove tutte le cariche batteriche vengono trattenute in tutto lo spessore del mezzo filtrante con elevatissima efficienza ciclicamente sterilizzato con vapore saturo secco a 121°C.

9.4 Reti di distribuzione dei gas medicali

I materiali utilizzati per i componenti dell'impianto che vengono a contatto con il gas devono essere compatibili sia con esso che con l'ossigeno, sia in condizioni normali che di guasto. La compatibilità con l'ossigeno coinvolge sia la combustibilità che la facilità di accensione. Tutti i componenti dell'impianto che possono essere esposti alla pressione della bombola in condizioni normali o di guasto non devono ovviamente infiammarsi.

Il *rame* è il materiale preferenziale per tutte le tubazioni di gas medicali e per il vuoto.

La *regolazione della pressione* del gas in una rete di distribuzione può essere *monostadio* o *bistadio*.

Nella *distribuzione monostadio* la riduzione della pressione (fino a 4 bar) avviene utilizzando un unico regolatore ubicato nella centrale di decompressione, mentre in quella a *doppio stadio*, ad una riduzione della pressione fino a 8 ÷ 9 bar eseguita nella centrale di decompressione, viene fatta seguire un'ulteriore riduzione in prossimità dei punti di utilizzo, fino al raggiungimento dei 3.5 ÷ 4 bar richiesti.

Il sistema di distribuzione monostadio presenta una maggiore economicità e semplicità di realizzazione, dovuta all'impiego di un unico riduttore di pressione installato in centrale, opportunamente ridonato da un secondo riduttore in by-pass da impiegarsi in caso di guasto o di manutenzione.

Per contro il dimensionamento e la realizzazione della linea risulta più problematico, per la necessità di dover mantenere costante la perdita di carico in linea pur in presenza di percorsi di distribuzione caratterizzati da lunghezze anche sensibilmente differenti. Tale sistema, inoltre, mal sopporta eventuali successive espansioni, risultando perciò poco "flessibile".

9.5 Sistemi di monitoraggio e di allarme degli impianti di distribuzione dei gas medicali

Il controllo dei parametri di funzionamento dell'impianto e l'eventuale attivazione degli interventi d'emergenza sono un'esigenza imprescindibile nella gestione degli impianti gas medicali, per le gravi implicazioni sulla salute e la sicurezza sia degli assistiti che del personale.

Gli impianti preposti a tali attività hanno quindi il compito di informare il personale tecnico in merito alla necessità di interventi di manutenzione programmata e quello di attivare il personale medico, paramedico e tecnico in caso si rendano necessari interventi in emergenza.

Indicatori di allarme di tipo acustico luminoso sono collocati in zone sorvegliate con più riporti sia per il personale tecnico che medico. I sistemi di monitoraggio e di allarme possono essere classificati come segue:

- allarmi *operativi*: hanno lo scopo di notificare al personale tecnico che una o più sorgenti all'interno della centrale di alimentazione non è più utilizzabile ed è richiesto un intervento;
- allarmi *operativi di emergenza*: indicano una pressione anomala nella rete di distribuzione e potrebbero richiedere un intervento immediato da parte del personale tecnico;
- allarmi *clinici di emergenza*: indicano una pressione anomala nella rete di distribuzione e potrebbero richiedere un intervento immediato da parte del personale tecnico e del personale clinico;
- segnali *informativi*: hanno lo scopo di indicare lo stato normale dell'impianto. Tra gli allarmi ad alta priorità, va segnalato quello relativo alle variazioni di pressione (meno del 20%) nella canalizzazione rispetto al valore nominale. Tale segnale infatti indica, per variazioni negative della pressione, una notevole riduzione del flusso di gas, per mancanza di prodotto in centrale,

ostruzione, interruzione o rottura della tubazione, di adduzione o cattivo funzionamento degli organi di regolazione. La segnalazione per variazioni positive della pressione, invece può essere collegata alla rottura degli organi di regolazione, e anche in questo caso il ripristino delle normali condizioni di utilizzo è necessario per problemi di sicurezza all'utilizzo.



Figura 124 Quadro di riduzione di II stadio e relativi allarmi

10. Ventilazione delle cucine industriali

10.1 Generalità sul servizio di ristorazione

La cucina di un ospedale può a tutti gli effetti ritenersi un *impianto tecnologico* finalizzato alla preparazione e alla cottura dei cibi. Si tratta naturalmente di un impianto particolare per il quale in genere si adotta una distribuzione *per reparti* e il tipo di lavorazione è tipicamente per *commessa* (Figura 125).



Figura 125 Esempio di una cucina d'ospedale

Come per tutti gli impianti, la definizione del *plant-layout* potrà avvenire dopo che siano stati definiti i requisiti quali quantitativi delle attrezzature che dovranno essere ospitate e il flusso di materiali che li caratterizzeranno, dal conferimento delle materie prime alla spedizione dei pasti in contenitori di adeguate caratteristiche.

L'impianto sarà poi dotato di tutte quei reparti che gli sono propri, quali i magazzini per lo stoccaggio temporaneo delle materie prime, sia a temperatura ambiente che refrigerati, aree espressamente riservate all'immagazzinamento dei detersivi e dei disinfettanti, zone per la pulizia delle pentole e delle stoviglie, ecc..

Tutte queste aree andranno disposte cercando di limitare il più possibile l'incrocio dei flussi di materiali e di operatori e tenendo nel dovuto conto l'esigenza di prevenire contaminazioni dei cibi in preparazione ad opera di sostanze estranee (agenti detersivi, piatti e stoviglie sporche, ecc.).

Caratteristica peculiare delle cucine industriali è la rilevanza della potenza termica che le caratterizza, sovente dell'ordine di qualche centinaio di kW, che, qualora ottenuta tramite combustione diretta di gas naturale, le configura come una attività a rischio specifico di incendio. Per tale motivo, spesso le apparecchiature impiegate adottano, ove possibile, il ricorso al riscaldamento indiretto tramite vapore saturo ($T=110^{\circ}\text{C}$) o resistenza elettrica (Figura 126).



Figura 126 Esempi di cuocipasta industriali

Una menzione particolare merita la ventilazione della cucina che, oltre che a provvedere al ricambio d'aria necessario al benessere degli operatori, è finalizzata all'intercettazione delle sostanze inquinanti prodottesi nella cottura dei cibi (vapore, nebbie oleose, odori, gas di combustione) che devono essere intercettate prima che abbiano a diffondersi nel locale.

Considerata poi la specificità dell'attività sotto il profilo del rischio di incendio, particolari cautele sono da adottarsi sia nei riguardi della compartimentazione che in quelli delle vie di comunicazione con vani a diversa destinazione d'uso che dovranno essere protette tramite strutture a resistenza REI adeguata.

In generale dunque le problematiche che si affrontano nella progettazione di una cucina sono le seguenti:

- Definizione del numero e del tipo di apparecchiature da installare in funzione delle esigenze del cliente
- Predisposizione di un layout adeguato ed in grado di ottimizzare i flussi di materiali e operatori
- Ricognizione di tutti i servomezzi necessari e predisposizione dei relativi punti di consegna;
- Predisposizione delle cappe di aspirazione per la captazione *alla sorgente* degli agenti inquinanti emessi durante la cottura
- Definizione del sistema di ventilazione

Tra tutti i punti in precedenza citati, una trattazione dedicata merita la ventilazione, per le peculiarità che la caratterizza in virtù dell'attività sottesa.

10.2 Definizione dei requisiti del sistema di ventilazione

In termini del tutto generali si affermare che la ventilazione di una cucina industriale (Figura 127) implichi l'immissione dell'aria trattata nel locale per mezzo di condotte aerauliche dedicate e la sua espulsione attraverso le cappe di aspirazione poste a presidio delle sorgenti inquinanti (piastre di cottura, forni, fuochi, lavastoviglie, ecc.).

Trattandosi di aria contaminata, è ovviamente opportuno evitarne il ricircolo. Eventuali recuperi di calore di natura indiretta (per mezzo di scambiatori dedicati) possono essere presi in considerazione, anche se va osservato che l'inevitabile presenza di condense di sia di vapore che di olio, che tendono ad intasare le batterie di scambio, li rendono molto difficoltosi e addirittura controproducenti.

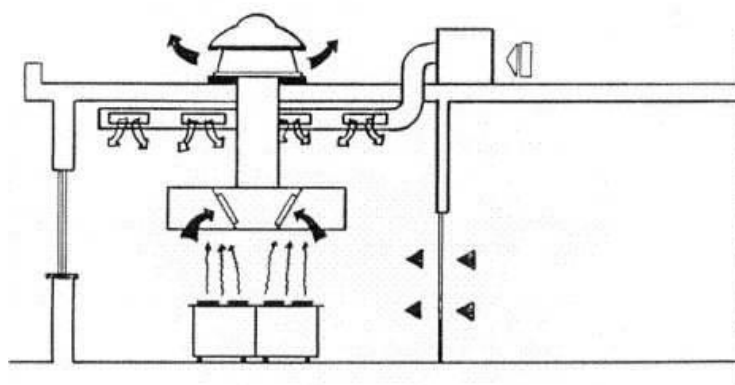


Figura 127 Flussi d'aria indotti dal sistema di ventilazione di una cucina

Un altro aspetto da considerare riguarda l'esigenza di evitare che gli odori presenti in cucina abbiano ad interessare anche i locali attigui, quali per esempio la sala di refezione, ragion per cui è buona norma prelevare parte dell'aria di aspirazione da questi ambienti attraverso delle griglie di transito opportunamente disposte sulle porte, in modo che la cucina risulti in leggera depressione ($10 \div 20$ Pa) rispetto ad essi.

Naturalmente le bocche di mandata dell'aria di rinnovo andranno strategicamente disposte in modo da conseguire un completo "lavaggio" del locale, evitando il verificarsi di cortocircuitazioni che diano luogo a zone di ristagno dell'aria, con tutte le conseguenze in termini di elevate concentrazioni di inquinanti che ne derivano.

Un'altra problematica molto sentita riguarda la necessità di contenere il dispendio energetico conseguente alla necessità di condizionare l'aria di immissione. Poiché tale dispendio è direttamente proporzionale alla portata d'aria trattata, risulta vantaggioso adottare dei sistemi a porta variabile che, pur dimensionati per il massimo carico previsto in condizioni di progetto, riducano la portata prelevata in tutti quei periodi in cui l'attività non è a pieno regime, secondo svariate logiche di funzionamento.

Naturalmente la regolazione della portata d'aria di ricambio può essere effettuata in modo più o meno sofisticato, che va da un semplice controllo manuale, all'uso di timer, fino a sistemi in cui la portata viene fatta variare in modo proporzionale alla concentrazione di uno specifico inquinante (spesso la CO_2) rilevata da un sensore dedicato.

10.3 Cappe di aspirazione.

Nella scelta e nel dimensionamento delle cappe si dovrebbero sempre tenere presenti i seguenti criteri fondamentali:

- applicare la cappa il più vicino possibile alla sorgente di contaminazione, possibilmente includendovela;
- sistemare la cappa e configurarla in modo che le particelle inquinanti prodotte dalla sorgente si dirigano verso l'apertura aspirante (preferibilmente verso la parte centrale di essa);
- disporre la cappa in modo che l'operatore non si trovi mai fra la sorgente inquinante e la cappa stessa;
- limitare, con schermi o sipari, le correnti d'aria che possano disperdere le emissioni;
- prevedere cappe con flange, al fine di ridurre la portata d'aria occorrente.

Va da sé che, per rimuovere le particelle inquinanti dal punto in cui si formano, è necessario assicurare, in corrispondenza dello stesso, una velocità dell'aria (*velocità di captazione*) più elevata della velocità di fuga delle particelle. Pertanto, i principali fattori che influiscono sulla efficienza di un impianto di aspirazione sono la forma della cappa o della chiusura attorno alla sorgente inquinante e la portata di aria aspirata.

Nella progettazione delle cappe occorre stabilire la superficie nominale di ingresso e la velocità media dell'aria da mantenere sul perimetro. Il prodotto di questi due termini determina il valore di portata d'aria di estrazione.

Nel caso specifico di una cappa disposta superiormente a una vasca (Figura 128), la velocità dell'aria sotto la cappa è misurata con sufficiente approssimazione mediante la formula sperimentale

$$v = 0,71 \frac{Q}{P \cdot z}$$

Dove:

- v velocità dell'aria [m/s];
- Q portata d'aria nella cappa [m³/s]
- P perimetro della vasca [m]
- z distanza dalla cappa misurata verticalmente [m].

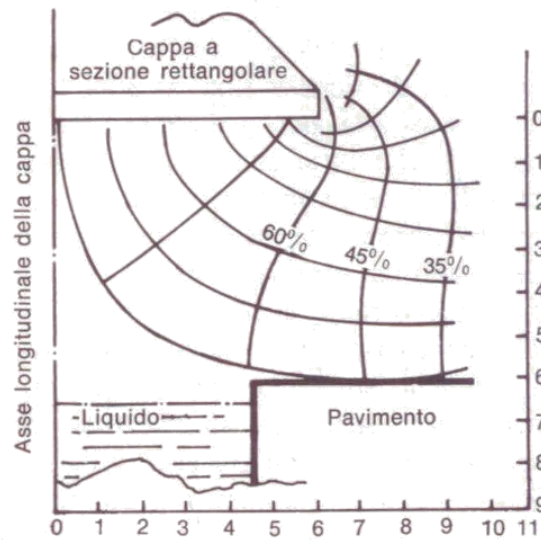


Figura 128 Curve di livello delle velocità e linee di flusso in un piano verticale passante per l'asse longitudinale di una cappa sovrastante una vasca

Al di sopra di contenitori di liquidi in ebollizione, di bollitori o serbatoi, la portata d'aria di aspirazione deve essere maggiore della massima portata di vapore prodotto.

Nel caso di superfici di esposizione molto grandi, si deve provvedere all'adozione di più cappe, affinché l'aspirazione risulti uniforme (Figura 129). In alternativa si può utilizzare una superficie schermante per assicurare una distribuzione uniforme della portata in ingresso con un unico condotto di aspirazione.



Figura 129 Cappe di aspirazione

Quando l'aria carica di polveri o altri inquinanti sia stata raccolta, è necessario trasportarla stabilendo una idonea velocità dell'aria stessa lungo il condotto di estrazione (15 ÷ 20 m/s).

Tra i criteri da osservare nella progettazione delle condotte aerauliche dell'impianto di ventilazione citiamo ancora i seguenti:

- Prevedere una presa d'aria esterna lontana da fonti di inquinamento ambientale sia interno che esterno dotata di un primo sistema di filtrazione (EU3);
- Prevedere cavedi verticali e spazi per l'alloggio di canali per la distribuzione dell'aria, preferibilmente in controsoffitti ispezionabili;
- Prevedere griglie di passaggio sulle porte per facilitare il flusso di ripresa dell'aria dai locali di servizio e dai corridoi;
- Prevedere, in funzione della destinazione d'uso dei locali, un secondo stadio di filtrazione locale (filtri a tasche o frontali);
- Realizzare canali di mandata e di ripresa ispezionabili, al fine di garantirne la manutenzione. Devono inoltre essere prevedersi delle aperture per la pulizia le cui dimensioni siano adeguate alla sezione del condotto.

10.4 Prese d'aria esterna

Nel posizionamento delle prese d'aria esterna si devono evitare fenomeni di cortocircuitazione con l'aria espulsa, il prelievo d'aria inquinata o l'eventuale interferenza degli agenti atmosferici (primo fra tutti il vento) con il normale funzionamento dell'impianto.

Per tali motivi, sovente si ricorre al tetto dell'edificio, con l'accortezza di direzionare le griglie di transito in direzione opposta a quella dei venti predominanti.

Qualora la presa d'aria debba essere ricavata in parete, essa va posta in posizione più elevata rispetto al livello del suolo in modo da non essere investita da polveri, sabbia, pioggia, ecc. presenti nella zona di ricircolo in prossimità del terreno. L'altezza minima dal suolo su vie di traffico deve risultare di 4 metri. Sconsigliatissimo il prelievo d'aria da scantinati sotto il livello del suolo in quanto spesso maleodoranti e interessati dalla frequente presenza di fumi di scarico.

10.5 Separazione di grassi e vapori presenti nell'aria di aspirazione

Un aspetto peculiare degli impianti di ventilazione a servizio delle cucine riguarda la significativa presenza di vapor acqueo e oli nell'aria di aspirazione, che pone dei problemi di vario tipo.

Il *vapore* acqueo aumenta il volume dei gas aspirati rendendone più onerosa in termini energetici la movimentazione a mezzo dei ventilatori aspiranti. Inoltre esso finisce inevitabilmente per condensare nei condotti subito a valle della cappa, dando luogo a ristagni d'acqua che risultano alla base di numerosi inconvenienti quali fenomeni di corrosione passante, sviluppo di muffe e batteri, imbrattamento delle pareti dei condotti.

L'*olio* e i *grassi* sono anch'essi passibili di condensare sulle pareti interne dei canali, dando luogo a fenomeni di imbrattamento analoghi a quelli visti per il vapor acqueo, con l'aggravante dell'elevata infiammabilità che li caratterizza e che in diverse occasioni è stata alla base di incendi devastanti, originatisi proprio nelle canne fumarie delle cucine.

Per i motivi in precedenza evidenziati, si adottano numerosi accorgimenti atti a limitare l'introduzione all'interno dei condotti di scarico di tali indesiderati inquinanti.

Le cappe di aspirazione sono innanzitutto dotate di *filtri condensatori* (a labirinto) in grado di trattenere, almeno in parte, le particelle di grasso in sospensione e il vapore acqueo.



Figura 130 Cappa di aspirazione con filtro a labirinto

Le condotte dell'aria devono essere prodotte in materiale liscio ed impermeabile, le piegature sul lato inferiore vengono saldate o rese stagne in modo da evitare la fuoriuscita di grassi e condensa, inoltre tutte le sezioni della condotta vengono provviste di un numero sufficiente di aperture per la pulizia.

Le condotte orizzontali dell'aria di scarico e dell'aria di transito dovranno essere molto corte. Nelle zone più basse sarà necessario prevedere contenitori di raccolta per la condensa di tipo adeguato che possano essere controllati e puliti con facilità. Queste condotte dovranno essere messe in opera nel modo più rettilineo possibile e isolate termicamente nel passaggio da zone fredde.

Le cappe di aspirazione per vapore montate sopra gli apparecchi servono alla rapida captazione dei vapori, devono sporgere rispetto agli apparecchi di cui sopra di almeno 0,10 m lungo l'intero perimetro, riferito ad una distanza di 2,10 m tra lo spigolo inferiore della cappa e il pavimento.

10.6 Tipi di impianti di estrazione delle grandi cucine.

Una prima sostanziale distinzione va fatta tra impianti a *captazione localizzata* (con cappe terminali che agiscono localmente sopra le apparecchiature per intercettarne le fumane) e impianti a *dislocamento*, nei quali la superficie captata viene praticamente estesa a tutto il soffitto della cucina per mezzo di una *controsoffittatura aspirante* che dà luogo ad un flusso d'aria diffuso ed omogeneo verso l'alto.

L'impianto di aspirazione ha la funzione di provocare un flusso d'aria fra la sorgente inquinante e la cappa di forma opportuna, sistemata il più vicino possibile alla sorgente, in modo da aspirare l'aria inquinata e impedire che questa si disperda nello spazio circostante.

La Figura 131 illustra schematicamente un impianto per l'aspirazione di polveri, fumi, gas. Nelle sue parti essenziali, un impianto del genere comprende, nel caso più generale:

- una o più cappe aspiranti;
- uno o più condotti colleganti le cappe al ventilatore
- un condotto per lo scarico nell'atmosfera dell'aria aspirata dalla cucina.

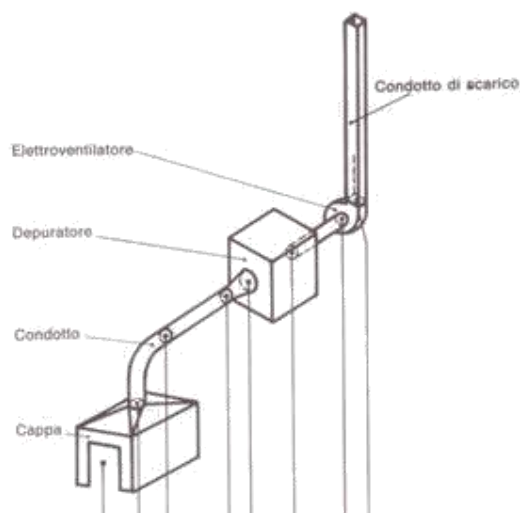


Figura 131 Schema di un impianto di aspirazione

10.6.1 Impianto a semplice estrazione

In tale tipologia di impianto prevede l'installazione delle sole cappe e dei relativi condotti di estrazione, affidando il prelievo dell'aria di reintegra a delle prese d'aria praticate nelle pareti perimetrali e sulle porte di collegamento con i locali attigui (Figura 132).

Costituisce la tipologia di impianto più semplice che a fronte di un innegabile vantaggi in termini di semplicità di installazione, basso costo e semplicità di manutenzione dà luogo ad innumerevoli inconvenienti.

L'estrazione crea infatti una depressione che preleva aria dall'esterno e dai locali attigui tramite le finestre e le porte, con presenza di correnti d'aria indesiderate e fastidiose, difficoltà nei tiraggi dei camini, scompensi termici (soprattutto nella stagione invernale).

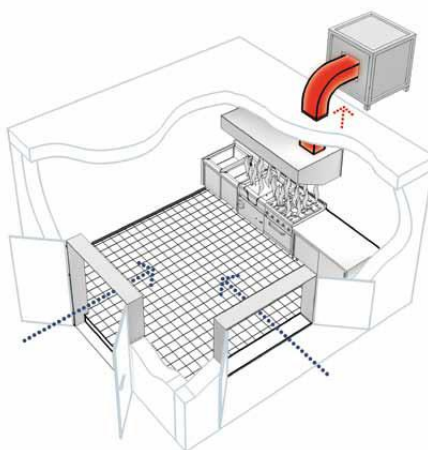


Figura 132 Impianto a semplice estrazione

10.6.2 Impianto di estrazione con reintegro in ambiente

In questo tipo di impianto per l'immissione dell'aria esterna ci si avvale di una condotta dedicata che provvede al prelievo e al trattamento dell'aria e alla sua immissione in ambiente per mezzo di un ventilatore (Figura 133).

Il trattamento dell'aria esterna prevede la filtrazione, il raffrescamento e la deumidificazione d'estate mentre d'inverno l'umidificazione dell'aria immessa può essere in genere evitata per la già elevata presenza di vapore in ambiente conseguente alla cottura dei cibi.

Resta inteso che rispetto la soluzione precedente, quella considerata presenta dei costi di investimento e di gestione significativamente più elevati per il sostanziale raddoppio dell'impianto aeraulico e il costo energetico associato con il trattamento dell'aria esterna. Per contro le condizioni di confort ambientale sono decisamente superiori.

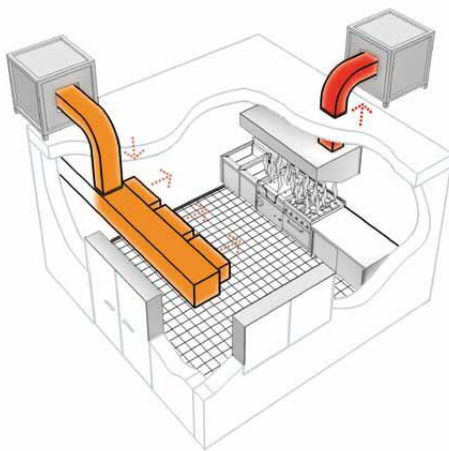


Figura 133 Impianto di estrazione con reintegro in ambiente

10.6.3 Impianto a compensazione in cappa

La cappa sfruttata (*cappa compensata* Figura 135) in questo tipo di impianto (Figura 134) risulta connessa sia ai condotti di immissione che a quelli di espulsione che in entrambi i casi sono dotati di ventilatore.

L'aria di immissione che perviene alla cappa, vien liberata in ambiente attraverso una feritoia ricavata sul perimetro della cappa, creando una sorta di cortina che confina i fumi provenienti dalla zona di combustione e ne permette il successivo indirizzamento verso la zona centrale del terminale di aspirazione, da dove seguirà poi il consueto percorso di espulsione.

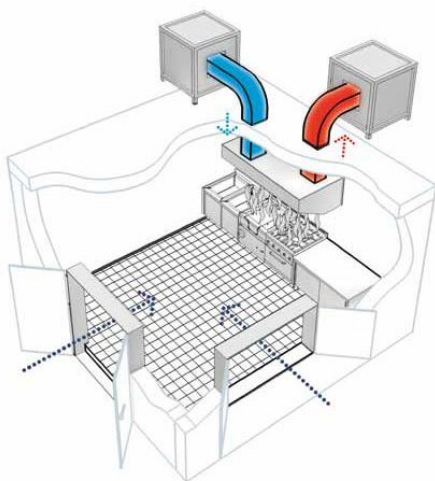


Figura 134 Impianto a compensazione in cappa

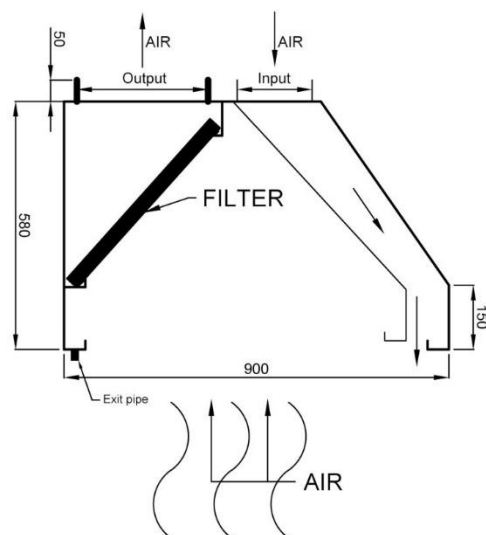


Figura 135 Particolare della cappa

L'adozione di questo dispositivo consente di limitare fortemente l'aria prelevata direttamente dalle aperture all'uso predisposte (porte, finestre, griglie di transito), limitando in maniera sostanziale tutti quei problemi che invece caratterizzano gli impianti a semplice estrazione di cui costituiscono evidentemente una significativa evoluzione.

10.6.4 Impianto a compensazione con reintegro in ambiente

Il dispositivo di aspirazione impiegato in questo tipo di impianto risulta del tutto analogo a quello impiegato nel caso precedente. L'immissione risulta invece forzata tramite un condotto dedicato che, a differenza di quanto avviene per gli impianti *semplici* (cfr. par. 10.6.2), viene dimensionato per movimentare una portata d'aria pari a circa $1/3$, con evidenti benefici in termini di costi di energetici. Per contro i costi di impianto risulteranno aggravati.

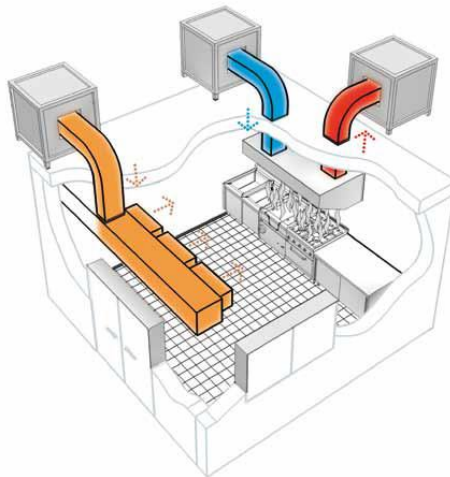


Figura 136 Impianto a compensazione con reintegro in ambiente

10.6.5 Soffitti aspiranti

Alternativa efficiente e di elevato valore estetico alle cappe tradizionali o a compensazione, i soffitti aspiranti sono progettati su misura per ogni ambiente di cucina. Il soffitto aspirante ottimizza la distribuzione delle attrezzature, che possono venire spostate o riposizionate liberamente.

Nella sua configurazione originale, quindi la più semplice, un sistema di estrazione a contro-soffitto consiste nella contro-soffittatura totale della cucina mediante elementi metallici equipaggiati con filtri inerziali aventi la funzione di trattenere o catturare le particelle presenti nei flussi di aria inquinata che viene liberata dai corpi di cottura (Figura 137).

In pratica, l'aria viziata viene richiamata per differenziale termico e per depressione verso il contro-soffitto depositando per azione inerziale le particelle di grasso nelle trappole di separazione. L'aria, così depurata si diffonde quindi nel vano contro-soffitto e da cui viene estratta e scaricata all'esterno mediante un canale di espulsione. Il sistema offre numerosi vantaggi, tra i quali:

- Risparmio energetico
- Ventilazione totale senza correnti d'aria
- Buon microclima ambiente
- Eliminazione rapida degli odori
- Struttura modulare di grande effetto estetico
- Libera scelta nella sistemazione delle apparecchiature di cottura in ogni momento
- Facile accesso allo spazio superiore del controsoffitto
- Estrema silenziosità con attenuazione del rumore prodotto dal lavoro in cucina

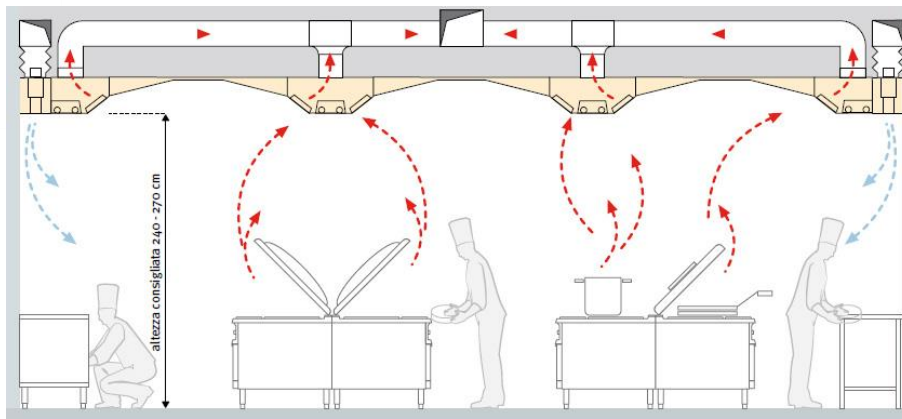


Figura 137 Sezione di una cucina equipaggiata con controsoffitto aspirante

10.7 Elementi di calcolo delle cappe di aspirazione.

Per il dimensionamento della cappa di aspirazione si osserva innanzitutto che la velocità dell'aria nella sua zona di influenza non è costante, ma segue in prima approssimazione l'andamento evidenziato in Figura 138, dove si schematizza una cappa a baldacchino non addossata ad una parete e sovrastante una piastra di cottura di dimensioni in pianta analoghe a quelle della cappa.

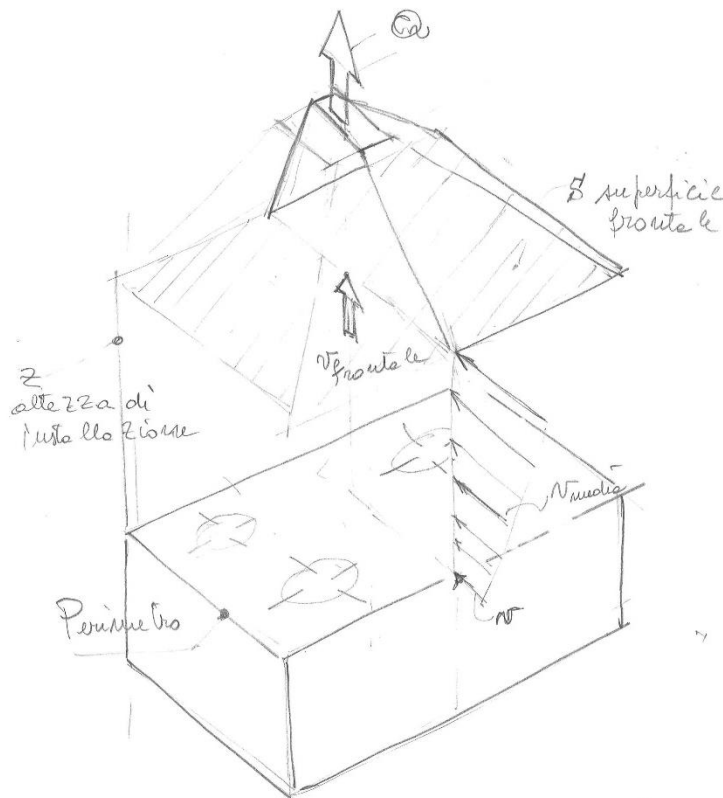


Figura 138 Andamento della velocità nella zona di influenza della cappa

Il campo di velocità, rilevato tramite misure sperimentali, risulta abbastanza complesso e prevede delle linee di flusso convergenti verso la sezione di gola della cappa stessa.

Sulla fascia perimetrale compresa tra il perimetro della cappa e il sottostante perimetro della piastra di cottura (in prima approssimazione identici), lungo l'asse longitudinale indicato in Figura 138, l'andamento della velocità dell'aria non risulta costante, ma diminuisce man mano che ci si allontana dal bordo cappa in direzione del perimetro della piastra filtrante.

In prima approssimazione si può ritenere che l'andamento sia lineare e che la velocità in corrispondenza del perimetro della piastra sia pari alla metà del valor medio sull'asse considerato.

Giova a questo punto osservare che, affinché l'azione della cappa risulti efficace, in ciascun punto della fascia perimetrale in precedenza richiamata la velocità deve risultare superiore ad un valore critico, denominato *velocità di cattura*, al di sotto del quale non è possibile intercettare le particelle inquinanti e queste riescono, almeno in parte, a disperdersi nell'ambiente circostante.

Ciò detto, risulta con tutta evidenza l'interesse ad esprimere il valore di velocità *nel punto più critico* in precedenza evidenziato in funzione della portata d'aria complessivamente aspirata attraverso alla cappa. Ovviamente, tutta la portata che transita attraverso la sezione di gola della cappa dovrà parimenti transitare attraverso la fascia perimetrale, non essendovi ulteriori vie per il passaggio dell'aria.

Detta Q la portata aspirata [m^3/s], v la velocità sul perimetro [m/s], P il perimetro della piastra [m] e Z l'altezza di installazione della cappa rispetto il piano di cottura [m], si potrà scrivere

$$Q = P \cdot Z \cdot v_{\text{media}}$$

Ricordando che $v = 0,5 v_{\text{media}}$, si potrà ancora scrivere:

$$Q = P \cdot Z \cdot 2 \cdot v$$

Da cui si ricava infine la formula (approssimata) per il dimensionamento di questo tipo di cappe:

$$v = 0.5 \cdot \frac{Q}{P \cdot Z} \quad [\text{m/s}]$$

Che lega la velocità di cattura alla porta aspirata e alle altre grandezze geometriche caratterizzanti la cappa.

Per i valori della velocità di cattura da assumersi a base di progetto, tenuto conto che nella cottura si sviluppano *aeriformi* e goccioline molto piccole di olio o grasso (*particolato*), le velocità possono essere molto contenute (ben al di sotto dei 0,5 m/s che si adotta in molti casi). In Tabella 19 si riportano i valori della velocità di cattura suggeriti per le cappe di aspirazione a servizio delle cucine.

Tabella 19 Valori consigliati della velocità di cattura per le cappe di aspirazione a servizio delle cucine

Condizioni di esercizio	Velocità di cattura [m/s]
Aria calma	0,10 ÷ 0,15
Con deboli correnti trasversali	0,15 ÷ 0,30
Con corti correnti trasversali	0,20 ÷ 0,40

Si ricorda che per ottenere una separazione ottimale del grasso è necessaria una velocità dell'aria di attraversamento del filtro compresa tra 1 e 2 m/s. In si riportano da ultimo i valori di portata suggeriti in funzione della tipologia di apparecchiatura presidiata.

Tabella 20 Portata di aspirazione suggerita per le diverse tipologie di apparecchiature

Tipologia di apparecchiatura	Portata [m^3/h]
Bagnomaria	300
Brasiera	1200
Brasiera automescolante	3000
Cucina a 4 fuochi	800
Cucina a 6 fuochi tuttapiastra	1200
Cucina a 8 fuochi tuttapiastra	1600
Cucina a fuoco diretto	3000
Cuocipasta a cestelli	700
Cuocipasta ribaltabile (15/20 Kg)	6000
Cuocipasta ribaltabile (30/40 Kg)	8000
Fornellone a pavimento	300
Forno a vapore (4/6 griglie GN 1/1)	500
Forno a vapore (15/20 griglie GN 2/1)	1500
Forno a convezione (4/6 teglie)	300
Forno a convezione (10/12 teglie GN 1/1)	500

Tipologia di apparecchiatura	Portata [m³/h]
Forno a convezione (10/12 teglie GN 2/1)	1000
Forno a convezione (18/20 teglie GN 2/1)	2000
Friggitrice (15/20 litri)	2000
Friggitrice (30/40 litri)	3000
Friggitrice in continuo (120/150 litri)	8000
Friggitrice in continuo (180/220 litri)	10000
Fry-top (bistecchiera)	2000
Pentola da litri 100	1800
Pentola da litri 200	2000
Pentola a vapore da litri 100	1800
Pentola a vapore da litri 200	1800
Pentola a vapore da litri 300	2500
Pentola a vapore da litri 500	3500
Pietra lavica	2200

11. Bibliografia

1. Armando Monte: “Elementi di impianti industriali” ed. Libreria Cortina, Torino, 1988.
2. UNI 10339: Impianti aeraulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d’offerta, l’offerta, l’ordine e la fornitura
3. Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle strutture sanitarie, pubbliche e private” approvata con il Decreto del Ministero dell’interno del 18 settembre 2002