

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica



**Politecnico
di Torino**

Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Progettazione di un impianto frigorifero ad espansione diretta

Relatore:
Prof. Marco Carlo Masoero

Laureanda:
Mariarita Ortiz

A.A 2023/2024

SOMMARIO

INDICE DELLE FIGURE.....	3
INDICE DELLE TABELLE.....	5
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	6
CAPITOLO 1 Ciclo frigorifero e sistemi refrigeranti	8
1.1 Il compressore	14
1.2 Il condensatore.....	21
1.3 Valvole e organi di laminazione.....	26
1.4 L'evaporatore	29
1.5 Dispositivi ausiliari	33
1.6 Efficienza del ciclo frigorifero e Coefficiente di Prestazione	37
CAPITOLO 2 Il problema dello sbrinamento	38
CAPITOLO 3 I fluidi refrigeranti.....	41
CAPITOLO 4 Requisiti di conservazione dei prodotti ortofrutticoli	45
CAPITOLO 5 Progettazione di un impianto frigorifero ad espansione diretta.....	49
4.1 Analisi dei requisiti	51
4.2 Predisposizione celle in pianta	53
4.3 Pannelli e porte frigorifere	58
4.4 Calcolo del carico termico	64
4.5 Selezione dei principali componenti	67
4.6 Dimensionamento tubazioni	81
4.7 Layout dell'impianto.....	86
CAPITOLO 6 Conclusioni e prospettive future	89
BIBLIOGRAFIA.....	92

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Schema termodinamico della macchina frigorifera	8
Figura 2: Ciclo termodinamico della macchina frigorifera	9
Figura 3: Schema funzionale della macchina frigorifera	10
Figura 4: Schema di un impianto frigorifero	10
Figura 5: Impianto ad espansione indiretta	11
Figura 6: Funzionamento del compressore alternativo	15
Figura 7: Esempi di compressore a pistoni aperto	16
Figura 8: Esempi di compressori a pistoni semiermetici	17
Figura 9: Esempio di compressore a pistoni ermetico	18
Figura 10: Funzionamento del compressore a vite	18
Figura 11: Esempio di compressore a vite	19
Figura 12: Fase di condensazione sul diagramma pressione-entalpia	22
Figura 13: Esempi di condensatori ad aria	23
Figura 14: Chiller per produzione di acqua refrigerata	24
Figura 15: Torre evaporativa	25
Figura 16: Valvola di espansione termostatica	27
Figura 17: Valvole di espansione elettroniche	27
Figura 18: Tubo capillare di espansione	28
Figura 19: Fase di evaporazione sul diagramma pressione-entalpia	30
Figura 20: Evaporatore ventilato angolare	31
Figura 21: Evaporatore ventilato cubico	31
Figura 22: Ricevitore di liquido	33
Figura 23: Separatore d'olio	34
Figura 24: Sifone sul tubo di aspirazione e mandata	34
Figura 25: Lubrificante intrappolato nel sifone	35
Figura 26: Filtro disidratatore	36
Figura 27: Vetro spia	36
Figura 28: Resistenza elettrica sull'evaporatore	40
Figura 29: Classificazione fluidi frigoriferi	44
Figura 30: Durata di conservazione dei prodotti a diverse temperature	46
Figura 31: Depuratore di etilene	48

Figura 32: Layout dimensioni celle	55
Figura 33: Particolare isolamento a pavimento celle	61
Figura 34: Layout impianto con porte frigorifere e rampe di carico	63
Figura 35: Dati richiesti per il dimensionamento del compressore.....	67
Figura 36: Miscela zeotropica - Effetto glide	68
Figura 37: Dati richiesti per il dimensionamento dell'unità motocondensante	72
Figura 38: Schema base unità motocondensante.....	74
Figura 39: Unità motocondensante per le celle 1,2,3 (SX) e per la zona carico/scarico (DX).....	74
Figura 40: Dati richiesti per il dimensionamento dell'evaporatore.....	76
Figura 41: Evaporatore cubico a parete per celle 1,2,3 (sopra).....	77
Figura 42: Valvola E3V - S (SX) e valvola E4V - B (DX)	80
Figura 43: Dati richiesti per il dimensionamento delle tubazioni	83
Figura 44: Linea del liquido	83
Figura 45: Linea di aspirazione.....	84
Figura 46: Linea di mandata.....	84
Figura 47: Layout finale impianto	88

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Temperatura di conservazione di alcuni prodotti ortofrutticoli.....	46
Tabella 2: Dimensioni celle.....	56
Tabella 3: Proprietà isolante P.I.R.	59
Tabella 4: Porte frigorifere	61
Tabella 5: Caratteristiche dei diversi prodotti ortofrutticoli	65
Tabella 6: Fattore correttivo per la movimentazione dei prodotti	65
Tabella 7: Carico termico.....	66
Tabella 8: Calcolo prestazioni compressori.....	70
Tabella 9: Caratteristiche tecniche unità motocondensante	73
Tabella 10: Prestazioni evaporatori.....	77
Tabella 11: Calcoli per la scelta della valvola di espansione	79
Tabella 12: Selezione valvola di espansione.....	79
Tabella 13: Tabella riassuntiva dei componenti selezionati.....	80
Tabella 14: Velocità consigliate dei refrigerante nei condotti	81
Tabella 15: Tabelle riassuntive dimensionamento tubazioni.....	85

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

La tecnologia della refrigerazione rappresenta un elemento essenziale nelle moderne società industrializzate, assumendo una posizione vitale in molti settori, tra cui quello alimentare, medico, farmaceutico e tecnologico. Sin dai tempi antichi si è riconosciuta l'importanza e il valore di tale processo attraverso tecniche rudimentali come la conservazione degli alimenti in locali bui o freschi e l'utilizzo di risorse come il ghiaccio.

Durante gli ultimi due secoli, lo sviluppo e il progresso della refrigerazione ha influenzato in modo significativo la nostra vita quotidiana; abbiamo assistito a un costante avanzamento, dall'introduzione iniziale di macchine frigorifere mosse da energia meccanica nel XIX secolo, fino alle moderne metodologie di refrigerazione che si basano su sistemi quali compressori, evaporatori e condensatori. Questo ha permesso la conservazione degli alimenti su vasta scala, la produzione di farmaci e vaccini e il corretto funzionamento di dispositivi elettronici e industriali.

Numerosi sono i vantaggi che ha generato l'innovazione della tecnologia della refrigerazione nel settore alimentare, quali una maggiore sicurezza grazie alla conservazione prolungata degli alimenti freschi, la riduzione degli sprechi e la prevenzione delle malattie trasmesse da essi. In aggiunta, l'evoluzione ha permesso la produzione su vasta scala di prodotti congelati e surgelati, ampliando l'offerta di alimenti fuori stagione e aprendo nuove opportunità sul mercato globale. Questo fenomeno ha avuto un impatto significativo sulla crescita economica e quindi sull'economia globale.

Nonostante ciò, l'ampio utilizzo di tale processo di refrigerazione ha suscitato non poche preoccupazioni riguardo il consumo energetico e le emissioni di gas refrigeranti responsabili dell'effetto serra. Di conseguenza, si pone attenzione sullo sviluppo di tecnologie più efficienti ed eco-sostenibili come l'impiego di refrigeranti naturali a impatto ambientale ridotto e l'adozione di sistemi di refrigerazione alimentati da energia solare o geotermica.

La refrigerazione è una tecnologia intricata poiché coinvolge concetti di termodinamica, meccanica dei fluidi e trasmissione del calore in tutti i suoi processi e utilizzi. È necessaria, dunque, una profonda comprensione di tali tematiche per conoscere i sistemi refrigeranti e le loro applicazioni.

In particolare, la refrigerazione industriale si basa su una scala molto più ampia e complessa rispetto a quella domestica, utilizzando un ampio range di temperature. Si passa dai 15°C per la temperatura di evaporazione fino ad arrivare a circa -60°C, e alcune volte anche -70°C.

Questo lavoro di tesi nasce da un tirocinio di 150 ore presso l'azienda Refrom S.r.l. L'azienda opera nel settore della refrigerazione industriale, in particolare si occupa di realizzare celle frigorifere destinate alla conservazione, maturazione e congelamento di prodotti ortofrutticoli. Lo scopo finale è stato quello di progettare un impianto frigorifero a partire da richieste specifiche del cliente.

L'obiettivo di questa tesi è proporre e analizzare la progettazione di un impianto frigorifero industriale dedicato alla conservazione di prodotti ortofrutticoli. Partendo dalle specifiche esigenze di conservazione dei diversi tipi di prodotti ortofrutticoli, verranno esaminate le caratteristiche e i requisiti dell'impianto, nonché i componenti e le tecnologie più idonee per garantire la massima efficacia ed efficienza nella conservazione.

In particolare, la tesi si concentrerà su aspetti chiave come la scelta dei fluidi refrigeranti più adatti, il dimensionamento dei componenti, la configurazione dell'impianto per garantire la flessibilità operativa e la sicurezza alimentare. Saranno esaminati anche gli aspetti normativi e ambientali, considerando le normative vigenti sulla gestione sostenibile dei fluidi refrigeranti e sull'impatto ambientale degli impianti.

Il lavoro di ricerca si articolerà in una serie di capitoli che approfondiranno i vari aspetti della progettazione dell'impianto, analizzando le soluzioni tecniche e le considerazioni pratiche necessarie per realizzare un sistema frigorifero di successo per la conservazione dei prodotti ortofrutticoli.

CAPITOLO 1

CICLO FRIGORIFERO E SISTEMI REFRIGERANTI

Nei campi dell'ingegneria termica e della refrigerazione, i cicli frigoriferi e i relativi sistemi rappresentano l'elemento essenziale per il controllo della temperatura in molteplici applicazioni.

I cicli frigoriferi sono basati su processi termodinamici che utilizzano la capacità di specifici fluidi, chiamati fluidi refrigeranti, di assorbire calore durante l'evaporazione e di rilasciarlo durante la condensazione. Fondamentalmente, questi cicli convertono l'energia meccanica in trasferimento di calore.

Le macchine frigorifere sono quelle che funzionano secondo il processo ciclico di raffreddamento, ovvero trasferiscono calore da zone a temperatura più bassa a zone temperatura superiore. Per fare ciò, utilizzano una certa quantità di energia che rende possibile tale scambio, come mostrato in Figura 1 in cui si riporta lo schema termodinamico.

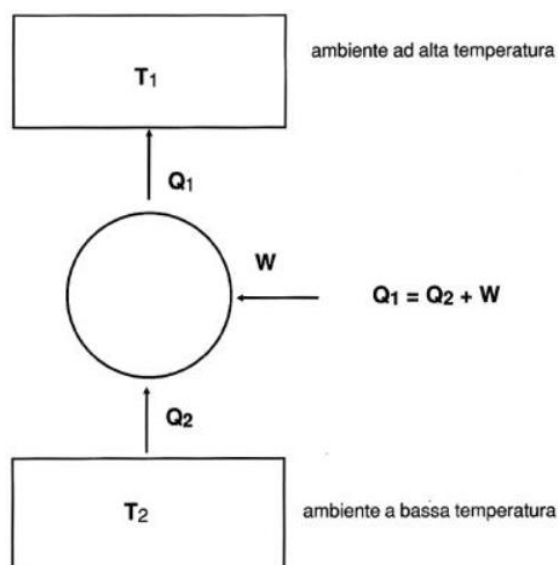


FIGURA 1: SCHEMA TERMODINAMICO DELLA MACCHINA FRIGORIFERA

Al giorno d'oggi, esistono molte tipologie di macchine frigorifere, tra cui le macchine a compressione di vapore, le macchine ad assorbimento, le macchine ad espansione diretta e le macchine termoelettriche.

La rappresentazione dei cicli frigoriferi, chiamati anche cicli inversi, avviene utilizzando il diagramma pressione-entalpia, come mostrato in Figura 2.

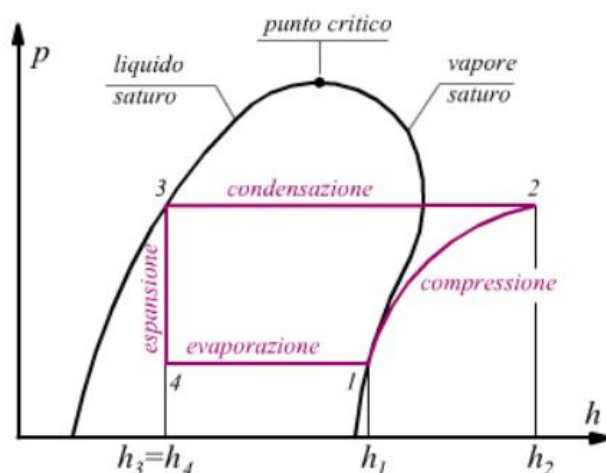


FIGURA 2: CICLO TERMODINAMICO DELLA MACCHINA FRIGORIFERA

Un ciclo inverso è dunque un circuito chiuso che viene realizzato collegando tra loro quattro componenti che sono:

- *Compressore* → viene azionato da un'energia meccanica fornita dall'esterno. In questo modo, il fluido refrigerante proveniente dall'evaporatore sottoforma di vapore saturo, aumenta la sua temperatura e pressione diventando vapore surriscaldato.
- *Condensatore* → il gas surriscaldato, entrando in contatto con un fluido (aria o acqua) a temperatura inferiore, raggiunge la temperatura di saturazione rimuovendo calore; il vapore si trasforma in liquido saturo. È di buona pratica rendere il liquido saturo sottoraffreddato.
- *Valvola di espansione* → il refrigerante liquido diminuisce la sua pressione e temperatura e ne fuoriesce una miscela di liquido-vapore.
- *Evaporatore* → il fluido refrigerante passa dalla miscela di liquido-vapore a vapore saturo, sottraendo calore dall'ambiente che si vuole raffreddare. Nella pratica è bene surriscaldare il vapore nel tubo di aspirazione, il modo tale da evitare le

infiltrazioni di piccole particelle di liquido all'interno del compressore che causerebbero il suo malfunzionamento.

In Figura 3 viene mostrato quanto descritto.

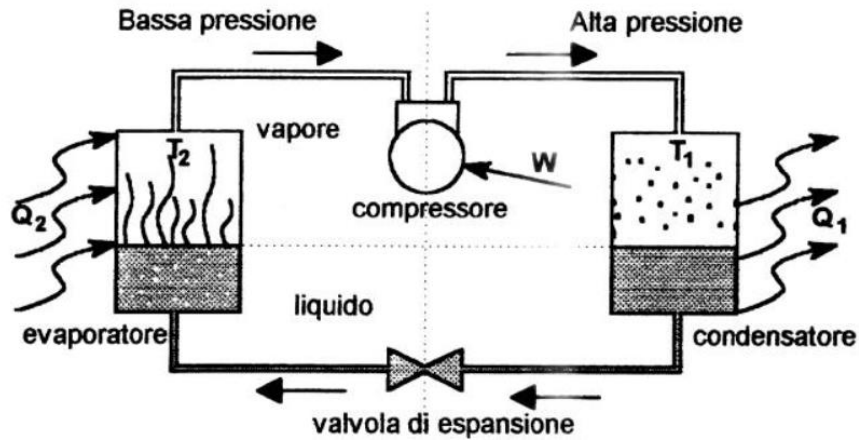


FIGURA 3: SCHEMA FUNZIONALE DELLA MACCHINA FRIGORIFERA

In un impianto frigorifero, oltre ai componenti principali, sono necessari altri componenti per il corretto funzionamento di esso. In Figura 4 viene mostrato lo schema di tale impianto in cui sono presenti gli elementi secondari: separatore d'olio (5), ricevitore di liquido (6), disidratatore (7), filtro del liquido (8), accumulatore d'aspirazione (9), filtro d'aspirazione (10).

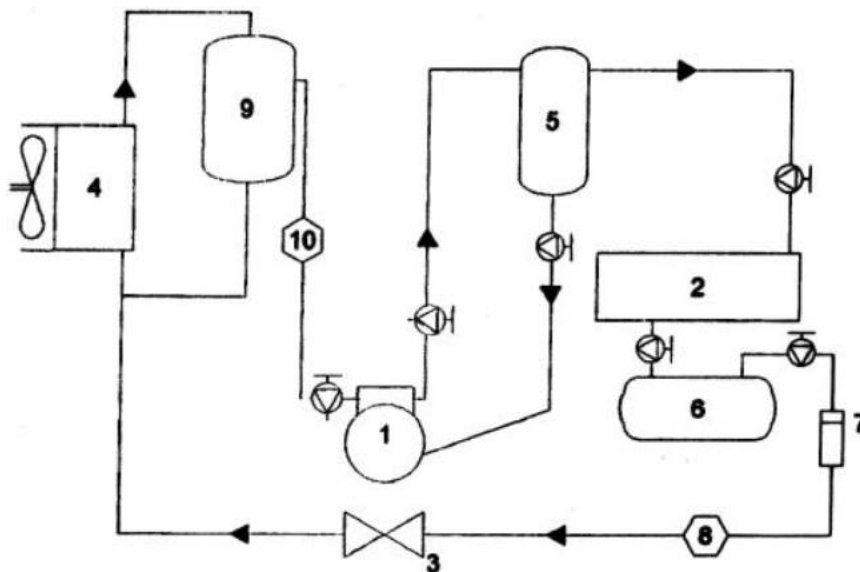


FIGURA 4: SCHEMA DI UN IMPIANTO FRIGORIFERO

Quello appena descritto è il funzionamento di un **impianto ad espansione diretta**. Gli impianti frigoriferi ad espansione diretta assicurano una conservazione diretta ed efficiente dei prodotti ortofrutticoli, consentendo un controllo accurato della temperatura e dell'umidità all'interno della cella frigorifera. Tuttavia, possono essere vulnerabili alla formazione di ghiaccio sull'evaporatore in ambienti ad alta umidità, pertanto è necessaria una manutenzione regolare per garantire un funzionamento ottimale.

Un'altra tipologia di impianti frigoriferi sono gli **impianti ad espansione indiretta**. Negli impianti frigoriferi ad espansione indiretta, viene impiegato un refrigerante secondario per trasferire il calore tra il prodotto ortofrutticolo e il refrigerante primario. Questo tipo di impianto è utilizzato quando è fondamentale mantenere il prodotto isolato dal refrigerante primario per garantire la sicurezza e la qualità del prodotto conservato. Tuttavia, richiedono un maggiore costo iniziale e una complessità aggiuntiva nel sistema di refrigerazione.

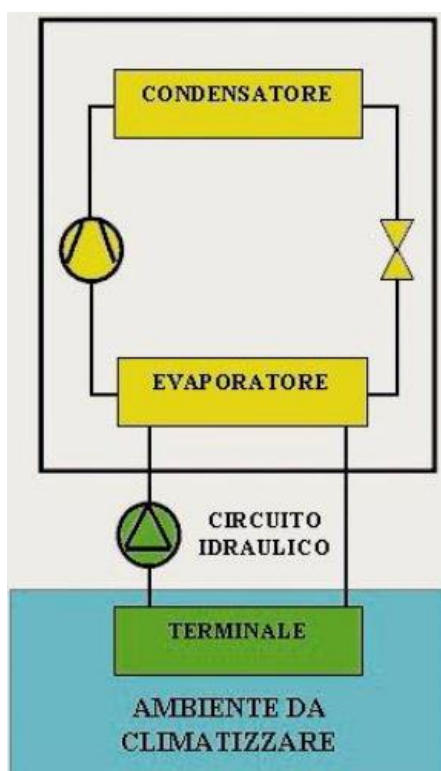


FIGURA 5: IMPIANTO AD ESPANSIONE INDIRETTA

I principali componenti di un impianto frigorifero ad espansione indiretta sono:

- *Scambiatore di calore* → all'interno del quale il refrigerante primario cede il calore al refrigerante secondario che, non entrando direttamente in contatto con il prodotto, trasferisce il calore all'ambiente esterno o al condensatore.
- *Circuito del refrigerante primario* → in cui il refrigerante liquido ad alta pressione viene inviato attraverso una valvola di espansione, che lo rilascia a una temperatura e pressione inferiori. Questo refrigerante a bassa temperatura e pressione entra in uno scambiatore di calore, dove cede calore al refrigerante secondario senza mai entrare direttamente in contatto con il prodotto da conservare.
- *Circuito del refrigerante secondario* → in cui il refrigerante secondario (tipicamente acqua o una soluzione acquosa) assorbe il calore dal prodotto ortofrutticolo attraverso un proprio scambiatore di calore dedicato. Durante questo processo, il refrigerante secondario vaporizza, portando via il calore dal prodotto.
- *Condensazione del refrigerante secondario* → il refrigerante secondario vaporizzato viene inviato a un condensatore, dove rilascia il calore assorbito all'ambiente esterno o a un fluido di raffreddamento. Il refrigerante secondario si condensa nuovamente da vapore a liquido e viene quindi riportato attraverso l'espansione di valvola per completare il ciclo.

Questo tipo di impianto viene denominato anche impianto ad acqua refrigerata o glicolata. La scelta di questa topologia viene fatta per i seguenti motivi:

- Facilità di installazione e migliore controllo dell'umidità all'interno della cella frigorifera. La regolazione delle valvole a monte dell'aereorefrigerante consente una regolazione più precisa dell'umidità, risultando particolarmente utile in determinate applicazioni.

- Riduzione dell'impatto ambientale in caso di perdite nel circuito di raffreddamento del fluido primario. Poiché la quantità di refrigerante dispersa nell'ambiente sarebbe inferiore rispetto a un impianto ad espansione diretta, questo sistema può essere preferibile in ambienti dove la sala macchine è distante dalle zone da raffreddare.

Sebbene offra molti vantaggi, presenta alcuni svantaggi. Uno di essi è il maggiore consumo di energia elettrica, principalmente dovuto all'utilizzo delle pompe di circolazione dell'acqua all'interno del circuito di raffreddamento e nel circuito delle utenze. Inoltre, i compressori devono lavorare in modo più impegnativo perché devono raffreddare sia il fluido primario che il fluido secondario, rispetto ai sistemi ad espansione diretta in cui il compressore raffredda direttamente il fluido di lavoro.

La scelta tra utilizzare un impianto frigorifero ad espansione diretta o indiretta dipende dalle esigenze specifiche di conservazione dei prodotti ortofrutticoli, oltre a considerazioni legate alla sicurezza, all'efficienza e ai costi. Quando si progetta un impianto frigorifero industriale per la conservazione di prodotti ortofrutticoli, è necessario valutare attentamente entrambe le tipologie di impianti e i loro componenti chiave per garantire il miglior adattamento alle condizioni e alle esigenze specifiche dell'applicazione.

1.1 IL COMPRESSORE

Il compressore è il componente che rappresenta l'elemento chiave di un impianto frigorifero e costituisce la parte più complessa dell'intero sistema poiché comprende una parte elettrica e una parte meccanica, un sistema di lubrificazione, zone con alte e con basse temperature e pressioni.

Esso è responsabile di fornire l'energia necessaria per eseguire il ciclo termodinamico. Il ruolo principale è quello di comprimere il refrigerante, portandolo da una pressione bassa, tipica dell'evaporatore, a una pressione più elevata, adatta al condensatore, dove può rilasciare il calore al fluido refrigerante esterno e tornare allo stato liquido.

Un compressore per essere efficiente deve rispettare diversi criteri che vanno oltre la capacità di comprimere il fluido, quali:

- Efficienza termodinamica;
- Basso consumo energetico;
- Affidabilità e durata;
- Basse vibrazioni e rumorosità;
- Compatibilità ambientale;
- Facilità di installazione e manutenzione.

Esistono diversi tipi di compressori che vengono utilizzati negli impianti frigoriferi, ognuno dei quali possiede delle caratteristiche e modalità di funzionamento differenti in base alla quantità di volume di refrigerante da spostare. In particolare, essi si suddividono in:

- *Compressori volumetrici* → comprimono il fluido grazie al cambiamento di volume della camera di compressione. Funzionano attraverso un meccanismo di spostamento positivo, dove la riduzione del volume della camera spinge il fluido verso una pressione più elevata. Si classificano a seconda del movimento del pistone all'interno della camera o la rotazione di un organo meccanico.

- *Compressori centrifughi* → utilizzano la forza centrifuga per aumentare la pressione del gas. Il processo si basa sulla trasformazione dell'energia cinetica del gas in energia potenziale di pressione.

Questi ultimi vengono impiegati nei settori industriali e nell'ambito dell'HVAC (riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria) per la loro capacità di gestire grandi quantità di gas e per la loro capacità di raggiungere pressioni di scarico elevate. In questa sezione ci soffermeremo sui compressori alternativi a pistoni e a vite, che sono quelli utilizzati maggiormente dall'azienda Refrom e quindi oggetto di studio.

I **compressori a pistone alternativi** sono ampiamente impiegati in piccoli e medi sistemi di refrigerazione commerciale. È costituito da:

- *Pistone* → responsabile del movimento alternativo all'interno del cilindro;
- *Cilindro* → nel quale si muove il pistone. La parte superiore di esso è sigillata da una piastra che presenta due aperture dotate di valvole;
- *Valvole di aspirazione e mandata* → consentono al cilindro di collegarsi alternativamente, tramite un condotto di aspirazione, all'evaporatore e, tramite un condotto di mandata, al condensatore;
- *Albero motore* → converte il moto rotatorio alternativo del motore primario (generalmente un motore elettrico) in movimento alternativo del pistone;
- *Sistema di lubrificazione* → garantisce il funzionamento adeguato e la longevità del compressore.

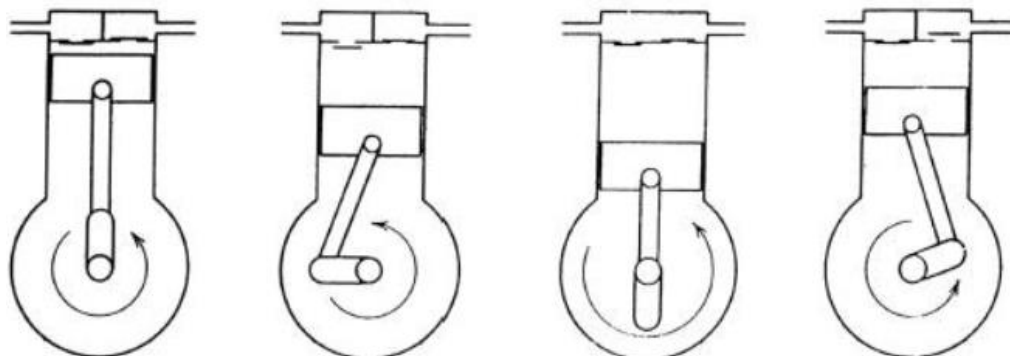


FIGURA 6: FUNZIONAMENTO DEL COMPRESSORE ALTERNATIVO

Il movimento del pistone comprende tre fasi fondamentali:

- *Aspirazione* → il pistone si sposta verso il basso, creando un vuoto all'interno del cilindro che consente al refrigerante di essere aspirato dall'evaporatore.
- *Compressione* → il pistone si sposta verso l'alto, comprimendo il refrigerante all'interno del cilindro, aumentando la sua pressione e temperatura.
- *Scarico* → una volta che il refrigerante è compresso, viene espulso dal cilindro e inviato al condensatore per il successivo raffreddamento.

Questa tipologia di compressori si suddivide a loro volta in:

- *Compressori aperti* → sono costituiti da una struttura esterna che racchiude la parte meccanica di compressione, inclusi i pistoni. Il motore elettrico, responsabile del movimento, è situato all'esterno e collegato al compressore tramite un sistema di pulegge, cinghie e volani oppure tramite un collegamento diretto.

Questi vengono impiegati su impianti di medie e grandi dimensioni ed essendo aperti si possono effettuare facilmente manutenzioni periodiche o riparazioni sulle componenti meccaniche ma sono ingombranti e vi è un elevato rischio di perdite del fluido refrigerante in caso di usura della guarnizione di tenuta stagna sull'albero rotativo del compressore.



FIGURA 7: ESEMPI DI COMPRESSORE A PISTONI APERTO

- *Compressori semiermetici* → sono costituiti da un involucro esterno che contiene sia il motore elettrico che i componenti meccanici di compressione, ovvero i pistoni. Il motore elettrico, attraverso un albero di trasmissione, mette in movimento i pistoni, i quali permettono, tramite valvole di tenuta e il collegamento delle tubazioni di aspirazione e di mandata, di comprimere il refrigerante all'interno delle tubazioni.

Anch'essi vengono impiegati su impianti di medie e grandi dimensioni ed essendo ermeticamente chiusi con la possibilità di essere aperti, si possono effettuare manutenzioni periodiche o riparazioni sulle componenti meccaniche e su quelle elettriche ma hanno un costo più elevato.



FIGURA 8: ESEMPI DI COMPRESSORI A PISTONI SEMIERMETICI

- *Compressori ermetici* → contengono al loro interno il motore elettrico che, attraverso un rotore, mette in movimento la biella e il pistone a una velocità predeterminata. All'interno del carter del compressore è presente dell'olio, che viene distribuito attraverso un pescante per lubrificare il pistone. Utilizzando un sistema di valvole a lamella, il pistone comprime il refrigerante in forma gassosa, dirigendolo verso il condensatore.

In questo caso, vengono impiegati su impianti di piccole e medie dimensioni e non è possibile alcuna riparazione o manutenzione poiché sono ermeticamente chiusi ma sono piuttosto economici e possiedono una eccellente tenuta stagna.



FIGURA 9: ESEMPIO DI COMPRESSORE A PISTONI ERMETICO

I **compressori a vite** sono realizzati mediante due rotori, uno maschio e una femmina, che ruotano all'interno di una camera di compressione. Questi si muovono in senso opposto e comprimono il fluido all'interno della camera di compressione creando un'azione di pompaggio. Durante il processo di compressione, il fluido viene aspirato all'ingresso del compressore e viene spinto verso la zona di alta pressione. Man mano che il fluido si sposta, il volume tra i rotori diminuisce, aumentando la pressione di esso. Una volta compresso, il fluido viene espulso dalla camera di compressione attraverso l'uscita del compressore.

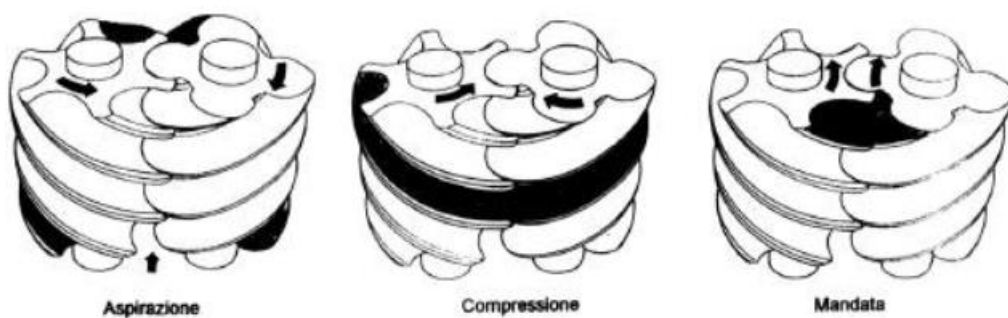


FIGURA 10: FUNZIONAMENTO DEL COMPRESSORE A VITE

I compressori a vite sono ottimali per impieghi che necessitano di un funzionamento costante e di un ridotto consumo di energia. Il loro design è compatto e robusto e non vi sono parti mobili che entrano in contatto diretto per cui generano vibrazioni e rumori ridotti rispetto ad altri compressori.

I compressori a vite si contraddistinguono per la loro alta efficienza e sono disponibili in una gamma di potenza che va da 20 a 1.200 kW. Tra i loro benefici vi sono anche la lunga durata e l'affidabilità eccezionale. Tuttavia, per garantire una tenuta efficace tra le parti in movimento, ridurre il rumore e garantire il corretto raffreddamento del refrigerante, è essenziale fornire una lubrificazione adeguata a tali dispositivi.

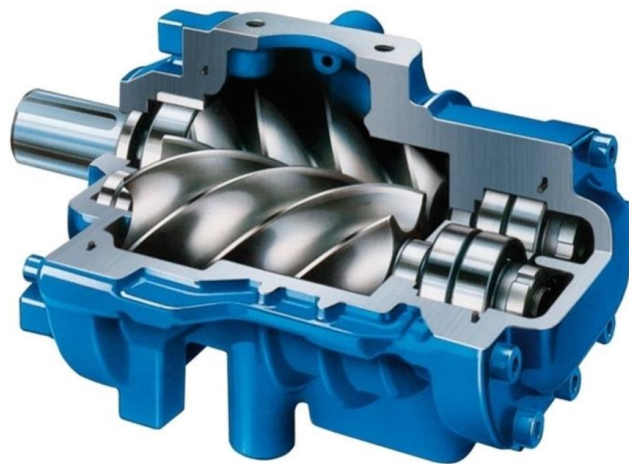


FIGURA 11: ESEMPIO DI COMPRESSORE A VITE

In generale, nella scelta di tale componente in fase di progettazione vi sono diversi criteri tra cui:

- Potenza frigorifera;
- Costo;
- Livello sonoro;
- Ingombro;
- Compatibilità con il fluido refrigerante.

Il rapporto di compressione al quale opera un compressore, inoltre, è una delle condizioni più cruciali per la sua durata. Un rapporto di compressione troppo elevato rappresenta sempre un rischio per il compressore poiché può portare a un surriscaldamento e a una diminuzione dell'efficienza, mentre un rapporto troppo basso può causare problemi.

Nell'operatività degli impianti, è essenziale mantenere il rapporto di compressione entro i limiti consentiti dal costruttore per garantire un funzionamento affidabile e prolungare la vita utile dell'apparecchio.

Il rapporto di compressione si definisce come il rapporto tra la pressione del gas compresso in uscita e quella del gas aspirato in ingresso al compressore.

In generale,

$$\beta = \frac{P_{dis}}{P_{suc}}$$

dove:

- P_{dis} è la pressione del gas compresso in uscita dal compressore.
- P_{suc} è la pressione del gas aspirato in ingresso al compressore.

I compressori ermetici di costruzione leggera funzionano con rapporti di compressione non superiori a 7,5:1 mentre quelli semiermetici di costruzione più robusta lavorano con rapporti fino a 15:1. Tuttavia, è opportuno che tale rapporto sia intorno a 10:1 ai fini di una vita operativa regolare e del raggiungimento della durata utile.

1.2 IL CONDENSATORE

Il condensatore riveste un'importanza fondamentale nel ciclo di refrigerazione poiché si occupa di due compiti chiave: dissipare il calore e condensare il refrigerante dalla fase gassosa alla fase liquida.

Esso funziona raffreddando il vapore refrigerante attraverso il contatto con un fluido di raffreddamento esterno, solitamente aria o acqua. Il refrigerante, in fase gassosa e ad alta pressione e temperatura, passa attraverso tubi o bobine all'interno del condensatore. In questo processo, il calore trasferito dal refrigerante al fluido di raffreddamento esterno causa la sua condensazione in liquido che viene poi inviato al dispositivo di espansione per continuare il ciclo di refrigerazione.

La condensazione, dunque, comprende principalmente due fasi, ma a volte possono essere considerate tre fasi distinte, come mostrato nel diagramma pressione-entalpia:

- *Desurriscaldamento* → il gas surriscaldato proveniente dal compressore viene introdotto nella parte superiore del condensatore, dove entra in contatto indiretto con il fluido di raffreddamento a una temperatura più bassa. Durante questo processo, il gas refrigerante si raffredda e la sua temperatura viene ridotta fino al punto di saturazione. In questa fase, viene rimossa solo la frazione di *calore sensibile*, e non si verifica alcun cambiamento di stato del gas refrigerante da gas a liquido. Il desurriscaldamento avviene a pressione costante ed è rappresentato dal tratto D'E.
- *Condensazione* → in questa fase si realizza il cambiamento di stato del gas saturo a liquido saturo. In questa fase viene smaltito il *calore latente*. Essa è rappresentata dal tratto EA, teoricamente a pressione costante.
- *Sottoraffreddamento* → consiste nell'ulteriore abbassamento della temperatura del liquido refrigerante, ottenendo così un liquido sottoraffreddato. Anche qui, il solo calore che viene smaltito è il *calore sensibile*. Questo processo offre vantaggi significativi: ogni grado di sottoraffreddamento aggiuntivo porta a un aumento della capacità della macchina frigorifera dell'ordine dell'1%. Si considera

generalmente un sottoraffreddamento tra i 3°C e i 6°C. È rappresentato dal tratto AA'.

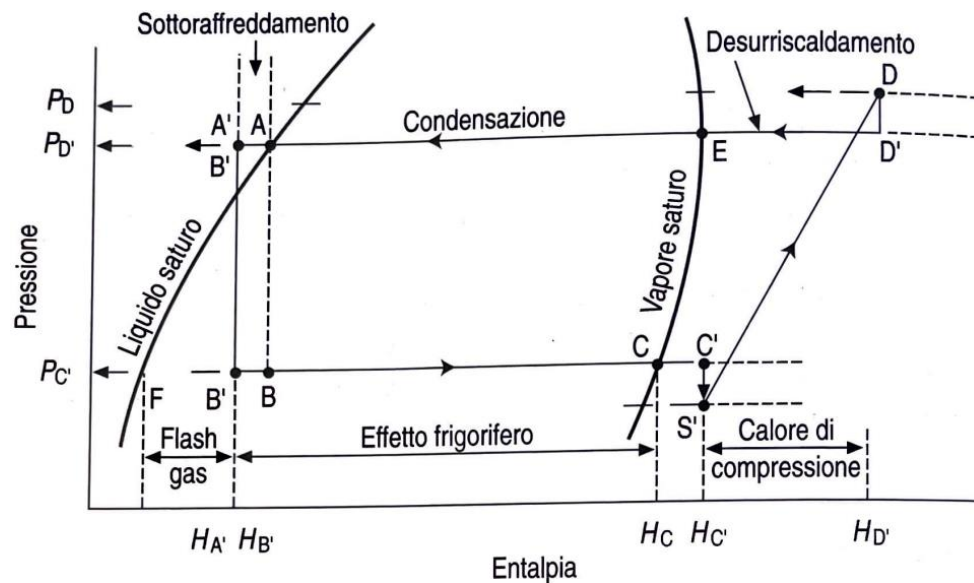


FIGURA 12: FASE DI CONDENSAZIONE SUL DIAGRAMMA PRESSIONE-ENTALPIA

La somma dei tre contributi di calore smaltiti rappresenta il calore totale da smaltire al condensatore (*Total Heat Rejection, THR*). È rappresentato dal tratto D'A' e viene determinato considerando i valori di entalpia all'ingresso e all'uscita del condensatore:

$$(H_{D'} - H_{A'}) = THR$$

Le diverse tipologie di condensatori utilizzati per i cicli frigoriferi sono:

- *Condensatori ad aria* → utilizzano l'aria come fluido di raffreddamento. Dopo aver subito il processo di evaporazione, il fluido refrigerante transita attraverso un insieme di tubi lamellari per aumentare la superficie di contatto e migliorare l'efficienza dello scambio termico con l'ambiente circostante. Per agevolare questo processo, il condensatore è dotato di ventole che favoriscono il flusso d'aria.

Nei casi in cui le celle frigorifere abbiano una capacità di raffreddamento limitata, il condensatore ad aria può essere incorporato all'interno della struttura della cella stessa. Tuttavia, con l'aumentare della potenza richiesta per il raffreddamento, diventa impraticabile integrare il condensatore, rendendo necessaria la sua installazione esterna.

Il principale vantaggio è che non è necessaria una linea d'acqua refrigerata ma questi sistemi sono ingombranti, rumorosi a causa delle ventole e se fossero installati molto lontani dalla cella, potrebbero non essere performanti. In generale però, la condensazione ad aria è preferibile su impianti medio piccoli per evitare consumi di acqua.



FIGURA 13: ESEMPI DI CONDENSATORI AD ARIA

- *Condensatori ad acqua* → utilizzano l'acqua come fluido di raffreddamento. I tubi attraverso i quali passano i fluidi, vengono raffreddati tramite contatto con acqua fredda, generalmente mantenuta a temperature comprese tra i 10 e i 20°C.

Di conseguenza, l'apparecchiatura deve essere collegata a una linea di acqua refrigerata ma hanno il vantaggio di essere meno ingombranti e meno rumorosi.



FIGURA 14: CHILLER PER PRODUZIONE DI ACQUA REFRIGERATA

- *Condensatori evaporativi* → è la combinazione di un condensatore raffreddato ad aria e uno ad acqua. Non vi è l'utilizzo dell'acqua di rete a causa dei consumi elevati, ma l'impiego di chiller collegati a torri evaporative (Figura 12).

Il fluido (3,4) scorre attraverso la batteria di scambio termico. L'acqua di ricircolo (1) viene spruzzata dagli ugelli (5) e l'aria viene aspirata dal ventilatore (2). Questo contribuisce ad eliminare il calore dal fluido, passando controcorrente attraverso i tubi della batteria. Una parte dell'acqua evapora, assorbendo calore dal fluido, e viene rilasciata nell'atmosfera insieme al flusso d'aria in uscita dalla parte superiore del condensatore (6). L'acqua non evaporata ritorna nel bacino e viene riciclata attraverso la pompa del condensatore.

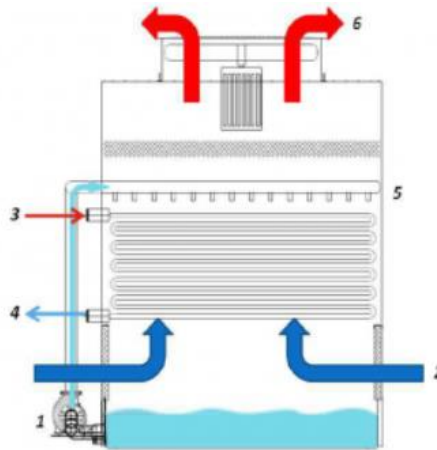


FIGURA 15: TORRE EVAPORATIVA

Questa condensazione viene utilizzata in presenza di gruppi frigoriferi con una elevata potenzialità o quando vi sono temperature inferiori ai 30°C.

Per la selezione appropriata del condensatore, è necessario considerare quattro fattori:

- La quantità di calore da dissipare;
- La disponibilità e la quantità del fluido refrigerante;
- La sua temperatura;
- La temperatura di condensazione ottimale → si tiene presente la struttura del compressore, la potenza del motore elettrico che alimenta il compressore, il costo del condensatore.

1.3 VALVOLE E ORGANI DI LAMINAZIONE

Le valvole e gli organi di laminazione sono essenziali per controllare e regolare la pressione, la temperatura e il flusso del refrigerante all'interno del sistema di refrigerazione. Questo controllo preciso consente un funzionamento ottimale dell'impianto, garantendo un'efficienza energetica elevata e una performance affidabile nel tempo.

Le **valvole** hanno il compito di gestire il flusso del refrigerante e di regolare la pressione. Sono posizionate strategicamente in varie parti dell'impianto frigorifero e possono essere utilizzate per avviare o interrompere il flusso, modificarne la direzione o controllare la pressione all'interno di specifiche sezioni del sistema.

Le più importanti sono:

- *Valvola di sfogo* → collocata all'uscita del compressore;
- *Valvola di aspirazione* → collocata all'ingresso del compressore;
- *Valvola di regolazione della pressione*;
- *Valvola di controllo del flusso*.

Gli **organi di laminazione**, o dispositivi di espansione, riducono la pressione del refrigerante liquido proveniente dal condensatore. Questo processo trasforma il refrigerante in una miscela di liquido e vapore a bassa pressione e temperatura prima che entri nell'evaporatore.

Di essi ne esistono diversi tipi tra cui:

- *Valvola di espansione termostatica (TEV)* → controlla il flusso di refrigerante verso l'evaporatore a seconda del surriscaldamento del refrigerante stesso, ovvero controlla l'apertura per consentire al refrigerante di entrare nell'evaporatore solo nella quantità necessaria per essere completamente evaporato, mantenendo così ottimale l'utilizzo della superficie di scambio termico dell'evaporatore.

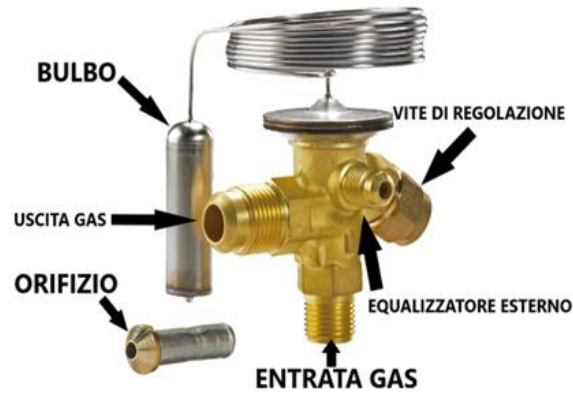


FIGURA 16: VALVOLA DI ESPANSIONE TERMOSTATICA

- *Valvola di espansione elettronica (EEV)* → richiede energia elettrica ed è controllata da una centralina di comando per il funzionamento. La centralina fornisce l'alimentazione elettrica necessaria alla valvola elettronica e invia istruzioni su come regolare il flusso di refrigerante all'interno del sistema. Le più utilizzate sono quelle "ON-OFF" e "PASSO-PASSO".



FIGURA 17: VALVOLE DI ESPANSIONE ELETTRONICHE

- *Tubo capillare di espansione* → quando il refrigerante liquido entra nel tubo capillare, le dimensioni molto piccole del capillare causano una significativa caduta di pressione. Questo processo di riduzione della pressione all'ingresso dell'evaporatore è ciò che avvia l'evaporazione del liquido refrigerante, permettendo così di trasformarsi da liquido a gas durante il passaggio attraverso l'evaporatore. In questo caso l'impianto non ha bisogno di

un ricevitore di liquido ma viene utilizzato solo con compressori ermetici e su impianti di piccole potenze.



FIGURA 18: TUBO CAPILLARE DI ESPANSIONE

È essenziale scegliere la valvola giusta per garantire un funzionamento ottimale dell'evaporatore e massimizzare l'efficienza complessiva del sistema di refrigerazione.

Per dimensionare correttamente la valvola, è necessario conoscere diversi fattori chiave:

- il tipo di refrigerante;
- la potenza dell'evaporatore;
- la temperatura di evaporazione desiderata;
- la temperatura di condensazione.

Una volta ottenute queste informazioni, è possibile consultare tabelle fornite dal produttore per identificare la valvola più adatta alle specifiche del sistema e alle condizioni operative previste. Questo processo di selezione assicura che la valvola sia in grado di gestire il flusso di refrigerante in modo efficiente e affidabile, ottimizzando le prestazioni complessive dell'impianto frigorifero.

1.4 L'EVAPORATORE

Gli evaporatori sono fondamentali nei sistemi di raffreddamento in quanto permettono al fluido refrigerante di assorbire il calore dall'ambiente circostante o dal fluido da raffreddare, permettendo dunque di passare dalla fase liquida a quella gassosa.

L'equazione fondamentale che governa il processo di scambio termico è la seguente:

$$q = K * A * \Delta t$$

dove:

- $q \rightarrow$ flusso termico [W]
- $K \rightarrow$ coefficiente globale di scambio termico [$\frac{W}{m^2 * ^\circ C}$]
- $A \rightarrow$ superficie totale di scambio termico [m^2]
- $\Delta t \rightarrow$ differenza di temperatura tra i fluidi sui due lati del tubo [$^\circ C$]

L'equazione dimostra che, quando il flusso termico (q) rimane costante, un aumento dell'area superficiale (A) porta a una diminuzione della differenza di temperatura (Δt).

In un circuito frigorifero, se il carico termico diminuisce, il flusso termico diminuisce leggermente senza una grande variazione di K, causando una riduzione del Δt .

Come mostrato nel diagramma pressione-entalpia, la fase di evaporazione si presume che avvenga a pressione costante (tratto BC), ma nella pratica vi è una differenza di pressione tra l'ingresso e l'uscita dell'evaporatore (ΔP). Una diminuzione della pressione tra l'ingresso e l'uscita dell'evaporatore comporta una riduzione corrispondente della temperatura di saturazione.

L'effetto frigorifero è la differenza di entalpia tra il punto di uscita e il punto di ingresso del refrigerante dall'evaporatore. Per massimizzare l'effetto frigorifero, è importante che tutto il refrigerante evapori completamente prima di lasciare l'evaporatore.

Nei sistemi ad espansione diretta, è comune fornire un leggero *surriscaldamento* al refrigerante. Questo significa aggiungere una quantità extra di calore al refrigerante dopo la sua evaporazione completa nell'evaporatore. Lo scopo principale di questo surriscaldamento è garantire che tutte le piccole goccioline di liquido residue nel refrigerante siano completamente evaporate prima che il refrigerante raggiunga il compressore.

Sul diagramma, l'effetto frigorifero compreso di surriscaldamento è rappresentato dal tratto BC'.

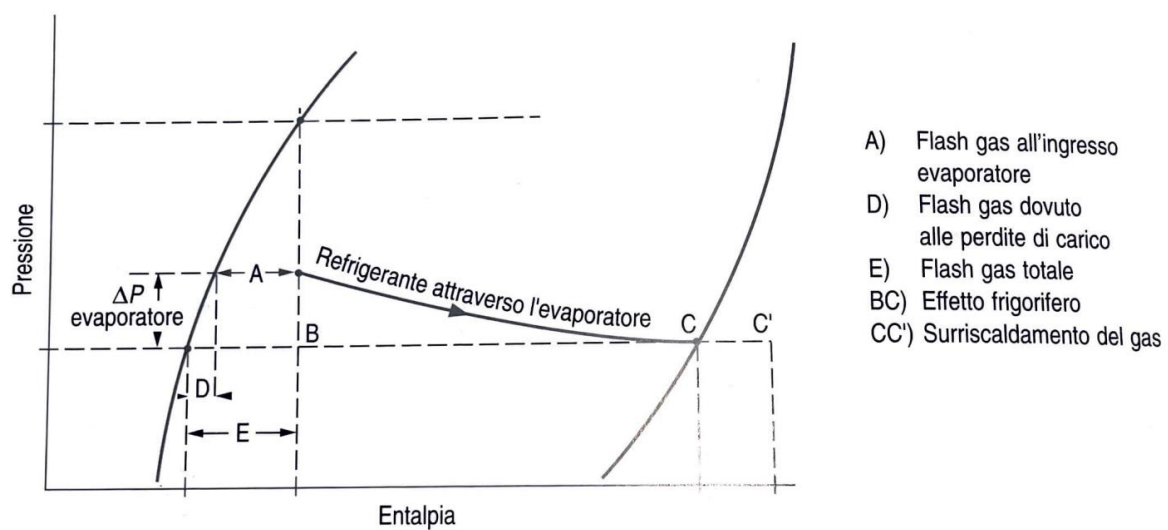


FIGURA 19: FASE DI EVAPORAZIONE SUL DIAGRAMMA PRESSIONE-ENTALPIA

Negli impianti frigoriferi, i più utilizzati sono gli evaporatori ventilati che, appunto, sfruttano ventilatori per ottimizzare lo scambio termico. Sono caratterizzati da un pacco alettato in cui, attraverso dei motoventilatori, vengono attraversati dall'aria circostante.

I modelli più comunemente in uso sono:

- *Evaporatori ventilati angolari* → prendono aria dalla parte inferiore e la proiettano frontalmente, creando un angolo di flusso. Si utilizzano in piccole celle frigorifere e vengono ancorati al soffitto sopra la porta di ingresso.



FIGURA 20: EVAPORATORE VENTILATO ANGOLARE

- *Evaporatori ventilati cubici* → l'aria viene aspirata dalla parte posteriore e viene espulsa frontalmente in un flusso d'aria orizzontale diretto. Questi ventilatori sono noti per la loro elevata efficienza e per la potenza del getto d'aria, che può raggiungere una distanza di oltre 10 metri.



FIGURA 21: EVAPORATORE VENTILATO CUBICO

Nella fase di progettazione di una cella frigorifera, la scelta dell'evaporatore è influenzata da diversi criteri che includono:

- Capacità di raffreddamento → capacità dell'evaporatore di mantenere una temperatura costante all'interno della cella frigorifera. Questo significa che deve essere in grado di rimuovere il calore in modo efficace per evitare che la temperatura salga oltre il livello desiderato, considerando la quantità e il tipo di prodotti da conservare.

- Dimensioni e il layout → devono essere adattati allo spazio disponibile all'interno della cella frigorifera. È importante che l'evaporatore sia posizionato in modo tale da consentire una circolazione efficace dell'aria e un raffreddamento uniforme in tutte le zone della cella. Questo assicura che tutti i prodotti all'interno vengano mantenuti alla stessa temperatura desiderata e che non ci siano zone più calde o più fredde, che potrebbero compromettere la qualità dei prodotti conservati.

- Efficienza energetica → si considera il rapporto tra la sua capacità di raffreddamento e il consumo energetico associato. È preferibile optare per un evaporatore che fornisca elevate prestazioni di raffreddamento con un consumo energetico più basso possibile. Questo permette di ridurre i costi operativi associati al funzionamento del sistema di refrigerazione e di migliorare l'efficienza complessiva dell'impianto

- Resistenza alla corrosione → data l'umidità e le condizioni di lavoro dell'evaporatore, è essenziale scegliere materiali che non si deteriorino facilmente a causa della corrosione. Questo assicura che l'evaporatore mantenga la sua integrità strutturale nel tempo e che continui a funzionare in modo affidabile senza compromettere le prestazioni.

Per assicurare che l'evaporatore mantenga la sua efficienza e funzionalità nel corso del tempo, è fondamentale eseguire regolarmente il processo di sbrinamento. Nel capitolo 2 verrà trattato questo processo in modo più dettagliato.

1.5 DISPOSITIVI AUSILIARI

Oltre ai componenti principali, nei sistemi di refrigerazione sono fondamentali anche dei dispositivi ausiliari o di supporto poiché contribuiscono alla sicurezza del sistema, migliorano l'efficienza energetica e prolungano la durata dell'impianto.

Tra questi dispositivi vi è il **ricevitore di liquido**. Esso è posizionato a monte dell'organo di laminazione, in modo che funga da riserva di liquido da cui prelevare quando è necessario alimentare l'evaporatore con una maggiore quantità di refrigerante, e a valle del condensatore, in modo da accumulare l'eccesso di liquido nel sistema.

Il ricevitore di liquido viene installato solo in presenza di una valvola termostatica; perciò, ha anche il ruolo fondamentale nel prevenire che tracce di vapore raggiungano il dispositivo di laminazione, che potrebbe rallentare il flusso di refrigerante verso l'evaporatore.

Il liquido immagazzinato nel ricevitore ha una temperatura vicina a quella di condensazione e ha la possibilità di raffreddarsi ulteriormente; questo processo, noto come sottoraffreddamento, è estremamente importante per migliorare l'efficienza complessiva del sistema di refrigerazione.



FIGURA 22: RICEVITORE DI LIQUIDO

Altro importante dispositivo è il **separatoro d'olio**. È posizionato dopo il compressore e ha il compito di catturare l'olio che esce insieme al gas compresso e di rimandarlo nel carter del compressore per assicurare una corretta lubrificazione dei componenti in movimento. Inoltre, riduce le pulsazioni e le vibrazioni provenienti dai compressori semiermetici e aperti.



FIGURA 23: SEPARATORE D'OLIO

Poiché i componenti in movimento del compressore devono essere sempre ben lubrificati, si prevede un **sifone** sul tubo di aspirazione e talvolta anche sul tubo di mandata.

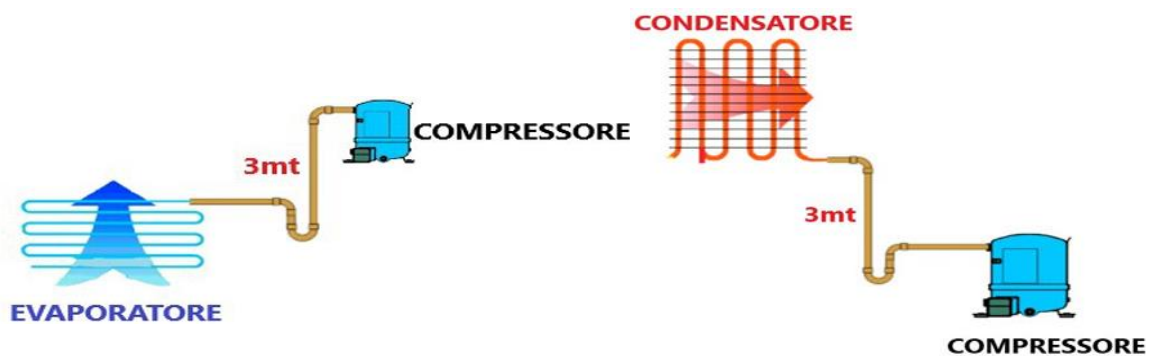


FIGURA 24: SIFONE SUL TUBO DI ASPIRAZIONE E MANDATA

Il sifone viene installato per prevenire il riflusso del lubrificante e del refrigerante liquido verso il compressore al momento dello spegnimento. Inoltre, il lubrificante intrappolato al suo interno riduce la sezione di passaggio e aumenta la velocità del refrigerante.

Quando la velocità del refrigerante diventa sufficientemente elevata, il lubrificante accumulato viene spinto violentemente dal refrigerante, superando il tratto verticale.

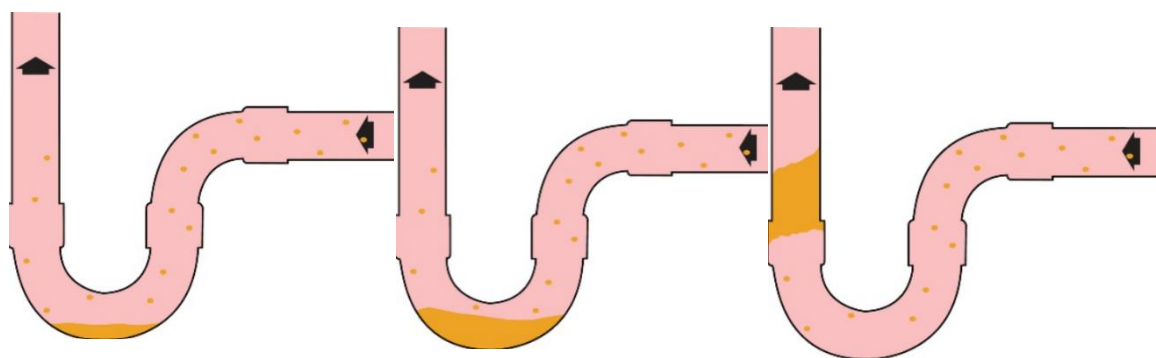


FIGURA 25: LUBRIFICANTE INTRAPPOLATO NEL SIFONE

Indispensabile e obbligatorio in un circuito frigorifero è il **filtro disidratatore**. È un componente che ha la funzione di trattenere le impurità che circolano all'interno del circuito e di proteggerlo dall'umidità. Essa, infatti, circolando insieme al refrigerante e all'olio è la causa di numerosi danni quali:

- Nel compressore la sua presenza può causare la formazione di acidi che danneggiano l'isolamento dei fili e causando cortocircuiti.
- Nelle valvole termostatiche, a basse temperature, l'acqua può congelare e bloccare lo stelo della valvola, impedendo al refrigerante di passare verso l'evaporatore. Inoltre, l'ossigeno presente nell'acqua può causare la corrosione degli steli delle valvole.

I filtri disidratatori funzionano grazie al fenomeno dell'adsorbimento, un processo chimico in cui il vapore acqueo viene fissato nelle cavità dell'adsorbente il quale può trattenere quantitativi di acqua tra il 12 e il 15% del peso proprio. Inoltre, sono sensibili alla

temperatura di lavoro: quanto più bassa è, tanto maggiore è la quantità di umidità che adsorbono.

I filtri in commercio sono di piccole dimensioni e sono costituiti da un filtro meccanico fine all'ingresso del refrigerante. A valle del filtro è posta la cartuccia in materiale adsorbente costituito da gel di silice o allumina attivata.



FIGURA 26: FILTRO DISIDRATATORE

Infine, per verificare la presenza di umidità nel circuito, viene installato tra il filtro disidratatore e il dispositivo di regolazione del refrigerante il **vetro spia** come indicatore di umidità.



FIGURA 27: VETRO SPIA

1.6 EFFICIENZA DEL CICLO FRIGORIFERO E COEFFICIENTE DI PRESTAZIONE

L'efficienza nei cicli frigoriferi è fondamentale per valutare quanto efficacemente questi sistemi riescono a spostare il calore da una zona a temperatura più bassa a una zona a temperatura più alta.

Il Coefficiente di prestazione (COP) è una grandezza che misura quanto sia efficiente il ciclo frigorifero. Si calcola come:

$$\text{Coefficiente di Prestazione} = COP = \frac{Q_c}{W}$$

ovvero come il rapporto tra il calore prelevato dalla zona a bassa temperatura e l'energia fornita al ciclo.

Un COP più alto indica una maggiore efficienza del ciclo, poiché significa che il sistema è in grado di trasferire più calore utilizzando meno energia. Per ottenere ciò è necessario preservare la temperatura di condensazione più bassa possibile e quella di evaporazione più alta possibile. Valori tipici del COP sono compresi tra 2 e 6.

Si tiene presente, inoltre, che l'aumento di un grado della temperatura di evaporazione ha un impatto maggiore rispetto a un aumento di un grado della temperatura di condensazione.

Dunque, i diversi fattori che influenzano il COP sono molteplici, alcuni dei quali sono:

- Temperatura delle sorgenti.
- Efficienza dei componenti.
- Condizioni operative (pressione e temperatura del fluido refrigerante).
- Carico termico → il COP diminuisce all'aumentare del carico termico.

In conclusione, capire quali elementi hanno un impatto sull'efficienza e attuare misure per ottimizzare il funzionamento del ciclo frigorifero possono aiutare a incrementare l'efficienza energetica e a limitare l'impatto ambientale dei sistemi di raffreddamento.

CAPITOLO 2

IL PROBLEMA DELLO SBRINAMENTO

La formazione di brina sull'evaporatore è un fenomeno comune quando la temperatura della superficie di esso è pari o inferiore a 0 °C ed è influenzata da diversi fattori difficilmente prevedibili con esattezza. La sua formazione è il risultato diretto dell'umidità dell'aria che attraversa l'evaporatore e dell'acqua rilasciata dai prodotti conservati. Questa umidità è influenzata anche dalle entrate di aria esterna determinate dalle aperture delle porte e dalle infiltrazioni nell'impianto.

Inoltre, la massa totale d'aria trattata dall'evaporatore ha un impatto sulla formazione della brina. Maggiore è la quantità d'aria che transita attraverso l'evaporatore, maggiore è la probabilità di formazione di brina.

La brina può assumere diverse forme, come neve o ghiaccio, a seconda delle condizioni ambientali e del ciclo di funzionamento dell'impianto. A parità di massa di brina depositata sull'evaporatore, quella con densità maggiore occupa meno spazio, causando potenzialmente meno problemi di ostruzione nel passaggio dell'aria attraverso le alette dell'evaporatore. Quando le alette sono occluse dalla brina, lo scambio di calore tra l'aria e l'evaporatore è compromesso. Ciò può causare un abbassamento della pressione di evaporazione e un contemporaneo aumento della temperatura dell'aria all'interno della cella frigorifera, influenzando negativamente le prestazioni complessive del sistema di refrigerazione.

La gestione della formazione di brina sull'evaporatore è cruciale per mantenere le prestazioni ottimali del sistema di refrigerazione e garantire una conservazione efficace dei prodotti ortofrutticoli. Questo può richiedere l'utilizzo di sistemi di sbrinamento efficaci e la gestione attenta delle condizioni operative dell'impianto.

Ci sono diversi metodi utilizzati per sbrinare gli evaporatori e rimuovere il ghiaccio accumulato.

Lo **sbrinamento naturale** è un processo mediante il quale la brina accumulata sull'evaporatore si scioglie senza l'uso di riscaldamento aggiuntivo o di altre fonti di calore. Sfrutta variazioni cicliche di temperatura e pressione all'interno del sistema di refrigerazione per rimuovere la brina dall'evaporatore e avviene quando la temperatura all'interno della cella frigorifera si mantiene sopra i 4 °C. Durante questo processo, la funzione di refrigerazione viene temporaneamente interrotta mentre il ventilatore continua a funzionare.

Questo metodo di sbrinamento può richiedere più tempo rispetto ad altri approcci più attivi, come lo sbrinamento forzato, che utilizza fonti di calore aggiuntive per accelerare il processo di scioglimento della brina. Tuttavia, è possibile accelerare lo sbrinamento naturale aumentando la temperatura all'interno della cella frigorifera.

Dal punto di vista energetico, lo sbrinamento naturale è vantaggioso poiché non richiede l'uso di calore aggiuntivo, che altrimenti dovrebbe essere prodotto e quindi rimosso dalla cella frigorifera.

Lo **sbrinamento elettrico** è il metodo più semplice. Consiste nell'utilizzare un elemento riscaldante posizionato in contatto con le tubazioni e le alette dell'evaporatore. Inoltre, vengono impiegate resistenze per evitare che l'acqua, proveniente dallo sbrinamento, possa ricongelarsi lungo le vie predisposte per convogliarla verso l'esterno.

Uno dei vantaggi dello sbrinamento elettrico è la precisione nella localizzazione della fonte di calore necessaria per sciogliere la brina. Gli evaporatori non formano brina in modo uniforme durante il funzionamento, e quindi l'operazione di sbrinamento richiede un trattamento mirato specificamente sulle parti interessate della batteria alettata. Questo approccio consente di ottimizzare l'efficacia dello sbrinamento, riducendo al minimo il consumo di energia e garantendo una rimozione efficiente della brina senza compromettere le prestazioni complessive del sistema di refrigerazione.

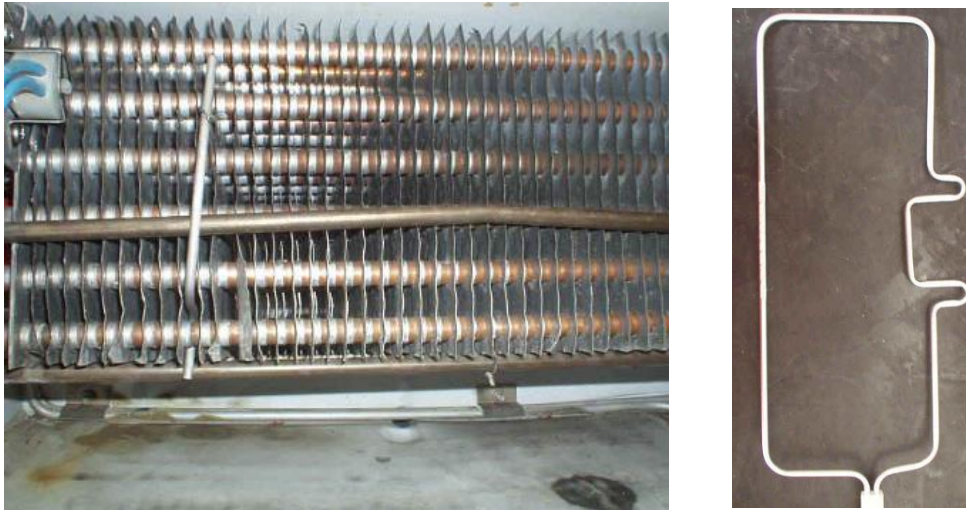


FIGURA 28: RESISTENZA ELETTRICA SULL'EVAPORATORE

Lo **sbrinamento a gas caldo** è un metodo altrettanto efficace. In questo processo, anziché utilizzare un elemento riscaldante elettrico, si impiega un gas caldo per sciogliere la brina e rimuoverla dall'evaporatore. Le fasi di questo processo sono:

- *Interruzione del ciclo di refrigerazione* → il compressore viene spento e il flusso di refrigerante primario viene deviato dal condensatore all'evaporatore.
- *Introduzione del gas caldo* → il gas caldo, come ad esempio il gas refrigerante ad alta temperatura e pressione proveniente dal compressore, viene inviato direttamente all'evaporatore anziché al condensatore. Questo trasferisce calore all'evaporatore, sciogliendo la brina accumulata sulla sua superficie.
- *Raccolta dell'acqua di sbrinamento* → durante il processo di sbrinamento, la brina si scioglie e si trasforma in acqua. Quest'acqua viene raccolta e defluisce dall'evaporatore attraverso un sistema di drenaggio dedicato per essere allontanata dall'unità.
- *Ripresa del ciclo di refrigerazione* → una volta completato lo sbrinamento e rimosso il ghiaccio dall'evaporatore, il compressore e il ciclo di refrigerazione vengono riavviati. Il gas refrigerante adesso caldo e compresso continua il suo percorso normale attraverso il sistema per raffreddarsi e ricompimersi, permettendo al sistema di tornare alla normale operatività.

CAPITOLO 3

I FLUIDI REFRIGERANTI

Per garantire un costante processo di raffreddamento, si fa circolare un fluido di lavoro, noto come refrigerante, il quale può prelevare il calore a temperature basse. Un fluido frigorifero, per essere denominato tale, deve possedere determinate caratteristiche chimico-fisiche e termodinamiche.

Innanzitutto, per quel che riguarda le **caratteristiche chimico-fisiche**, un fluido frigorifero deve essere chimicamente inerte e stabile: inerte significa che non reagisce chimicamente, stabile vuol dire che la molecola del fluido non cambia la sua natura all'interno della macchina frigorifera. Esso, pertanto, non deve interagire né con i materiali della macchina stessa né con il lubrificante con cui viene a contatto.

In secondo luogo, deve essere compatibile con l'ambiente poiché, soprattutto nei compressori aperti, esso potrebbe fuoriuscire attraverso le tenute, causando un impatto ambientale di notevole importanza. Il fluido, pertanto, come tutti i componenti della macchina frigorifera, deve essere smaltito e viene trattato come rifiuto speciale pericoloso. Il concetto di compatibilità ambientale dei fluidi refrigeranti riguarda principalmente due aspetti: la protezione dello strato di ozono e la riduzione dell'effetto serra antropogenico.

1. *Danno all'Ozono Stratosferico*: Alcuni fluidi refrigeranti contengono sostanze chimiche che possono danneggiare lo strato di ozono atmosferico se rilasciate nell'atmosfera. Questo danneggiamento è misurato utilizzando l'Indice di Potenziale di Distruttività dell'Ozono (ODP, Ozone Depletion Potential). L'ODP indica la capacità di una sostanza chimica di danneggiare lo strato di ozono rispetto al clorofluorocarburo (CFC-11), che ha un ODP standard di 1. Un ODP inferiore a 1 indica che una sostanza ha un potenziale di danno inferiore rispetto al CFC-11. È

importante scegliere refrigeranti con un basso ODP per ridurre l'impatto sulla salute dell'ozono.

2. *Effetto Serra Antropogenico*: Altri fluidi refrigeranti possono contribuire all'effetto serra, influenzando il cambiamento climatico. Questo impatto è valutato utilizzando il Potenziale di Riscaldamento Globale (GWP, Global Warming Potential). Il GWP rappresenta la capacità di riscaldamento di una sostanza rispetto all'anidride carbonica (CO₂), che ha un GWP di 1 per definizione. Un GWP più alto indica una maggiore capacità di contribuire al riscaldamento globale. Per ridurre l'effetto serra, è preferibile utilizzare fluidi refrigeranti con un basso GWP, che hanno meno impatto sul cambiamento climatico.

Ultima caratteristica è che il fluido non deve essere tossico e non deve essere infiammabile; i fluidi frigoriferi, infatti, vengono classificati dall'ASHRAE in base al rischio legato al loro utilizzo.

Le classi di rischio dei fluidi refrigeranti secondo l'ASHRAE sono le seguenti:

1. Tossicità:
 - Classe A: Indica che il fluido refrigerante è non tossico.
 - Classe B: Indica che il fluido refrigerante è tossico.
2. Infiammabilità:
 - I numeri all'interno di ciascuna classe indicano il livello di infiammabilità:
 - Numero 1: Indica un refrigerante non infiammabile o con infiammabilità molto bassa.
 - Numero 2: Indica un refrigerante moderatamente infiammabile.
 - Numero 3: Indica un refrigerante altamente infiammabile.

Pertanto, le classi di rischio comprendono:

- A1: Non tossico e non infiammabile, rappresenta il livello di sicurezza più elevato.
- A2: Non tossico ma moderatamente infiammabile.
- A3: Non tossico ma altamente infiammabile.
- B1: Tossico ma non infiammabile.
- B2: Tossico e moderatamente infiammabile.

- B3: Tossico e altamente infiammabile.

Per quanto riguarda le **caratteristiche termodinamiche** si considerano:

- la pressione dell'evaporatore deve essere maggiore della pressione atmosferica per mantenere l'intero impianto in pressione;
- la pressione del condensatore non deve essere troppo elevata in modo da evitare problemi di dimensionamento e garantire rapporti di compressione accettabili;
- la temperatura di fine compressione non deve essere troppo alta in quanto porterebbe il lubrificante a non svolgere la sua funzione a causa della diminuzione della sua viscosità;
- elevato calore di vaporizzazione;
- piccolo volume massico del vapore;
- piccola viscosità dinamica a causa delle perdite di carico;
- bassa temperatura di congelamento in modo da non far diventare solido il fluido;
- basso costo.

Ovviamente non esiste alcun fluido che possiede tutte le caratteristiche sia termodinamiche che chimico-fisiche, infatti ognuno possiede vantaggi e svantaggi.

Per quanto riguarda tutti i fluidi naturali, organici e inorganici, non hanno in nessun modo un impatto ambientale (ODP=0). Ciò non accade con i fluidi sintetici come i fluidi CFC, HCFC e HFC: i primi due sono stati però banditi in seguito al protocollo di Montreal del 1987 dall'industria frigorifera in quanto contenenti il cloro (anche quelli contenenti il bromo) che, emesso nell'atmosfera, rompe l'equilibrio naturale della radiazione solare riducendo il numero di moli di ozono.

La normativa F-Gas, acronimo di "Fluorinated Greenhouse Gas Regulation", è una legge dell'Unione Europea finalizzata a controllare e diminuire le emissioni di gas fluorurati ad effetto serra, inclusi i fluidi refrigeranti. Questa normativa è stata implementata per affrontare il problema del cambiamento climatico e mitigare l'impatto ambientale derivante dall'uso di gas ad effetto serra nei sistemi di raffreddamento e condizionamento dell'aria.

I refrigeranti più diffusi sul mercato al momento sono i Freon o gli Idrofluorocarburi (HFC). Questi gas refrigeranti rappresentano la terza generazione di refrigeranti, poiché hanno sostituito i Clorofluorocarburi (CFC) e gli Idroclorofluorocarburi (HCFC), dannosi per lo strato di ozono. Gli HFC sono refrigeranti che non danneggiano lo strato di ozono, ma hanno un GWP da medio ad elevato, contribuendo all'effetto serra.

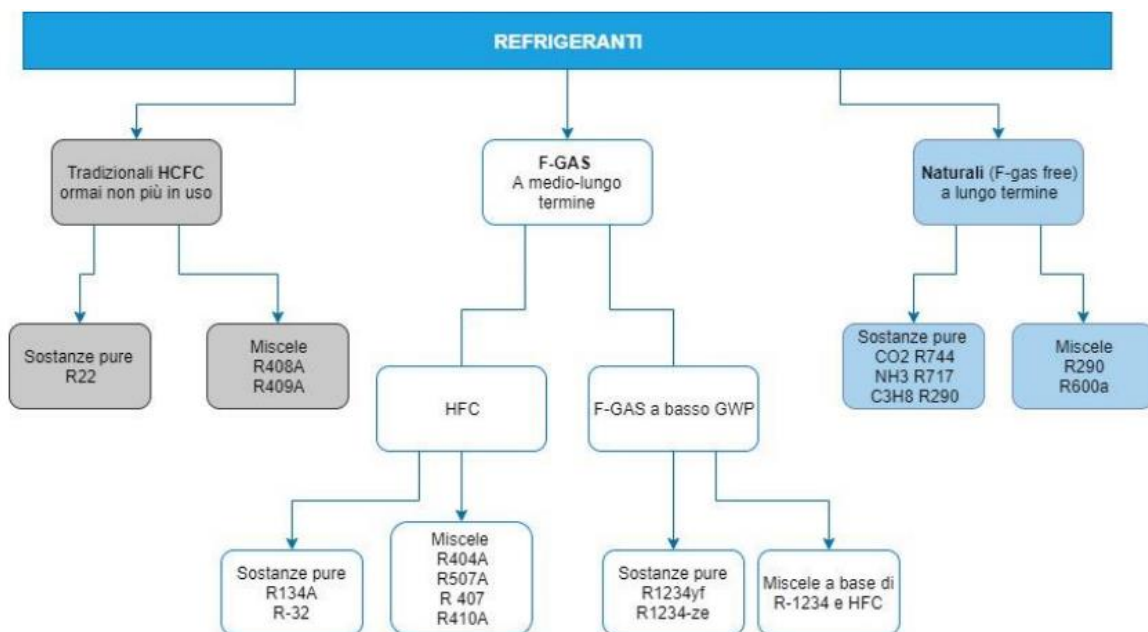


FIGURA 29: CLASSIFICAZIONE FLUIDI FRIGORIFERI

I più comunemente utilizzati negli impianti frigoriferi industriali sono:

- R134a → sostituisce il vecchio HCFC R12. La sua resa non è molto elevata, per cui non viene applicato per la bassa temperatura. Ha un GWP di 1430. Nella refrigerazione viene utilizzato per celle frigorifere a temperatura positiva, refrigeratori di acqua, frigoriferi domestici, banchi refrigerati, automotive.
- R448a → è una miscela di HFO-1234yf, HFO-1234ze(E) e HFC-32 con un GWP di 1387 inferiore di circa di 65% rispetto ai fluidi refrigeranti tradizionali come l'R404a. Si utilizza negli impianti di refrigerazione a espansione diretta, operanti a basse e medie temperature.

CAPITOLO 4

REQUISITI DI CONSERVAZIONE DEI PRODOTTI ORTOFRUTTICOLI

Per progettare un impianto di refrigerazione, specialmente per le celle destinate alla conservazione dei prodotti ortofrutticoli, è essenziale comprendere le caratteristiche organolettiche di tali prodotti al fine di preservare efficacemente le loro qualità nutrizionali.

La conservazione dipende da diversi fattori, tra cui la regolazione della temperatura, dell'umidità relativa e della ventilazione. Mantenere i prodotti a una temperatura appropriata è cruciale per rallentare la maturazione e il deterioramento degli alimenti. Il controllo dell'umidità dell'ambiente è necessario onde evitare la disidratazione e formazione di muffe, funghi e batteri sui prodotti che possono rappresentare un rischio per la salute umana. Una corretta ventilazione assicura una distribuzione uniforme della temperatura e dell'umidità all'interno della cella refrigerata. D'altra parte, è necessario evitare ogni spreco di cibo che, oltre a causare danni ambientali, ha anche implicazioni economiche importanti.

La prerrefrigerazione è un processo che viene utilizzato per il rapido raffreddamento dei prodotti subito dopo la raccolta. Ciò consente di mantenere la freschezza e la qualità dei prodotti, rallentare la maturazione e ridurre la perdita di nutrienti. Questo processo viene eseguito mediante l'utilizzo di sistemi di raffreddamento ad aria forzata o immergendo i prodotti in acqua fredda. È cruciale che la prerrefrigerazione avvenga il più tempestivamente possibile dopo la raccolta per massimizzare i suoi benefici sulla conservazione.

L'immagazzinamento dei prodotti a basse temperature prolunga la loro durata di conservazione in funzione della temperatura di stoccaggio. In particolare, quest'ultima diminuisce con l'aumentare della durata di molti prodotti. La Figura 4 mostra quanto detto per diversi prodotti quali: pollame (1), pesce (2), manzo (3), banane (4), arance (5), mele (6), uova (7), prodotti in atmosfera controllata (8).

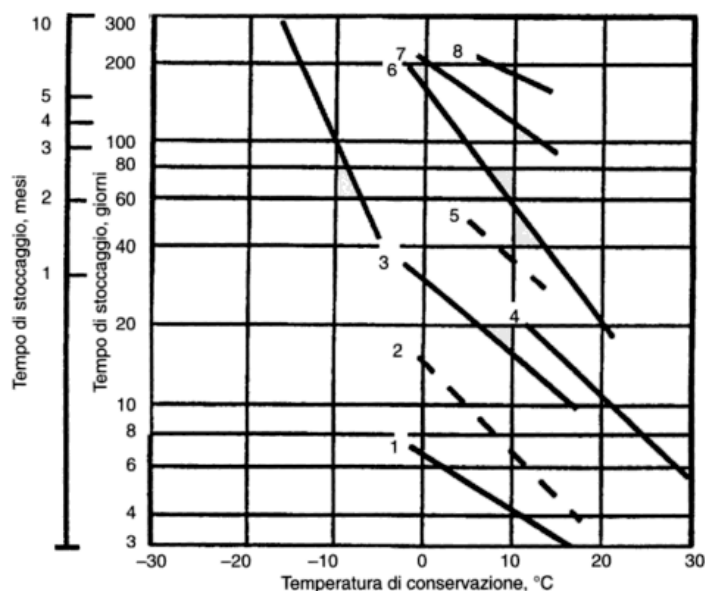


FIGURA 30: DURATA DI CONSERVAZIONE DEI PRODOTTI A DIVERSE TEMPERATURE

Secondo alcuni criteri di conservazione ed economici, frutti come mele, pere e fragole possono essere conservati a temperature inferiori a 0°C. Altri esempi vengono mostrati nella seguente tabella.

Prodotti	°C
Mele	-1÷0,5
Avocado	3÷4
Banane	13÷14
Cavolo	0
Lattuga	0÷1
Pere	-2÷0
Fragole	-0,5÷0
Pomodori	3÷4

TABELLA 1: TEMPERATURA DI CONSERVAZIONE DI ALCUNI PRODOTTI ORTOFRUTTICOLI

Dunque, le **necessità di conservazione** dei prodotti ortofrutticoli possono variare notevolmente a seconda di diversi fattori:

- Varietà di Prodotto → le diverse varietà di frutta e verdura presentano esigenze specifiche riguardo alla temperatura, all'umidità e alla durata di conservazione. Ad esempio, le fragole richiedono temperature più basse rispetto ai pomodori.
- Maturità e stadio di conservazione → è importante conservare i prodotti in base al loro grado di maturità. Alcuni ortaggi devono essere conservati rapidamente dopo la raccolta per mantenere la freschezza.
- Durata della conservazione → a durata desiderata per la conservazione può variare a seconda del tipo di prodotto e delle esigenze del mercato. Alcuni prodotti devono essere conservati per lunghi periodi senza compromettere la qualità.

La temperatura di conservazione è uno dei fattori chiave per garantire la freschezza dei prodotti ortofrutticoli. Alcuni esempi di **requisiti di temperatura** includono:

- Prodotti sensibili al freddo → alcuni prodotti come le banane e gli agrumi richiedono temperature più elevate per evitare danni da freddo.
- Prodotti sensibili al calore → alcune verdure come l'insalata e le fragole richiedono temperature più basse per prolungare la durata di conservazione.
- Variazioni di temperatura → è importante considerare le variazioni di temperatura durante il trasporto e lo stoccaggio per evitare danni ai prodotti.

L'umidità relativa è un altro fattore critico per la conservazione dei prodotti ortofrutticoli. Alcuni esempi di **requisiti di umidità** includono:

- Prodotti sensibili all'essiccazione → alcuni prodotti come le carote e le mele richiedono un'alta umidità per evitare la disidratazione.
- Condensa → è importante controllare la condensa all'interno delle celle frigorifere per evitare il marciume e la formazione di muffe.

Infine, il **controllo dell'etilene**, l'ormone vegetale responsabile dei processi di maturazione e senescenza, può essere gestito mediante la sostituzione frequente dell'aria nelle celle frigorifere oppure, per i prodotti più sensibili, attraverso l'utilizzo di apparecchiature specializzate per l'eliminazione completa di questo gas.

Per gestire l'etilene nelle celle frigorifere, esistono diverse strategie:

- Filtraggio dell'etilene → le celle frigorifere possono essere equipaggiate con filtri progettati per rimuovere l'etilene dall'aria, mantenendo bassi i livelli di questo ormone vegetale.
- Assorbitori di etilene → alcune tecnologie impiegano materiali assorbenti che catturano l'etilene presente nell'aria all'interno della cella frigorifera, contribuendo a mantenere bassi i livelli di questo gas.
- Depuratori di etilene → sono progettati per rimuovere attivamente l'etilene dall'aria, convertendolo in prodotti inerti. Utilizzano reazioni chimiche, come l'ossidazione catalitica, per convertire l'etilene in prodotti gassosi non dannosi o inerti.
- Monitoraggio e controllo dell'ambiente → utilizzare sistemi di monitoraggio per l'etilene all'interno della cella frigorifera consente di regolare i livelli di questo gas in base alle esigenze specifiche dei diversi prodotti ortofrutticoli.



FIGURA 31: DEPURATORE DI ETILENE

CAPITOLO 5

PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO FRIGORIFERO AD ESPANSIONE DIRETTA

La progettazione di un impianto frigorifero per la conservazione di prodotti ortofrutticoli si concentra su diversi aspetti chiave:

- *Efficienza energetica* → l'obiettivo è ridurre al minimo il consumo energetico dell'impianto utilizzando tecnologie avanzate e strategie innovative. Questo include l'ottimizzazione del ciclo frigorifero per massimizzare l'efficienza di conversione energetica e ridurre le perdite di calore.
- *Qualità del prodotto* → la progettazione dell'impianto mira a mantenere condizioni ambientali ottimali, come temperatura, umidità e ventilazione, per preservare la freschezza e la qualità dei prodotti ortofrutticoli. Questo è fondamentale per prolungare la shelf-life dei prodotti e garantire standard elevati di sicurezza alimentare.
- *Sostenibilità ambientale* → la scelta di tecnologie a basso impatto ambientale è cruciale per ridurre l'impatto complessivo sull'ambiente. Ciò può includere l'utilizzo di refrigeranti naturali anziché quelli sintetici ad alta potenza di riscaldamento globale, nonché l'implementazione di sistemi di recupero del calore per ridurre gli sprechi energetici.
- *Affidabilità e sicurezza* → l'impianto deve essere progettato per garantire un funzionamento affidabile e continuativo, riducendo al minimo il rischio di malfunzionamenti o guasti che potrebbero compromettere la conservazione dei prodotti. La sicurezza è una priorità per proteggere sia i prodotti che gli operatori che lavorano nell'ambiente refrigerato.

In particolare, la progettazione di un impianto frigorifero e delle relative celle refrigerate richiede un approccio metodologico completo e multidisciplinare che comprende:

- Analisi dei requisiti → comprendere le esigenze specifiche del cliente, ovvero acquisire il maggior numero di informazioni disponibili sull'impianto che stiamo per progettare o valutare.
- Selezione e dimensionamento dei componenti → identificare e selezionare i componenti chiave dell'impianto, inclusi compressori, condensatori, evaporatori, valvole di espansione e sistemi di controllo.
- Simulazione e analisi → l'applicazione di strumenti di simulazione e analisi è fondamentale per ottimizzare il design dell'impianto.

In questo lavoro, verrà progettato l'impianto destinato ad una delle aziende agricole più rinomate in Italia, situata in San Ferdinando di Puglia (BT). Essa opera nel settore della produzione, lavorazione e distribuzione di pesche, albicocche, nettarine, percoche e uva da tavola.

Di seguito verrà analizzato in modo più dettagliato quanto detto nei punti precedenti.

4.1 ANALISI DEI REQUISITI

Per progettare un impianto frigorifero in modo efficace e soddisfacente per il cliente, è essenziale raccogliere dati dettagliati che guidino il processo di progettazione.

I dati iniziali necessari includono:

1. Dati tecnici e costruttivi dell'edificio:

- Dimensioni e disposizione dell'edificio o della struttura in cui verrà installato l'impianto frigorifero.
- Dettagli sull'isolamento termico dell'edificio, compresi i materiali utilizzati per le pareti, il pavimento e il tetto.
- Disposizione dei vani tecnici disponibili per ospitare l'unità di condensazione, gli evaporatori e altri componenti dell'impianto.

2. Tipo di prodotto da stoccare in cella:

- Identificazione del tipo di prodotto ortofrutticolo o alimentare che sarà conservato nella cella frigorifera.
- Requisiti specifici di temperatura e umidità richiesti per il corretto stoccaggio e la conservazione del prodotto.
- Volumi di produzione previsti e frequenza di accesso alla cella per il carico e lo scarico dei prodotti.

3. Necessità di una sala lavorazione raffrescata:

- Se è necessaria una sala di lavorazione refrigerata per lavorare direttamente sui prodotti all'interno dell'ambiente refrigerato.
- Requisiti di temperatura e umidità per la sala di lavorazione refrigerata, se diversi dalla cella di stoccaggio.

Altri dati importanti da considerare possono includere:

- Ingressi di carico/scarico → posizione e dimensioni degli ingressi per consentire il facile carico e scarico dei prodotti.
- Condizioni ambientali esterne → clima esterno (ad esempio, temperatura esterna, umidità) che influenzerà il carico termico sull'impianto frigorifero.
- Normative e regolamenti → requisiti normativi e di sicurezza che devono essere rispettati per l'installazione e il funzionamento dell'impianto.

4.2 PREDISPOSIZIONE CELLE IN PIANTA

Il punto di partenza è quello di considerare le dimensioni dell'edificio, ovvero la superficie utilizzabile per la realizzazione di esso. In questo caso la superficie è di circa **1480 m²**.

In generale, l'altezza minima consigliata per un capannone industriale destinato alla realizzazione di celle frigorifere può variare da almeno 6 metri a oltre 10 metri, a seconda delle dimensioni e delle specifiche dell'impianto frigorifero. In particolare, vengono fatte alcune considerazioni quali:

- Altezza delle celle frigorifere → le celle frigorifere possono variare in altezza a seconda del tipo di prodotti da conservare e delle esigenze di spazio per l'installazione degli impianti di refrigerazione. Una maggiore altezza può consentire la creazione di celle frigorifere più ampie e spaziose, ideali per il posizionamento di scaffalature o per la conservazione di prodotti voluminosi.
- Altezza degli impianti di condensazione ed evaporazione → l'altezza della struttura deve essere tale da consentire l'installazione di questi componenti in modo accessibile e conforme alle normative di sicurezza.
- Requisiti normativi e di sicurezza → è importante considerare le normative locali e nazionali che possono imporre altezze minime specifiche per le strutture industriali che ospitano impianti frigoriferi. Queste normative sono progettate per garantire la sicurezza e la conformità agli standard di costruzione.
- Accessibilità per operazioni di carico e scarico → l'altezza del capannone deve consentire un accesso adeguato alle operazioni di carico e scarico dei prodotti nelle celle frigorifere. Questo include la possibilità di utilizzare attrezzature di sollevamento e trasporto in modo sicuro ed efficiente.
- Ventilazione e circolazione dell'aria → una corretta altezza della struttura favorisce la ventilazione e la circolazione dell'aria all'interno dell'area refrigerata. Una buona circolazione dell'aria contribuisce a mantenere condizioni uniformi di

temperatura e umidità, essenziali per la conservazione ottimale dei prodotti ortofrutticoli.

Viene dunque considerata un'altezza di **6 m**.

La richiesta del cliente prevede la realizzazione di:

- **Tre celle di conservazione** per i prodotti ortofrutticoli.
- **Una zona di carico e scarico** dei prodotti.

In particolare, le tre celle per la conservazione dei prodotti devono essere dimensionate in base alla quantità di prodotti da conservare e alle loro caratteristiche specifiche. Inoltre, è importante considerare la capacità di stoccaggio e la disposizione interna delle celle per ottimizzare lo spazio e consentire una corretta circolazione dell'aria.

La zona di carico e scarico deve essere mantenuta a temperature raffreddate per evitare variazioni brusche di temperatura durante le operazioni di movimentazione.

Grazie all'utilizzo del software AutoCAD, si ottiene un supporto essenziale per la progettazione dettagliata, consentendo il disegno preciso e ottimizzato della disposizione dei locali raffrescati all'interno dell'edificio.

Così, è possibile visualizzare in modo chiaro i flussi di movimento dei prodotti, permettendo di identificare potenziali punti di congestione o inefficienze nel layout. Vengono valutate dunque diverse opzioni di layout per i locali raffrescati al fine di ottenere la disposizione più efficiente e funzionale.

Il layout preso in considerazione, ovvero quello che garantisce l'ottimizzazione degli spazi, la conformità normativa e l'efficacia complessiva dell'impianto viene mostrato di seguito.

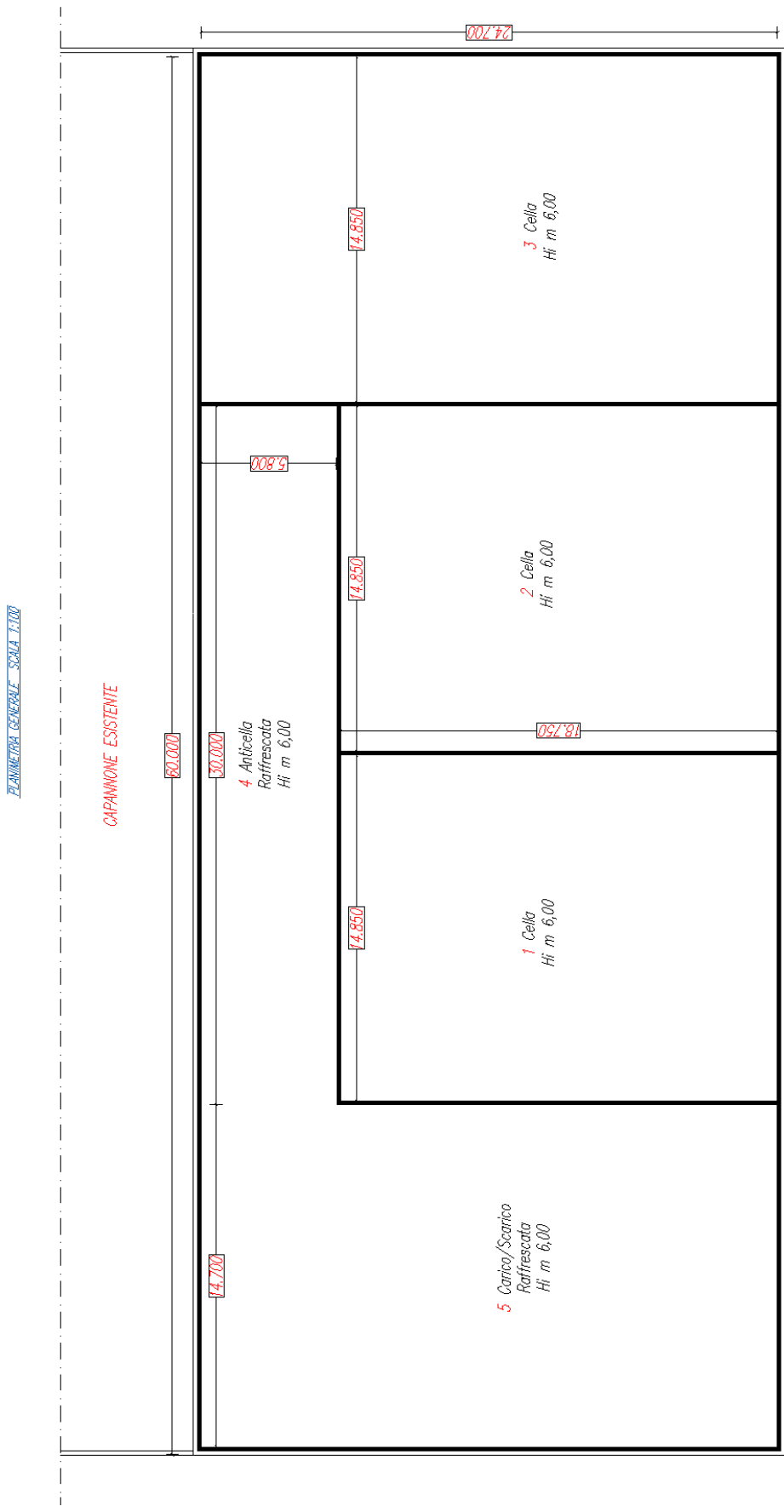


FIGURA 32: LAYOUT DIMENSIONI CELLE

Le dimensioni delle celle vengono riportate nella seguente tabella:

<i>Cella</i>	<i>L1 [m]</i>	<i>L2 [m]</i>	<i>H [m]</i>	<i>V [m³]</i>
1	14,9	18,8	6	1670,6
2	14,9	18,8	6	1670,6
3	14,9	24,7	6	2200,8
4 (Anticella)	5,8	30,0	6	1044,0
5 (Zona Carico – Scarico)	14,7	24,7	6	2178,5

TABELLA 2: DIMENSIONI CELLE

In base alla cubatura medio/piccola della cella, è stata scelta la realizzazione di un **impianto ad espansione diretta con unità motocondensanti ad aria**, il quale comprende **tre celle per la conservazione a 0°C e una zona di carico-scarico a 12°C**. Questa configurazione riflette le esigenze specifiche della conservazione dei prodotti ortofrutticoli che verranno stoccati nelle celle. Di seguito sono riportati i dettagli principali di questa scelta progettuale:

- *Espansione diretta* → l'impianto ad espansione diretta è stato preferito per la sua efficacia nel mantenere temperature costanti all'interno delle celle frigorifere. Questo sistema utilizza direttamente il refrigerante per raffreddare l'aria all'interno delle celle, garantendo una maggiore efficienza e controllo della temperatura.
- *Unità motocondensanti* → le unità motocondensanti ad aria sono state selezionate per il loro basso impatto ambientale, la facilità di installazione e lo spazio disponibile all'esterno dell'edificio. Queste unità utilizzano l'aria esterna per dissipare il calore generato durante il processo di refrigerazione, riducendo così la dipendenza da refrigeranti a base di gas e semplificando il sistema complessivo.
- *Considerazioni di spazio e cubatura* → la scelta di realizzare tre celle a 0°C e una zona a 12°C tiene conto, oltre alle direttive del cliente, anche delle dimensioni e della cubatura dell'edificio, ottimizzando lo spazio disponibile e garantendo una

distribuzione uniforme delle temperature in base alle esigenze specifiche dei prodotti ortofrutticoli.

- *Configurazione delle celle* → le celle a 0°C sono progettate per la conservazione di prodotti sensibili che richiedono basse temperature per preservare freschezza e durata ed inoltre saranno equipaggiate con sistemi di controllo avanzati per mantenere costante la temperatura e l'umidità relative, essenziali per la conservazione ottimale. La zona di carico-scarico a 12°C consentirà il trasferimento efficiente dei prodotti tra le celle e l'area di stoccaggio, mantenendo una temperatura più moderata.

Questa configurazione dell'impianto frigorifero è il risultato di una valutazione attenta delle esigenze del cliente e delle migliori pratiche nel settore della conservazione degli alimenti. L'obiettivo principale è garantire condizioni di conservazione ottimali per i prodotti ortofrutticoli, minimizzando il consumo energetico e garantendo un funzionamento affidabile e sostenibile dell'impianto.

4.3 PANNELLI E PORTE FRIGORIFERE

Questa sezione del progetto riguarda i dettagli relativi ai **pannelli isotermici** utilizzati per la costruzione di soffitto e pareti delle celle frigorifere e delle aree di carico-scarico.

I pannelli isotermici sono elementi chiave per garantire l'efficienza termica e la robustezza strutturale dell'impianto frigorifero ed inoltre creano un ambiente controllato per mantenere la temperatura desiderata all'interno della cella.

Le caratteristiche principali includono:

- *Materiale* → pannelli sandwich con uno spessore di **150 mm**, realizzati in lamiera di zinco plastificato a vista sul lato interno delle celle. Questo materiale è scelto per la sua resistenza, durata e capacità di resistere alle condizioni ambientali interne della cella frigorifera.
- *Giunto MF* → i pannelli sono progettati con giunto maschio-femmina per garantire un'installazione sicura ed ermetica, riducendo i ponti termici e migliorando l'efficienza energetica complessiva dell'impianto.

La struttura del soffitto sarà realizzata con pendinaggio standard, utilizzando profili zincati, tiranti e copertine preverniciate di finitura. Questa configurazione consente un'installazione sicura e robusta dei pannelli isotermici sul soffitto, assicurando una distribuzione uniforme del carico e la resistenza strutturale necessaria.

La descrizione dettagliata della pannellatura include specifiche importanti riguardanti i supporti metallici e l'isolante P.I.R. (Poly-Isocianurato).

Per quanto riguarda i supporti metallici sono realizzati in laminato di acciaio zincato a caldo secondo lo standard UNI EN 10346, con uno spessore di **0,5 mm** conforme a UNI EN 10143. Inoltre, sono verniciati con smalto poliestere bianco mediante tecnologia Coil Coating, che offre una finitura resistente e protettiva contro l'umidità e la corrosione. I

supporti metallici forniscono la robustezza necessaria per sostenere l'isolamento e garantire la durata nel tempo dell'impianto frigorifero.

L'isolante P.I.R. offre un'elevata resistenza al calore e alle temperature estreme, consentendo di mantenere le condizioni interne ottimali per la conservazione dei prodotti ortofrutticoli. Esso possiede determinate caratteristiche riportate nella seguente tabella.

Densità indicativa	$40 \frac{kg}{m^3} \pm 10\%$
Peso	$25 \frac{kg}{m^3}$
Coefficiente di conduttività termica (UNI EN 12667)	$0,020 \div 0,023 \frac{W}{m * K}$
Trasmittanza termica (EN 14509)	$0,18 \frac{W}{m^2 * K}$
Reazione al fuoco (EN 13501-1)	B-s2-d0

TABELLA 3: PROPRIETÀ ISOLANTE P.I.R.

La combinazione di questi materiali e proprietà contribuisce a creare un ambiente interno stabile e controllato, necessario per mantenere la freschezza e la qualità dei prodotti conservati. La pannellatura assicura inoltre un'efficienza energetica complessiva dell'impianto, riducendo le perdite di calore e ottimizzando il funzionamento del ciclo frigorifero.

Prima dell'installazione dei pannelli, il sito viene preparato adeguatamente, garantendo una base solida e livellata per l'assemblaggio delle pareti e del soffitto della cella. I pannelli isothermici vengono assemblati e installati assicurandosi che siano fissati saldamente tra loro e alla struttura portante.

Viene installata *lattoneria di raccordo* interna ed esterna per garantire la continuità dell'isolamento.

Una volta completata l'installazione, si procede con la *sigillatura* delle giunzioni e delle connessioni per garantire l'integrità dell'isolamento termico.

Le *finiture esterne* vengono applicate per garantire un aspetto estetico uniforme e una maggiore resistenza alle condizioni ambientali.

Oltre a soffitto e pareti, viene considerato l'**isolamento a pavimento** solo per le tre celle di conservazione. Di seguito sono riportati i dettagli dell'isolamento specificato:

- *Materiale isolante* → la lastra isolante utilizzata è in polistirene, con uno spessore di **5cm**. Il polistirene è noto per le sue proprietà isolanti e la sua resistenza all'umidità, rendendolo ideale per applicazioni di refrigerazione.
- *Rivestimento antivapore* → la lastra di polistirene è ricoperta da una doppia barriera antivapore in polietilene. Questo strato aggiuntivo di protezione serve a prevenire la penetrazione dell'umidità nel materiale isolante, mantenendo elevate le sue prestazioni isolanti nel tempo.

L'isolamento a pavimento deve essere progettato per resistere alle sollecitazioni meccaniche e all'umidità ambientale tipica degli ambienti refrigerati. La scelta del polistirene e del rivestimento antivapore contribuisce a garantire la durabilità dell'isolamento nel tempo.

Viene riportato di seguito il particolare¹ realizzato in AutoCAD.

¹ Le quote presenti nel particolare sono puramente casuali, derivati da una ipotesi di realizzazione

PARTICOLARE "ISOLAMENTO A PAVIMENTO" CELLE NT Scala 1:10

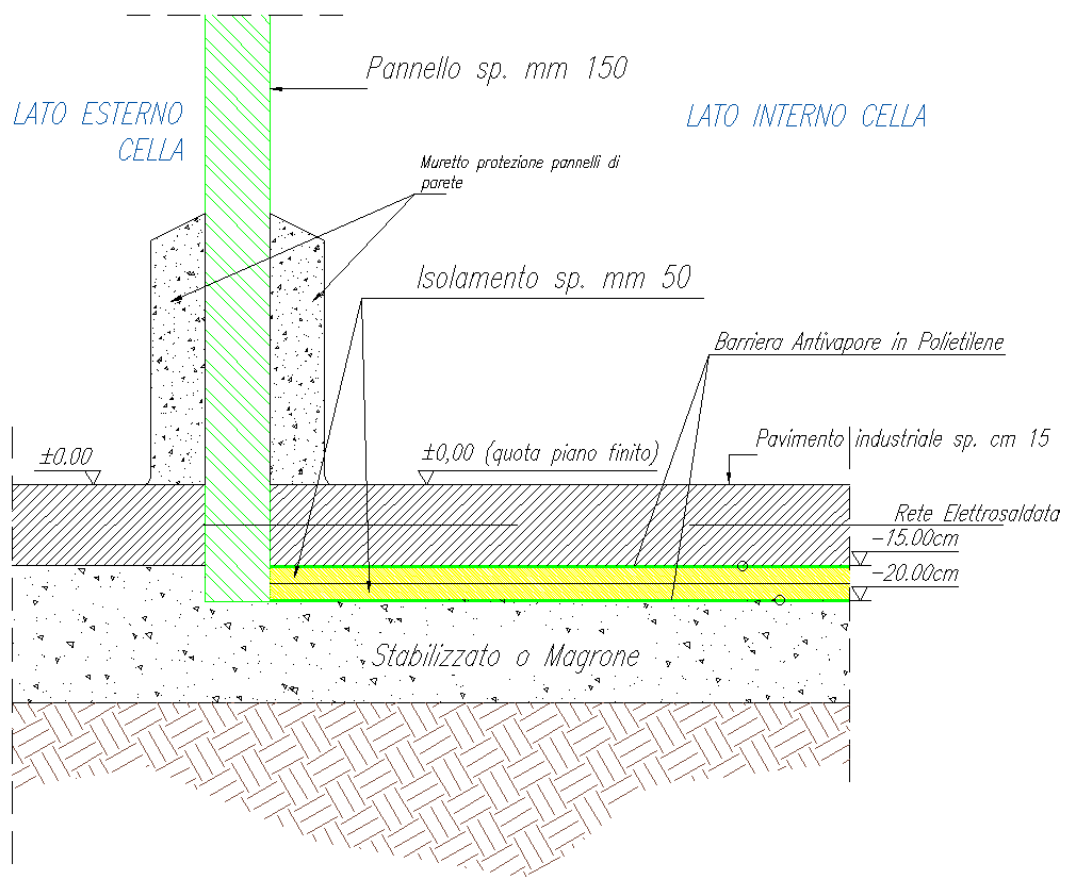


FIGURA 33: PARTICOLARE ISOLAMENTO A PAVIMENTO CELLE

Anche la scelta delle **porte frigorifere** è un aspetto fondamentale per garantire l'efficienza, l'affidabilità del sistema, un efficace isolamento termico, l'accesso e la gestione delle celle frigorifere.

Le porte frigorifere previste includono:

<i>Cella</i>	<i>Tipologia porta</i>	<i>Dimensioni</i>
1	Scorrevole automatica	2,20m x 3,20h
2	Scorrevole automatica	2,20m x 3,20h
3	Scorrevole automatica	2,20m x 3,20h
5 (Zona Carico – Scarico)	Su cardini	1,00m x 2,00h

TABELLA 4: PORTE FRIGORIFERE

Le porte delle celle sono dotate di un sistema di apertura automatica e di radiocomando per l'apertura a distanza. Il lato interno delle porte è realizzato in acciaio inox AISI 304 con finitura nivolata.

Le caratteristiche costruttive delle porte frigorifere scorrevoli sono le seguenti:

- *Controtelaio* → realizzato con un profilo in composito di vetroresina o PVC, con uno spessore di **20/10mm**. Questo materiale offre un'ottima resistenza alle temperature basse e all'umidità.
- *Pareti esterna e interna* → la parete esterna della porta è realizzata in lamiera di acciaio preverniciato con uno spessore di **6/10mm**, con un colore simile a RAL 2009 per una maggiore resistenza e durabilità. La parete interna è realizzata in acciaio inox AISI 304 con finitura nivolata, garantendo un'ottima igienicità e resistenza alla corrosione.
- *Coibentazione* → ottenuta mediante iniezione sotto pressione di poliuretano, assicurando un elevato livello di isolamento termico per evitare dispersioni di calore.
- *Automazione* → sistema di automazione con motoriduttore e cassa di comando precablata. Ogni porta è dotata di un ricevitore interno nella cassa di comando e di un trasmettitore per consentire l'apertura a distanza tramite radiocomando.

Per la zona di carico e scarico la porta è progettata per consentire l'accesso alla sala macchine dell'impianto frigorifero. Inoltre, si considerano cinque rampe di carico e scarico merce.

Nella seguente figura viene mostrato il layout considerando gli elementi appena descritti.

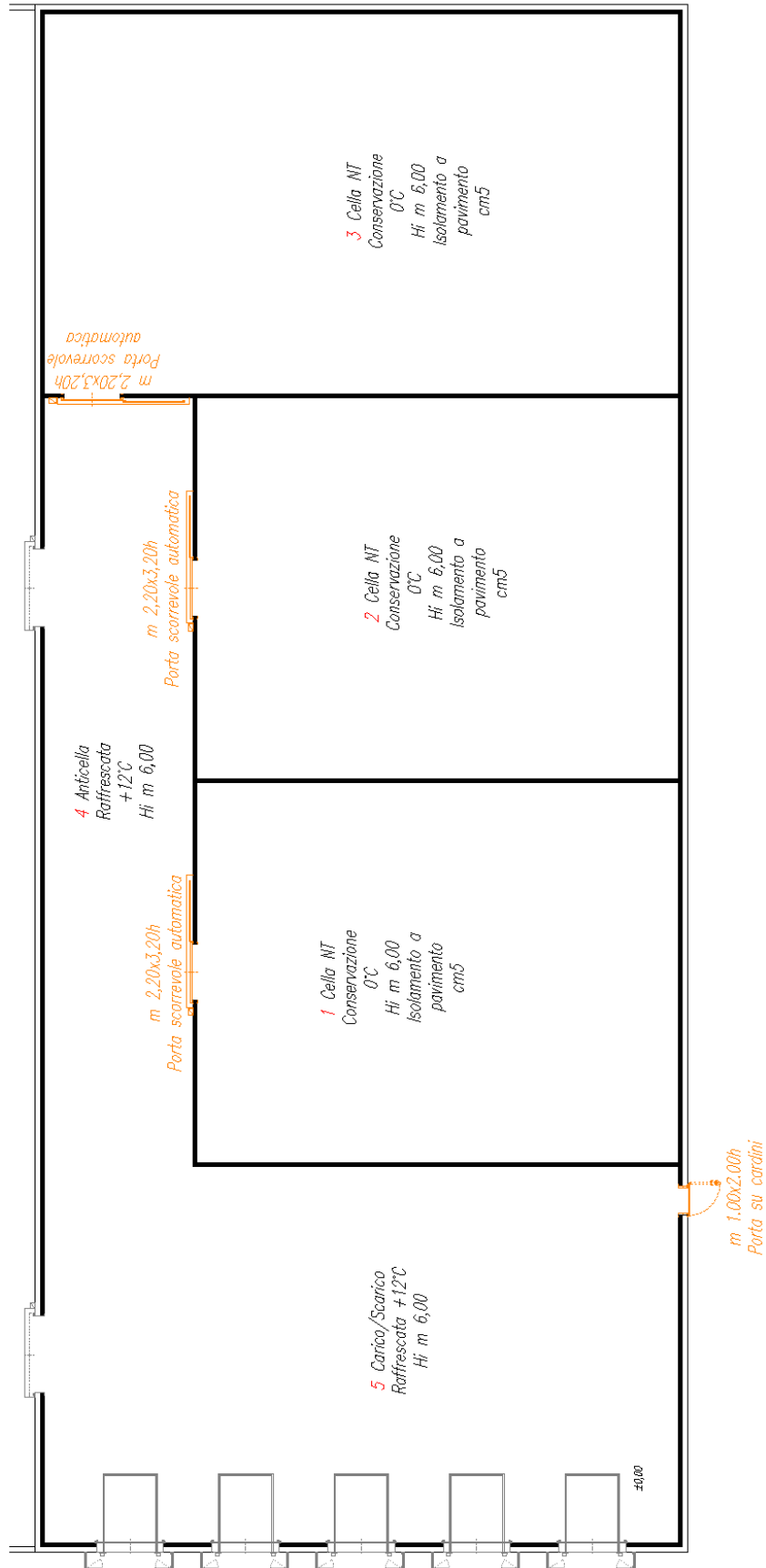


FIGURA 34: LAYOUT IMPIANTO CON PORTE FRIGORIFERE E RAMPE DI CARICO

4.4 CALCOLO DEL CARICO TERMICO

La determinazione della potenza frigorifera da apportare in ciascuna cella frigorifera è un processo complesso che dipende da diversi fattori:

- *Volume della cella* → il volume interno della cella frigorifera è un fattore determinante per calcolare la potenza frigorifera necessaria. Maggiore è il volume, maggiore sarà la quantità di calore da rimuovere per mantenere la temperatura desiderata.
- *Tipo di prodotto e temperatura di conservazione:*
 - Tipo di prodotto → il tipo di prodotto da stoccare (in questo caso si esamina il caso generico della **frutta**) e la sua sensibilità alla temperatura influenzano le esigenze di raffreddamento. Ogni tipo di prodotto ha requisiti specifici di temperatura e umidità.
 - Temperatura di conservazione → la temperatura desiderata di conservazione del prodotto è cruciale per determinare la potenza frigorifera necessaria.
- *Coefficiente di respirazione (K) del prodotto* → è un parametro che indica il tasso di produzione di calore respiratorio del prodotto durante la conservazione. Questo parametro è particolarmente rilevante per prodotti come la frutta, che continuano a respirare anche dopo essere stati raccolti.

Si riportano alcuni esempi.

<i>Prodotto</i>	<i>Temperatura di conservazione [°C]</i>	<i>UR%</i>	<i>K</i>
Patate	8	85	55
Verdure a foglia	4	95	60
Broccoli	-0,5	95	90
Asparagi	0	90	92
Carciofi	0	90	95
Finocchi	2	95	60
Frutta generico	0	90	80
Angurie	10	90	90

Meloni	8	90	80
Ciliegie	1	95	80
Uva	0	90	85
Pesche	0	90	100
Albicocche	2	90	90
Prugne-susine	2	90	90
Agrumi generico	6	90	60
Arance	1	90	65
Clementine	5	90	65
Limoni	8	92	65
Kiwi	0	90	80

TABELLA 5: CARATTERISTICHE DEI DIVERSI PRODOTTI ORTOFRUTTICOLI

- *Movimentazione dei prodotti in cella* → la movimentazione dei prodotti all'interno della cella può influenzare la distribuzione del calore e la richiesta energetica complessiva. Si considera una percentuale di movimentazione pari al **10%** essendo celle di conservazione e del **15%** per la zona di carico/scarico, che richiede un adeguato dimensionamento del sistema frigorifero per gestire l'aumento del carico termico associato. La movimentazione richiede, per il calcolo, un fattore correttivo come mostrato in tabella.

<i>Movimentazione [%]</i>	<i>Fattore correttivo</i>
10	1
15	1,15
20	1,25
25	1,5
50	2
Cella prerfrigerata	2,5

TABELLA 6: FATTORE CORRETTIVO PER LA MOVIMENTAZIONE DEI PRODOTTI

Avendo a disposizione i dati sopra citati, si procede con il calcolo. I risultati ottenuti sono i seguenti:

<i>Cella</i>	<i>V [m³]</i>	<i>K</i>	<i>Fattore correttivo</i>	<i>Potenza [kW]</i>
1	1670,6	80	1	2 x 67
2	1670,6	80	1	2 x 67
3	2200,8	80	1	2 x 88
4 (Anticella)	1044,0	25	1,15	30
5 (Zona di carico-scarico)	2178,5	25	1,15	62

TABELLA 7: CARICO TERMICO

Per le tre celle di conservazione è necessario prevedere due macchine frigorifere per gestire la potenza richiesta.

4.5 SELEZIONE DEI PRINCIPALI COMPONENTI

COMPRESSORE

Una volta determinata la potenza di raffreddamento necessaria per ciascun ambiente, possiamo procedere con il dimensionamento e la scelta del compressore, che è il cuore del sistema frigorifero.

Per soddisfare i requisiti di potenza di raffreddamento e garantire un funzionamento affidabile ed efficiente, si opta per l'utilizzo dei compressori a pistoncini semiermetici dell'azienda **DORIN S.p.A.** Questi compressori sono particolarmente adatti per applicazioni industriali di refrigerazione poiché sono noti per la loro robustezza e versatilità.

Utilizzando il software fornito dalla suddetta azienda i dati richiesti sono:

Refrigerante	R448A	▼
Tensione / fasi / frequenza	380-420 V / 3 / 50 Hz	▼
Condizioni standard	<input type="checkbox"/>	
Temperatura di riferimento	Temp. media (mean temp.)	▼
Temperatura evaporazione		°C
Temperatura condensazione	45	°C
Surriscaldamento	7	K
Surriscald. uscita evap.	7	K
Sottoraffredd. del liquido	3	K
Potenza richiesta (evaporatore)		kW

FIGURA 35: DATI RICHIESTI PER IL DIMENSIONAMENTO DEL COMPRESSORE

- *Temperatura di riferimento* → i refrigeranti R407C, R407F, R448A, R449A e R404A sono miscele zeotropiche che mostrano un fenomeno noto come "effetto glide". Questo effetto si riferisce alla variazione di temperatura che si verifica durante le fasi di condensazione ed evaporazione di queste miscele. Durante la

condensazione, la temperatura della miscela diminuisce, mentre durante l'evaporazione la temperatura aumenta.

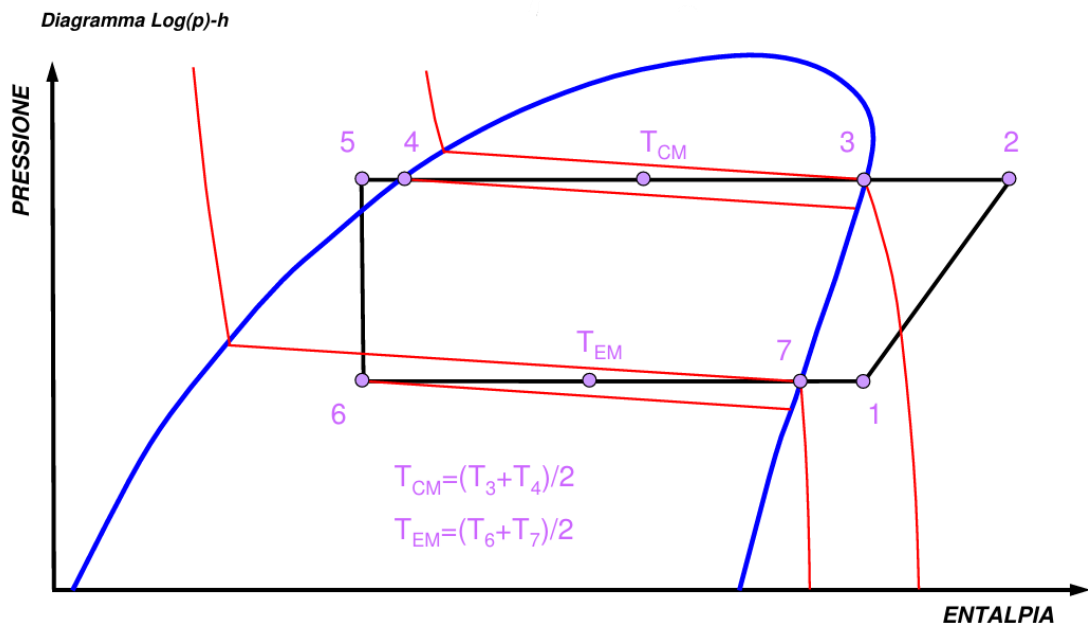


FIGURA 36: MISCELA ZEOTROPICA - EFFETTO GLIDE

Per trattare questi refrigeranti zeotropici in modo più semplice e assimilarli a refrigeranti monofase o azeotropici (che non presentano effetto glide), spesso vengono utilizzati valori di **temperatura di riferimento "medi" o "mean"** per le fasi di evaporazione e condensazione. Questi valori medi consentono di semplificare i calcoli e il design del sistema frigorifero, considerando una temperatura media rappresentativa per il processo di raffreddamento.

- *Temperatura di evaporazione* → per le tre celle di conservazione a 0°C si considera $T_{evap} = -5°C$. Per l'anticella e la zona di carico/scarico a 12°C si considera $T_{evap} = 5°C$.
- *Temperatura di condensazione* → per ogni ambiente $T_{cond} = 45°C$.

Il surriscaldamento e il sottoraffreddamento sono due parametri importanti da considerare per ottimizzare il funzionamento e migliorare l'efficienza di un sistema frigorifero.

- *Surriscaldamento* → sul lato di bassa pressione, si riferisce alla temperatura del refrigerante misurata dopo che tutto il liquido si è completamente vaporizzato nell'evaporatore e prima di entrare nel compressore. L'obiettivo è quello di assicurare che tutto il liquido sia evaporato prima di raggiungere il compressore per proteggere il compressore stesso da possibili danni dovuti alla presenza di liquido compressibile.

Il surriscaldamento viene regolato controllando la quantità di calore aggiunto al refrigerante dopo l'evaporazione, garantendo che l'evaporatore funzioni in condizioni di evaporazione totale del refrigerante.

Un surriscaldamento adeguato è cruciale per garantire che il compressore riceva solo gas refrigerante e non liquido, evitando danni dovuti alla compressione del liquido.

In refrigerazione, il valore di surriscaldamento sugli evaporatori ad espansione diretta deve essere compreso tra 5 e 8 gradi. In questo caso si considera un surriscaldamento pari a **7K**.

- *Sottoraffreddamento* → sul lato di alta pressione, si riferisce alla diminuzione della temperatura del refrigerante liquido dopo la condensazione nel condensatore, ma prima di entrare nella valvola di espansione. L'obiettivo è quello di migliorare l'efficienza della valvola termostatica controllando la temperatura del refrigerante liquido in ingresso alla valvola di espansione.

Il sottoraffreddamento consente di aumentare l'efficienza del ciclo frigorifero, migliorando la capacità della valvola di espansione di regolare e mantenere la giusta quantità di refrigerante liquido che entra nell'evaporatore.

Un sottoraffreddamento ottimale contribuisce a mantenere costanti le condizioni operative dell'evaporatore, influenzando positivamente l'efficienza complessiva del sistema frigorifero.

In refrigerazione, il valore di sottoraffreddamento sui condensatori ad aria, ad espansione diretta deve essere compreso tra 3 e 7 gradi. In questo caso si considera un sottoraffreddamento pari a **3K**.

- *Potenza richiesta* → quella riportata in tabella 7.

Di seguito vengono mostrati i risultati ottenuti e le scelte effettuate per le diverse zone.

<i>Cella</i>	<i>1 e 2</i>	<i>3</i>	<i>Carico/Scarico</i>
Modello	H3500CC	H4000CC	H2001CC
Resa frigorifera [W]	73340	80850	57170
Potenza assorbita [kW]	26,11	29,26	16,50
Calore al condensatore [kW]	99,43	110,10	73,66
COP	2,81	2,76	3,47
Portata in massa [kg/h]	1817,2	2003,3	1373,7
Corrente assorbita [A]	47,5	50,1	29,1
Temperatura di mandata [°C]	74,3	74,9	72,4
Max. corrente di funzionamento [A]	66,0	75,0	38,0

TABELLA 8: CALCOLO PRESTAZIONI COMPRESSORI

UNITÀ MOTOCONDENSANTE

Nel caso di un impianto con una potenzialità medio-piccola, è stata scelta la condensazione ad aria anziché ad acqua. Questa decisione è stata presa per vari motivi:

- *Semplicità e costi* → la condensazione ad aria rende l'impianto meno complesso, più facile da gestire e generalmente meno costoso da implementare rispetto alla condensazione ad acqua. Non sono necessarie strutture aggiuntive per gestire l'acqua di raffreddamento, come torri di raffreddamento o sistemi di ricircolo dell'acqua.
- *Gestione semplificata* → un sistema di condensazione ad aria richiede una gestione più semplice e richiede meno manutenzione rispetto a un sistema ad acqua. Non ci sono preoccupazioni legate al trattamento dell'acqua o alla corrosione.

Tuttavia, la condensazione ad aria può comportare un consumo energetico più elevato a causa dell'uso dei ventilatori per il raffreddamento dell'aria. I ventilatori ad aria richiedono energia per il loro funzionamento, il che può influire sui costi operativi complessivi dell'impianto.

Poiché sono previste due unità motocondensanti esterne per ogni cella di conservazione e una per la zona di carico-scarico, si ottiene un sistema distribuito che può gestire separatamente le esigenze di raffreddamento delle diverse aree dell'impianto. Questa configurazione può contribuire alla flessibilità e all'efficienza operativa complessiva dell'impianto.

La selezione ricade sulle unità motocondensanti della dell'azienda **TECNOFREDDO**. Queste motocondensanti, in particolare quelle della serie ERACLE – GMC sono compatibili con i compressori scelti.

I dati richiesti per tale selezione sono riportati in seguito.

Gas refrigerante	R448A
Marca compressore	DORIN
Tipo compressore	S.E - pistoni
N° compressori	1
Temperatura di condensazione	45
Temperatura di evaporazione	
Resa frigorifera [kW]	

FIGURA 37: DATI RICHIESTI PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'UNITÀ MOTOCONDENSANTE

Per le temperature di condensazione ed evaporazione nell'impianto frigorifero e la resa frigorifera, vengono prese in considerazione le stesse attenzioni e valutazioni utilizzate per la selezione dei compressori, assicurando che siano ottimali per le esigenze specifiche dell'applicazione.

I risultati sono i seguenti.

<i>Cella</i>	<i>1 e 2</i>	<i>3</i>	<i>Carico/Scarico</i>
Modello	GMC 350 HAD	GMC 400 HAD	GMC 200 HAD
Dimensioni [mm]	3040x1100x1900	3040x1100x1900	2600x850x2200
Flusso aria	VERTICALE	VERTICALE	ORIZZONTALE

Potenza assorbita ventilatori [kW]	2x1,75	2x1,75	3x0,85
Corrente assorbita ventilatori [A]	2x3,7	2x3,7	3x1,7
Max. portata aria ventilatori [m^3/h]	44000	44000	23000
Ø Linea liquido [mm]	28	28	22
Ø Linea aspirazione [mm]	54	54	42
Ricevitore di liquido [dm^3]	30	30	24,5

TABELLA 9: CARATTERISTICHE TECNICHE UNITÀ MOTOCONDENSANTE

La serie ERACLE-GMC_SE-Pistoni, comprende unità motocondensanti carenate per installazioni in esterni equipaggiate con compressori semiermetici a pistoni.

Nella versione base, come mostrato in figura, le unità sono dotate di:

- Compressore semiermetico alternativo.
- Resistenza carter.
- Condensatore ad aria.
- Pressostato doppio di sicurezza, (certificato PED).
- Antivibrante linea scarico.
- Ricevitore di liquido.
- Linea del liquido con: filtro deidratore, indicatore di passaggio, valvola solenoide.

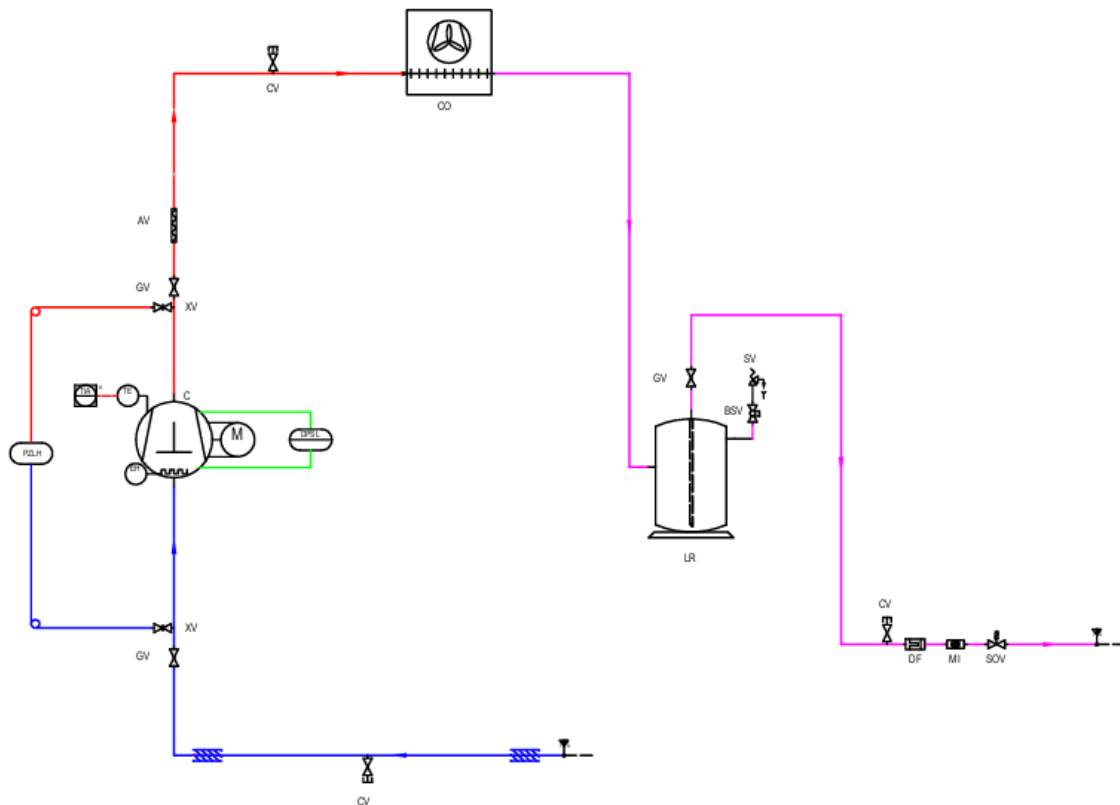


FIGURA 38: SCHEMA BASE UNITÀ MOTOCONDENSANTE



FIGURA 39: UNITÀ MOTOCONDENSANTE PER LE CELLE 1,2,3 (SX) E PER LA ZONA CARICO/SCARICO (DX)

EVAPORATORE

Per gli evaporatori ad espansione diretta, è consigliabile fornire al fluido refrigerante un certo grado di surriscaldamento aggiuntivo per garantire che l'intero liquido sia evaporato prima di raggiungere il compressore. Questo surriscaldamento aggiuntivo è utile per proteggere il compressore e migliorare l'efficienza complessiva del sistema. Tuttavia, per raggiungere questo obiettivo, è necessario aumentare la superficie di scambio termico degli evaporatori.

L'aumento della superficie di scambio termico consente di gestire il surriscaldamento in modo efficiente. Generalmente, per ogni incremento di 0,5°C di surriscaldamento desiderato, è necessario aumentare la superficie di scambio termico dell'evaporatore del 2-3%. Questo significa che, per un surriscaldamento di 5°C, potrebbe essere necessario un aumento della superficie del 20-30%.

Gli evaporatori utilizzati per le celle di conservazione sono della serie E di tipo *a parete* prodotti dall'azienda **ONDA**. Questi evaporatori cubici industriali ad aria sono progettati per garantire un'efficace trasmissione di calore e una distribuzione uniforme dell'aria all'interno delle celle frigorifere. Inoltre, sono dotati di un sistema di **sbrinamento a gas caldo (HG)** per rimuovere la brina accumulata durante il ciclo di funzionamento.

Per la zona di carico-scarico, dove si svolgono le attività di lavorazione, vengono utilizzati *evaporatori radiali con due canali in tessuto microforato*. Questo tipo di configurazione assicura una distribuzione uniforme dell'aria senza creare correnti di aria fredda che potrebbero compromettere la qualità e la temperatura dei prodotti durante il processo di carico e scarico. Poiché la temperatura è relativamente alta (12°C), non si prevede la formazione di brina o ghiaccio sugli evaporatori, quindi non è necessario prevedere un sistema di sbrinamento tradizionale.

Invece di utilizzare un sistema di sbrinamento, si opta per l'installazione di **elettroventilatori elettronici (EC)** nella zona di carico-scarico. Gli elettroventilatori elettronici sono dispositivi efficienti che consentono di regolare la velocità del ventilatore in base al fabbisogno di ventilazione, migliorando l'efficienza energetica complessiva del sistema.

L'uso di elettroventilatori elettronici consente un controllo più preciso e flessibile del flusso d'aria, contribuendo a mantenere condizioni ottimali di temperatura e umidità all'interno della zona di carico-scarico senza incorrere nei problemi associati alla formazione di brina. Questo approccio rappresenta una soluzione efficiente e moderna per garantire le condizioni ambientali richieste senza introdurre la complessità aggiuntiva di un sistema di sbrinamento.

Gli evaporatori verranno dotati inoltre di una **vasca doppia isolata (ID)** per la raccolta e lo scarico della condensa e dell'**imballo in gabbia (GA)** che protegge gli evaporatori da danni fisici accidentali o da interazioni non desiderate con gli operatori o con altri oggetti. Inoltre, la struttura a gabbia può favorire la circolazione dell'aria intorno agli evaporatori, migliorando l'efficienza termica e garantendo un flusso d'aria adeguato.

Anche in questo caso, utilizzando il software fornito dall'azienda produttrice, viene effettuata la selezione utilizzando i seguenti dati:

Required Capacity	kW		Refrigerant	R448A
Tolerance	+ / - %	20	5	Condensing Temperature
Air Inlet Temperature	°C	0,0	Subcooling	K
Relative Humidity	Auto <input checked="" type="checkbox"/> %	100	Evaporating Temperature	°C
Altitude	m	0	Superheating	K
			Power supply	Standard

FIGURA 40: DATI RICHIESTI PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'EVAPORATORE

Le stesse considerazioni vengono fatte anche qui per la temperatura di condensazione ed evaporazione e per la potenza richiesta.

La selezione viene riportata in tabella.

<i>Cella</i>	<i>1 e 2</i>	<i>3</i>	<i>Carico/Scarico</i>
Modello	EG803G8E60 D ID HG GA	EG803G10E60 D ID HG GA	ER562E10F60 D EC GA
Potenza reale [kW]	76,70	87,40	62,30
Portata aria [m^3/h]	52950,00	52300,00	23650,00
Umidità relativa ingresso [%]	93,0	93,0	85,0
Temperatura uscita aria [°C]	-2,7	-3,1	7,3
Umidità relativa uscita [%]	99,1	99,4	98,3
Quantità condensato [kg/h]	35,84	41,35	34,01
Portata massica [kg/h]	1991	2267	1559

TABELLA 10: PRESTAZIONI EVAPORATORI

Le seguenti figure mostrano i modelli scelti con le relative dimensioni.

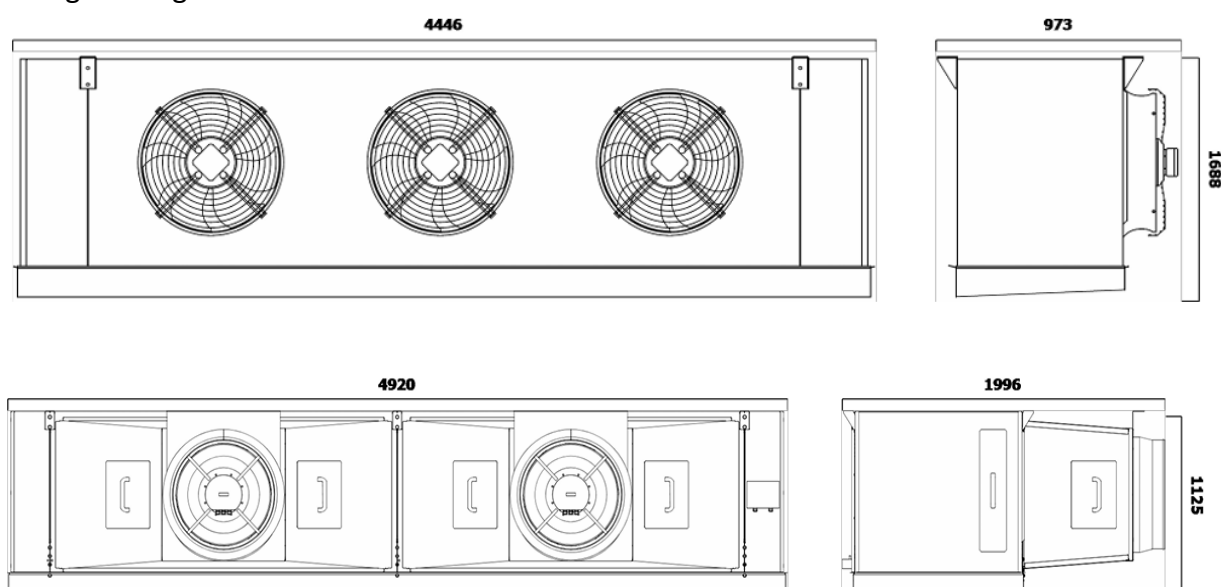


FIGURA 41: EVAPORATORE CUBICO A PARETE PER CELLE 1,2,3 (SOPRA)
E RADIALE PER LA ZONA CARICO/SCARICO (SOTTO)

VALVOLA DI ESPANSIONE

La selezione della valvola di espansione è un aspetto cruciale nella progettazione di un sistema di refrigerazione per garantire un funzionamento efficiente ed affidabile. Si opta per l'utilizzo di valvole elettroniche della **CAREL**, che offrono maggior precisione e controllo rispetto alle valvole termostatiche tradizionali.

Le valvole di espansione elettroniche mantengono una pressione costante all'interno dell'evaporatore regolando il flusso di refrigerante in ingresso. Questo controllo più preciso consente di ottimizzare le prestazioni dell'evaporatore e di migliorare l'efficienza complessiva del sistema di refrigerazione. Inoltre, le valvole elettroniche possono essere regolate in base alla temperatura dell'evaporatore, garantendo un funzionamento ottimale in diversi scenari operativi.

Il calcolo e la scelta della valvola di espansione dipendono da diversi fattori chiave:

- *Resa frigorifera* → la capacità di raffreddamento richiesta dall'evaporatore influenza la selezione della valvola. È importante dimensionare la valvola in modo che possa gestire il flusso di refrigerante necessario per soddisfare le esigenze di raffreddamento dell'evaporatore.
- *Portata di refrigerante* → la quantità di refrigerante che può passare attraverso la valvola di espansione è determinante per garantire un funzionamento ottimale dell'evaporatore. La valvola deve essere in grado di regolare il flusso di refrigerante in modo preciso per mantenere le condizioni di evaporazione desiderate.
- *Grado di apertura* → il grado di apertura della valvola influenza il flusso di refrigerante e quindi la capacità di raffreddamento dell'evaporatore. Una corretta regolazione del grado di apertura è essenziale per mantenere stabili le condizioni operative dell'evaporatore.

Considerando il refrigerante R448A, esso è caratterizzato da:

- Portata nominale $\rightarrow K_v = 1097 \frac{kg}{m^3}$.
- Fattore correttivo $\rightarrow K_p = 25$.

Per ogni ambiente, si moltiplica il fattore correttivo per la potenza frigorifera associata. Per ottenere la portata effettiva attraverso la valvola si divide il risultato ottenuto per la portata nominale.

Di seguito i risultati.

<i>Cella</i>	<i>kW</i>	<i>kg/h</i>	<i>m³/h</i>
1 e 2	73	1825	1,66
3	80	2000	1,82
Carico/scarico	57	1425	1,30

TABELLA 11: CALCOLI PER LA SCELTA DELLA VALVOLA DI ESPANSIONE

Considerando il valore ottenuto in m^3/h , si sceglie una valvola con un valore inferiore o uguale. Inoltre, è possibile calcolare il suo grado di apertura dividendo resa frigorifera per la potenza nominale.

<i>Cella</i>	<i>Valvola</i>	<i>Potenza nominale [kW]</i>	<i>m³/h</i>	<i>Grado di apertura [%]</i>
1 e 2	E3V - S 65	107	1,33	68,2
3	E4V - B 85	188	1,77	42,6
Carico/scarico	E3V - S 55	76	0,95	75,0

TABELLA 12: SELEZIONE VALVOLA DI ESPANSIONE



FIGURA 42: VALVOLA E3V - S (SX) E VALVOLA E4V - B (DX)

TABELLA RIASSUNTIVA COMPONENTI

<i>Ambiente</i>	<i>Componente</i>	<i>Marca</i>	<i>Modello</i>	<i>Potenza [kW]</i>
Cella 1 e 2	Compressore	DORIN	H3500CC	73,3
	Motocondensante	ERACLE	GMC 350 HAD	
	Evaporatore	ONDA	EG803G8E60 D ID HG GA	76,7
	Valvola	CAREL	E3V - S 65	
Cella 3	Compressore	DORIN	H4000CC	80,5
	Motocondensante	ERACLE	GMC 400 HAD	
	Evaporatore	ONDA	EG803G10E60 D ID HG GA	87,4
	Valvola	CAREL	E4V - B 85	
Zona carico/scarico	Compressore	DORIN	H2001CC	57,1
	Motocondensante	ERACLE	GMC 200 HAD	
	Evaporatore	ONDA	ER562E10F60 D EC GA	62,3
	Valvola	CAREL	E3V - S 55	

TABELLA 13: TABELLA RIASSUNTIVA DEI COMPONENTI SELEZIONATI

4.6 DIMENSIONAMENTO LINEE FRIGORIFERE

Il dimensionamento delle linee frigorifere è un processo critico che impatta sulle prestazioni complessive del sistema.

Un dimensionamento accurato delle linee di aspirazione, di mandata e del liquido è cruciale per evitare perdite di efficienza significative e assicurare prestazioni ottimali dell'impianto.

Il diametro delle tubazioni, infatti, è un parametro che influenza sia le prestazioni che i costi operativi dell'impianto. Aumentando il diametro delle tubazioni, si riducono le perdite di carico, migliorando l'efficienza del sistema e diminuendo i costi. Tuttavia, è importante trovare un equilibrio ottimale poiché un diametro troppo grande può aumentare i costi in termini economici e di spazio.

Inoltre, la velocità del refrigerante all'interno delle tubazioni è un altro parametro da tenere in considerazione. La corretta progettazione delle tubazioni tiene conto di questi aspetti per garantire un flusso fluido ed efficiente del refrigerante senza eccessiva rumorosità o problemi di trascinamento dell'olio.

Tutte queste considerazioni stabiliscono le velocità consigliate di dimensionamento dei condotti del refrigerante. Queste vengono riportate nella tabella seguente.

<i>Linee</i>	<i>Velocità del refrigerante [m/s]</i>
Linea di aspirazione	4,5 ÷ 20
Linea di mandata	10 ÷ 18
Linea del liquido	< 1,5

TABELLA 14: VELOCITÀ CONSIGLIATE DEI REFRIGERANTE NEI CONDOTTI

In pratica, per la progettazione delle linee frigorifere si tiene conto di:

- Assicurare che il refrigerante liquido sia fornito con precisione alla valvola termostatica per mantenere la corretta regolazione della temperatura.
- Progettare un percorso delle tubazioni che sia logico e pratico, riducendo al minimo le perdite di carico per garantire un flusso efficiente.
- Favorire il ritorno del lubrificante verso il compressore durante il suo funzionamento per garantire la lubrificazione adeguata e prevenire danni.
- Impedire il ritorno indesiderato di refrigerante liquido al compressore quando è fermo, utilizzando dispositivi come le valvole di solenoide per interrompere il flusso in modo controllato.

Il software Coolselector di **DANFOSS** consente di valutare in modo accurato diversi fattori, aiutando a determinare il diametro ottimale delle tubazioni in base alle specifiche del sistema e alle condizioni operative.

Per ogni linea frigorifera, le tubazioni utilizzate sono realizzate in rame. Queste sono comunemente utilizzate per diversi motivi:

- Buona conduttività termica → il rame è un buon conduttore di calore, il che consente un trasferimento efficiente del calore all'interno delle tubazioni, facilitando il processo di raffreddamento.
- Resistenza alla corrosione → il rame è resistente alla corrosione, il che lo rende adatto per l'uso in ambienti dove potrebbero verificarsi condizioni umide o corrosive.
- Flessibilità → il rame è abbastanza flessibile e può essere facilmente sagomato e piegato per adattarsi a varie configurazioni di impianto senza comprometterne l'integrità strutturale.
- Affidabilità e durata → le tubazioni in rame sono note per la loro durata nel tempo e la loro affidabilità, richiedendo poche manutenzioni se installate correttamente.
- Buona conducibilità elettrica → il rame è un buon conduttore elettrico, il che facilita l'installazione di dispositivi e sensori elettronici nelle linee frigorifere, se necessario.

Per ogni ambiente, vengono dimensionate le tre linee. A titolo esplicativo, si mostrano i calcoli riguardanti le celle 1 e 2. I dati richiesti, oltre al refrigerante utilizzato, sono mostrati in seguito.

Capacità:		Evaporazione:		Condensazione:	
Capacità frigorifera:	73,30 kW	Temperatura punto di rugiada:	-5,0 °C	Temperatura punto di ebollizione:	45,0 °C
Portata di massa linea:	1833 kg/h	Surriscaldamento utile:	7,0 K	Sottoraffreddamento:	2,0 K
Capacità riscaldamento:	93,42 kW	Surriscaldamento aggiuntivo:	3,0 K	Sottoraffreddamento aggiuntivo:	3,0 K

FIGURA 43: DATI RICHIESTI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE TUBAZIONI

Si tiene presente che, per quanto riguarda la linea di mandata, ci si riferisce non alla capacità frigorifera (ovvero la potenza reale del compressore scelto) ma alla capacità di riscaldamento.

- *Linea del liquido* → tra condensatore ed evaporatore. In questo caso si installa, a monte dell'evaporatore e prima della valvola di espansione², una valvola solenoide il cui scopo è quello di controllare la velocità del flusso che viene monitorato automaticamente dal sistema che aziona la valvola; la velocità deve essere di circa 1,5 m/s per avere un compromesso tra perdite di carico e trascinamento dell'olio lubrificante.











Condensatore								Evaporatore	Totale
									
	Tubo in rame DIN-EN 22	Curva in rame 90 DIN-EN 22	Tubo in rame DIN-EN 22	Curva in rame 90 DIN-EN 22	Tubo in rame DIN-EN 22	EVR 20 v2	Tubo in rame DIN-EN 22	ETS Colibri 12C-22	
Distribuzione DP:	0%	0%	3%	0%	0%	1%	0%	96%	
Lunghezza [m]:	1,00	-	5,00	-	1,00	-	1,00	-	
Angolo [gradi]:	0	-	90	-	0	-	0	-	
Numero:	-	1	-	1	-	-	-	-	
Capacità max [kW]:	-	-	-	-	-	-	-	-	103,8
Capacità min [kW]:	-	-	-	-	-	-	-	-	4,807
Carico [%]:	-	-	-	-	-	-	-	-	71
DP [bar]:	0,010	0,003	0,553	0,003	0,010	0,091	0,010	16,14	16,82
DT_sat [K]:	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,2	0,0	54,4	55,8
Velocità, ingresso [m/s]:	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,75	1,58	1,58	
Stato valvola:	-	-	-	-	-	Aperta	-	Aperta	
Attacco:	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
Risultato:	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

FIGURA 44: LINEA DEL LIQUIDO

² In figura viene mostrata la valvola di espansione dell'azienda Danfoss; dunque, non è quella utilizzata per questo progetto.

- *Linea di aspirazione* → tra evaporatore e compressore; solitamente, il range di velocità è compreso tra 4,5 m/s e 20 m/s.

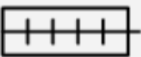





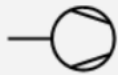
Evaporatore	x	x	x	x	x	Compressore
						
	Tubo in rame DIN-EN 54	Curva in rame 90 DIN-EN 54	Tubo in rame DIN-EN 54	Curva in rame 90 DIN-EN 54	Tubo in rame DIN-EN 54	Totale
Distribuzione DP:	5%	4%	36%	4%	51%	
Lunghezza [m]:	1,00	-	5,00	-	10,00	
Angolo [gradi]:	0	-	90	-	0	
Numero:	-	1	-	1	-	
DP [bar]:	0,004	0,003	0,030	0,003	0,042	0,082
DT_sat [K]:	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,5
Velocità, ingresso [m/s]:	13,81	13,29	13,83	13,39	13,94	
Stato valvola:	-	-	-	-	-	
Attacco:	OK	OK	OK	OK	OK	
Risultato:	✓	✓	✓	✓	✓	✓

FIGURA 45: LINEA DI ASPIRAZIONE

- *Linea di mandata* → tra compressore e condensatore. In questo caso, invece, si prevede una valvola di ritegno, necessaria per evitare il reflusso del fluido che può avvenire all'interno delle tubazioni; in questo caso, $10 \text{ m/s} \leq v \leq 18 \text{ m/s}$.

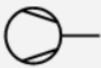






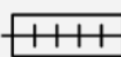
Compressore	x	x	x	x	x	x	Condensatore
							
	Tubo in rame DIN-EN 35	Curva in rame 90 DIN-EN 35	Tubo in rame DIN-EN 35	Curva in rame 90 DIN-EN 35	Tubo in rame DIN-EN 35	NRV 28 NS 35	Totale
Distribuzione DP:	3%	2%	29%	2%	3%	61%	
Lunghezza [m]:	1,00	-	5,00	-	1,00	-	
Angolo [gradi]:	0	-	90	-	0	-	
Numero:	-	1	-	1	-	-	
DP [bar]:	0,010	0,005	0,084	0,005	0,010	0,179	0,292
DT_sat [K]:	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,4	0,6
Velocità, ingresso [m/s]:	8,59	8,08	8,60	8,13	8,65	14,17	
Stato valvola:	-	-	-	-	-	Aperta	
Attacco:	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
Risultato:	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

FIGURA 46: LINEA DI MANDATA

Nella seguente tabella vengono riportati i risultati per ogni ambiente.

Cella 1 e 2			
	Linea liquido	Linea aspirazione	Linea mandata
Diametro tubazione [mm]	22	54	35
Perdita di carico [bar]	16,82	0,082	0,292
Caduta temperatura di saturazione [K]	55,8	0,5	0,6

Cella 3			
	Linea liquido	Linea aspirazione	Linea mandata
Diametro tubazione [mm]	22	64	35
Perdita di carico [bar]	16,82	0,027	0,335
Caduta temperatura di saturazione [K]	55,8	0,2	0,7

Carico/Scarico			
	Linea liquido	Linea aspirazione	Linea mandata
Diametro tubazione [mm]	22	64	35
Perdita di carico [bar]	16,82	0,027	0,335
Caduta temperatura di saturazione [K]	55,8	0,2	0,7

TABELLA 15: TABELLE RIASSUNTIVE DIMENSIONAMENTO TUBAZIONI

4.7 LAYOUT DELL'IMPIANTO

L'installazione e il posizionamento dei componenti all'interno di una cella frigorifera sono aspetti critici per garantire l'efficienza del sistema di refrigerazione e la conservazione ottimale dei prodotti.

Ogni componente, dall'evaporatore al sistema di controllo, deve essere posizionato e installato seguendo linee guida precise per assicurare un funzionamento fluido, un facile accesso per la manutenzione e un'efficienza energetica ottimale.

Gli **evaporatori** devono essere posizionati a una distanza adeguata dalle pareti e dagli scaffali per evitare ostacoli alla circolazione dell'aria. La distanza minima garantisce che l'aria fredda possa circolare liberamente e raggiungere tutte le aree della cella. Questo assicura che tutti i prodotti siano mantenuti alla temperatura desiderata.

Solitamente viene posizionato sulla parete frontale alla porta di ingresso della cella ad un'altezza che permetta un facile accesso per operazioni di manutenzione e pulizia. Questo include la possibilità di rimuovere e sostituire parti come le ventole e i filtri.

L'area intorno agli evaporatori deve essere libera da ostacoli come scaffali, pallet o altre strutture che potrebbero impedire la circolazione dell'aria. Le ostruzioni possono causare punti caldi nella cella, compromettendo la qualità della conservazione dei prodotti.

Mantenere una distanza minima, evitare ostruzioni, e garantire una buona circolazione dell'aria sono pratiche essenziali per ottimizzare la performance del sistema di refrigerazione.

Le **unità motocondensanti** devono essere posizionate in un'area facilmente accessibile per le operazioni di manutenzione e riparazione. Bisogna assicurarsi che ci sia spazio sufficiente intorno all'unità per permettere agli operatori di lavorare agevolmente.

Inoltre, la distanza minima di installazione è di 50 cm dalle pareti e di almeno 1 metro dalla parte frontale per consentire un adeguato flusso d'aria e facilitare la manutenzione.

È essenziale che le unità motocondensanti siano posizionate in un'area ben ventilata per garantire un'efficace dispersione del calore e che non ci siano ostacoli che possano bloccare il flusso d'aria in entrata e in uscita.

Infine, l'unità deve essere installata su una base solida e stabile. Se installata a terra, deve essere posizionata su una piattaforma rialzata per evitare l'accumulo di acqua o detriti.

Tenendo conto dell'accessibilità, della ventilazione, della protezione dagli elementi, e della riduzione del rumore, è possibile ottimizzare l'efficienza del sistema, garantire la longevità delle apparecchiature e facilitare la manutenzione.

Di seguito viene riportato il layout finale dell'impianto, considerando tutti gli elementi descritti.

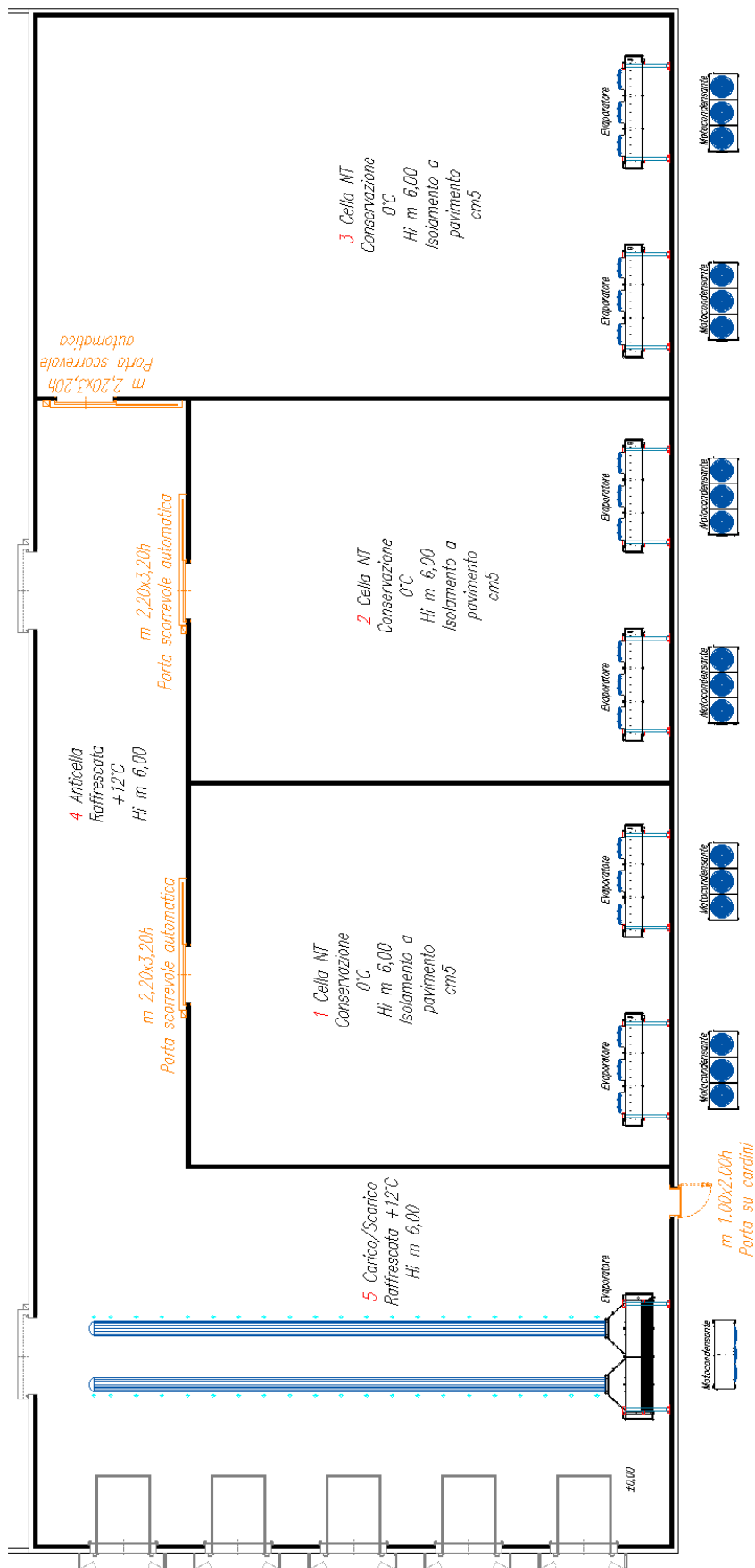


FIGURA 47: LAYOUT FINALE IMPIANTO

CAPITOLO 6

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Il presente lavoro di tesi ha riguardato lo studio e la progettazione di un impianto frigorifero destinato alla conservazione dei prodotti ortofrutticoli.

Nel corso di questa tesi, sono stati analizzati i requisiti fondamentali per garantire l'efficienza, l'affidabilità e la sostenibilità dell'impianto, affrontando la scelta dei componenti principali, come compressori, evaporatori e unità motocondensanti, e sottolineando l'importanza di un corretto dimensionamento e posizionamento delle tubazioni.

L'analisi ha evidenziato l'importanza di un dimensionamento accurato e di una selezione oculata delle apparecchiature per garantire l'efficienza energetica e la longevità dell'impianto, riducendo i consumi e minimizzando l'impatto ambientale.

L'adozione di compressori a pistoni semiermetici e l'uso di refrigeranti a basso GWP (Global Warming Potential) sono stati passi importanti in questa direzione, come anche il posizionamento accurato degli evaporatori e delle unità motocondensanti che ha contribuito a ottimizzare la distribuzione del freddo e ridurre le perdite di carico.

L'utilizzo di sistemi di controllo avanzati e valvole elettroniche consente un monitoraggio continuo e una regolazione precisa del flusso di refrigerante, ottimizzando le condizioni operative e riducendo i picchi di consumo energetico.

Un elemento fondamentale trattato è stata la necessità di garantire una corretta ventilazione, nonché l'importanza di evitare la ricircolazione dell'aria calda per mantenere l'efficienza del sistema. Inoltre, l'adozione di misure per prevenire il ritorno del refrigerante liquido al compressore durante le fasi di fermo, e l'attenzione al

trascinamento dell'olio, sono state identificate come pratiche cruciali per la manutenzione e la protezione delle apparecchiature.

Il mantenimento della qualità dei prodotti ortofrutticoli durante la conservazione, infine, è stato un altro aspetto cruciale. La scelta di evaporatori con sistemi di sbrinamento a gas caldo e la corretta gestione del flusso d'aria all'interno delle celle frigorifere hanno garantito condizioni stabili e uniformi, prevenendo la formazione di ghiaccio e l'eccessiva umidità.

Guardando al futuro, ci sono diverse aree in cui gli impianti frigoriferi possono essere ulteriormente migliorati per aumentare l'efficienza energetica, ridurre l'impatto ambientale e migliorare le prestazioni complessive.

L'impiego di refrigeranti naturali, come la CO_2 (R744), è una delle soluzioni più promettenti per ridurre l'impatto ambientale degli impianti frigoriferi. La CO_2 offre numerosi vantaggi:

- basso potenziale di riscaldamento globale (GWP) e un potenziale di riduzione dell'ozono (ODP) pari a zero.
- buone proprietà termodinamiche che consentono un'efficienza energetica elevata, specialmente nelle applicazioni a bassa temperatura.
- è non infiammabile e non tossica, rendendola una scelta sicura per una vasta gamma di applicazioni.
- essendo una sostanza naturale, è ampiamente disponibile e a costi relativamente bassi rispetto ai refrigeranti sintetici.

Tuttavia, l'implementazione della CO_2 presenta sfide tecniche, come la gestione delle alte pressioni operative. La ricerca e lo sviluppo stanno continuamente migliorando le tecnologie per gestire questi aspetti, rendendo gli impianti a CO_2 sempre più praticabili e affidabili.

Inoltre, l'integrazione di tecnologie IoT (Internet of Things) e sistemi di controllo intelligente può migliorare drasticamente la gestione e il monitoraggio degli impianti frigoriferi.

I sensori IoT possono fornire dati in tempo reale su temperature, umidità e stato dei componenti, permettendo un monitoraggio continuo e la diagnosi precoce di eventuali problemi.

I sistemi di controllo intelligente possono ottimizzare il funzionamento degli impianti, regolando automaticamente i parametri operativi per massimizzare l'efficienza energetica.

In conclusione, la progettazione di un impianto frigorifero per la conservazione dei prodotti ortofrutticoli richiede un approccio integrato che consideri l'efficienza energetica, la sostenibilità ambientale e la qualità della conservazione.

Le tecnologie attuali offrono soluzioni efficaci, ma le prospettive future, come la refrigerazione a CO_2 e l'integrazione di sistemi IoT, promettono di rivoluzionare ulteriormente il settore.

L'impegno verso l'innovazione e l'adozione di tecnologie sostenibili non solo migliorerà l'efficienza degli impianti frigoriferi, ma contribuirà anche a preservare l'ambiente e a garantire una conservazione ottimale dei prodotti ortofrutticoli.

La ricerca e lo sviluppo continuo in questo campo sono essenziali per affrontare le sfide future e per realizzare impianti frigoriferi sempre più avanzati e sostenibili.

BIBLIOGRAFIA

- “Manuale del freddo. Gli impianti frigoriferi”. Karl Breidenbach
- “Analisi del funzionamento dell’impianto frigorifero”. Centro Studi Galileo
- “L’abc degli impianti”. Voltimum Italia
- “Il compressore”. Centro Studi Galileo
- “Progetto delta. Le basi del freddo”.
- “Manuale della refrigerazione industriale”. Wilbert F. Stoecker
- “Manuale di manutenzione degli impianti di condizionamento e refrigerazione”.
Antonio Briganti, Tecniche nuove
- “Condensatori evaporativi: cosa sono e come funzionano”. <https://www.w-tech.it/>
- “Problemi relativi allo sbrinamento elettrico degli evaporatori”. Pierfrancesco Fantoni
- “Gas refrigeranti SIAD”. Fascicolo SIAD
- “Refrigerants” ASHRAE
- “Thermophysical properties of refrigerants” ASHRAE
- Dorin Software 23.07. <https://selection.dorin.com/home>
- UnitSelector ONDA.
- Tecnofreddo.
<https://www.tecnofreddo.tech/user/machinesSearchAction!start.action>
- Danfoss Software. Coolselector2