



ERSAT

**IMPIANTI DI MUNGITURA
E DI REFRIGERAZIONE DEL LATTE
NELL'ALLEVAMENTO OVINO
E CAPRINO**

*DIMENSIONAMENTO,
COSTRUZIONE E PRESTAZIONI*

a cura di

Antonio Pazzona



Regione Autonoma della Sardegna
Assessorato dell'Agricoltura e Riforma Agro-Pastorale



Ente Regionale di Sviluppo e di Assistenza Tecnica

**IMPIANTI DI MUNGITURA E DI REFRIGERAZIONE DEL
LATTE NELL'ALLEVAMENTO OVINO E CAPRINO**
Dimensionamento, costruzione e prestazioni

a cura di
Antonio Pazzona

Prefazione

Questo secondo volume dell'opera edita dalla Regione Autonoma della Sardegna, nell'ambito dell'azione da essa intrapresa per una razionale diffusione delle attrezzature tecniche per il miglioramento della qualità del latte ovi-caprino, è specificatamente destinato alla formazione e all'aggiornamento di progettisti e tecnici per la concezione, la realizzazione e il controllo degli impianti di mungitura e di refrigerazione del latte.

Tali impianti costituiscono sistemi complessi in cui intervengono sia conoscenze di natura tecnica, sia aspetti zootecnici, igienico-sanitari e progettuali degli edifici ad essi connessi.

Il volume, destinato alle case costruttrici e agli enti preposti all'assistenza tecnica, affronta tale tematica in modo organico e completo, unendo chiarezza espositiva e rigore tecnico.

In esso, pertanto, dopo avere affrontato i principi teorici di funzionamento e gli aspetti progettuali specifici e di dimensionamento degli impianti e dei loro principali componenti, ne vengono tracciate le linee guida per la scelta e il controllo, anche alla luce delle più recenti normative internazionali.

Grande attenzione, poi, è dedicata al rapporto fra animali e impianto, per la razionale organizzazione dei programmi di conduzione, e alla gestione dei servizi di manutenzione degli stessi.

Anche in questo secondo volume, così come nel primo di tipo divulgativo, la razionale impostazione, secondo un ordine logico e progressivo, e la completezza della trattazione, che tiene conto delle diverse realtà tecniche e operative del nostro paese, rendono l'opera di grande interesse formativo e divulgativo.

Luigi Bodria
Ordinario di Meccanica Agraria
nell'Università degli Studi di Milano

Hanno contribuito al volume:

Antonio Pazzona, docente di *Meccanica agraria* nel Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Università di Sassari.

Lelia Murgia, docente di *Meccanizzazione degli impianti zootecnici* nel Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Università di Sassari.

Giuseppe Pulina, docente di *Zootecnica generale* nel Dipartimento di Scienze zootecniche dell'Università di Sassari.

Anna Nudda, dottore di ricerca nel Dipartimento di Scienze zootecniche dell'Università di Sassari.

Marco Cattaneo, ricercatore nell'Istituto di Alimentazione animale dell'Università di Milano.

Mario Sabelli, coordinatore nazionale del Servizio Controllo Mungitrici dell'Associazione Italiana Allevatori di Roma.

INDICE GENERALE

Prefazione

Parte prima

L'ESTRAZIONE DEL LATTE DALLA MAMMELLA

Capitolo 1 - Morfologia e fisiologia della mammella *di G. Pulina, A. Nudda*

- 1.1 Morfologia della mammella
- 1.2 Fisiologia della mammella

Capitolo 2 - Tecnica di mungitura *di G. Pulina, A. Nudda*

- 2.1 Frequenza di mungitura e intermungitura
- 2.2 Ripasso meccanico
- 2.3 Livello del vuoto

Bibliografia principale

Parte seconda

COSTRUZIONE E FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI MUNGITURA

Capitolo 3 - Principio di funzionamento della mungitrice *di A. Pazzona*

- 3.1 Evoluzione dei sistemi di mungitura
- 3.2 Componenti fondamentali

Capitolo 4 - Sistema del vuoto *di A. Pazzona*

- 4.1 Pompa per vuoto
- 4.2 Condotture dell'aria
- 4.3 Regolatore

Capitolo 5 - Sistema di pulsazione *di L. Murgia*

- 5.1 Generalità
- 5.2 Tipi di pulsatori
- 5.3 Curva di pulsazione
- 5.4 Prestazioni

Capitolo 6 - Sistema del latte *di L. Murgia*

- 6.1 Lattodotto
- 6.2 Linea di scarico
- 6.3 Pompa estrartrice

Capitolo 7 - Gruppo prendicapezzoli *di A. Pazzona*

- 7.1 Architettura
- 7.2 Guaina e portaguaina
- 7.3 Collettore del latte

Bibliografia principale

Parte terza

DIMENSIONAMENTO E CONDUZIONE DEGLI IMPIANTI DI MUNGITURA

Capitolo 8 - Pompa per vuoto *di A. Pazzona, L. Murgia*

- 8.1 Riserva utile
- 8.2 Dimensionamento della pompa
- 8.3 Attrezzature accessorie

8.4 Lavaggio

8.5 Calcolo della portata

Capitolo 9 - Conduitture dell'aria di L. Murgia, A. Pazzona

9.1 Diametro conduttura principale

9.2 Diametro conduttura di pulsazione

9.3 Attrito equivalente per raccordi e giunzioni

9.4 Esempi di calcolo

Capitolo 10 - Lattodotto di A. Pazzona, L. Murgia

10.1 Portata massima di latte

10.2 Portata equivalente

10.3 Diametro interno

Capitolo 11 - Organizzazione del lavoro di A. Pazzona, M. Cattaneo

11.1 Impostazione metodologica

11.2 Numero gruppi prendicapezzoli

Capitolo 12 - Detersione e disinfezione di M. Cattaneo, L. Murgia

12.1 Natura dei depositi

12.2 Proprietà dei detersivi

12.3 Lavaggio automatico

Capitolo 13 - Costi di esercizio di A. Pazzona, M. Sabelli

Bibliografia principale

Parte quarta

LA REFRIGERAZIONE DEL LATTE

Capitolo 14 - Refrigerazione e qualità del latte di L. Murgia

14.1 Evoluzione della flora batterica

14.2 Aspetti microbiologici e chimici

Capitolo 15 - Fondamenti del processo di refrigerazione di L. Murgia, A. Pazzona

15.1 Ciclo frigorifero

15.2 Fluidi refrigeranti

15.3 Circuito frigorifero

Bibliografia principale

Parte quinta

COSTRUZIONE E PRESTAZIONI DEI SERBATOI REFRIGERANTI

Capitolo 16 - Sistemi di refrigerazione di A. Pazzona, L. Murgia

16.1 Refrigerazione diretta

16.2 Refrigerazione indiretta o a fluido intermedio

16.3 Criteri di scelta

Capitolo 17 - Tipologie impiantistiche di A. Pazzona

Capitolo 18 - Caratteristiche costruttive e di funzionamento di L. Murgia

18.1 Normativa

18.2 Serbatoio

18.3 Dispositivi di regolazione e controllo

18.4 Dispositivi di misura

18.5 Prestazioni

Capitolo 19 - Risparmio energetico nella refrigerazione di A. Pazzona

- 19.1 Prerefrigerazione
- 19.2 Refrigerazione istantanea
- 19.3 Recupero di calore

Capitolo 20 - Criteri di scelta degli impianti *di L. Murgia, A. Pazzona*

- 20.1 Aspetti tecnici
- 20.2 Aspetti economici

Capitolo 21 - Controllo degli impianti *di A. Pazzona, L. Murgia*

- 21.1 Generalità
- 21.2 Controllo standard
- 21.3 Controllo semplificato

Bibliografia principale

APPENDICE *di A. Pazzona, L. Murgia*

A - Impianti di mungitura meccanica: terminologia e definizioni

- A.1 Terminologia generale
- A.2 Tipi di macchine mungitrici
- A.3 Sistemi del vuoto e di pulsazione
- A.4 Gruppo prendicapezzoli
- A.5 Circuito del latte
- A.6 Componenti accessorie
- A.7 Impianto di lavaggio
- A.8 Misurazioni

B - Prove meccaniche in sala di mungitura

- B.1 Strumenti di misura
- B.2 Portata pompa per vuoto
- B.3 Cadute di vuoto nel circuito dell'aria e del latte
- B.4 Consumi e perdite delle condutture dell'aria
- B.5 Consumi e perdite della conduttura del latte
- B.6 Ingresso d'aria nei gruppi prendicapezzoli
- B.7 Consumi del sistema di pulsazione
- B.8 Riserva utile del vuoto
- B.9 Curva di pulsazione

C - Impianti di refrigerazione: terminologia tecnica

- C.1 Tipologie impiantistiche
- C.2 Prestazioni

D - Calcolo dei costi diretti di refrigerazione

Parte prima

L'ESTRAZIONE DEL LATTE DALLA MAMMELLA

1 MORFOLOGIA E FISIOLOGIA DELLA MAMMELLA

L'applicazione di una corretta tecnica di estrazione del latte non può prescindere dalla conoscenza della struttura (morfologia) e del funzionamento (fisiologia) della ghiandola mammaria e delle sue relazioni sistemiche con il resto dell'organismo animale.

1.1 Morfologia della mammella

La mammella delle pecore e delle capre è costituita da due emimammelle ciascuna provvista di un proprio capezzolo; ogni emimammella ha la sua individualità ghiandolare e può pertanto contrarre patologie ed entrare in asciutta senza che l'altra ne venga coinvolta.

L'apparato mammario è sospeso alla parete addominale per mezzo dei legamenti sospensori laterali e mediale costituiti da tessuto connettivo fibroso e da tessuto elastico. Quest'ultimo è presente in quantità preponderante nei legamenti mediani che impediscono agli strati più alti della mammella di gravare su quelli sottostanti e che consentono di attutire le sollecitazioni meccaniche dovute alla deambulazione. Il legamento sospensore mediale divide la mammella nel senso longitudinale e, se molto sviluppato (fig. 1), evidenzia una netta separazione tra le due ghiandole, ma in caso contrario, conferisce all'organo una forma globosa (fig. 2). Con l'avanzare dello stadio di lattazione e con il procedere dell'ordine di parto, i legamenti perdono di elasticità ed in alcuni casi estremi la struttura mammaria cede (la mammella assume una forma pendula, figura 3) con conseguente riduzione della distanza dell'organo e dei capezzoli dal suolo (e quindi dello spazio disponibile per una comoda esecuzione delle operazioni di mungitura), minore funzionalità produttiva, superiore predisposizione ai traumi ed alle mastiti, frequente asimmetria tra le due emimammelle (fig. 4) per cui la emimammella meno sviluppata, cioè la meno produttiva, può andare facilmente incontro a sovramungitura.

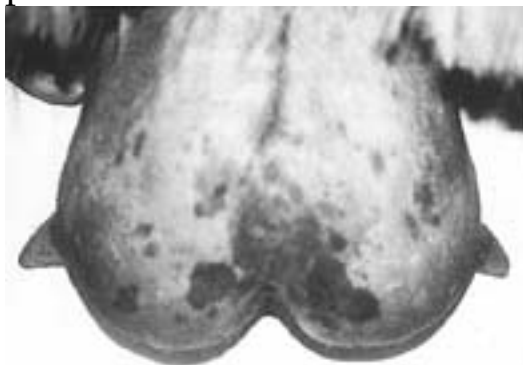


Fig. 1. Mammella con legamento sospensore mediale marcato.

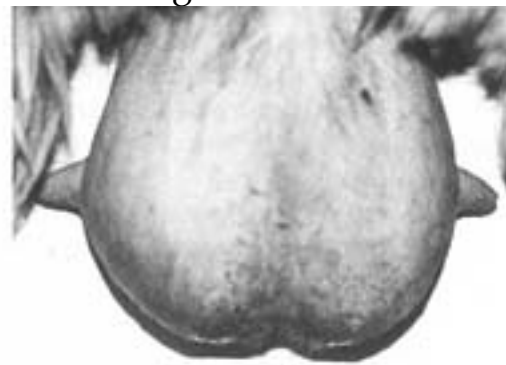


Fig. 2. Mammella globosa con legamento sospensore mediale poco marcato.



Fig. 3. Mammella con apparato sospensore fortemente danneggiato.



Fig. 4. Mammella con emimammelle asimmetriche.

L'organo mammario è ricoperto esternamente da una cute sottile, poco aderente e quindi mobile rispetto ai tessuti sottostanti ad eccezione del capezzolo in cui essa è più spessa, meno elastica, più asciutta per l'assenza di ghiandole sebacee. Il danneggiamento dell'epidermide capezzolare (desquamazione, erosioni, necrosi ecc.) può favorire la penetrazione nella ghiandola dei microrganismi responsabili dell'insorgenza di mastopatie.

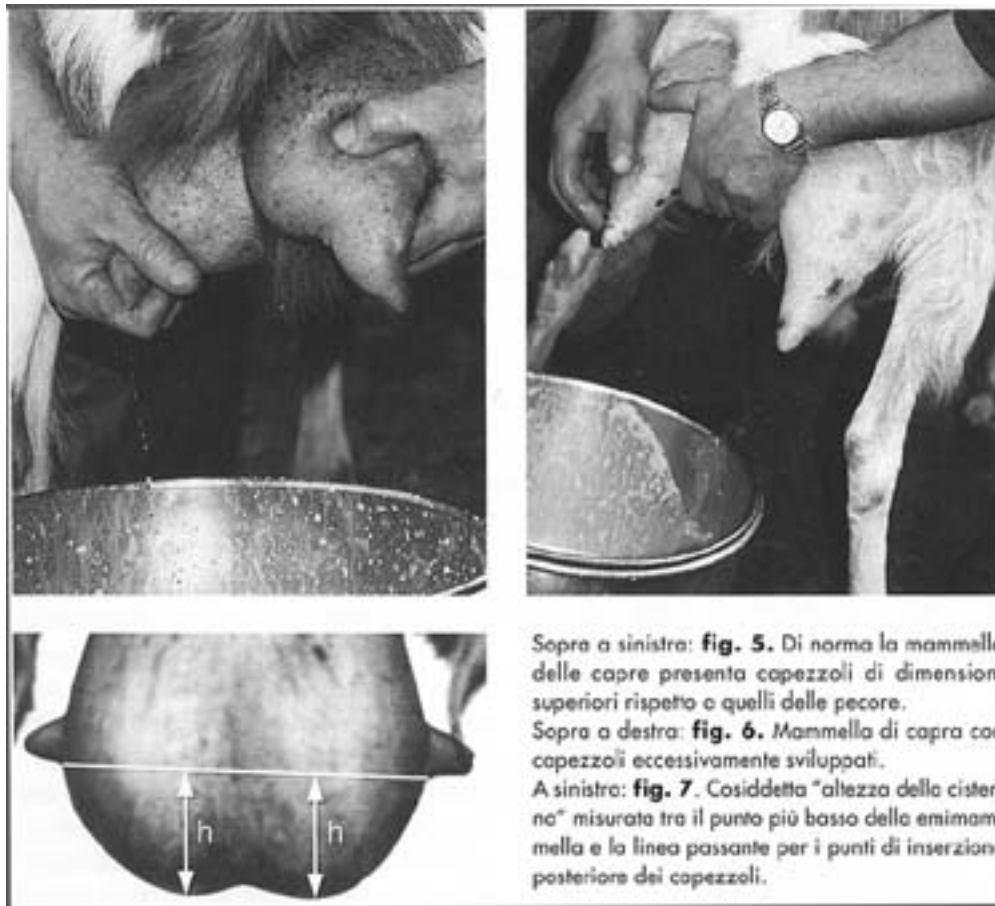
I capezzoli presentano forma e dimensioni variabili, in misura più accentuata nella specie caprina (fig. 5) rispetto a quella ovina.

Per quanto riguarda la forma - assimilabile alle tipologie cilindrica, conica, ad imbuto, a bottiglia, ecc.- quella leggermente conica è la più favorevole per la mungitura meccanica.

Relativamente alle dimensioni, sia la lunghezza che il diametro capezzolari sono importanti ai fini della mungitura (fig. 6). La lunghezza del capezzolo, mediamente dell'ordine di 3-4 cm negli ovini e 5-7 cm nei caprini, dipende dalla razza, dallo stadio di lattazione, dall'ordine di parto e tende ad aumentare con l'età dell'animale; essa deve essere inferiore nel caso della mungitura meccanica rispetto a quella manuale in quanto capezzoli troppo lunghi riducono la velocità di deflusso del latte e capezzoli troppo corti comportano una maggiore frequenza di caduta dei gruppi. Il diametro del capezzolo varia generalmente da 13 a 25 mm e la sua riduzione è correlata con una diminuzione del lume dell'orifizio e quindi della velocità di emissione del latte.

La disposizione e l'orientamento dei capezzoli deve essere tale da non generare alla loro base dei ripiegamenti che possono ostacolare il normale deflusso del latte e determinare un aumento della frazione residua (o di sgocciolatura).

La forma dell'estremità del capezzolo, anch'essa molto variabile (normale, appuntita, appiattita, sferica, ecc.), deve essere preferibilmente arrotondata in quanto i capezzoli appuntiti riducono la velocità di



Sopra a sinistra: **fig. 5.** Di norma la mammella delle capre presenta capezzoli di dimensioni superiori rispetto a quelli delle pecore.
 Sopra a destra: **fig. 6.** Mammella di capra con capezzoli eccessivamente sviluppati.
 A sinistra: **fig. 7.** Cosiddetta "altezza della cisterna" misurata tra il punto più basso della emimammella e la linea passante per i punti di inserzione posteriore dei capezzoli.

mungitura, ma presentano una elevata resistenza alle infezioni, mentre quelli piatti mostrano un comportamento opposto. Lo sfintere capezzolare deve essere sufficientemente elastico e deve preservare tale elasticità nel corso della mungitura: l'elevata frequenza delle sollecitazioni a cui è sottoposto (120-150 aperture nel caso di un'unica mungitura) provoca l'affaticamento delle fibre circolari del muscolo che non è in grado di garantire la completa chiusura dell'orifizio dopo la mungitura, attraverso il quale è facilitato l'ingresso dei patogeni all'interno del canale capezzolare. La larghezza e l'elasticità dello sfintere sono correlati positivamente con la velocità di mungitura, che è condizionata anche dallo spessore del muscolo e del connettivo che circondano il canale del capezzolo.

La quantità di latte prodotto e la sua ripartizione all'interno della mammella sono influenzate dalle caratteristiche anatomiche dell'organo: la prima dipende dalla entità del tessuto secretivo, dalla sua efficienza di sintesi e dal volume cisternale; la seconda dallo sviluppo degli spazi di immagazzinamento del latte ed in particolare da quello della cisterna ghiandolare. La mammella con ampia cisterna (*riquadro 1*) vi raccoglie anche il 60-80% del latte prodotto e ciò condiziona le modalità di cessione del secreto al momento della mungitura e la quantità ottenibile

Riquadro 1

Misurazione della cisterna ghiandolare

Il volume della cisterna, che condiziona pesantemente le potenzialità produttive degli animali, è di norma stimato con la metodica di Labussière che prevede la misurazione dell'altezza cisternale "h" tra il punto più basso della emimammella e la linea passante per i punti di inserzione posteriore dei capezzoli (fig. 7).

Le basse o nulle (o addirittura negative) correlazioni riportate in letteratura tra "h" e produzione di latte totale munto evidenziano la scarsa precisione di questo parametro morfologico: la cisterna ghiandolare è infatti una struttura interna alla mammella la cui dimensione è difficilmente quantificabile esternamente e la sua misurazione potrebbe essere effettuata con maggiore precisione con l'ausilio del metodo ecografico. Dati preliminari da noi raccolti sulla razza Sarda con l'impiego di sonde settoriali, hanno fornito, rispetto a quanto ottenuto da altri autori con la metodica Labussière, una correlazione più stretta tra produzione totale e superficie della cisterna misurata ecograficamente (0,64 vs 0,16).

Sopra: **fig. 8.** Inflaccidimento della mammella dopo lo svuotamento.

A sinistra: **fig. 9.** Intervento del mungitore per favorire l'allontanamento del latte accumulatosi nella parte inferiore della cisterna.



con lo sgocciolamento: infatti il latte cisternale, come si vedrà meglio in seguito, è quello immediatamente estraibile dal mungitore o dal poppante mentre quello alveolare è reso disponibile soltanto in seguito alla comparsa del riflesso di eiezione.

In definitiva, la mammella ricca di tessuto secretivo e con elevato volume cisternale è quella più produttiva, che consente un migliore immagazzinamento del latte nell'intervallo tra una mungitura e l'altra, che presenta al tatto una consistenza elastica e che inflaccidisce notevolmente dopo lo svuotamento (fig. 8); questo tipo di mammella necessita però dell'intervento diretto del mungitore per la rimozione del latte che residua nella parte inferiore della cisterna (fig. 9).

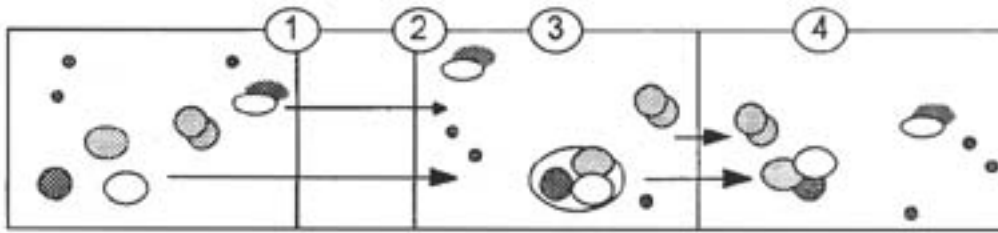


Fig. 10. Schema semplificato dei processi di sintesi e di secrezione del latte. 1) passaggio dei precursori del latte dal sangue al fluido extracellulare (FEC) in equilibrio con il sangue; 2) captazione dei precursori del latte dal FEC all'interno delle cellule secretorie; 3) sintesi dei componenti del latte nelle cellule secretorie e traslocazione delle sostanze neosintetizzate verso la parte apicale della cellula; 4) sostanze secrete nel lume alveolare.

La mammella ricca di tessuto connettivo e con cisterna ghiandolare poco sviluppata è meno produttiva, trattiene una maggiore quantità di latte alveolare, si presenta al tatto di consistenza compatta (mammella carnosa) e riduce scarsamente il suo volume dopo l'evacuazione del latte. Inoltre, l'elevata quantità di tessuto connettivo, per la sua bassa elasticità, riduce la velocità di deflusso del latte a causa della compressione esercitata sui dotti.

La morfologia della mammella e dei capezzoli ai fini della mungitura meccanica è migliorabile (abbastanza rapidamente) per via genetica, grazie alla elevata ereditabilità dei caratteri.

1.2. Fisiologia della mammella

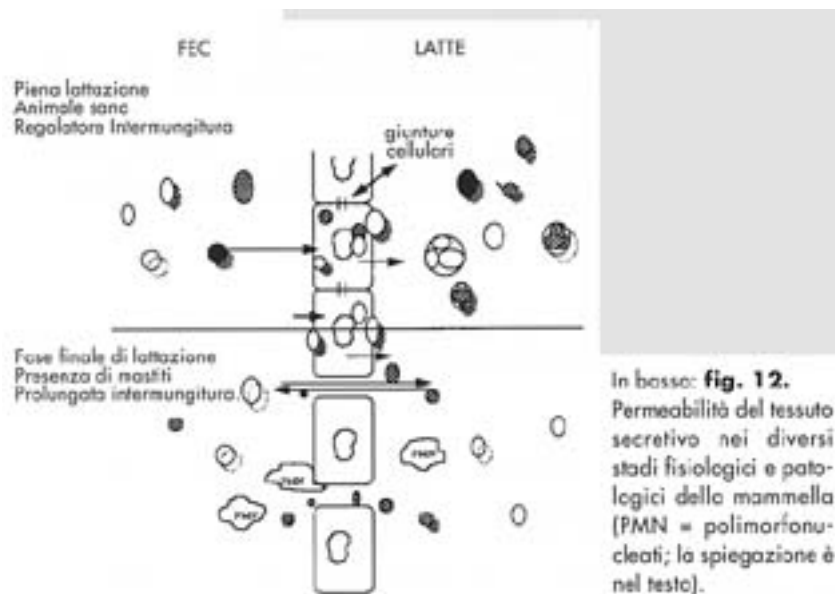
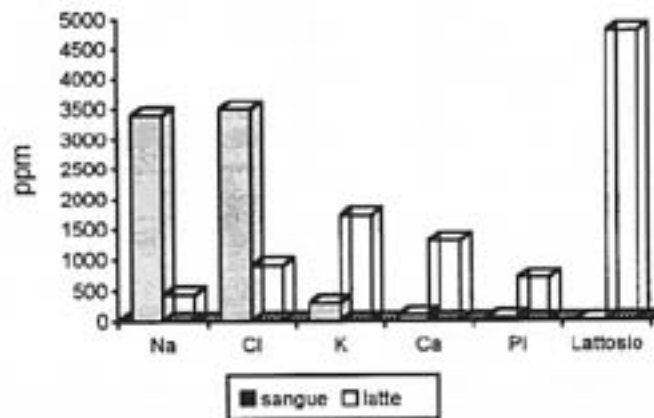
La produzione del latte è il risultato della sintesi, della secrezione, dell'eiezione del latte e della sua evacuazione dalla ghiandola mammaria.

Sintesi e secrezione del latte

Il latte prodotto dalla ghiandola mammaria è sintetizzato, a partire dai metaboliti presenti nel sangue, dalle cellule secretorie della mammella; queste cellule, di forma cuboidale e con orientamento polarizzato, sono saldate fra loro da giunture di natura proteica che formano una barriera fra fluido interstiziale, in equilibrio osmotico con il sangue, ed il latte contenuto nell'alveolo per cui impediscono la comunicazione diretta fra i composti del sangue e quelli del latte. La forma e l'orientamento delle cellule secretorie sono garantiti da un sistema strutturale di supporto (il citoscheletro), intimamente connesso con le giunture intercellulari, che "guida" la traslocazione delle molecole sintetizzate all'interno della cellula secretoria verso il lume alveolare: esso è pertanto implicato nei meccanismi di secrezione del latte in quanto i precursori di questo sono captati nella parte basale della cellula mentre i composti di neosintesi sono secreti nella parte apicale.

I componenti del latte sono in parte sintetizzati (proteine, grasso, lattosio, citrati, ecc.) all'interno delle cellule alveolari, a partire dai

A destra: **fig. 11.**
Concentrazione di alcuni soluti nel sangue e nel latte.



precursori presenti nel sangue, ed in parte (acqua, immunoglobuline, vitamine, minerali, ecc.) traslocati direttamente dal sangue all'interno del lume alveolare sempre attraverso la via endocellulare (fig. 10).

Il trasferimento dei costituenti del latte dalla cellula secretrice al lume alveolare (secrezione) avviene: con modalità apocrina per i lipidi che sono riversati nel lume circondati da uno strato di membrana plasmatica; con esocitosi di vescicole secretorie, migranti verso la parte apicale della cellula sotto la guida dei microtubuli del citoscheletro, per le proteine, il lattosio, alcuni sali minerali e gli enzimi; con modalità di filtrazione attiva contro gradiente (pompa ionica) per i minerali la cui concentrazione risulta, pertanto, profondamente differente tra latte e sangue (nel latte è superiore quella in potassio, in calcio e fosforo ed inferiore quella in sodio ed in cloro, figura 11).

Particolari condizioni fisiologiche e alcuni stati patologici della mammella comportano dei cambiamenti più o meno profondi nella permeabilità dell'epitelio secretivo. Ad esempio durante la gestazione, in presenza di mastiti oppure nel caso di intermungitura prolungata, si verifica lo scollamento di una parte più o meno rilevante delle giunture cellulari con conseguente permeabilizzazione del parenchima secretivo per cui le sostanze contenute in concentrazione maggiore nel plasma

sanguigno possono transitare facilmente tra le cellule e diffondere nel lume alveolare (Na, Cl, enzimi e proteine plasmatiche) e i composti del latte (lattosio, Ca, P, K e citrati) possono passare, per la stessa via, nel sangue (fig. 12).

In particolare, nel caso di processi infiammatori, si verifica la massiccia migrazione, verso i tessuti mammari, di leucociti e soprattutto di polimorfonucleati (PMN) neutrofili che rivestono il ruolo più importante nella protezione della ghiandola mammaria dai patogeni. Il danneggiamento dell'epitelio secretivo comporta, oltreché il declino della produzione di latte, anche notevoli alterazioni delle sue caratteristiche chimico-fisiche: il contenuto in grasso diminuisce ed i lipidi subiscono delle modificazioni strutturali; le frazioni azotate presentano dei notevoli cambiamenti nella loro ripartizione con aumento delle proteine di derivazione ematica e riduzione delle caseine anche per l'aumento dell'attività proteolitica a loro carico; il contenuto in lattosio tende a diminuire sia per il suo passaggio nel sangue sia, nei casi più gravi, anche per la riduzione della sintesi; la concentrazione ionica è modificata in quanto aumentano i contenuti in sodio ed in cloro e diminuiscono quelli in potassio, in fosfati ed in citrati con conseguente innalzamento del pH del latte.

Le alterazioni della composizione del latte e l'aumento del contenuto in cellule somatiche (CCS) provocano un peggioramento della attitudine casearia del latte (aumento dei tempi di coagulazione e riduzione della consistenza della cagliata) e della conservabilità del formaggio per la forte attività enzimatica presente nel secreto di mammelle alterate.

L'accumulo del latte nell'alveolo comporta la riduzione della sintesi e della secrezione del latte (*riquadro 2*) per l'azione diretta del fattore autocrino di inibizione della secrezione (FAIS).

Eiezione del latte

I prodotti della secrezione sono distribuiti, nell'intervallo tra le mungiture o le poppate, in proporzioni diverse tra il sistema alveolare-piccoli dotti ("latte alveolare") e quello dei dotti galattofori-cisterna ("latte cisternale"). Dopo la mungitura, il latte secreto negli alveoli defluisce gradatamente alla cisterna mammaria attraverso dei meccanismi sia passivi che attivi: i primi sono legati all'azione della forza di gravità, che agisce prevalentemente a livello dei grossi dotti, in equilibrio con la tensione capillare che agisce nei dotti di calibro inferiore; i secondi sono rappresentati dal riflesso di eiezione, originato dalla stimolazione del capezzolo con la poppata o la mungitura, il cui

principale agente è l'ossitocina⁽¹⁾. Il dosaggio ematico dell'ossitocina mostra che il suo rilascio, in seguito alla stimolazione dei recettori del capezzolo e del parenchima mammario, è un fenomeno rapido e impulsivo.

Il tempo di latenza del riflesso di emissione (dato dalla sommatoria dei tempi di circolazione dell'ossitocina, di contrazione delle cellule mioepiteliali e di quello necessario al latte alveolare per defluire verso la cisterna) varia nella pecora dai 12 ai 40 secondi: gli animali caratterizzati da tempi di latenza brevi garantirebbero una più rapida rimozione sia del latte cisternale che alveolare.

⁽¹⁾ Il secreto trasportato per gravità nella cisterna è povero in grasso in quanto i lipidi sono trattenuti nel sistema duttale da forze di coesione; il latte cisternale perciò è molto più magro di quello alveolare.

*Riquadro 2***Fattori che influenzano la sintesi e la secrezione del latte**

Il principale fattore limitante la secrezione lattea è stato ritenuto, per lungo tempo, la pressione intramammaria generata dall'accumulo del latte all'interno della mammella; secondo questa teoria l'eccessiva pressione, causando la distensione degli epitelii, provocherebbe la compressione dei vasi ematici con riduzione dell'afflusso di sangue a cui conseguirebbe una minore captazione di ossigeno, di precursori del latte e di ormoni dal liquido extracellulare. Questo modello teorico ha perduto molta della sua validità da quando è stato osservato che il ritmo di secrezione del latte è regolato a livello locale e che gli alveoli sono la sede di azione di un peptide presente nella frazione serica del latte e denominato "fattore autocrino di inibizione della secrezione" (FAIS); l'attività di questo composto si esplica a contatto con le cellule secretrici, per cui l'allungamento dell'intermungitura, provocando il riempimento della mammella, ne permette l'azione. Tuttavia, l'azione inibitoria del FAIS è meno efficace negli animali specializzati per la produzione del latte per effetto probabilmente sia di una componente intrinseca (minore sensibilità delle cellule del parenchima secretivo all'azione autocrina) che di una estrinseca (maggiore volume cisternale che comporta inferiori tempi di contatto del FAIS a livello alveolare).

L'inibizione della secrezione del latte non sembra, comunque, dipendere esclusivamente dal FAIS in quanto, a seguito dell'osservazione che un'elevata intermungitura provocava la presenza di composti di sintesi mammaria (quale il lattosio) nel sangue, essa è stata attribuita anche alla perdita di integrità del tessuto secretivo dovuta all'azione di enzimi proteolitici; fra questi il principale è la plasmina che provoca la rottura delle giunture cellulari con conseguente apertura della via paracellulare. L'alterazione delle giunture cellulari si trasmette successivamente al citoscheletro che perde le sue proprietà dinamiche di traslocazione dei composti neosintetizzati verso la parte apicale della cellula con loro accumulo nel citoplasma ed inibizione di ulteriore sintesi (regressione cellulare).

La perdita di integrità del tessuto secretivo e la conseguente riduzione della produzione di latte è stata verificata dopo 21 ore di accumulo del latte nella mammella delle capre e dopo 24 ore in quella delle vacche. Negli ovini, pur non essendo stati compiuti studi specifici, l'osservazione che l'allungamento dell'intermungitura a 24 ore provocava riduzione della produzione lattea e alterazioni della sua composizione (contenuti lipidico, proteico, caseinico, lattosico, minerale) fa supporre che, anche in questa specie, i processi di disarticolazione del tessuto alveolare inizino entro le 24 ore dal precedente svuotamento della mammella.

Emissione del latte

Il latte presente all'interno della ghiandola mammaria può essere rimosso naturalmente mediante la poppata oppure artificialmente con la mungitura.

Le cinetiche di cessione del latte al momento della mungitura sono condizionate dal rapporto latte alveolare/latte cisternale e dal tempo di latenza del riflesso di eiezione; esse sono riconducibili a 3 tipi: quello che fornisce il latte in due emissioni successive ben distinte; quello che presenta una sola emissione; quello con picchi di emissione difficilmente distinguibili. Nelle cinetiche di emissione a due picchi, la prima corrisponde alla rimozione del latte cisternale e la seconda a quella del latte alveolare reso disponibile a seguito del riflesso neuroendocrino dell'eiezione; in quelle ad un picco l'unica emissione potrebbe essere dovuta sia alla assenza o all'eccessivo ritardo nella comparsa del riflesso neuroendocrino di eiezione - il quale comporta la ritenzione del latte nelle parti superiori della mammella - che alla simultanea emissione del latte sia cisternale che alveolare (fig. 13), come riscontrato in alcune razze a prevalente attitudine alla produzione del latte. In questi animali l'evacuazione del latte dalla cisterna non è ancora terminata che comincia il deflusso anche del latte alveolare.

La dinamica della cessione del latte può variare, comunque, con lo stadio di lattazione e con l'ordine di parto: nei primi giorni dopo il parto la maggioranza degli animali presenta una sola emissione e soltanto dopo un periodo variabile da alcuni giorni a qualche settimana inizia ad apparire con più frequenza la seconda emissione; alcune primipare con un picco possono presentarne un secondo alla seconda o terza lattazione. Gli stimoli del mungitore sulla mammella, come ad esempio lo sgocciolamento manuale oppure il massaggio, possono causare talvolta la comparsa di "cattive abitudini" nell'animale che tenderà a trattenere il latte alveolare se tali stimoli non sono costantemente riprodotti.

Normalmente dopo la mungitura rimane nella mammella una certa quantità di latte denominata "latte residuale", che può essere rimossa soltanto con una somministrazione parenterale di ossitocina.

Gli stress subiti dall'animale durante la mungitura possono causare la limitazione o il completo arresto della emissione del latte e dei suoi maggiori componenti (grasso, proteine e lattosio); la causa di tale fenomeno è da attribuirsi all'aumento della concentrazione ematica di catecolamine (adrenalina e noradrenalina) il cui meccanismo di azione a livello mammario si esplica, probabilmente, sia con la vasocostrizione delle arteriole mammarie ed il conseguente minor afflusso di ossitocina nell'organo, sia con l'occupazione diretta dei siti recettori dell'ormone.

Negli ovini e nei caprini l'eiezione è determinata anche in sede locale in quanto l'interruzione delle vie nervose intercorrenti tra mammella e ipotalamo è compatibile con

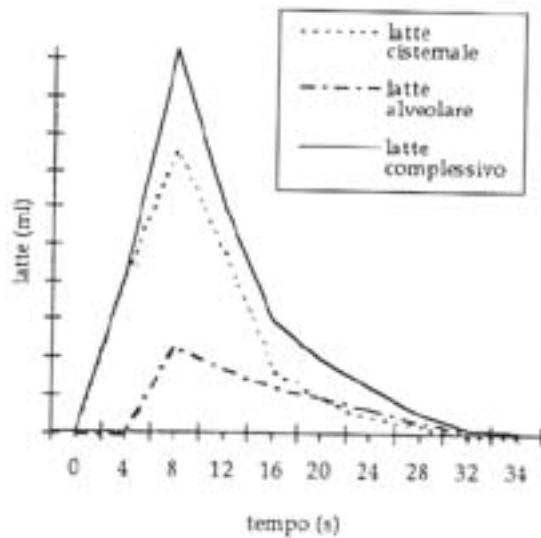


Fig. 13. Curva di emissione del latte con i picchi sovrapposti.

il mantenimento di una abbondante produzione di latte; in queste specie, infatti, le cellule mioepiteliali possono contrarsi direttamente in seguito sia alla stimolazione dell'organo mammario, per eccitazione dei recettori situati nel parenchima in seguito ad esempio alle "testate" del poppante o al normale movimento della mammella tra le cosce dell'animale, sia all'azione dei chinini plasmatici (quali la bradichinina).

2 TECNICA DI MUNGITURA

Il miglioramento della tecnica di mungitura, che consente da un lato la rimozione della maggiore quantità possibile di latte dalla mammella senza pregiudicarne lo stato di salute e dall'altro l'aumento della produttività del lavoro (numero di capi munti per uomo per ora), apporta notevoli benefici economici alle imprese ovine e caprine da latte per effetto sia della maggiore produzione latte per capo munto sia del risparmio di manodopera per le operazioni di mungitura le quali, come è noto, incidono significativamente sul tempo di conduzione e di gestione degli allevamenti. Tale miglioramento riguarda la frequenza di mungitura e l'intermungitura, l'effettuazione del ripasso ed il livello del vuoto.

2.1. Frequenza di mungitura e intermungitura

La *frequenza di mungitura* e la conseguente *intermungitura* hanno assunto una particolare importanza in seguito alla scoperta che il ritmo di secrezione del latte è regolato a livello alveolare dal FAIS.

La riduzione della frequenza di mungitura ha comportato nelle due specie perdite produttive notevoli, ma ampiamente variabili in funzione delle razze e delle condizioni sperimentali (tabella 1) ed effetti sulla qualità del latte contrastanti: in alcune prove, la riduzione della frequenza ad una mungitura giornaliera non ha comportato significative

modificazioni nella composizione del latte, mentre in altre è stata riscontrata una riduzione dei contenuti lipidico e proteico per alterazione dei processi di biosintesi che hanno anche provocato una riduzione dei contenuti in caseina, in lattosio, in calcio, in fosforo e l'aumento di quello in cloro e del pH del latte.

Tabella 1- Variazione percentuale media della produzione di latte in funzione della frequenza di mungitura

| Specie e tipo genetico | Lavori n. | Produzione latte con 2x (g/giorno) | Variazione percentuale rispetto a 2x | | | |
|---------------------------|--------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------|----------|
| | | | Latte | | Grasso | Proteina |
| | | | 1x | 3x | 1x | 1x |
| OVINI | | | | | | |
| Tsigai | 3 | - | -65,0 | +19,0 | - | - |
| Razze da carne | 2 | 1220 | -35,0 | +7,7 | | |
| Razze da latte estere | 4 | 875 | -40,4 | - | - | - |
| Comisana | 2 | 413 | -23,8 | - | -1,8 | +0,6 |
| Sarda | 3 | 1451 | -30,2 | +2,0 | +2,2 | +3,2 |
| CAPRINI | | | | | | |
| Alpine | 2 | 2115 | -22,1 | - | - | - |
| Damasco | 2 | 1532 | -6,8 | - | +2,3 | - |

L'attitudine del latte alla coagulazione non è condizionata in maniera significativa dal numero delle mungiture giornaliere, sebbene siano stati rilevati dei tempi di coagulazione più lunghi ed una minore consistenza del coagulo nel caso di una sola mungitura giornaliera.

Relativamente alla intermungitura la sua variazione da 9 a 15 ore non ha comportato, in pecore con livello produttivo medio-alto (ad es. pecore di razza Sarda), variazioni significative nel ritmo di secrezione del latte e dei suoi componenti (tabella 2).

2.2. Ripasso meccanico

Il *ripasso* meccanico, correntemente praticato da numerosi allevatori, consente di ottenere una ulteriore quantità di latte la cui entità varia con la razza (tabella 3), con il livello produttivo degli animali, con le modalità di emissione del latte e con la conformazione anatomica della mammella.

L'eliminazione del ripasso non è consigliabile nelle razze in cui il latte ottenuto con questa operazione rappresenti una quota importante della produzione totale.

Tabella 2 - Ritmo di secrezione (g/h) del latte, grasso, proteine, caseine, sieroproteine con differenti intervalli di mungitura (*Pulina et al., d.n.p.*)

| Componente | INTERMUNGITURA (ore) | | | |
|-------------------------|----------------------|-------|-------|-------|
| | 15 | 13 | 11 | 9 |
| Latte | 64,30 | 62,87 | 59,73 | 64,83 |
| Grasso | 4,02 | 4,07 | 3,85 | 4,48 |
| Sostanze azotate totali | 3,52 | 3,51 | 3,68 | 3,68 |
| Caseine | 2,72 | 2,75 | 2,64 | 2,86 |
| Sieroproteine | 0,66 | 0,63 | 0,60 | 0,68 |

Dati ottenuti su 16 pecore Sarde in 4 settimane con schema sperimentale a quadrato latino con correzione degli effetti residui e 4 ripetizioni per quadrato

Tabella 3 - Incidenza percentuale delle frazioni di latte ottenute con la mungitura (I), con il ripasso meccanico (II) e con lo sgocciolamento manuale (III) sulla produzione totale di latte

| Razze | Lavori n. | I | II | III |
|----------------------|-----------|-------|-------|-------|
| Razze spagnole | 3 | 63,85 | 22,15 | 13,20 |
| Karagounico (Grecia) | 1 | 61,54 | 19,3 | 19 |
| Razze francesi | 2 | 80,35 | 10,15 | 9,4 |
| Sarda | 1 | 78,95 | 9,67 | 11,11 |
| Altre | 3 | 67,75 | 24,00 | 9,32 |

2.3. Livello del vuoto

Il *livello del vuoto* della macchina mungitrice è in grado influenzare la velocità di mungitura. Un suo aumento accresce la velocità di deflusso del latte, ma può causare la congestione delle pareti del capezzolo e la formazione di edemi a causa della dilatazione dei capillari sanguigni; tali alterazioni, facilitando l'ingresso dei microrganismi nell'epitelio mammario, aumentano la probabilità di insorgenza di mastiti; la comparsa di tale fenomeno è bassa durante la mungitura propriamente detta quando la pressione nel canale capezzolare rimane sui livelli della pressione atmosferica. Una volta esauritosi il flusso del latte, la pressione della cisterna capezzolare cade repentinamente a valori inferiori a quelli della pressione atmosferica (comparsa del vuoto nella cisterna del capezzolo) per effetto della compressione della guaina sul capezzolo e della propagazione del vuoto dell'impianto al canale capezzolare.

Il rischio di comparsa del vuoto intramammario (sovramungitura) potrebbe essere attenuato se nelle fasi di attacco e di distacco dei gruppi prendicapezzoli le guaine venissero posizionate in apertura e se le tettarelle fossero rimosse immediatamente dopo la cessazione del deflusso di latte.

Bibliografia principale

- Ardran G.M., Cowie A.T., Kemp F.H.**, *A cineradiographic study of the goat sinus during suckling in the goat*. "Veterinary Record", n. 69, 1957, pp. 1100-1101.
- AA.VV.**, Proc. 2nd Int. Symp. "La Traite Mecanique des Petits Ruminants", Alghero (Italia), Maggio 1978.
- AA.VV.**, Proc. 3th Int. Symp. "Ordeno Mecanico de Pequenos Ruminantes", Valladolid (Spain), Maggio 1983.
- AA.VV.**, Proc. 4th Int. Symp. "Machine Milking of Small Ruminants", Tel-Aviv (Israel), Settembre 1989.
- Battaglini A., De Maria C., Dell'Aquila S., Taibi L.**, *Effetti della soppressione di una mungitura giornaliera sulla produzione e su talune caratteristiche qualitative del latte di pecore di razza Comisana*. "Ann. Ist. Sper. Zootec.", n. 12, 1979, pp. 1-11.
- Cannas A., Pulina G., Rassu S.P.G., Macciotta N.P.P.**, *Influenza della terza mungitura sulla produzione lattea quanti-qualitativa in pecore di razza Sarda*. Atti "S.I.S.Vet.", n. 45, 1991, pp. 1769-1772.
- Capuco A.V. e coll.**, *Influence of pulsationless milking on teat canal keratin and mastitis*. "J. Dairy Sci.", n. 77, 1994, pp. 64-74.
- Casu S.**, *La pecora Sarda e la mungitura meccanica*. "Riv. Zoot.", 1967, n. 40, pp. 32-48.
- Casu S., Boyazoglou J.B.**, *Effects de la suppression de la traite du soir chez la brebis Sarde*. "Ann. Zootech.", n° hors-serie, 1974, pp. 139-144.
- De Maria Ghionna C., Dell'Aquila S., Carini S.**, *Influenza della soppressione di una mungitura giornaliera sulla produzione, su talune caratteristiche qualitative e sull'attitudine alla coagulazione del latte in pecore di razza Comisana*. "Zoot. Nutr. Anim.", n. 8, 1982, pp. 407-418.
- Enne G., Losito De Carvalho R., Rallo F.**, *Indagini sulla soppressione delle mungiture domenicali e pomeridiane di pecore di razza Sarda*. "Riv. Zoot.", n. 45, 1972, pp. 455-472.
- Enne G.**, *LA MUNGITURA MECCANICA DEI PICCOLI RUMINANTI*. Ed. CLUED, 1976, Milano.
- Gaal M.**, *Milking Tsigai ewes three times daily at large farms*. "Anim. Breed. Abstr.", n. 26, 1958, pp. 236 (Abstr.)
- Goodman G.T., Grosvenor C.E.**, *Neuroendocrine control of the milk ejection reflex*. "J. Dairy Sci.", n. 66, 1983, pp. 2226-2235.
- Gootwine R., Alef B., Gadeesh S.**, *Udder conformation and its heritability in the Assaf (Awassi x East Friesian) cross of dairy sheep in Israel*. Ann. Genet. Sel. anim., n. 12 (1), 1980, pp. 9-13.
- Gottschalk A., Rosemberger E., Mager A., Kummer W.**, *LA MUNGITURA*. Ed. Martini I., Edagricole, Bologna, 1988.
- Hamman J., Mein G.A., Wetzel S.**, *Teat tissue reactions to milking: effects of vacuum level*. J. Dairy Sci., n. 76, 1993, pp. 1040-1046.
- Karam H.A. e coll.**, *Milk production in Awassi and Hungarian Merino sheep in Iraq*. J. Agric. Sci., Camb., n. 76, 1971, pp. 507-511.
- Labussière J.**, *Importance, composition et signification des differentes fractions de lait obtenues successivement au cours de la traite mecanique des brebis*. Ann. Zootech., n. 18 (2), 1969, pp. 185-196.
- Labussière J., Combaud J.F., Petrequin P.**, *Influence de la frequence des traites et de tetees sur la production laitiere des brebis Préalpes du Sud*. Ann. Zootech., n. 23 (4), 1974, pp. 445-457.

- Labussière J., Martinet J.,** *Description de deux appareils permettant le contrôle automatique des débits de lait au cours de la traite à la machine. Premiers résultats obtenus chez la brebis.* Ann. Zootech., n. 13 (2); 1964, pp. 199-212.
- Labussière J., Dotchewski D., Combaud J.F.,** *Caractéristiques morphologiques de la mamelle des brebis Lacaune. Methodologie pour l'obtention des données. Relation avec l'aptitude à la traite.* Ann. Zootech., n. 30 (2), 1981, pp. 115-136.
- Manunta G.,** *FISIOLOGIA DEGLI ANIMALI DOMESTICI.* Ed. Martini E., II, Bologna, 1973.
- Mepham T.B.,** *PHYSIOLOGY OF LACTATION.* Milron Keynes, Philadelphia, PA, 1987.
- Myllys V. e coll.,** *Effect of abrasion of teat orifice epithelium on development of bovine staphylococcal mastitis.* J. Dairy Sci., n. 77, 1994, pp. 446-452.
- Mocquot J.C.,** *La réduction du nombre de traites: mythe ou réalité?.* La Chèvre, n. 121; 1980, pp. 25-31.
- Morag M.,** *The effect of varying the daily milking frequency on the milk yield of the ewe and evidence on the nature of the inhibition of milk ejection by half-udder milking.* Ann. Zootech., n. 17, 1968, pp. 351-369.
- Papachristoforou C., Roushias A., Mavrogenis A.P.,** *The effect of milking frequency on the milk production of Chios ewes and Damascus goats.* Ann. Zootech., n. 31 (1), 1982, pp. 37-46.
- Pazzona A.,** *MUNGITURA MECCANICA DEGLI OVINI.* Edagricole, Bologna, 1985.
- Peaker M.,** *COMPARATIVE ASPECTS OF LACTATION.* Ed. Peaker M., Academic Press, London, 1977.
- Pulina G. e coll.,** *Fattori responsabili del decadimento della caseificabilità del latte ovino.* L'Informatore Agrario, n. 17, 1996, pp. 35-41.
- Pulina G., Nudda A., Rassu S.P.G., Vallebella R.,** *La misurazione della cisterna ghiandolare della mammella di pecore da latte.* L'Informatore Agrario, n. 41, 1996, pp. 77-78.
- Rasmussen M.D., Frimer E.S., Decker E.L.,** *Reverse pressure gradients across the teat canal related to machine milking.* J. Dairy Sci., n. 77, 1994, pp. 984-993.
- Ruckebush Y., Phanéuf L.P., Dunlop R.,** *PHYSIOLOGY OF SMALL AND LARGE ANIMALS.* ED. DECKER, Philadelphia, 1991.
- Stelwagen K., Davis S.R., Farr V.C., Eichler S.J.,** *Effect of once daily milking and concurrent somatotropin on mammary tight junction permeability and yield of cows.* J. Dairy Sci., n. 77, 1994, pp. 2994-3001.
- Stelwagen K. e coll.,** *Mammary epithelial tight junction integrity and mammary blood flow during an extended milking interval in goats.* J. Dairy Sci., n. 77, 1994, pp. 426-432.
- Wilde C.J., Peaker M.,** *Autocrine control in milk secretion.* J. Agric. Sci., Camb., n. 114, 1990, pp. 235-238.
- Wittlestone W.G.,** *Intramammary pressure changes in the lactating ewe.* J. Dairy Res., n. 24, 1957, pp. 165-170.
- Witzel D.A., McDonald J.S.,** *Bovine intramammary pressure changes during mechanical milking.* J. Dairy Sci., n. 47, 1964, pp. 1378-1381.
- Wood D.L., Bitman J., Bright S.A., Miller R.H.,** *Lipid composition of bovine teat canal keratin collected before and after milking.* J. Dairy Sci., n. 71 (Suppl. 1), 1988, pp. 245.

Parte seconda

**COSTRUZIONE E FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI
MUNGITURA**

3 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELLA MUNGITRICE

3.1 Evoluzione dei sistemi di mungitura

Sono trascorsi quasi 50 anni dalle prime esperienze sulla mungitura meccanica delle pecore condotte nel 1938 nella regione del Roquefort (Francia). L'attuale mungitrice per piccoli ruminanti è il risultato di una profonda evoluzione che ha interessato sia le caratteristiche costruttive che quelle funzionali.

Solamente nell'immediato dopoguerra le mungitrici per pecore e per capre hanno goduto di uno sviluppo adeguato all'importanza economica di queste specie, ma negli anni Cinquanta e Sessanta le mungitrici conservavano ancora la meccanica di base ed i principi fondamentali della dinamica della mungitura delle vacche.

Ad iniziare dagli anni Settanta, sulla base dei primi studi specifici, vi è stato un progressivo adeguamento dei parametri di funzionamento dell'impianto alle caratteristiche morfo-fisiologiche dei piccoli ruminanti. Occorre arrivare agli anni Ottanta per osservare l'inizio di una fase di ricerca e di sperimentazione, ancora lungi dall'essere conclusa, finalmente organica e finalizzata alla definizione della tecnica di mungitura, dei parametri funzionali e degli elementi costruttivi della mungitrice per ovini e per caprini.

Negli anni novanta si è giunti alla semplificazione della tecnica di mungitura, con la soppressione della sgocciolatura meccanica, che riduce gli interventi dell'operatore all'applicazione e al distacco dei gruppi prendicapezzoli.

Tale progresso è reso possibile grazie alla selezione degli animali anche in funzione della mungitura meccanica ed ai perfezionamenti apportati dai ricercatori e dai costruttori all'impianto di mungitura. Con gli impianti fissi in sala la produttività del lavoro raggiunge così mediamente i rispettabili valori di 200 pecore/ora per addetto, mentre con le mungitrici in linea dotate di nastro trasportatore si superano i 230 capi/ora per addetto per arrivare a circa 300 capi/ora per addetto negli impianti rotativi.

Con gli impianti attuali il passaggio dalla mungitura manuale a quella meccanica consente di triplicare la produttività del lavoro e di ridurre del 60-70% la fatica fisica.

3.2 Componenti fondamentali

La mungitura eseguita con le moderne macchine mungitrici ricorda i momenti della suzione naturale dell'agnello o del capretto e, per questo motivo, deve essere considerata più fisiologica della mungitura a mano.

Il compito della macchina mungitrice, pertanto, è quello di estrarre il latte dalla mammella senza comprometterne la salute e mantenendo inalterate le qualità organolettiche del prodotto. Sui capezzoli si applica un vuoto parziale, o depressione, che consente al latte di fuoriuscire dalla mammella nella quale si trova a pressione atmosferica.

Questa depressione si ottiene tramite l'estrazione, dall'interno dell'impianto, di una ben determinata quantità di aria, in modo che la densità dell'aria che si trova all'interno dell'impianto stesso risulti circa la metà di quella che si trova all'esterno dell'impianto.

La mungitrice è schematicamente composta dal (fig. 53):

- sistema del vuoto;
- gruppo prendicafezzoli;
- pulsatore;
- lattodotto.

Sistema del vuoto

Il sistema del vuoto consiste in una condotta chiusa, chiamata condotta dell'aria o del vuoto, attraverso cui viene estratta parte dell'aria presente all'interno dell'impianto di mungitura. In tal modo la densità dell'aria rimasta nell'impianto risulta inferiore alla densità dell'aria che si trova all'esterno dell'impianto stesso.

Per estrarre l'aria dalle condutture viene usata una pompa per vuoto azionata, solitamente, da un motore elettrico. Sulla linea principale dell'aria viene installato un intercettore con la duplice funzione di proteggere la pompa da impurità solide o liquide che potrebbero essere aspirate dalla pompa stessa e di contribuire ad attenuare le fluttuazioni di vuoto causate dagli ingressi d'aria attraverso i prendicafezzoli.

Il sistema del vuoto è completato da un regolatore e da un vuotometro. Il regolatore del vuoto costituisce l'organo di sicurezza dell'impianto in quanto mantiene costante il livello della depressione all'interno dell'installazione, mentre il vuotometro indica il livello di vuoto nelle condutture.

Il vuoto viene utilizzato per due fini differenti: aprire il canale del capezzolo e stimolare l'animale. L'applicazione all'interno della guaina di mungitura di un vuoto costante (in media 40-42 kPa) serve a vincere le forze che mantengono chiuso il canale del capezzolo. La funzione di stimolare l'animale è svolta dalla pulsazione che determina la periodica chiusura della guaina sul capezzolo.

Gruppo prendicapezzoli

Il gruppo prendicapezzoli è costituito essenzialmente da due prendicapezzoli veri e propri, da altrettanti tubi corti del latte e della pulsazione e dal collettore del latte. I prendicapezzoli sono formati da un bossolo rigido, detto portaguaina, che contiene la guaina in gomma che viene applicata al capezzolo. L'intercapedine fra la parete interna del tubo metallico e la parete esterna della guaina forma la camera di pulsazione. Quest'ultima, ad opera del pulsatore, è alternativamente messa in comunicazione col vuoto o con l'aria atmosferica; in tal modo l'aspirazione del latte non risulta continua ma ciclica.

Pulsatore

Il pulsatore, che rappresenta uno dei componenti più delicati della mungitrice, determina mediante apposita valvola l'alternarsi del vuoto e della pressione atmosferica, cioè la pulsazione. I movimenti ciclici del pulsatore regolano l'emissione del latte ed evitano i danni che potrebbero derivare da un'aspirazione continua.

La camera di pulsazione, tramite il pulsatore, viene messa in comunicazione con la pompa per vuoto o con l'aria atmosferica. Nel primo caso (fase di mungitura) in corrispondenza dell'orificio del capezzolo si crea una depressione che consente la discesa del latte. Nel secondo caso (fase di massaggio) l'aria atmosferica che penetra nella camera di pulsazione comprime la guaina sul capezzolo interrompendo la mungitura.

Lattodotto

Il lattodotto, che trasporta il latte e l'aria, ha il compito di convogliare il latte prodotto dai diversi capi verso i recipienti di raccolta e di fornire il vuoto ai gruppi prendicapezzoli. Per questo motivo il diametro della conduttura del latte deve risultare sufficiente a smaltire il latte mantenendolo sempre ben separato dall'aria.

Negli impianti a secchio o a carrello non è presente il lattodotto in quanto il latte estratto dal gruppo prendicapezzoli viene convogliato direttamente in un secchio tenuto sotto vuoto (fig. 52).

4 SISTEMA DEL VUOTO

4.1 Pompa per vuoto

Funzionamento e prestazioni

La pompa per vuoto è preposta ad estrarre, in maniera costante, una determinata quantità d'aria dall'impianto di mungitura al fine di ottenere una pressione interna, detta vuoto, inferiore a quella atmosferica. L'estrazione dell'aria si realizza incrementando la pressione e la velocità dell'aria stessa.

La portata della pompa è rappresentata dal volume d'aria aspirato nell'unità di tempo. La misura, effettuata all'imboccatura della pompa, o in prossimità di essa, deve essere eseguita in precise condizioni operative che riguardano il livello di vuoto, la temperatura di lavoro e il regime di rotazione della pompa.

Il valore della portata è legato al livello di vuoto al quale viene misurato espresso in kPa o mm di Hg (1 kPa = 7,59 mm di Hg); di norma si indica la portata a 50 kPa, che corrisponde alla *portata nominale* misurata in l/min di aria libera (fig. 14). Prima di iniziare le misure è necessario che la pompa raggiunga la temperatura di lavoro o di esercizio, che risulta di circa 60 °C al di sopra della temperatura ambiente; a tal fine la si deve far funzionare per almeno 15 min, in caso contrario si corre il rischio di registrare portate minori di quelle nominali.

Nella maggior parte dei modelli la trasmissione del moto fra il motore e la pompa avviene tramite pulegge e una o due cinghie trapezoidali. L'accoppiamento di pulegge di diametro differente consente alla pompa di funzionare ad un regime di rotazione più basso rispetto a quello del motore.

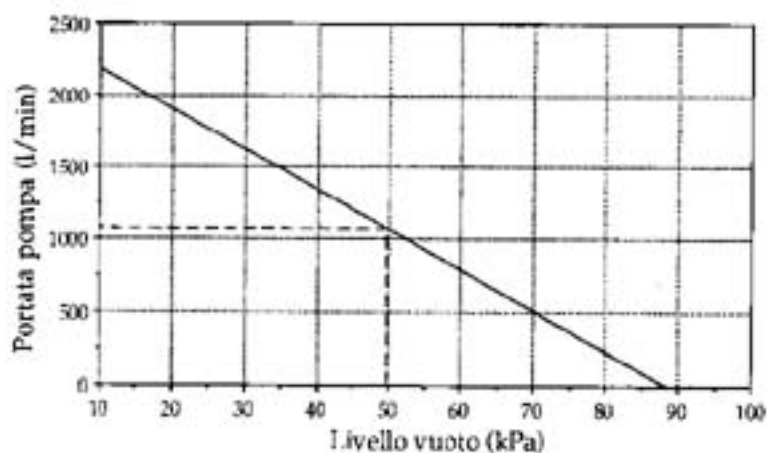


Fig. 14. La portata della pompa è influenzata dal valore del vuoto: all'aumentare di quest'ultimo diminuisce la portata d'aria (e viceversa).

Se, ad esempio, ad un motore elettrico che ruota a 1.400 giri/min ed ha una puleggia di 132 mm di diametro si vuole accoppiare una

pompa il cui regime di rotazione risulta di 1.250 giri/min, sarà necessario munire la pompa di una puleggia di 147 mm di diametro:

$$\text{puleggia pompa} = \frac{1400 * 132}{1250} = 147 \text{ mm} .$$

Correlando per un elevato numero di pompe la portata nominale con quella operativa si è costruita un'equazione che permette di stimare con buona approssimazione ($\pm 3\%$) la portata operativa delle pompe ad un determinato valore di vuoto operativo. Per risolvere l'equazione è sufficiente conoscere la portata nominale. Per le pompe in bagno d'olio si fa ricorso alla relazione

$$Q_o = Q_n [2,3333 - (0,0266 * P_o)] ;$$

mentre per le pompe a secco si deve utilizzare l'equazione:

$$Q_o = Q_n [2,75 - (0,035 * P_o)] .$$

Dove:

Q_o = portata operativa (l/min);

Q_n = portata nominale (l/min);

P_o = vuoto operativo (kPa).

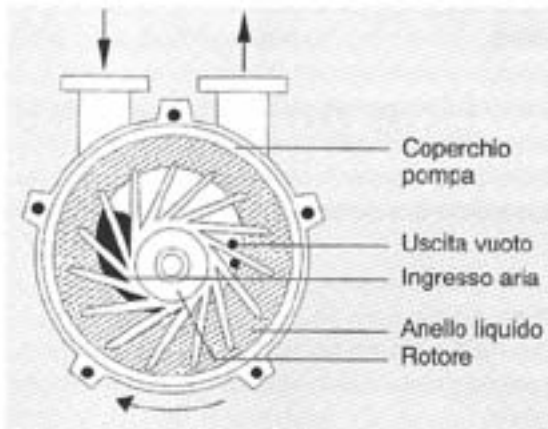


Fig. 15. Sezione del corpo della pompa ad anello liquido vista dal motore (Fonte SAC).

Il principio di funzionamento delle pompe rotative è illustrato nel riquadro 3. La lubrificazione può avvenire per effetto della depressione che aspira l'olio contenuto in un serbatoio per gocciolamento o per spruzzo. Il serbatoio dell'olio ha generalmente la capacità di 500 ml.

L'olio, oltre alla funzione di lubrificazione dei cuscinetti di supporto del rotore, viene distribuito all'interno della scatola cilindrica fissa (statore) per agevolare lo scorrimento delle palette e creare un velo che migliora la tenuta all'aria. Generalmente si impiegano pompe rotative in bagno d'olio, mentre per modeste portate talvolta si fa ricorso alle pompe rotative a secco.

Nella scelta del tipo di pompa per vuoto si deve considerare innanzitutto la dimensione dell'impianto di mungitura. Per mungitrici a secchio o a carrello è consigliabile orientarsi, per l'economicità

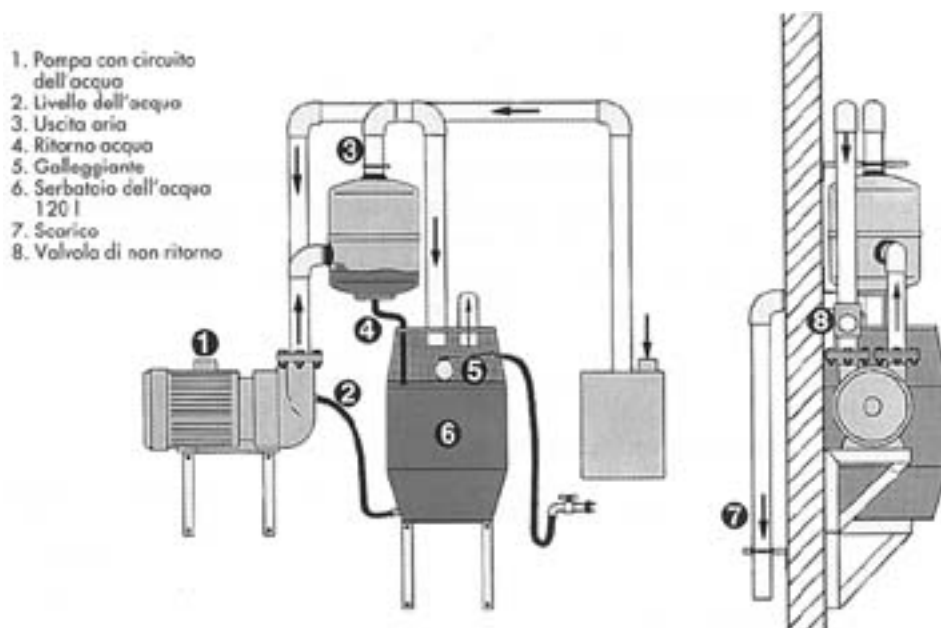


Fig. 16. Schema di installazione della pompa ad anello liquido (Fonte SAC).

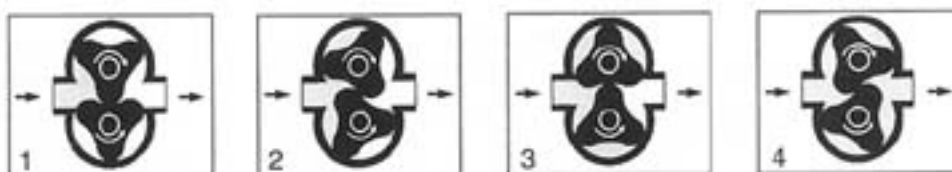


Fig. 17. Schema di funzionamento della pompa a lobi (Fonte SAC).

d'acquisto e il ridotto impiego orario, verso una pompa a secco. Negli impianti a lattodotto, prevedendo un maggiore utilizzo giornaliero, è preferibile installare un modello lubrificato con un regime di rotazione meno elevato.

Nel caso si voglia ridurre al minimo la rumorosità ed annullare qualsiasi forma di inquinamento ambientale, si possono installare le pompe ad anello liquido (figg. 15-16). L'unico aspetto negativo di queste pompe è il prezzo di acquisto che risulta molto più alto di quello delle pompe lubrificate. Anche le pompe a lobi (fig. 17), pur riducendo la rumorosità e non richiedendo lubrificazione, hanno un prezzo di acquisto più elevato delle pompe rotative.

Installazione

La pompa dovrà essere collocata vicino all'impianto ma isolata dalla sala di mungitura e dalla sala latte. Si deve curare anche

l'isolamento acustico del locale motori in modo che il livello sonoro nella sala di mungitura, nell'ovile o nel caprile risulti il più basso possibile. Gli impianti dovranno in ogni caso rispettare i livelli sonori fissati dalla vigente regolamentazione nazionale.

*Riquadro 3***Funzionamento della pompa per vuoto rotativa**

Le pompe rotative sono composte da un cilindro cavo, fisso (statore), al cui interno ruota un secondo cilindro (rotore), eccentrico rispetto al primo, portante alcune palette mobili, di norma quattro (fig. 18). Nel corso della rotazione, sviluppandosi una forza centrifuga, le palette aderiscono costantemente alle pareti dello statore; la rotazione dell'eccentrico determina, quindi, la formazione di camere isolate tra loro in numero uguale a quello delle palette, rispettivamente a volume crescente (fase di aspirazione) e decrescente (fase di compressione e scarico). L'aria entra nella camera di aspirazione, viene isolata tra le palette, quindi viene compressa fino a valori di poco superiori alla pressione atmosferica e scaricata. Nelle pompe lubrificate lo statore è immerso in bagno d'olio, ciò garantisce la tenuta al vuoto ed assicura la lubrificazione delle parti interne a contatto di strisciamento.

La quantità d'aria spostata dal condotto di aspirazione a quello di scarico in ogni giro è pari al volume lasciato libero all'interno dello statore dal rotore eccentrico portante le palette. Per ottenere il valore della portata della pompa è necessario moltiplicare questo volume per il numero di giri al minuto ed anche per un coefficiente di rendimento variabile da 0,65 a 0,80. Il coefficiente, diverso per ogni tipo di pompa, tiene conto della tenuta delle palette e del riscaldamento della pompa, dovuto agli attriti generati nella rotazione, che provoca espansione d'aria.

Per determinare la portata nominale della pompa si fa riferimento alla formula seguente:

$$Q_n = \frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} * l * n * \eta_v .$$

Dove:

Q_n = portata della pompa (l/min o dm³/min);

D = diametro interno dello statore (dm);

d = diametro esterno del cilindro rotante (dm);

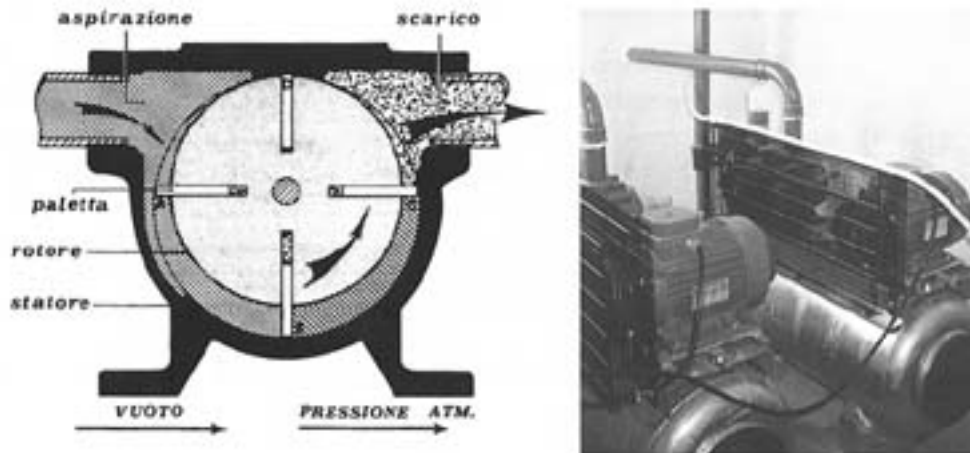
l = lunghezza assiale interna della pompa (dm);

n = regime di rotazione (giri/min);

η_v = rendimento volumetrico.

Le pompe rotative possono funzionare a diversi regimi di rotazione; aumentando la velocità di rotazione consigliata dal costruttore si può incrementare la portata, ma si riduce la durata degli organi rotanti a causa della maggiore usura. L'attuale tendenza delle ditte costruttrici di pompe lubrificate è quella di ottenere portate elevate con camere di ampio volume e bassi regimi di rotazione. Questo accorgimento consente di prolungare la vita delle pompe e di realizzare un minor riscaldamento della stessa con conseguente risparmio di energia.

I modelli lubrificati non possono scaricare in un locale chiuso e, in ogni caso, dovrebbero essere muniti di un dispositivo di separazione e di recupero dell'olio trasportato dall'aria in uscita. Tutte le parti in movimento (pulegge e cinghie) devono essere opportunamente protette. Al fine di evitare controrotazioni del rotore della pompa, e quindi danni alle palette, si dovrà prevedere un sistema automatico per evitare il flusso inverso dell'aria attraverso lo scarico della pompa



A sinistra: **fig. 18.** Sezione del corpo della pompa per vuoto rotativo con 4 palette (Fonte Bramley e coll.).
A destra: **fig. 19.** Gruppo motore-pompa (Fonte Agritalia). Per misurare la portata della pompa senza dover smontare il collegamento con la condotta del vuoto è necessario installare un raccordo a T.

Risulta necessario dotare la pompa di appositi raccordi a T (fig. 19) in cui consentire l'inserimento del flussometro per la misurazione della portata senza dover smontare il collegamento con la condotta del vuoto. Per agevolare la manutenzione periodica e i controlli tecnici, in particolare quelli del regime di rotazione, è bene che gli alberi delle pulegge della pompa e del motore risultino facilmente accessibili.

La pompa dovrà possedere le seguenti informazioni riportate con lettere indelebili:

- direzione di rotazione;
- campo di velocità di rotazione e potenza richiesta in kW;
- campo corrispondente alla portata di estrazione al vuoto di 50 kPa, espressi in aria libera a alla pressione di 100 kPa;
- tipo e identificazione, ad esempio n° di serie o di codice;
- lubrificante raccomandato, se impiegato;
- nome del costruttore o del fornitore.

4.2 Conduzze dell'aria

Per la corretta installazione del circuito dell'aria è necessario che le condutture risultino:

- rigidamente fissate mediante appositi supporti;
- autodrenanti a mezzo di opportune valvole automatiche (fig. 20);
- con pendenza, verso le valvole di drenaggio, non minore dello 0,5%;
- raccordate con curve non strette (raggio centrale minimo di 45 mm).

Oltre alle curve strette sono da evitare, per quanto è possibile, connessioni o gomiti che causano perdite di carico equivalenti a quelle che si verificano in 2-4 m di condotta lineare. Per migliorare la stabilità del vuoto negli impianti a lattodotto in linea bassa su due file, si raccomanda di installare le condutture dell'aria di pulsazione in modo da formare un anello chiuso.

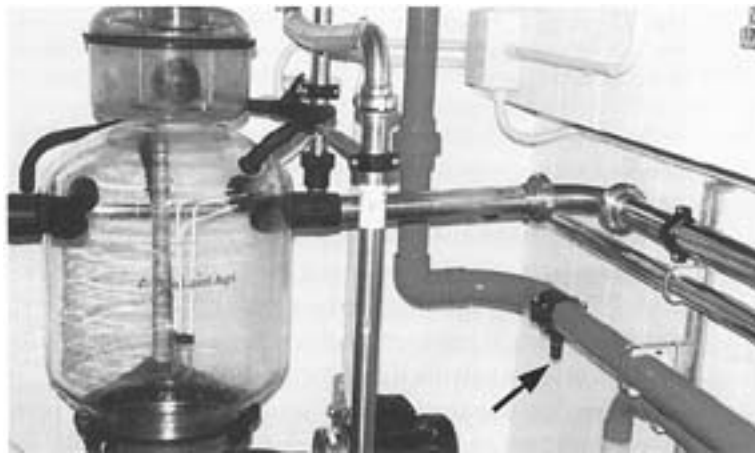


Fig. 20. I rami della condotta dell'aria devono essere dotati di valvole autodrenanti per eliminare eventuali residui di liquidi.

Per facilitare le operazioni di lavaggio, è opportuno dotare le condutture dell'aria di valvole, tappi o cappucci facilmente smontabili. I circuiti chiusi dovranno essere provvisti di valvola, o di altro dispositivo, per controllare la direzione del flusso ed assicurare un completo deflusso quando il sistema viene lavato. E' preferibile installare rubinetti a presa del vuoto nella parte superiore della condotta evitando la formazione di strozzature.

Il diametro interno delle condutture dell'aria deve essere determinato in modo da ridurre al minimo le fluttuazioni del vuoto all'interno dell'impianto (*riquadro 4*). Questo requisito risulta soddisfatto quando la caduta di vuoto fra pompa per vuoto e terminale del latte non è maggiore di 2 kPa, mentre la caduta di vuoto misurata fra il regolatore ed il vaso terminale non deve essere maggiore di 1 kPa.

Le condutture dell'aria e il sistema di vuoto dovrebbero essere progettati in modo da ottenere una caduta massima di vuoto non superiore a 1 kPa fra la pompa per vuoto e il vaso terminale. In ogni caso, il consumo delle condutture dell'aria non deve eccedere il 5% della portata della pompa. Nel capitolo 9 sono illustrate le modalità di calcolo del diametro interno minimo richiesto per le condutture dell'aria sulla base di cadute di vuoto specifiche.

4.3 Regolatore

Funzionamento

I regolatori del vuoto si possono suddividere in tre grandi categorie: a peso compensato, a molla e servoassistito.

Il *regolatore a peso compensato* (fig. 21) è composto da una valvola di forma conica, che regola l'afflusso d'aria atmosferica all'interno della condotta, sulla quale grava un contrappeso; il tutto è contenuto in un involucro trasparente. Lo spazio interposto tra l'involucro e il peso è posto in comunicazione diretta con la condotta del vuoto.

All'interno del regolatore si crea l'equilibrio fra la forza esercitata dai filetti d'aria che entrano nell'impianto e la massa del contrappeso che preme sulla valvola; si ottiene così uno strato d'aria che impedisce la chiusura della valvola. Quando il livello di vuoto all'interno dell'impianto diminuisce la valvola tende a chiudersi perché, entrando meno aria nel regolatore, si assottiglia lo strato d'aria fra valvola e condotta (*riquadro 5*).

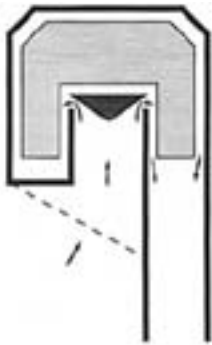


Fig. 21. Schema di regolatore del vuoto a peso compensato. Sulla valvola conica che regola l'afflusso d'aria atmosferica nella condotta grava un contrappeso.

Questo tipo di valvola non si stacca facilmente ma deve essere montata in posizione perfettamente verticale; se dopo l'installazione si vuole abbassare il livello di vuoto è necessario ridurre la massa del contrappeso, mentre la si deve aumentare per innalzare il vuoto. L'impiego del regolatore a peso è limitato a piccoli impianti in quanto la portata di questa valvola non supera gli 850 l/min.

*Riquadro 4***Fluttuazioni del vuoto nelle condutture dell'aria**

Le fluttuazioni irregolari del vuoto, localizzate o generalizzate, all'interno delle condutture dell'aria, derivanti da cambiamenti del flusso d'aria nel corso della mungitura, sono influenzate da fattori quali:

- capacità di riserva della pompa per vuoto;
- sensibilità e stabilità del regolatore del vuoto;
- perdite di carico per attrito nel sistema delle condutture.

In corrispondenza di un ingresso improvviso di aria in un punto qualsiasi dell'impianto si verifica sempre una caduta del vuoto (aumento di pressione). Quando l'ingresso d'aria risulta in eccesso rispetto alla capacità di riserva della pompa (come spesso accade quando cadono i gruppi), le fluttuazioni irregolari sono accentuate dal generale abbassamento del vuoto all'interno dell'impianto.

Di norma le fluttuazioni prodotte all'esterno dei singoli prendicapezzoli causano nel gruppo cadute di vuoto meno repentine e meno accentuate di quelle generate all'interno del gruppo stesso. L'effetto principale delle fluttuazioni formatesi all'esterno dei gruppi è quello di ridurre la velocità di mungitura dei singoli capi, poichè il vuoto medio nel collettore è diminuito.

Piccole fluttuazioni cicliche del vuoto possono essere misurate in molte condutture dell'aria di pulsazione e sono generate quando i pulsatori operano in fase l'uno con l'altro. Queste variazioni cicliche, però, non sembrano importanti e i tentativi per eliminarle, aumentando ad esempio il diametro delle condutture, forniscono dei miglioramenti "estetici" e non sostanziali alla stabilità del vuoto.

*Riquadro 5***Dimensionamento regolatore a peso compensato**

Il funzionamento del regolatore a peso compensato si fonda sull'equilibrio di due forze contrastanti che agiscono sulla valvola di controllo dell'afflusso d'aria atmosferica: la pressione esercitata dai filetti d'aria che, richiamati dalla depressione, penetrano nell'impianto e la massa del contrappeso.

Allorquando il livello di vuoto diviene superiore al valore prefissato (vuoto di lavoro), per effetto della superiore differenza fra la pressione atmosferica e quella esistente all'interno dell'impianto, aumenta la velocità con la quale l'aria viene richiamata nel circuito del vuoto. La maggiore pressione esercitata sulla valvola rompe l'equilibrio preesistente e sposta verso l'alto il contrappeso. In tal modo aumenta la portata d'aria in ingresso che, riducendo il vuoto nell'impianto, riporta la valvola nella posizione iniziale.

La massa del contrappeso è calcolata in funzione della superficie della sezione dell'orificio d'immissione dell'aria e del vuoto nominale secondo la relazione:

$$M = S * P_n$$

dove:

M = massa del contrappeso (kg);

S = sezione del foro d'immissione d'aria (cm²);

P_n = vuoto o pressione nominale (kg/cm²).

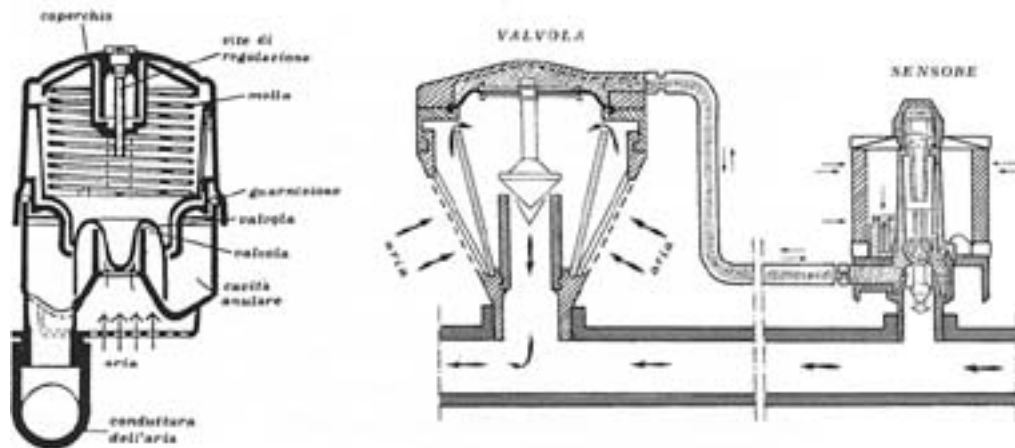
Per un regolatore con foro di immissione dell'aria di 2,90 cm² (r = 0,96 cm) che lavora ad un vuoto di 44 kPa, al quale corrisponde una pressione di 0,44 kg/cm², la massa del contrappeso risulta di:

$$M = 2,90 * 0,44 = 1,276 \text{ kg}$$

Abbassando il vuoto a 40 kPa (0,40 kg/cm²) è sufficiente la massa di 1,160 kg.

La predetta relazione è valida solamente per regolatori montati in posizione rigorosamente verticale. In caso contrario, infatti, l'afflusso d'aria risulta superiore al valore preventivato quando il regolatore si trova in fase di chiusura. La valvola non si chiude bene in quanto la pressione esercitata dalla massa di contrasto tende a far lavorare obliquamente la valvola stessa.

Il *regolatore a molla* è composto di una valvola tenuta in contatto con la sua sede a mezzo di una molla (fig. 22). La valvola si sposta dalla sua sede, aprendosi, quando l'aumento di vuoto esercita sulla valvola stessa una forza, diretta verso il basso, superiore a quella generata dalla molla verso l'alto. La maggiore quantità d'aria che penetra nel sistema riporta il vuoto al livello prefissato. La valvola si chiude se la forza esercitata dalla molla diviene superiore a quella prodotta dal vuoto.



A sinistra: **fig. 22.** Schema di regolatore del vuoto a molla (Fonte Bramley e coll.). La valvola di controllo dell'afflusso d'aria atmosferica è contrastata da una molla.

A destra: **fig. 23.** Schema di regolatore del vuoto servo assistito. Il sensore o sonda riduce il tempo di risposta della valvola alle variazioni di vuoto che si verificano all'interno dell'impianto.

Il funzionamento del regolatore a molla è indipendente dalla gravità. Questo tipo di regolatore, pertanto, risulta indicato per mungitrici mobili e per portate non superiori a 500 l/min.

Il *regolatore servoassistito* è dotato di un sensore che aumenta la capacità della valvola di percepire le variazioni di vuoto che si verificano all'interno dell'impianto. Il sensore amplifica le variazioni di vuoto e le trasmette alla valvola conica che regola l'afflusso d'aria nell'installazione (fig. 23). Il sensore può essere incorporato nel regolatore o risultare remoto rispetto ad esso (fig. 24).

Il sensore è collegato al regolatore tramite un tubicino e il vuoto agisce sulla camera principale che risulta collegata alla valvola conica per mezzo di un diaframma. Come avvengono dei cambiamenti di vuoto sopra il diaframma, la valvola si muove istantaneamente (in termini di millesimi di secondo) per aumentare o diminuire l'ingresso d'aria attraverso la valvola stessa. Se il vuoto nel sistema scende al di sotto del livello stabilito la densità dell'aria aumenta e, di conseguenza, aumenta anche la pressione esercitata sul diaframma che permette alla valvola di abbassarsi e di ridurre l'ingresso d'aria nel sistema.

I regolatori servoassistiti si distinguono per la precisione del loro funzionamento, la prontezza con la quale rispondono alle variazioni di

vuoto, le modeste perdite d'aria a livello della valvola al momento della sua chiusura e la semplicità di manutenzione. Tuttavia, alcuni modelli di queste valvole presentano lo svantaggio di avere un consumo d'aria relativamente alto. La loro adozione, in considerazione anche del prezzo di acquisto che risulta mediamente doppio rispetto ai regolatori tradizionali, si giustifica soprattutto in impianti di dimensioni medio-grandi.

Prestazioni

La *portata del regolatore* deve risultare adeguata alle caratteristiche dell'impianto di mungitura sul quale viene installato. Al vuoto nominale deve possedere una portata almeno pari a quella della pompa per vuoto, mentre al vuoto di lavoro la portata deve essere almeno l'80% di quella della pompa che, come si è visto in precedenza, aumenta col diminuire del vuoto.

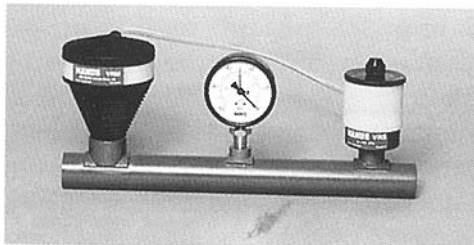


Fig. 24. Valvola di regolazione (a sinistra) con sensore a distanza (a destra) (Fonte Manus).

La *sensibilità del regolatore* deve essere tale che, con tutti i gruppi prendicapezzoli non funzionanti, l'incremento del livello del vuoto non ecceda di 1 kPa il livello misurabile con tutti i gruppi operanti.

Nelle normali condizioni di funzionamento dell'impianto, il regolatore deve consentire l'ingresso di un volume d'aria pari alla differenza fra il valore della portata della pompa per vuoto e la quantità d'aria che entra nei diversi componenti dell'impianto.

Il *consumo d'aria del regolatore*, o dei regolatori, non deve risultare superiore al 10% della riserva utile.

Una determinata quantità d'aria può entrare nel regolatore in fase di chiusura, vale a dire quando esso è nominalmente chiuso. Questa quantità viene indicata come *perdite del regolatore* e la loro entità non deve eccedere 35 l/min o il 5% della riserva utile.

Per le definizioni di consumo e perdite di un componente vedere il paragrafo 8.2.

Installazione

In fase di installazione l'errore più frequente è rappresentato dalla non perfetta verticalità del regolatore che determina un maggior ingresso d'aria rispetto a quello preventivato. Tutto ciò causa una sensibile riduzione della riserva utile di vuoto dell'impianto. Nel

montaggio dei modelli servoassistiti talvolta non vengono rispettate le distanze dalle curve e l'equidistanza dei sensori, mentre in altri casi i sensori sono montati su diramazioni e non sulla condotta principale dell'aria.

Il regolatore deve essere montato rigidamente in accordo con quanto stabilito nelle specifiche del costruttore. Negli impianti a lattodotto, la presa del sensore dei modelli servoassistiti dovrà essere posizionata fra il separatore igienico e il serbatoio del vuoto, o sul separatore igienico. Negli impianti a secchio il regolatore deve essere inserito fra l'intercettore sanitario e il primo attacco del secchio alla condotta dell'aria, o sul separatore igienico quando esso risulta presente.

Nel caso si debba installare più di un regolatore sul medesimo impianto, ci può essere il rischio di un'interazione che porta a instabilità del vuoto. L'inconveniente viene superato connettendo ciascun regolatore separatamente alla condotta del vuoto e lasciando fra i regolatori una distanza non inferiore a 500 mm se montati su condotta orizzontale (fig. 25).

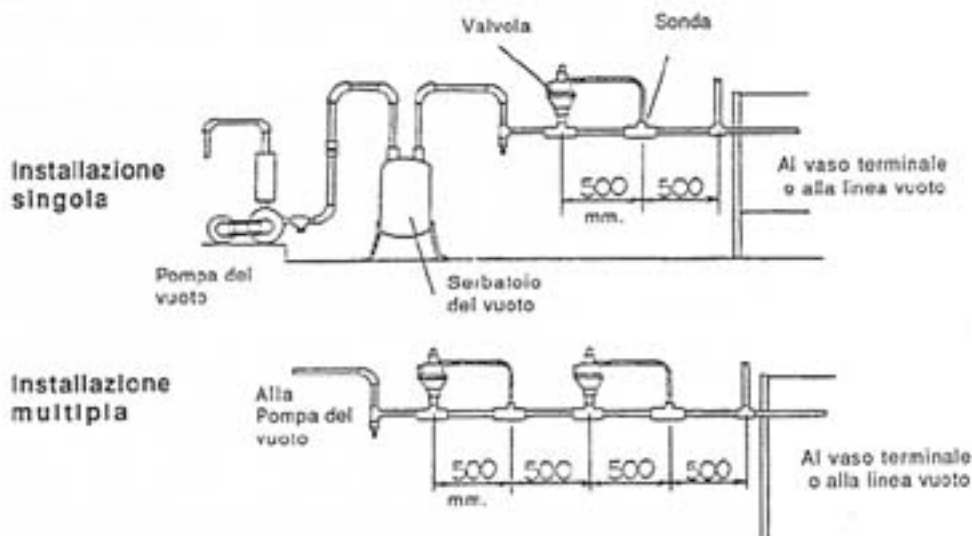


Fig. 25. Modalità di installazione del regolatore servoassistito.

Sul regolatore devono essere marcate con lettere indelebili le seguenti informazioni:

- nome del costruttore e del fornitore;
- marca e tipo;
- campo di livello di vuoto operativo;
- portata d'aria al livello di vuoto di 50 kPa, espresso come portata d'aria libera ad una pressione atmosferica di 100 kPa.

Il costruttore dovrà fornire, inoltre, le portate d'aria e i consumi ai livelli massimo e minimo del campo di vuoto operativo.

5 SISTEMA DI PULSAZIONE

5.1 Generalità

I pulsatori sono meccanismi a valvola che collegano alternativamente la camera di pulsazione al vuoto o all'aria atmosferica. Questi cambiamenti ciclici di pressione provocano il movimento della guaina all'interno del suo portaguaina.

Per comprendere l'importanza del ruolo esercitato dal pulsatore nella mungitura meccanica basti pensare al fatto che la qualità del movimento periodico della guaina, così come il ritmo e la forza dei successivi massaggi, costituiscono uno dei principali elementi della stimolazione percepita dall'animale. Un pulsatore non perfettamente funzionante sottopone il capezzolo ad una maggiore congestione con conseguente compromissione del muscolo sfinterico. Ed è proprio l'alterazione del capezzolo che indica all'operatore il cattivo funzionamento del pulsatore, soprattutto se il livello del vuoto risulta elevato.

Quando l'aria libera penetra nella camera di pulsazione, la differenza di pressione che ne risulta tra le pareti della guaina fa sì che queste si chiudano sotto la punta del capezzolo. A volte, a causa di anomalie di funzionamento del pulsatore, la guaina non si chiude completamente sotto il capezzolo. In questo caso si corre il serio rischio di provocare delle lesioni al capezzolo in quanto (fig. 26):

- nella fase di mungitura il capezzolo viene aspirato all'interno della guaina, con conseguente esposizione di una maggiore superficie di tessuti capezzolari all'azione del vuoto;
- nella fase di massaggio la punta del capezzolo risulta costantemente esposta al vuoto.

Contrariamente a quanto si crede le guaine con pareti sottili e gomma morbida, che richiedono solo una piccola differenza di pressione per chiudersi, applicano una compressione, e quindi una stimolazione, relativamente bassa al capezzolo. Con il contenuto incremento dello spessore delle pareti della guaina e della durezza della gomma aumenta anche la stimolazione applicata al capezzolo.



Fig. 26. Nei casi A e B sono esemplificate le conseguenze della non perfetta chiusura della guaina a causa del cattivo funzionamento del pulsatore. I casi C e D illustrano come deve funzionare la guaina per non provocare irritazioni o lesioni al capezzolo.

Lo scopo principale della pulsazione è quello di limitare il progredire della congestione e dell'edema del capezzolo provocato dalle forze generate dal vuoto di mungitura. La forza esercitata sul capezzolo dalla guaina che si chiude provoca la compressione della punta del capezzolo stesso e, di conseguenza, la chiusura del canale di deflusso del latte (*riquadri 6 e 7*).

Come ha inizio la mungitura, i capezzoli si allungano rapidamente

*Riquadro 6***Forza di massaggio applicata al capezzolo**

L'entità della forza di massaggio esercitata dalla guaina sul capezzolo non è necessariamente un valore costante, ma piuttosto un valore dinamico che cambia in funzione:

- dell'andamento della curva di pulsazione, cioè della durata delle singole fasi;
- del livello di vuoto all'interno della guaina;
- della resistenza che oppone la guaina nella fase di chiusura.

Volendo stimare la forza di massaggio esercitata da una determinata guaina si può applicare la relazione:

$$F_m = V_m - V_g .$$

Dove:

F_m = forza di massaggio della guaina (kPa);

V_m = vuoto medio di mungitura riferito alle fasi a, b e c (kPa);

V_g = vuoto richiesto per la chiusura della guaina (kPa).

Per calcolare il vuoto medio di mungitura occorre fare riferimento al grafico di pulsazione. Nel caso di un pulsatore regolato a 120 cicli/min con un rapporto del 60%, che opera ad un vuoto di 40 kPa, sul diagramma di pulsazione si rileverà:

- fase a + b = 300 ms
- fase c + d = 200 ms
- fase a = 71 ms (20 kPa)
- fase b = 233 ms (40 kPa)
- fase c = 67 ms (20 kPa)
- fase d = 129 ms (0 kPa).

Il vuoto medio di mungitura si ottiene dalla media ponderata dei prodotti della durata di ciascuna fase per il corrispondente valore di vuoto, che per le fasi intermedie risulterà di 20 kPa:

$$V_m = \frac{(71 * 20) + (233 * 40) + (67 * 20)}{67 + 233 + 71} = 32,6 \text{ kPa} .$$

Considerando che il vuoto richiesto per la chiusura delle guaine è mediamente di circa 10 kPa, la forza di massaggio applicata al capezzolo risulterà di:

$$F_m = 32,6 - 10,0 = 22,6 \text{ kPa}.$$

Riquadro 7

Azione della pulsazione sulla guaina di mungitura

All'inizio della mungitura, fase di apertura della guaina, si registra un'elevata portata di latte. Per effetto della pulsazione la guaina, chiudendosi, arresta il flusso del latte comprimendo la punta del capezzolo. In questa fase essa esercita anche un'azione di massaggio sul capezzolo che viene percepita positivamente dall'animale.

Al termine della mungitura, a causa della riduzione della portata di latte, il capezzolo perderà il suo turgore e la guaina inizierà a scivolare durante la fase di apertura. In questa condizione il capezzolo non preme più contro la parete interna della guaina e questa può scivolare verso il basso o verso l'alto.

Quando il prendicapezzoli è pesante ed il vuoto operativo non elevato, lo scivolamento verso il basso risulta accentuato e la guaina si stacca e cade. Il più delle volte, però, il gruppo si arrampica sul capezzolo e si sposta verso una zona dove la maggiore consistenza del tessuto viene ad occludere l'imboccatura della guaina contro la mammella. Tutto ciò riduce ulteriormente il flusso di latte nei capezzoli che, ovviamente, non raggiungono il minimo del flusso contemporaneamente. E' questo il momento ideale per interrompere la mungitura effettuando il ripasso o staccando il gruppo prendicapezzoli.

La fase di basso flusso, inoltre, è accompagnata da un incremento del vuoto nella camera dell'imboccatura della guaina, in quanto la minore pressione esercitata dal capezzolo contro la guaina stessa permette all'aria di essere aspirata da questa intercapedine. La presenza del vuoto nella camera dell'imboccatura rappresenta il fattore determinante per evitare scivolamenti della guaina sul capezzolo.



A sinistra: **Fig. 27.** Il pulsatore pneumatico rappresenta la soluzione più funzionale per gli impianti a secchio o mobili (Fonte Manus).

A destra: **Fig. 28.** Nei pulsatori elettronici gli impulsi alle elettrovalvole sono dati da circuiti stampati (Fonte Interplus).



Fig. 29. Il pulsatore elettronico, rispetto a quello pneumatico, assicura una maggiore precisione nelle frequenze di pulsazione (Fonte Agritalia).

all'interno delle guaine fino a che viene raggiunto un equilibrio fra le forze che interagiscono fra guaina e portaguaina. Nelle pecore e nelle capre l'allungamento raggiunto dal capezzolo è stimato intorno al 130% rispetto allo stato precedente la mungitura. La condizione di equilibrio, vale a dire la corretta posizione della guaina sul capezzolo, dipende da forze opposte dovute:

- al vuoto all'interno della guaina, che tende ad attirare il capezzolo all'interno di essa;
- alla gravità, che tende a far staccare i prendicapezzoli dalla mammella;
- all'attrito che si genera dal contatto fra cute e guaina.

5.2 Tipi di pulsatori

I pulsatori possono venir comandati in modo centralizzato, oppure singolarmente. Il pulsatore si definisce individuale quando il dispositivo di azionamento - che può essere di tipo pneumatico, elettronico o elettromeccanico - risulta incorporato nel pulsatore stesso.

Si parla invece di pulsatore, o più propriamente di ripetitore, centralizzato quando il dispositivo di azionamento (centralina) risulta distinto dal corpo del pulsatore stesso. La centralina può essere installata in sala latte o in fossa in prossimità del terminale del latte.

Il numero di pulsatori o di ripetitori installati negli impianti per ovini e per caprini è in ragione di uno ogni due gruppi prendicapezzoli. L'insieme di più pulsatori o ripetitori dà origine ad un sistema di pulsazione.

I pulsatori individuali di tipo pneumatico o idropneumatico funzionano per effetto della differenza di pressione fra l'interno e l'esterno della condotta dell'aria di pulsazione (fig. 27). Nei pulsatori

di tipo elettronico gli impulsi alle elettrovalvole sono dati da circuiti stampati (figg. 28-29).

Il comando di tipo pneumatico è condizionato dalla stabilità del vuoto nel corso della mungitura. Difatti, se nell'impianto si verifica una caduta del livello di vuoto, dovuta ad esempio alla riserva utile insufficiente, la frequenza di pulsazione aumenta allontanandosi dai parametri prefissati per l'ottimale funzionamento. Il sistema di pulsazione pneumatico è la soluzione da preferire per gli impianti a secchio e mobili e in tutti quei casi in cui non si possa usufruire di una fonte di energia elettrica stabile e sufficiente.

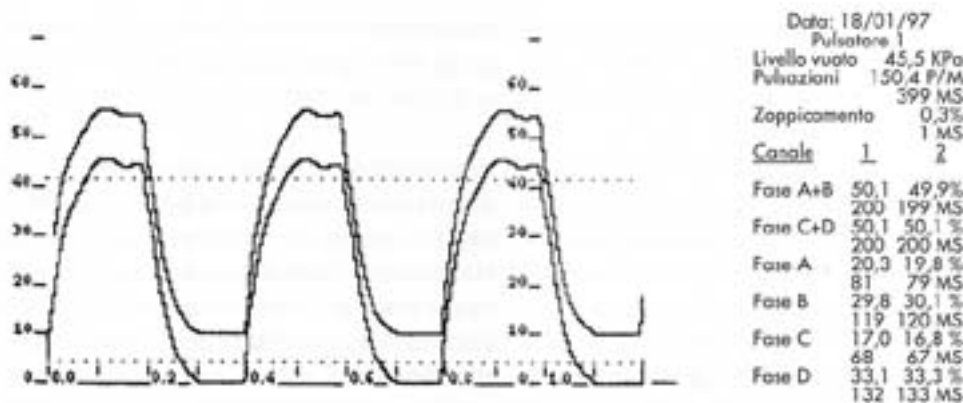


Fig. 30. Diagramma di pulsazione tracciato mediante pulsografo elettronico. Per convenzione la durata delle fasi del ciclo di pulsazione viene misurata in corrispondenza delle due linee tratteggiate situate a 4 kPa sotto il livello di vuoto massimo e sopra la pressione atmosferica.

Il sistema di pulsazione elettronico consente, rispetto a quello pneumatico, una maggiore precisione nelle frequenze e nel rapporto di pulsazione. Fra l'altro la possibilità di far funzionare in cascata, vale a dire sfalsati di una frazione di secondo, una serie di pulsatori a comando elettronico riduce notevolmente il volume d'aria atmosferica che penetra nell'impianto e, di conseguenza, l'eventuale caduta di vuoto nella condotta dell'aria di pulsazione.

5.3 Curva di pulsazione

La *frequenza di pulsazione* è data dal numero di cicli al minuto. Se il pulsatore è regolato alla frequenza di 120 cicli/min, la durata di ciascun ciclo sarà di 500 ms. Con l'innalzarsi delle frequenze di pulsazione la guaina rimane pressoché aperta e ciò provoca la riduzione della stimolazione tattile al capezzolo.

Il *rapporto del pulsatore* rappresenta la somma dei tempi di durata della fase di incremento del vuoto e della fase di massimo vuoto divisa per il tempo di durata del ciclo completo di variazione del vuoto nella camera di pulsazione. Questo rapporto viene espresso in percentuale con la formula: $(a + b) * 100 / (a + b + c + d)$.

La durata di ciascuna delle fasi del ciclo di pulsazione è misurata, per convenzione, tra i punti in cui il grafico interseca le linee disegnate a 4 kPa sotto il livello di vuoto massimo e sopra la pressione atmosferica (fig. 30).

Il rapporto del pulsatore può definirsi anche come il rapporto fra il tempo in cui la guaina è aperta per oltre la metà e il tempo in cui è aperta per meno della metà; esso viene espresso in percentuale del ciclo di pulsazione durante il quale la guaina è aperta per oltre la metà. Il flusso di latte dal capezzolo ha inizio un istante prima che la guaina sia per metà aperta e si ferma quando la guaina risulta per metà chiusa.

Il rapporto del pulsatore non è necessariamente costante, esso varia essenzialmente in base al tipo di guaina, al volume della camera di pulsazione e alla lunghezza dei tubi lunghi di pulsazione che influenzano in modo particolare la durata delle fasi intermedie "a" e "c".

Se le variazioni di pressione si registrano direttamente all'uscita del pulsatore si ottiene un grafico privo di curve, nel quale le fasi intermedie della pulsazione (fasi "a" e "c") risultano praticamente nulle. Di norma la guaina si chiude più rapidamente di quanto non si apra. Quando la registrazione viene effettuata nella camera di pulsazione si ottiene una vera curva di pulsazione (fig. 31); in questo caso la durata delle fasi intermedie cresce in misura proporzionale all'aumentare del volume d'aria da evacuare (camera di pulsazione + tubi di pulsazione) e della perdita di carico (lunghezza e diametro dei tubi di pulsazione).

Appare evidente che occorre limitare la durata delle fasi intermedie per non ridurre troppo quella delle fasi di mungitura e di massaggio. A tal fine si deve posizionare il pulsatore o il ripetitore il più vicino possibile ai prendicapezzoli per ridurre al minimo la lunghezza dei tubi di pulsazione.

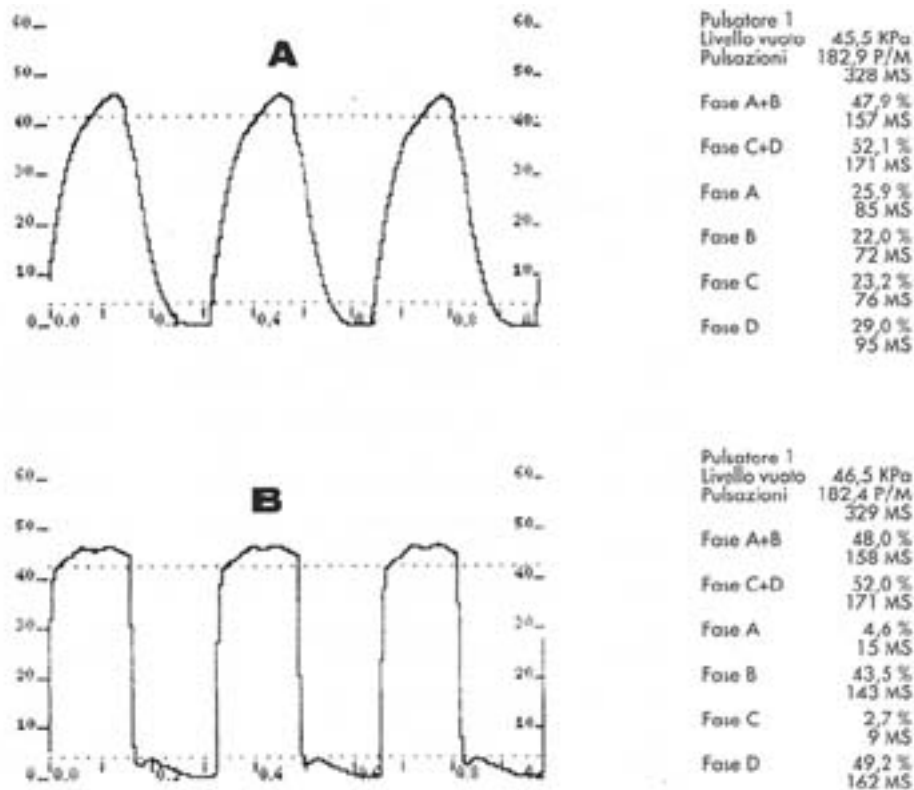


Fig. 31. Il grafico di pulsazione varia sensibilmente in funzione del punto in cui si effettua la registrazione: A) nella camera di pulsazione; B) all'uscita del pulsatore.

La pulsazione condiziona la qualità della mungitura, in quanto l'accrescimento della frequenza e del rapporto di pulsazione pur consentendo, di norma, una mungitura più rapida risulta più stressante per l'apparato mammario. Nella scelta dei parametri di funzionamento del pulsatore occorre tenere ben presente che:

- l'usura ed il consumo di aria dei pulsatori sono tanto più rilevanti quanto più elevata risulta la frequenza di pulsazione. La scelta di un valore relativamente basso consente di economizzare la capacità volumetrica della pompa per vuoto;
- scegliendo dei valori elevati di pulsazione (frequenze e rapporti) si corre il rischio di massaggiare insufficientemente il capezzolo con conseguente rischio per la salute della mammella.

Il tempo di apertura dell'orificio del capezzolo è tanto più breve quanto più rapida risulta l'applicazione della fase di suzione, quando cioè la fase "a" del ciclo è ridotta al minimo. In queste condizioni si registra una diminuzione del latte di sgocciolatura.

5.4 Prestazioni

Il costruttore è tenuto a fornire i principali parametri di funzionamento del pulsatore o del sistema di pulsazione, vale a dire:

- la frequenza ed il rapporto di pulsazione a determinati livelli di vuoto e di temperatura;

- il campo di temperature nel quale il pulsatore può operare senza che il valore di frequenza si discosti di ± 5 cicli/min;
- le curve tipiche rilevate nella camera di pulsazione di un dato gruppo prendicapezzoli;
- il consumo d'aria col gruppo prendicapezzoli collegato sotto specifiche condizioni operative;
- le portate d'aria di progetto riferite al punto d'attacco del pulsatore.

Il consumo d'aria di ciascun pulsatore, che serve una coppia di prendicapezzoli, non dovrebbe eccedere, mediamente, il valore di 25 l/min. La frequenza di pulsazione dovrà essere tale da contenere in ± 5 cicli/min la differenza dal valore fornito dall'installatore, mentre il rapporto del pulsatore non dovrà differire di ± 5 unità percentuali dal valore indicato dall'installatore. In un sistema di pulsazione i rapporti di tutti i pulsatori non dovranno variare fra loro di oltre 5 unità percentuali.

La caduta di vuoto durante la fase di mungitura non dovrà essere superiore a 4 kPa del livello di vuoto di pulsazione massimo nella camera di pulsazione, analogamente durante la fase di massaggio il vuoto dovrà essere superiore a 4 kPa. Per gli impianti col "doppio vuoto" (vuoto di pulsazione più elevato di quello di mungitura) la misura della caduta di vuoto della fase di mungitura va misurata a livello del vuoto di mungitura.

6 SISTEMA DEL LATTE

6.1 Lattodotto

Movimento del latte nella condotta

Il lattodotto esercita due funzioni: trasportare il latte dalle unità di mungitura fino al vaso terminale e distribuire il vuoto di mungitura creato dalla pompa. All'interno di questa condotta, pertanto, si muovono contemporaneamente due fluidi, il latte e l'aria, che devono mantenersi quanto più possibile separati.

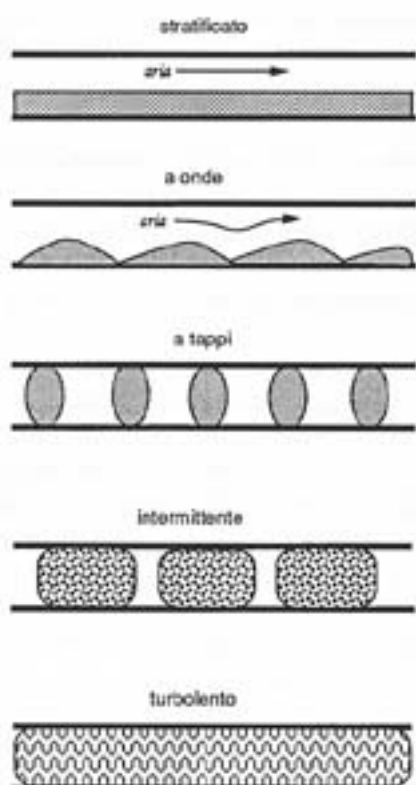


Fig. 32. Tipi di flusso del latte all'interno della condotta.

Negli impianti tradizionali, che di norma installano lattodotti in acciaio con diametro esterno di 50 mm, le condizioni di flusso all'interno delle condotte cambiano frequentemente a causa della variazione della portata di latte dei singoli capi e degli ingressi d'aria inevitabili durante la posa, la rimozione o la caduta dei gruppi prendicapezzoli. Nella situazione ottimale, il latte dovrebbe fluire nella parte inferiore del lattodotto, occupando non più del 40% della sua sezione trasversale, lasciando libera la parte superiore per il passaggio dell'aria.

Queste condizioni di flusso, che dovrebbero essere quelle ordinarie durante la mungitura in quanto garantiscono sufficiente stabilità del vuoto a livello dei gruppi, sono conosciute come *flusso stratificato* o *flusso laminare* (fig. 32).

Nella mungitura delle pecore e delle capre assai spesso il movimento del latte nella condotta avviene secondo un *flusso a onde*. Difatti, gli ingressi d'aria intermittenti - derivanti dall'elevata frequenza con la quale si posano e si rimuovono i gruppi prendicapezzoli o dallo scivolamento delle guaine - esercitano un effetto trascinante sulla superficie del latte fino a formare onde, primo stadio della formazione di tappi.

Gli ingressi d'aria intermittenti o transitori favoriscono la formazione di tappi di latte a causa della velocità (2-10 m/s) con la quale

l'aria si muove rispetto al liquido (0,5-1 m/s) all'interno della condotta. Per contro, l'immissione continua di aria, come avviene quando si pratica un'apertura calibrata nel collettore del latte, esercita un'influenza molto meno marcata sulla formazione dei tappi rispetto ad un'immissione intermittente.



In alto: **fig. 33.** Sala di mungitura a 24+24 poste con 8+8 gruppi prendicapezzioli e lattodotto in linea bassa (Fonte Alfa-Laval).

In basso: **fig. 34.** Impianto di mungitura a 12+12 poste con 12 gruppi prendicapezzioli e lattodotto in linee alta (Fonte Gascoigne-Melotte).

rilevano frequenti cadute di vuoto transitorie nel lattodotto, superiori a 2 kPa, che forniscono la forza per muovere i tappi stessi verso il terminale; il latte, infatti, si muove verso il luogo ove il vuoto risulta più alto. Questo tipo di deflusso si produce sempre nei tubi lunghi del latte di impianti in linea alta e nei lattodotti di diametro insufficiente. Naturalmente, la sporadica formazione di tappi nel lattodotto non deve essere consi-

Il *flusso a tappi*, pertanto, si verifica quando tappi di latte riempiono l'intera sezione trasversale del lattodotto; in queste condizioni si rilevano frequenti cadute di vuoto transitorie nel lattodotto, superiori a 2 kPa, che forniscono la forza per muovere i tappi stessi verso il terminale; il latte, infatti, si muove verso il luogo ove il vuoto risulta più alto. Questo tipo di deflusso si produce sempre nei tubi lunghi del latte di impianti in

linea alta e nei lattodotti di diametro insufficiente. Naturalmente, la sporadica formazione di tappi nel lattodotto non deve essere considerata come prova di cattivo funzionamento dell'impianto.

Se nel lattodotto caratterizzato da un flusso a tappi si accresce in maniera costante la portata dell'aria, e quindi la sua velocità, il deflusso del latte, definito *intermittente*, risulta caratterizzato dalla formazione di tappi di maggiori dimensioni. Questi ultimi divengono delle vere e proprie colonne di latte nei tubi lunghi del lattodotto in linea alta.

Si parla invece di *flusso turbolento* quando le portate di latte e di aria risultano molto elevate rispetto al diametro della condotta, in tal caso i due fluidi risultano intimamente mescolati fra loro e formano della schiuma (*riquadro 8*).

Linea alta e linea bassa

Per semplicità costruttiva il lattodotto può installarsi sopra il piano degli animali, ovvero in linea alta, di norma a ramo singolo, oppure sotto il piano degli animali, a ramo doppio aperto o chiuso ad anello, e in questo caso si parla di linea bassa (figg. 33-34). Per effettuare una comparazione tecnica e funzionale fra i sistemi a linea bassa e a linea alta, si deve fare riferimento al vuoto operativo e alla caduta media dello stesso registrabile nel corso della mungitura. Quest'ultimo, come è noto, rappresenta il principale parametro utilizzato per valutare le prestazioni degli impianti (*riquadro 9*).

A parità di ogni altro fattore (riserva utile, diametro conduttore, pulsazione, ecc.) con il lattodotto in linea alta risulta necessario:

- incrementare di 4-5 kPa il vuoto operativo per sollevare il latte dal livello della mammella a quello del lattodotto, con una risalita di circa 2 m, mentre con la linea bassa il latte cade nella condotta per effetto della gravità. L'innalzamento del vuoto di mungitura causa un maggiore stress alla mammella che, il più delle volte, si traduce in un aumento della carica leucocitaria nel latte;
- ammettere aria libera nel gruppo prendicapezzoli tramite apposito foro nel collettore o, nel caso di foro preesistente, incrementare la portata d'aria per facilitare il movimento del latte nel tratto verticale del tubo lungo che risulta, nella migliore delle ipotesi, un flusso del tipo a tappi. L'immissione di aria libera aumenta i consumi d'aria dell'impianto e può accentuare le fluttuazioni cicliche di vuoto sotto il capezzolo. Le variazioni di vuoto influenzano negativamente il processo di mungitura causando, fra l'altro, il dannoso fenomeno del *lavaggio del capezzolo*, ovvero del riflusso del latte contro il capezzolo. Questo evento determina il trasporto passivo di microrganismi e un aumento del grado di contaminazione batterica incrociata fra le tettarelle;

Movimento dei fluidi nei sistemi di mungitura

Quando un fluido si muove con basse velocità, le singole particelle fluiscono secondo linee parallele all'asse della condotta. Questo è chiamato flusso laminare o viscoso. Le particelle in contatto con le pareti della condotta rimangono stazionarie, mentre quelle al centro si muovono alla più alta velocità. Quando la velocità media aumenta notevolmente, il tipo di flusso cambia rapidamente da laminare a turbolento e le linee di flusso non sono né diritte né regolari, ma girano e si intrecciano come i vortici e scompaiono. La transizione da flusso laminare a turbolento dipende dal diametro della condotta e dalla velocità, densità e viscosità del fluido.

Con flusso laminare la caduta di vuoto è direttamente proporzionale alla portata, perché il gradiente di pressione è usato solo per produrre un flusso costante e non "consumato" per creare correnti vorticosi.

Con flusso turbolento l'energia spesa per creare e mantenere le correnti vorticosi è la principale sorgente di perdita per attrito nella condotta. La portata del fluido attraverso la condotta è proporzionale alla radice quadrata del gradiente di pressione. Quindi, dimezzando la portata d'aria (ad esempio utilizzando una condotta ad anello) si riduce la caduta di vuoto di un fattore pari a circa 4.

Caduta di vuoto nel circuito dell'aria e del latte

L'energia totale di un fluido, generata dal motore della pompa per vuoto, non rimane costante in ogni punto del sistema di mungitura, poiché parte dell'energia è spesa per vincere l'attrito quando l'aria e/o il latte si muovono attraverso le condutture. Il vuoto varia da un capo all'altro del sistema in quanto l'aria si muove verso la pompa.

Le differenze di pressione sono variamente conosciute come caduta di vuoto, caduta di pressione, perdita di carico, perdita di attrito. L'obiettivo del costruttore è quello di minimizzare la caduta di vuoto poiché ciò riduce la capacità di riserva utile della pompa e può ridurre sensibilmente le prestazioni di mungitura dell'intera installazione.

Come norma la pompa per vuoto deve possedere una portata sufficiente a contenere in 2 kPa la caduta di vuoto nel, o nei pressi, del vaso terminale del latte; mentre la caduta di vuoto fra valvola di regolazione e terminale non deve eccedere 1 kPa. La caduta di vuoto è minore a livelli operativi inferiori perché la velocità dell'aria all'interno delle condutture risulta ridotta. Ad un vuoto operativo di 40 kPa, ad esempio, la caduta di vuoto è l'80% circa dei valori misurati a 50 kPa.

La caduta media di vuoto che si registra nel corso della mungitura fra il vaso terminale ed il lattodotto non deve superare 2 kPa, in quanto la stabilità del vuoto è un elemento basilare per non irritare il capezzolo ed evitare maltrattamenti di tipo meccanico al latte.

Durante le operazioni di mungitura il livello del vuoto può diminuire, con andamento ciclico, quando aumenta il flusso del latte dall'animale e tale differenza risulta maggiore quando il latte deve essere sollevato al livello del lattodotto (linea alta). Le fluttuazioni di vuoto possono causare:

- sensazioni dolorose al livello del capezzolo;
 - ostacolo alla circolazione del sangue;
 - incompleta rimozione del latte munto e conseguente lavaggio dei capezzoli con latte proveniente anche dall'altra emimamella;
 - trasporto passivo di microrganismi.
-

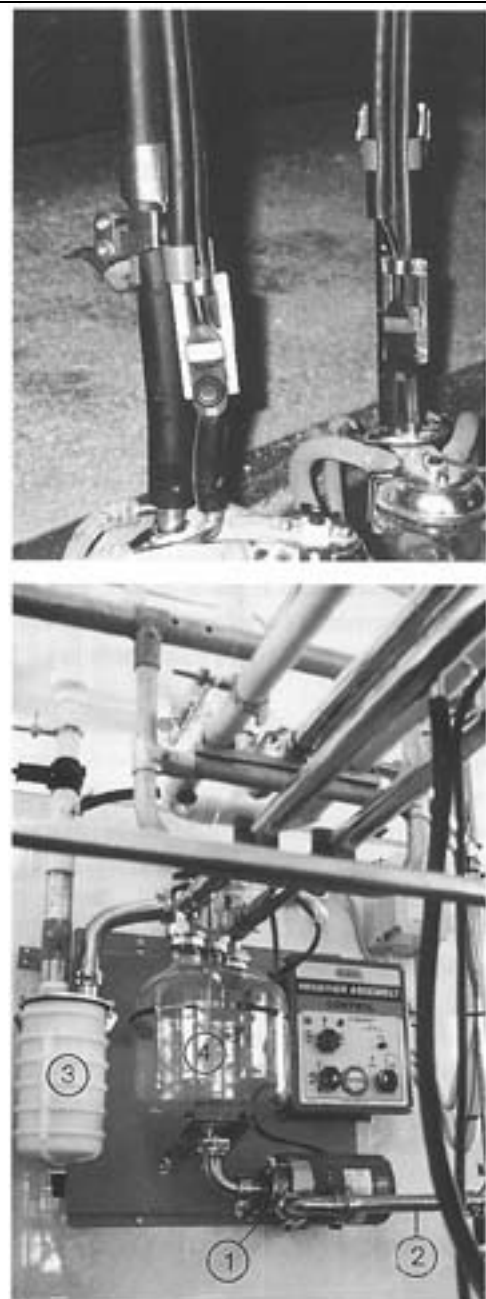


Fig. 36. Gruppo terminale del latte con estrattore di tipo centrifugo (Fonte Surge): 1) pompa centrifuga; 2) linea di scarico del latte; 3) separatore igienico; 4) vaso terminale.

- installare una condotta a ramo singolo che rispetto alla linea doppia chiusa ad anello garantisce una minore stabilità del vuoto agli ingressi estemporanei d'aria nel corso della mungitura.

Queste considerazioni giustificano la scelta effettuata dagli allevatori sardi che, come emerso da una recente indagine effettuata presso le APA, nel 94% dei casi hanno installato il lattodotto in linea bassa che sotto l'aspetto economico risulta in alcuni casi la soluzione più onerosa. Esclusivamente sotto l'aspetto dell'organizzazione del lavoro, la disposizione del lattodotto in linea alta può risultare vantaggiosa in alcune particolari circostanze:

- quando l'impianto, ad esempio 2x12 poste con 6 gruppi prendicapezzoli, è affidato ad un solo operatore. In questo caso può risultare più agevole gestire i 6 prendicapezzoli, disposti centralmente sulla fossa, alternativamente sulle due file di animali piuttosto che operare contemporaneamente su entrambe le file utilizzando 3 prendicapezzoli per fila;

- quando l'impianto è dotato di un dispositivo per il distacco automatico del gruppo prendicapezzoli a fine mungitura (fig. 35) la routine di mungitura risulta semplificata se l'operatore dispone di un prendicapezzoli per ciascuna posta. Questa condizione si può realizzare installando 12 prendicapezzoli per un impianto di 2x12 poste con lattodotto in linea alta, mentre per il medesimo impianto con il lattodotto basso occorrerebbero 24 prendicapezzoli.

Negli impianti in sala di mungitura su due file il lattodotto in linea bassa, per garantire la massima stabilità del vuoto, deve essere installato in modo da formare un anello chiuso con pendenza costante verso il terminale di 2 mm per m (0,2%). Le curve sulla canalizzazione devono possedere un raggio di almeno 75 mm.

La migliore stabilità del vuoto del circuito ad anello rispetto a quello aperto è motivata dal fatto che l'applicazione e la rimozione dei gruppi effettuata dai mungitori che lavorano sui lati opposti dell'anello, non sempre avviene simultaneamente. Mentre nella condotta aperta il volume di aria atmosferica che penetra in occasione della manipolazione dei gruppi deve essere smaltito interamente dall'unico ramo, con l'anello lo stesso volume d'aria viene ripartito in parti uguali sui due rami causando, quindi, una minore caduta di vuoto. La stabilità del vuoto sul circuito ad anello risulta accentuata nel caso in fossa operi un solo mungitore

Nel caso di lattodotto alto, di norma a ramo singolo, risulta necessario tenerlo il più vicino possibile al piano di mungitura senza superare mai i 2 m di altezza; è consigliabile, inoltre, evitare deviazioni nei tratti verticali dell'asse principale della condotta.

Nella fase di montaggio è opportuno adottare tutti quegli accorgimenti che evitino maltrattamenti al latte, difficoltà nella pulizia (raccordo delle tubazioni), ingressi d'aria indesiderati (estremità dei tubi sbavati). I rubinetti del latte devono essere installati nella metà superiore della condotta. In fase di montaggio si deve considerare anche la dilatazione termica dei materiali impiegati.

6.2 Linea di scarico

Fa parte del sistema latte la linea di scarico o lattodotto di evacuazione che trasporta il latte a pressione atmosferica dall'estrattore fino al serbatoio di raccolta (fig. 36). In merito al materiale da impiegare la soluzione migliore, anche se la più costosa, è rappresentata dall'acciaio; quando si utilizza la gomma è bene limitarne al massimo la lunghezza per evitare difficoltà in fase di lavaggio. Il diametro della condotta di scarico varia in funzione:

- della portata di latte da smaltire, che a sua volta dipende dal numero dei prendicapezzoli e dalla produttività degli animali;
- della distanza e della prevalenza tra la pompa estrattrice ed il serbatoio di raccolta.

6.3 Pompa estrattrice

Negli impianti a lattodotto il latte è trasportato sotto vuoto nel vaso terminale. L'estrattore o pompa estrattrice, denominata anche pompa del latte, ha il compito di riportare il latte a pressione atmosferica e di trasferirlo nei recipienti di raccolta. Nella quasi totalità dei casi l'estrattore è costituito da una pompa *centrifuga* e solo di rado si utilizza una pompa *a membrana*.

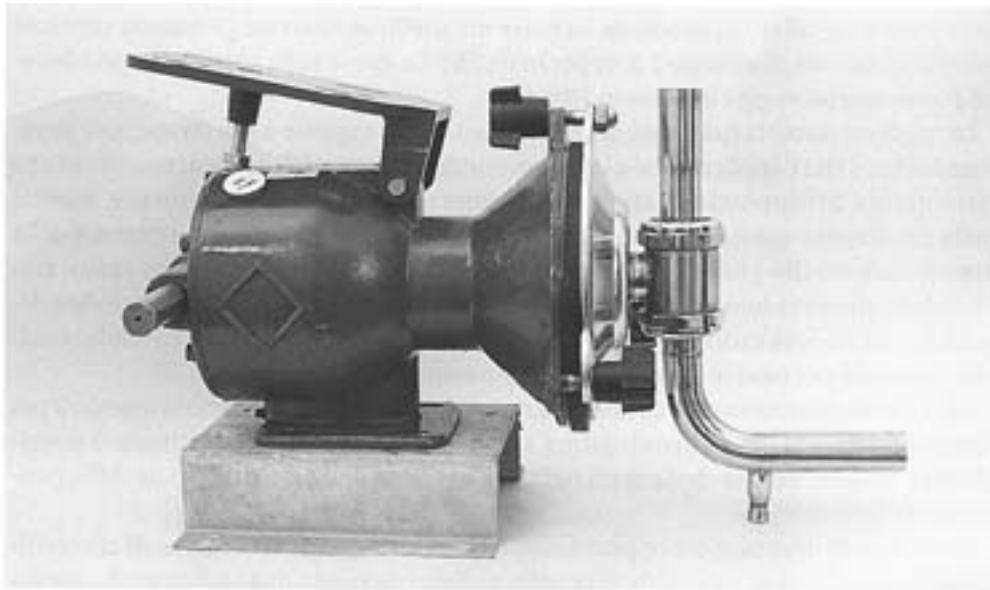


Fig. 37. Pompa estrattrice o membrana (Fonte Milkline).

Le pompe centrifughe (fig. 36) vincono la depressione esistente all'interno dell'impianto trascinando il latte ad alta velocità per rotazione di due palette. Questo tipo di pompa, per evitare fenomeni di lipolisi, deve rimanere sempre piena di latte. La pompa non dovrebbe danneggiare il latte e, in ogni caso, dovrebbe essere capace di scaricare il latte senza indebita formazione di schiuma. È importante farsi precisare dal fornitore le reali prestazioni delle pompe centrifughe il cui regime di rotazione risulta di norma di 2.800-3.100 giri/min, mentre la portata è mediamente intorno ai 100 l/min.

La pompa centrifuga, posizionata sotto il vaso terminale, è mossa da un motore elettrico comandato dal livello del latte presente nel vaso: un congegno ad elettrodi, oppure un sistema a galleggiante, provvederà, quando il latte raggiunge un determinato livello, ad attivare la pompa.

Nelle pompe a membrana (fig. 37), attraverso una camera a volume variabile creato da pressioni alterne e da un gioco di valvole, il latte, da sotto vuoto, viene sospinto a pressione atmosferica. La variazione di pressione può essere data da un pulsatore o da un'apposita pompa. Le pompe a membrana sono presenti nelle versioni ad una testa

o a due teste; a flusso continuo ogni testa pompa in media 20 l/min (a 36 colpi/min) e nel caso di portate maggiori si possono accoppiare più pompe. Le pompe estrartrici a membrana, quindi, hanno portata inferiore a quella delle pompe centrifughe, e di conseguenza offrono minori garanzie in fase di lavaggio, ma presentano il vantaggio di ridurre il maltrattamento del latte.

7 GRUPPO PRENDICAPEZZOLI

7.1 Architettura

Il gruppo prendicapezzoli deve essere studiato in modo da adattarsi alla mammella trovando collocazione nel ridotto spazio a disposizione tra la mammella stessa e il piano di appoggio dell'animale. Il gruppo, inoltre, deve, per quanto possibile, risultare in asse con i capezzoli onde evitare strozzature e trazioni che portano alla riduzione della velocità di emissione del latte e rischiano, in particolare per le capre, di danneggiare il legamento sospensore della mammella.

In generale si riscontrano due tipologie di gruppi prendicapezzoli: *sospeso* e *appoggiato a terra* (fig. 38). Il primo è appeso ad una catenella che permette di regolarne l'altezza in funzione dell'animale. Il secondo, utilizzato solo per le capre, è munito di un piccolo telaio, o di un semplice piedino, per l'appoggio sul piano di calpestio; in questo caso l'intero gruppo viene posizionato dal mungitore, prima dell'attacco, sotto l'addome dell'animale.

Nei gruppi di tipo sospeso il collettore sporge oltre le zampe posteriori dell'animale, verso la fossa, e consente all'operatore di accedere alla zona di lavoro, sotto l'animale, con i soli prendicapezzoli; ciò rende semplici ed agevoli le operazioni di attacco. La posizione dei prendicapezzoli risulta in sintonia con la conformazione della mammella caprina a condizione di utilizzare un gruppo sufficientemente leggero. Nei gruppi di tipo appoggiato a terra il collettore si trova sotto l'animale; i tubi corti del latte sono rettilinei e in asse col prendicapezzoli e ciò aumenta l'ingombro in altezza rispetto ai gruppi sospesi.

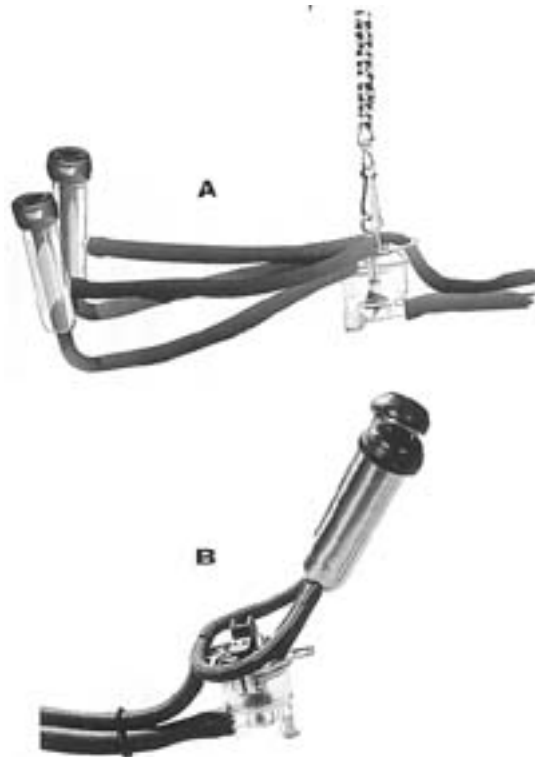


Fig. 38. Gruppi prendicapezzoli (Fonte Gascoigne-Malotte): A) di tipo sospeso per la mungitura posteriore delle pecore e delle capre; B) di tipo appoggiato a terra per la mungitura anteriore delle capre.

Questo fatto può rendere difficile il posizionamento del gruppo nel caso, piuttosto frequente, di animali che presentano la mammella molto vicina al piano di appoggio e richiede la frequente divaricazione delle zampe dell'animale.

A vantaggio del gruppo appoggiato è possibile rilevare migliori condizioni fluodinamiche, in quanto il passaggio del latte dal prendicapezzoli al collettore risulta diretto e con una notevole inclinazione verso quest'ultimo. Inoltre, il corretto orientamento del prendicapezzoli è garantito dalla posizione del collettore. Nei gruppi di tipo sospeso, invece, nel passaggio dalla guaina al collettore il latte deve superare un gomito e un tratto di tubo orizzontale con evidenti perdite di carico. L'inconveniente può essere ridotto con l'impiego di tubi corti del latte con un diametro interno adeguato (10 mm).

I gruppi appoggiati a terra si adattano bene negli impianti in cui si opera lateralmente all'animale (tunnel, spina di pesce), mentre negli impianti dove si devono applicare i gruppi da dietro l'animale (pettine, rotativi) risulta più funzionale l'uso dei gruppi sospesi.

7.2 Guaina e portaguaina

Nella guaina riveste grande importanza la dimensione dell'imboccatura la cui scelta dovrà basarsi anche sull'esperienza personale (figg. 28-39). Nella fase di mungitura la guaina deve aderire bene al capezzolo lasciandone libera solo l'estremità in modo che il vuoto possa agire esclusivamente sulla punta evitando il rischio di congestionare il corpo del capezzolo (*riquadro 10*).

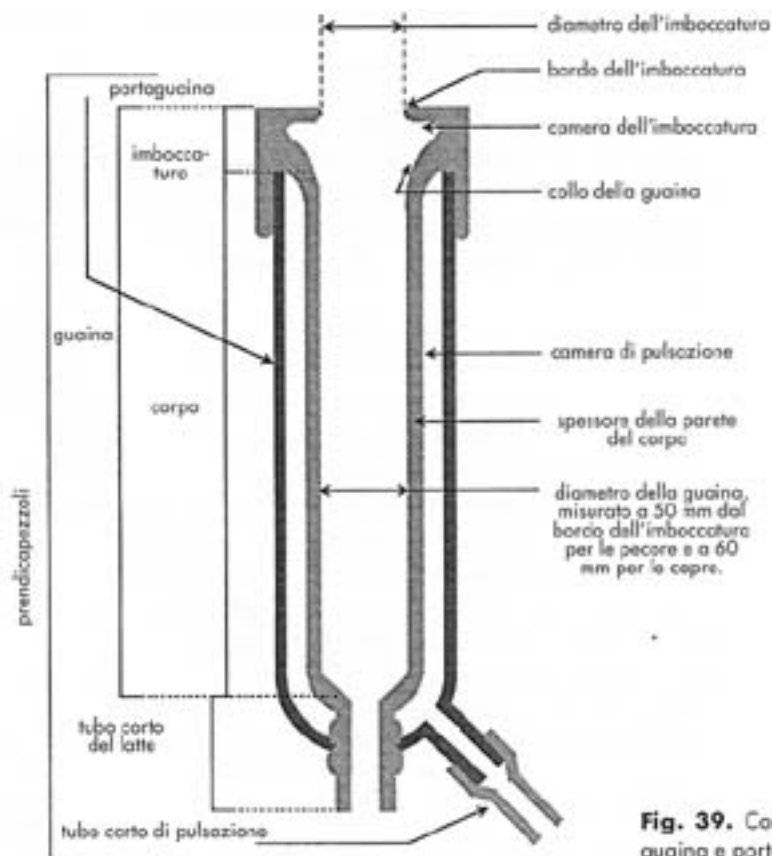
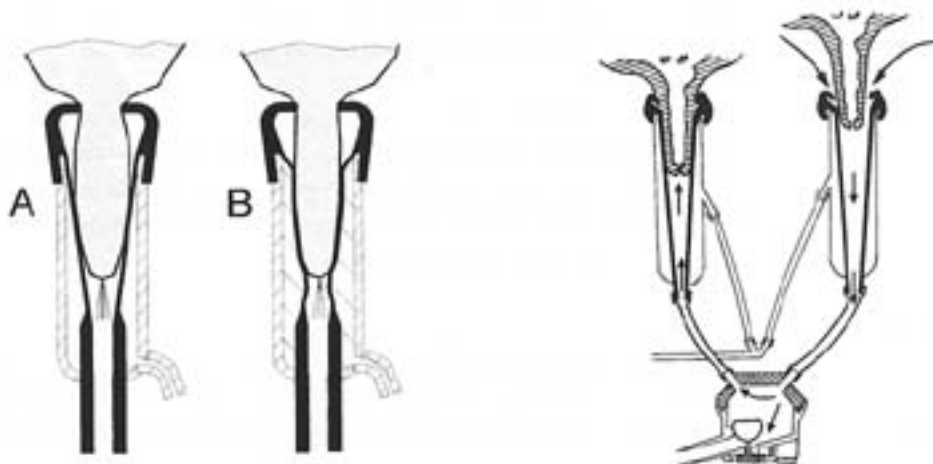


Fig. 39. Componenti di guaina e portaguaina.

Se l'imboccatura è stretta si manifesta in breve tempo un'irritazione nel capezzolo sotto forma di un anello violaceo. Nel caso di imboccatura larga la guaina si arrampica sulla mammella rallentando, o arrestando, il flusso del latte ed esponendo all'azione del vuoto una maggiore superficie del capezzolo. Con l'arrampicamento della guaina, nella fase di massaggio parte del capezzolo rimane esposto all'azione del vuoto, in quanto lo schiacciamento delle pareti che dovrebbe avvenire sotto la punta del capezzolo si verifica invece sul capezzolo stesso.



A sinistra: **fig. 40.** Una guaina troppo corta può rendere inefficiente la fase di massaggio (B).
A destra: **fig. 41.** L'aria atmosferica che penetra nel collettore, a causa dello scivolamento della guaina o quando si effettua la sgocciolatura meccanica, proietta il latte presente nel collettore contro il capezzolo del conello adiacente.

Nelle guaine utilizzate per gli ovini il diametro dell'imboccatura è, di norma, compreso fra 18 e 20 mm ed il corpo non supera i 110-120 mm. Per la mungitura delle capre si impiegano guaine di maggiori dimensioni: il diametro imboccatura può variare tra 20 e 22 mm, mentre la lunghezza del corpo è di 130-150 mm.

Il corpo della guaina deve risultare sufficientemente lungo per consentirne la chiusura sotto la punta del capezzolo. Ne consegue che imboccatura e corpo sono strettamente correlati: all'aumentare del diametro dell'imboccatura occorre incrementare la lunghezza del corpo per evitare che le pareti della guaina si chiudano sopra il capezzolo esponendo l'estremità dello stesso all'azione del vuoto anche durante la fase di massaggio (fig. 40). Questo inconveniente si verifica con maggior frequenza quando la mammella perde turgore, nelle fasi finali e intermedie della mungitura, con il conseguente arrampicamento del prendicapezzoli; il fenomeno risulta accentuato in particolare nelle capre con capezzolo di forma conica (*riquadro 11*).

Per evitare il pericolo della costante esposizione al vuoto del capezzolo la lunghezza minima del corpo della guaina risulta, orientativamente, pari a 90 mm per le pecore e a 110 mm per le capre. Questi valori, tuttavia, possono risultare insufficienti qualora siano presenti ispessimenti delle pareti alla base del corpo della guaina; la maggiore resistenza offerta dalle pareti della guaina, infatti, possono

*Riquadro 10***Come funziona la guaina di mungitura**

Nella mungitrice le maggiori perdite di carico si verificano nel gruppo prendicapezzoli in ragione delle modeste dimensioni dei suoi componenti (volume collettore, diametro dei tubi corti, ecc.). Il principale ostacolo al flusso del latte è rappresentato dal modesto diametro di uscita delle guaine che di norma risulta di 8-10 mm.

La scelta del diametro deve conciliare due esigenze contrastanti: evitare un forte ingresso d'aria nel caso di caduta del gruppo e garantire il rapido smaltimento del latte. Per soddisfare la prima esigenza si opterà per un piccolo diametro di uscita in quanto da un gruppo prendicapezzoli staccatosi accidentalmente entrano in media 500-700 l/min d'aria atmosferica. Il diametro piccolo, però, penalizza la guaina in termini di deflusso di latte e di stabilità del vuoto sotto il capezzolo soprattutto se si utilizza una frequenza di pulsazione elevata come 180 cicli/min.

Il freno al flusso del latte all'interno del tubo corto è tale che lo spazio situato immediatamente sotto il capezzolo risulta un volume chiuso, vale a dire praticamente isolato dal resto del circuito del vuoto. In queste condizioni ne consegue che:

- le fluttuazioni del vuoto sotto il capezzolo sono elevatissime. Durante la fase di massaggio si registrano valori di vuoto prossimi alla pressione atmosferica, mentre nella fase di suzione il vuoto può arrivare a 50-60 kPa;
- l'ampiezza del movimento delle guaine è debole. Il vuoto elevato che si trova sotto il capezzolo, associato alla velocità di pulsazione, impedisce alla guaina di aprirsi completamente durante la fase di suzione.

L'elasticità della guaina è un particolare di cui, probabilmente, si sottostima l'importanza. Una guaina "dura", vale a dire poco flessibile, nella fase di mungitura resterà più a lungo aperta rispetto ad una guaina "morbida" e sufficientemente flessibile. Con la guaina rigida il deflusso del latte risulta più rapido ma, per contro, lo svuotamento della mammella è meno completo.

Le guaine con pareti sottili e gomma morbida, che richiedono solo una piccola differenza di pressione per chiudersi, applicano una compressione, e quindi una stimolazione, relativamente bassa al capezzolo.

Le guaine in gomma morbida montate su un gruppo prendicapezzoli leggero, cioè con cannelli e collettore in materiale plastico, possono mungere efficacemente negli impianti con lattodotto in linea bassa e con livelli di vuoto intorno a 40 kPa. Se si utilizzano guaine con mescola di gomma dura è consigliabile operare con un vuoto di 43-44 kPa.

*Riquadro 11***Arrampicamento e scivolamento della guaina**

Quando la guaina si arrampica sulla mammella significa che il capezzolo penetra eccessivamente nel corpo della guaina stessa. In queste condizioni il flusso del latte subisce un forte rallentamento, o si arresta addirittura, in quanto le pareti più spesse della parte superiore del capezzolo (quelle più vicine alla mammella) riempiono l'imboccatura della guaina. La punta del capezzolo esposta costantemente al vuoto si gonfia, provocando dolore all'animale, a causa dell'accumulo di sangue e di liquido linfatico.

Il capezzolo aderisce alla guaina per effetto della pressione del latte contenuto al suo interno; al termine della mungitura, quando la mammella perde il suo turgore, la guaina può scivolare in basso o, addirittura, cadere se si opera con un livello di vuoto piuttosto basso ed i gruppi sono pesanti. Lo scivolamento della guaina durante la mungitura, fenomeno osservabile soprattutto negli impianti a linea alta, comporta l'ingresso di elevate quantità di aria che, a loro volta, creano le condizioni per il verificarsi del cosiddetto *flusso incrociato*: l'aria atmosferica che raggiunge il collettore muove il latte verso l'altra guaina col conseguente rischio di contaminazione microbica (fig. 41).

Il *flusso inverso*, invece, è legato al movimento di apertura delle pareti della guaina che provoca una forte depressione localizzata in prossimità della punta del capezzolo. Il gradiente di pressione che si realizza in queste condizioni richiama le goccioline di latte presenti sulle pareti della guaina e del tubo corto del latte, facendo loro effettuare un percorso inverso, cioè dal basso verso l'alto. Nella fase finale della mungitura, quando non c'è più latte nel capezzolo, aumentano le probabilità che i microrganismi presenti nelle goccioline possano penetrare nel capezzolo o colonizzare il canale di deflusso del latte. Il fenomeno si osserva sempre in concomitanza di forti ingressi d'aria associati alla sgocciolatura meccanica o alla brusca rimozione del gruppo prendicapezzoli.

Il flusso inverso si può limitare adottando tutti quelle soluzioni che riducono le fluttuazioni del vuoto (riserva utile, diametro condutture del latte e del vuoto, ecc.) e che facilitano il deflusso del latte (diametro tubi corti del latte, volume e disegno del collettore, ecc.).

ridurre in misura considerevole la porzione del corpo in grado di schiacciarsi per azione della pressione atmosferica presente nella camera di pulsazione durante la fase di massaggio.

Per quanto riguarda il disegno della guaina, i risultati di alcuni studi hanno dimostrato che le prestazioni delle guaine in silicone non risultano influenzate dalla forma cilindrica o conica. Per contro, con le guaine in gomma le migliori caratteristiche di mungitura si sono ottenute con la forma conica che meglio si adatta alla tipica conformazione del capezzolo dei piccoli ruminanti.

In merito al diametro del corpo, le guaine più strette garantiscono migliori condizioni di mungitura in quanto riducono lo stiramento del capezzolo necessario per portare lo stesso a contatto delle pareti del corpo. In pratica le guaine con diametro minore frenano la discesa del capezzolo lungo il corpo e impediscono allo sfintere di superare il punto oltre il quale la guaina, chiudendosi nella fase di massaggio, lascia esposta al vuoto una porzione del capezzolo stesso.

Il peso del bicchiere portaguaina, determinato dal materiale con cui viene realizzato (plastica o acciaio), può influenzare positivamente la velocità di estrazione del latte. Difatti, con l'aumento del peso sul capezzolo si esercita una trazione, che favorendo la distensione dei tessuti e l'apertura della cisterna capezzolare, migliora l'afflusso di latte allo sfintere e riduce il volume del latte di sgocciolatura.

Nella mungitura delle pecore, dove il prendicapezzoli è sempre sospeso, il portaguaina in plastica trasparente è generalmente associato alla guaina in silicone; ma non vi sono controindicazioni per l'uso di cannelli in acciaio. Per le capre, invece, il materiale del portaguaina dipende dalla tipologia del gruppo prendicapezzoli che può essere di tipo sospeso o appoggiato a terra. Nel primo caso è consigliabile non appesantire il gruppo con portaguaina in acciaio per ridurre la trazione verticale sui capezzoli che nelle capre, di norma, si presentano inclinati in avanti. La maggiore trazione sulla mammella nel corso della mungitura sposta i capezzoli in una posizione innaturale e può provocare la strozzatura del canale capezzolare. Con i gruppi appoggiati al suolo viene in ogni situazione garantita la giusta posizione ed il corretto orientamento del gruppo stesso rispetto ai capezzoli.

7.3 Collettore del latte

Fra le diverse caratteristiche del collettore del latte (forma, peso, portata, ecc.) risulta di particolare importanza il volume utile o la capacità che deve essere sufficiente per consentire la completa separazione del latte dall'aria. Capacità eccessive portano a

maltrattamento meccanico del latte (sbattimento) ed a fluttuazioni di vuoto (*riquadro 12*).

Per gli ovini la capacità minima del collettore non dovrebbe essere inferiore a 45 ml e, per evitare eccessive fluttuazioni del vuoto, è bene non superare i 150 ml di capacità. Per le capre il volume dei collettori presenti sul mercato varia da 75 a 200 ml e nel caso di forti lattifere si arriva anche a 250 ml (*fig. 42*).



Fig. 42. Il volume del collettore utilizzato per la mungitura delle capre di norma è compreso fra 75 e 250 ml.

La forma del collettore rappresenta un'importante caratteristica che influisce sulla sua capacità di evacuazione. A tal fine è opportuno che la direzione d'ingresso del latte dai tubi corti sia rivolta verso l'uscita del tubo lungo e, possibilmente, tangenziale alla parete del collettore. In tal modo viene favorito il deflusso del latte evitando turbolenze e ingorghi indesiderati.

Negli impianti con lattodotto in linea alta, per consentire al latte di superare un dislivello di circa due metri è indispensabile praticare nel collettore un piccolo foro che consente l'ingresso di circa 10 l/min di aria libera (*riquadro 13*).

Nelle installazioni con lattodotto in linea bassa, un buon collettore richiede modestissime portate d'aria per assicurare il rapido deflusso del latte; il più delle volte si fa ricorso ad elevati ingressi d'aria per sopperire a carenze funzionali del collettore stesso. Quando è possibile, quindi, occorre evitare, o quantomeno limitare, l'ingresso d'aria atmosferica che riduce la riserva utile, causa forti fluttuazioni del livello del vuoto e contribuisce all'inquinamento microbiologico del latte in ragione del livello igienico della sala di mungitura (*riquadro 14*).

In ogni caso le infiltrazioni d'aria libera attraverso la valvola di chiusura del vuoto, quando essa è chiusa, dovranno essere minori o uguali a 2 l/min. Questo valore può elevarsi a 12 l/min nel caso di dispositivi automatici che limitano gli ingressi d'aria nelle operazioni di attacco e di rimozione dei gruppi prendicapezzoli.

Fluttuazioni del vuoto nel collettore

Le fluttuazioni del vuoto generate all'interno del collettore del latte possono essere di due tipi: cicliche e irregolari.

Le *fluttuazioni cicliche* risultano dall'effetto combinato della pulsazione e della presenza di liquido nei tubi corti del latte e nelle guaine. Ciò avviene perché il latte in transito impedisce il libero movimento dell'aria attraverso le guaine come esse si aprono e si chiudono per effetto della pulsazione.

Le *fluttuazioni irregolari* generate nel collettore, e più in generale all'interno del gruppo pendicapezzoli, sono causate dall'infiltrazione improvvisa di aria libera fra guaina e capezzolo, e sono spesso accentuate dalla presenza di latte all'interno del gruppo. Lo scivolamento delle guaine, la sgocciolatura meccanica e la brusca o maldestra rimozione del gruppo, causano rapide e transitorie cadute di vuoto, con picchi di 8-9 kPa, all'interno della guaina e del collettore. Fattori come capacità della pompa, sensibilità del regolatore del vuoto e dimensioni delle condutture dell'aria e del latte, producono un effetto trascurabile sulla velocità delle cadute di vuoto dentro il gruppo. Essi, tuttavia, possono influenzare il grado di caduta del vuoto e la velocità di ripristino del normale vuoto di mungitura dopo che l'ingresso acuto di aria è stato bloccato.

Gli effetti più importanti delle fluttuazioni generate all'interno del gruppo, sono l'aumento del grado di contaminazione batterica fra le tettarelle e la più rapida diffusione di nuove infezioni mastitiche.

Movimento del latte nel gruppo prendicapezzoli

L'energia necessaria al trasporto del latte è fornita dal vuoto. In normali condizioni di mungitura il latte estratto dal capezzolo defluisce muovendosi verso il luogo ove il vuoto risulta più alto, vale a dire verso il lattodotto. Se quest'ultimo è installato in linea alta, o quando il gruppo prendicapezzoli ha difficoltà a smaltire i fluidi, si ammette una notevole quantità d'aria, 15-20 l/min, nel collettore per facilitare l'evacuazione del latte.

L'aria libera è normalmente ammessa attraverso il foro del collettore ad una portata di 5-10 l/min. Come entra nell'impianto, l'aria si espande per circa il doppio del volume di aria libera in funzione del livello di vuoto del collettore. In tal modo si riduce la densità della miscela aria-latte e ciò determina una sensibile attenuazione della caduta di vuoto.

Quando il rapporto aria/latte è pari a zero (tubo lungo pieno di latte), l'elevazione del liquido verso il lattodotto alto 1,5 m crea una caduta di vuoto nel collettore di 15 kPa, che fornisce l'energia necessaria per vincere il peso della colonna di liquido. Nel caso di un rapporto aria/latte uguale a 2 (aria 6 l/min e latte 3 l/min) la caduta di vuoto risulta poco meno di 4 kPa.

E' bene precisare che portate eccessive di aria libera nel collettore possono incrementare la caduta di vuoto, perchè i benefici effetti della riduzione della densità del fluido sono più che compensati dall'aumento delle perdite per attrito risultanti dalle superiori velocità del fluido.

*Riquadro 14***Movimento dell'aria attraverso un orifizio**

L'ingresso dell'aria nel collettore del latte costituisce uno degli esempi di movimento dell'aria in orifizio (piccola apertura rispetto al volume del recipiente) in parete sottile riscontrabili nella mungitura meccanica. La comprensione dei dati fisici del problema conduce a delle applicazioni pratiche, quali:

- la stima e la misura (a mezzo asometro) dell'ingresso d'aria nel collettore;
- la misura (a mezzo flussometro a orifizi) dei consumi d'aria di una installazione.

Il volume e la velocità dell'aria che fluisce attraverso il foro calibrato aumentano proporzionalmente all'aumentare del vuoto all'interno del collettore sino al raggiungimento di un punto critico. In pratica il volume del flusso d'aria aumenta fino a che il rapporto fra la pressione a valle del foro e quella a monte non raggiunge il valore critico di 0,525. Al di là di questo rapporto, anche se la pressione a valle continua a decrescere, il flusso rimane costante perché l'orifizio è saturo e la velocità dell'aria è vicina a quella del suono (320 m/s). Per una pressione atmosferica di 100 kPa le condizioni critiche sono raggiunte quando il vuoto all'interno del collettore raggiunge 46,5 kPa (53,5 kPa di pressione). In queste condizioni il rapporto fra le pressioni sull'uno e sull'altro lato dell'apertura risulta di 0,525.

Alla pressione atmosferica di 100 kPa, nota la sezione del foro (S) in mm², il flusso massimo (Q) attraverso l'orifizio si può stimare con la relazione:

$$Q = 12 S .$$

Dove:

Q = flusso massimo d'aria (l/min);

S = sezione del foro d'ingresso d'aria (mm²).

Per un diametro di 0,8 mm si ottiene un flusso di 6 l/min (12 * 0,5 mm²). La formula fornisce un risultato approssimativo in quanto il flusso d'aria si modifica anche in funzione della forma dell'orifizio (bordi taglienti o arrotondati) e dello spessore del materiale.

Bibliografia principale

- Bonazzi G., Codeluppi M.**, *REFLUI ZOOTECNICI E SALE DI MUNGITURA*, Banco Ambrosiano Veneto, 1996, pp. 87-132.
- Boullion J., Le Mens P.**, *Comparaison de differents manchons-trayeurs chez la chevre*. "III Symposium Internacional de ordeño mecanico de pequenos rumiantes", Valladolid (España), 16-20 majo, 1983, pp. 479-481.
- Bramley A. J., Dodd F.H., Mein G.A.**, *MACHINE MILKING AND LACTATION*. Insight Books, Vermont, USA, pp. 1-435.
- Corsini R.**, *Il pulsatore, cuore della mungitrice*. "Informatore Zootecnico", n. 18, 1996, pp. 42-43.
- ISO 6690**, *Impianti di mungitura meccanica: prove meccaniche*. 1996, pp. 1-28.
- Kassaliyski M., Petrov G.**, *Some results obtained from machine milking of sheep by milking unit model "almatic"*. 5th International Symposium on machine milking of small ruminants, Budapest (Hungary), may 14-20, 1993, pp. 409-415.
- Le Du J.**, *Paramètres de fonctionnement affectant l'efficacité des machines à traire pour brebis*, 36^{ème} Reunion Annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie, Kallithea Grèce, 30 sept-3 oct., 1985.
- Le Mens P., Disset R.**, *Comparaison de deux griffes a traire les chèvres*. "III Symposium Internacional de ordeño mecanico de pequenos rumiantes", Valladolid (España), 16-20 majo, 1983, pp. 482-484.
- Pazzona A.**, *La mungitura meccanica degli ovini: analisi preliminare e prime soluzioni*, "Informatore Zootecnico", n. 7, 1978, pp. 18-23.
- Pazzona A.**, *La mungitura meccanica dei caprini: aspetti tecnici ed economici*, "L'Informatore Agrario", n. 45, 1979, pp. 7993-8010.
- Pazzona A.**, *MUNGITURA MECCANICA DEGLI OVINI*, Universale Edagricole, Bologna, n. 123, 1980.
- Pazzona A.**, *Realisation et essai d'un nouveau recipient de contrôle pour la traite des brebis*. "III Symposium Internacional de ordeño mecanico de pequenos rumiantes", Valladolid (España), 16-20 majo, 1983, pp. 445-451.
- Pazzona A., Paschino F.**, *Analyse et comparaison de differents manchons dans la traite mécanique des brebis*, "36^{ème} Réunion Annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie", Kallithea (Grèce), 30 sept.-3 oct., 1985, pp. 1-11.
- Pazzona A., Canalis C.**, *Caratteristiche costruttive, funzionali e operative degli impianti di mungitura e infezioni mastitiche negli ovini e caprini*. "Il Vergaro", n°5, 1986, pp.13-19.
- Pazzona A.**, *Il ruolo della piccola e media impresa nella produzione di impianti e attrezzature per la zootecnia mediterranea*. "L'innovazione tecnologica nelle imprese artigiane e nelle piccole imprese", Cagliari, 14 giugno, 1986, pp. 97-130.
- Pazzona A., Murgia L.**, *Analisi dei fattori ambientali nella mungitura meccanica di ovini e caprini*. Convegno V° Sezione AIGR "Infortunistica sicurezza e confort nella meccanizzazione agricola e forestale e nei fabbricati di esercizio", Firenze, 2-3 dic., 1986, pp.75-80.
- Pazzona A.**, *Meccanizzazione degli allevamenti ovini e caprini*, "Macchine & Motori Agricoli", n. 9, 1989, pp. 49-73.
- Pazzona A.**, *Il doppio vuoto per la mungitura degli ovini e dei caprini*. "Informatore Zootecnico", n°12, 1990, pp.47-49.
- Pazzona A., Murgia L.**, *Effetto del vuoto di mungitura e delle frequenze di pulsazione sulla carica leucocitaria del latte di pecora*, "L'Informatore Agrario", n. 42, 1993, pp. 43-46.

Pazzona A., Murgia L., *Estimation of noise-induced hearing impairment risk in sheep dayry farming.* "Journal Agricultural Engineering Research", n°55, 1993, pp.107-112.

Pazzona A., MUNGITURA MECCANICA E REFRIGERAZIONE DEL LATTE ALLA STALLA, Istituto Nazionale di Economia Agraria, Quaderni di zootecnia, n. 15, 1994.

Pazzona A., Murgia L., *Mungitrici per ovini: la condotta del latte.* "Informatore Zootecnico", n. 19, 1996, pp. 45-46.

Pazzona A., Murgia L., *Dimensionamento e prestazioni del lattodotto nelle mungitrici per ovini.* "L'Informatore Agrario", n. 8, 1997, 89-93.

Pazzona A., Murgia L., *Il gruppo prendicapezzoli per la mungitura di ovini e di caprini.* "L'Informatore Agrario", n. 28, 1997, 43-47.

Unalat-Crpa, *Gli impianti di mungitura: 2ª parte- Pompe, regolatori, condutture, vacuometri,* "L'Informatore Agrario", n. 14, 1991, pp. 33-43.

Unalat-Crpa, *Gli impianti di mungitura: 4ª parte - Macchine mungitrici,* "L'Informatore Agrario", n. 34, 1991, pp. 37-49.

UNI, *Impianti per la mungitura meccanica delle specie ovina e caprina: rterminologia, equisiti costruttivi e prestazionali (progetto di norma U590C2240),* Milano, 1997, pp. 1-50.

Parte terza

DIMENSIONAMENTO E CONDUZIONE DEGLI IMPIANTI DI
MUNGITURA

8 POMPA PER VUOTO

8.1 Riserva utile

La riserva utile del vuoto costituisce un elemento basilare per il corretto funzionamento dell'impianto di mungitura. Nel caso di riserva utile inadeguata i tempi di mungitura si allungano, le fluttuazioni del vuoto aumentano e i gruppi cadono con maggiore frequenza.

La riserva utile corrisponde al volume d'aria che entra dal regolatore del vuoto nel corso della mungitura. Essa rappresenta una quota della portata della pompa immediatamente disponibile per compensare gli ingressi d'aria che normalmente si registrano nella routine di mungitura (attacco e stacco dei gruppi prendicapezzoli, sgocciolatura meccanica) e quelli imprevisi causati dallo scivolamento delle guaine o dalla caduta dei gruppi.

Come la portata della pompa, anche la riserva utile è correlata alle caratteristiche e alle dimensioni degli impianti (tab. 4). Per la mungitura degli ovini con impianti a lattodotto fino ad un massimo di 10 gruppi prendicapezzoli si ritiene necessaria una portata della riserva utile di vuoto pari a $240 + 60 n$ l/min di aria libera, dove n rappresenta il numero di gruppi. Per installazioni con oltre 10 gruppi sono richiesti 900 l/min più 40 l/min di aria libera per ogni gruppo oltre il decimo.

Tabella 4 - Valori minimi della riserva utile e della portata della pompa per vuoto con valvola manuale di chiusura del collettore.

| Specie da latte | Gruppi di mungitura (n) | Riserva utile (l/min di aria libera) | | Portata della pompa per vuoto* (l/min di aria libera a 50 kPa) | |
|-----------------|-------------------------|---|--------------------|--|--------------------|
| | | Impianti a lattodotto e a vaso misuratore | Impianti a secchio | Impianti a lattodotto e a vaso misuratore | Impianti a secchio |
| Capre | da 2 a 10 | $180 + 50 n$ | $180 + 30 n$ | $200 + 80 n$ | $230 + 50 n$ |
| | oltre 10 | $680 + 30 (n - 10)$ | | $1000 + 50 (n - 10)$ | |
| Pecore | da 2 a 10 | $240 + 60 n$ | $180 + 40 n$ | $250 + 100 n$ | $250 + 60 n$ |
| | oltre 10 | $840 + 40 (n - 10)$ | | $1250 + 60 n$ | |

*I valori ricavati dalla tabella sono indicativi; per il calcolo esatto della portata si deve ricorrere ad un procedi-

La riserva utile necessaria per la mungitura dei caprini risulta inferiore, mediamente, del 20% circa rispetto a quella degli ovini. La differenza è determinata dal fatto che le capre, avendo un tempo maggiore di emissione del latte, richiedono un numero minore di

operazioni di attacco-stacco nell'unità di tempo con conseguente minore ingresso d'aria durante la mungitura.

Occorre tenere sempre presente che la stabilità del vuoto nel corso della mungitura non dipende esclusivamente dall'entità della riserva utile. Anche l'utilizzazione di un regolatore poco efficiente può rendere instabile il vuoto a prescindere dall'ammontare della riserva.

8.2 Dimensionamento della pompa

Il dimensionamento della pompa per vuoto è basilare nella progettazione dell'impianto di mungitura, in quanto eventuali carenze si ripercuotono inevitabilmente sulla produttività del lavoro e, soprattutto, sulla salute degli animali a causa delle fluttuazioni di vuoto nell'impianto. Per contro, il sovradimensionamento porta a maggiori investimenti e ad un dispendio di energia (fig. 43). Come è noto, portate d'aria insufficienti incrementano l'entità e il numero delle cadute di vuoto, rallentano la mungitura e facilitano la caduta dei gruppi prendicapezzoli.

In riferimento alle portate d'aria che attraversano i componenti dell'impianto si usa distinguere fra consumi e perdite. Per *consumo del componente* s'intende il volume d'aria che passa attraverso il componente stesso nel corso del suo normale funzionamento (collettore del latte, pulsatore, ecc.). Si definisce, invece, *consumo della condotta* la perdita di carico dovuta all'attrito prodotto dal movimento dell'aria all'interno della canalizzazione. Sono considerate *perdite del componente* i volumi d'aria che s'infiltrano attraverso il componente stesso nonostante questo risulti nominalmente chiuso (rubinetti del latte e del vuoto, raccordi delle condutture, regolatore, ecc.).

La pompa per vuoto dovrà possedere una portata adeguata alle esigenze operative dell'impianto con l'inclusione di tutti gli accessori che richiedono aria, continuamente o in maniera intermittente, per il loro funzionamento nel corso della mungitura e del lavaggio. La pompa per vuoto, quindi, dovrà essere in grado di estrarre tutta l'aria che penetra nell'impianto: sotto forma di riserva utile o di perdite al regolatore e alle condutture del vuoto, per far funzionare i pulsatori e i vasi misuratori, attraverso i gruppi prendicapezzoli, ecc.

La capacità volumetrica della pompa è data dalla sommatoria dei consumi, delle perdite e della riserva utile. In sintesi la portata della pompa si può rappresentare attraverso la seguente relazione, nella quale i valori percentuali riportati a fianco dei simboli possono subire piccole variazioni in funzione delle caratteristiche dell'impianto:

$$Q_p = C_l (3\%) + C_v (5\%) + G_p (17\%) + R_v (8\%) + R_u (67\%) = 100\% .$$

Dove:

Q_p = portata della pompa per vuoto;

C_l = consumi e perdite della condotta e dei rubinetti del latte;

C_v = consumi e perdite della condotta e dei rubinetti del vuoto;

G_p = consumi e perdite dei gruppi prendicapezzoli relativi ai collettori e ai pulsatori;

R_v = consumi e perdite del regolatore del vuoto;

R_u = riserva utile del vuoto.

Si deve ricordare, inoltre, che la pompa per vuoto estrae un minor volume d'aria quando la pressione atmosferica è bassa (*riquadro 15*). Pertanto, quando la pompa funziona ad altitudini superiori a 300 m s.l.m. è necessario applicare un fattore di correzione per consentire la comparazione con portate determinate alla pressione atmosferica ambiente di 100 kPa.

Riquadro 15

Portata della pompa per vuoto a differenti altitudini

In mungitura meccanica i volumi d'aria che penetrano nell'impianto vengono espressi in volumi d'*aria libera o aria atmosferica*, vale a dire riferiti alle condizioni dell'atmosfera normale (pressione di 100 kPa e temperatura di 20 °C). Il volume d'aria all'interno dell'impianto, a temperatura atmosferica ambiente e ad un dato livello di vuoto, viene indicato col termine di *aria espansa*.

A temperatura costante vale la relazione (legge di Boyle e Mariotte):

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

P_1V_1 = pressione e volume dell'atmosfera

P_2V_2 = pressione e volume dell'impianto di mungitura.

Quando un volume (V_1) di 1 litro, alla pressione atmosferica di 100 kPa, entra in un sistema di mungitura che opera ad un vuoto (P_2) di 50 kPa si espande per due volte il proprio volume (V_2):

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_1 - P_2} = \frac{100 * 1}{100 - 50} = 2 \text{ litri .}$$

Se la pressione atmosferica è bassa, ad esempio 96 kPa, allora un'unità di volume d'aria libera si espande a 2,08 unità di volume a 50 kPa di vuoto:

$$V_2 = \frac{96 * 1}{96 - 50} = 2,08 \text{ litri .}$$

Quando la pressione è alta, ad esempio 104 kPa, un'unità di volume d'aria si espande a 1,93 unità di volume a 50 kPa di vuoto:

$$V_2 = \frac{104 * 1}{104 - 50} = 1,93 \text{ litri .}$$

Ne consegue che la pompa per vuoto estrae un minor volume d'aria quando il rapporto di espansione è maggiore, cioè quando la pressione atmosferica è bassa (e viceversa). Ad esempio, la pressione atmosferica ad un'altitudine di 1.000 m è di circa 89 kPa; a questa altitudine la portata della pompa si riduce del 14% rispetto al livello del mare. Si può quindi affermare che, per un dato valore di vuoto, la portata della pompa si riduce con l'altitudine.

Sulla capacità della pompa, tuttavia, influisce in misura considerevole anche il livello di vuoto all'interno dell'impianto: quanto maggiore sarà il vuoto all'ingresso della pompa, tanto minore risulterà il volume d'aria scaricato nell'unità di tempo. La pompa perde capacità con l'aumentare del vuoto perchè l'aria contiene meno molecole per unità di volume.

Così al vuoto operativo di 40 kPa 1 litro d'aria, alla pressione atmosferica di 100 kPa, rappresenta solo 1,67 litri di aria espansa in luogo dei 2 litri a 50 kPa. Pertanto, il volume d'aria scaricato nell'atmosfera sarà il 60% del volume che entra nella pompa a 40 kPa di vuoto, ed il 50% del volume a 50 kPa di vuoto.

8.3 Attrezzature accessorie

Sono considerate attrezzature accessorie quelle che operano con la

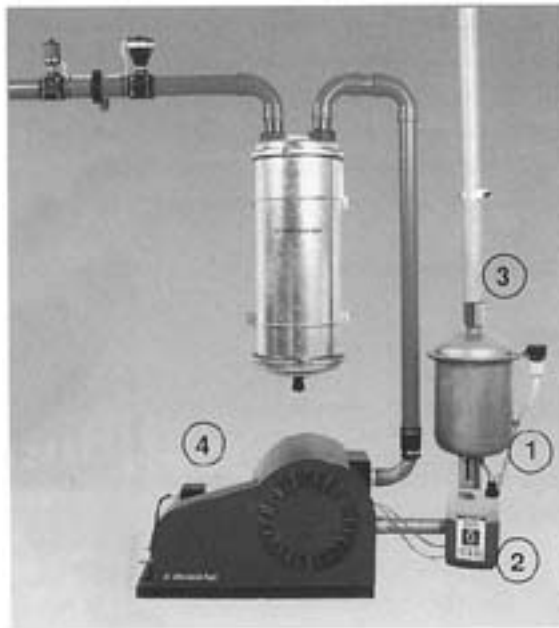


Fig. 43. Pompa per vuoto con sistema di riciclo dell'olio [Fonte Alfa-Laval]; 1) marmitta/lubrificatore; 2) serbatoio dell'olio (4litri); 3) condotta e guarnizioni; 4) motore-pompa.

stessa fonte di vuoto dell'estrazione del latte ma che non sono direttamente impiegate per la mungitura di un animale. Le attrezzature accessorie possono essere suddivise in tre gruppi:

- a) attrezzature che operano continuamente durante la mungitura (pulsatori, gruppi prendicapezzoli);
- b) attrezzature che richiedono una certa quantità di aria, per un breve periodo di tempo, durante la mungitura (lattometri);
- c) attrezzature che operano solamente prima o dopo la mungitura (vasi misuratori).

Per le attrezzature di tipo a) i valori dichiarati dal costruttore dovranno essere aggiunti al valore della riserva utile e della portata della pompa.

Le attrezzature di tipo b) usano la stessa fonte di vuoto utilizzata simultaneamente per l'estrazione del latte. Generalmente non è necessario tener conto di questa domanda dato che le attrezzature accessorie, utilizzate durante la mungitura, consumano solo piccole quantità di aria e per brevi periodi. Tuttavia queste attrezzature, nel caso richiedano più elevate portate d'aria, saranno prese in considerazione nel momento in cui si effettua il dimensionamento delle condutture dell'aria.

Per le attrezzature di tipo c), quando il loro consumo d'aria è inferiore alla riserva utile, non è necessario tenerne conto per il calcolo della portata della pompa per vuoto.

8.4 Lavaggio

Il lavaggio dei lattodotti e delle condutture di trasferimento avviene generalmente a mezzo di una miscela di aria e di soluzione di lavaggio trasportata e tenuta in agitazione nelle condutture a mezzo del vuoto. Il movimento della soluzione di lavaggio nelle condutture

avviene secondo un flusso a tappi. Per ottenere un buon lavaggio i tappi si devono muovere ad una velocità compresa fra 7 e 10 m/s (4.200-6.000 dm/min).

Il valore della portata della pompa per vuoto necessaria a produrre i tappi per il lavaggio (Q_{lav}) può essere ottenuto a mezzo di:

$$Q_{lav} = \frac{3,14 * d^2}{4} * v * \frac{P_a - P_o}{P_a} \quad (l/min)$$

Dove:

d = diametro interno del tubo (dm)

v = velocità dell'aria e dei tappi nella condotta del latte (dm/min)

P_a = pressione atmosferica reale (kPa)

P_o = livello di vuoto di lavaggio dell'impianto (kPa).

La tabella 5 fornisce il valore della portata per alcune dimensioni di lattodotto e livelli di vuoto di lavoro alla pressione barometrica di 100 kPa. Per calcolare la portata per il lavaggio ad elevate altitudini, utilizzare il valore riportato nell'ultima riga della tabella 5 (portata nella condotta), in corrispondenza del vuoto di lavoro, e moltiplicare per $(P_a - P_o)/P_a$.

I sistemi di lavaggio possono generare il flusso a tappi anche con altri sistemi, ad esempio a mezzo di ingressi repentini d'aria (fig. 44).

Tabella 5 - Portata d'aria per il lavaggio per una velocità di 8 m/s e una pressione barometrica di 100 kPa.

| Livello di vuoto (kPa) | Diametro del lattodotto (mm) | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 34 | 36 | 38 | 40 | 44 | 48 | 50 | 60 | 66 | 73 | 98 |
| | Portata per il lavaggio (l/min) | | | | | | | | | | |
| 50 | 218 | 244 | 272 | 301 | 365 | 434 | 471 | 678 | 821 | 1004 | 1809 |
| 49 | 222 | 249 | 277 | 307 | 372 | 443 | 480 | 692 | 837 | 1024 | 1846 |
| 48 | 227 | 254 | 283 | 313 | 379 | 451 | 490 | 705 | 853 | 1044 | 1882 |
| 47 | 231 | 259 | 288 | 320 | 387 | 460 | 499 | 719 | 870 | 1064 | 1918 |
| 46 | 235 | 264 | 294 | 326 | 394 | 469 | 509 | 732 | 886 | 1084 | 1954 |
| 45 | 240 | 269 | 299 | 332 | 401 | 477 | 518 | 746 | 903 | 1104 | 1990 |
| 44 | 244 | 273 | 305 | 338 | 409 | 486 | 528 | 760 | 919 | 1124 | 2027 |
| 43 | 248 | 278 | 310 | 344 | 416 | 495 | 537 | 773 | 936 | 1145 | 2063 |
| 42 | 253 | 283 | 316 | 350 | 423 | 504 | 546 | 787 | 952 | 1165 | 2099 |
| 41 | 257 | 288 | 321 | 356 | 430 | 512 | 556 | 800 | 968 | 1185 | 2135 |
| 40 | 261 | 293 | 326 | 362 | 438 | 521 | 565 | 814 | 985 | 1205 | 2171 |
| Portata nella condotta (l/min) | 436 | 488 | 544 | 603 | 729 | 868 | 942 | 1356 | 1641 | 2008 | 3619 |

Per calcolare la portata per il lavaggio ad altitudini elevate, utilizzare l'ultima riga della tabella, portata nella condotta, e moltiplicare per $(P_b - P)/P_b$, dove: P_b = pressione atmosferica attuale; P = livello di vuoto di lavoro dell'impianto.

8.5 Calcolo della portata

Procedimento analitico

Si consideri un impianto a lattodotto per la mungitura delle pecore con 48 poste (24+24) e 16 gruppi prendicapezzoli, dotato di vasi misuratori, situato a 400 m s.l.m., con due mungitori. I parametri di riferimento per la determinazione della portata della pompa per vuoto sono i seguenti:

- livello di vuoto di lavoro: 40 kPa
- diametro interno del lattodotto: 48 mm
- luogo di installazione: 400 m s.l.m.
- ingresso d'aria nel gruppo di mungitura: 6 l/min
- consumo d'aria di ciascun pulsatore: 25 l/min
- numero di pulsatori: 8.

In base al paragrafo 8.1 la portata di riserva per la mungitura sarà di:

$$900 + 40 * (16-10) = 1.140 \text{ l/min.}$$

La portata d'aria per il lavaggio di un lattodotto con diametro di 48 mm, che opera sul livello del mare a 40 kPa di vuoto, risulta di 521 l/min (tab. 5).

Dato che l'impianto è posto ad un'altitudine di 400 m s.l.m., la portata di lavaggio potrebbe essere regolata alla pressione atmosferica inferiore. Dalla tabella 6 si ricava che la pressione atmosferica a 400 m è di 95 kPa. Utilizzando il valore di 868 l/min riportato nell'ultima riga della tabella 6 e moltiplicandolo per $(P_a - P_o)/P_a$ si ottiene il valore della portata d'aria per il lavaggio:

$$868 * (95 - 40)/95 = 503 \text{ l/min.}$$

Se molti vasi operano simultaneamente, la domanda totale di vuoto può eccedere, in via teorica, la riserva utile o la portata di lavaggio; in questo caso la domanda dovrà costituire la base per il dimensionamento. Con due mungitori è probabile che possano operare simultaneamente non più di 2 vasi; ciò significa, considerando un consumo di 40 l/min per vaso, una portata d'aria di 80 l/min, che risulta nettamente inferiore alla riserva utile necessaria. Il consumo d'aria per i gruppi prendicapezzoli imputabile agli ingressi d'aria dai collettori e dai pulsatori risulta di:

$$(6 * 16) + (25 * 8) = 296 \text{ l/min.}$$

I gruppi di mungitura consumeranno circa la stessa quantità d'aria durante la mungitura e il lavaggio. La domanda totale di aria in mungitura è data dalla somma dei valori della riserva utile e dei gruppi di mungitura:

$$1.140 + 296 = 1.436 \text{ l/min.}$$

Il fabbisogno di portata d'aria durante il lavaggio s.l.m. si ottiene dalla somma dei valori della portata per il lavaggio e dei gruppi di mungitura:

$$521 + 280 = 801 \text{ l/min.}$$

In questo esempio la domanda totale di aria in mungitura (1.436 l/min), che risulta superiore a quella per il lavaggio (801 l/min), costituisce la base per il dimensionamento della pompa. La perdita d'aria imputabile al sistema del latte (infiltrazioni d'aria nel lattodotto, rubinetti del latte, ecc.) è pari a 10 l a cui si devono aggiungere 2 l per ciascun gruppo:

$$10 + (2 * 16) = 42 \text{ l/min.}$$

Pertanto la quantità totale d'aria che la pompa dovrebbe estrarre è data da:

$$1.436 + 42 = 1.478 \text{ l/min.}$$

Le perdite derivanti dal sistema di regolazione sono pari al 10% della riserva con regolatore disinserito, per cui quest'ultima è pari a:

$$1.140 * 100 / (100 - 10) = 1.267 \text{ l/min.}$$

Le perdite di regolazione risultano di:

$$1.267 * 10 / 100 = 127 \text{ l/min.}$$

La portata complessiva d'aria che la pompa deve estrarre è di:

$$1.478 + 127 = 1.605 \text{ l/min.}$$

Le perdite al sistema di vuoto sono il 5% della portata nominale della pompa e si ottengono dalla relazione:

$$1.605 * 5 / (100 - 5) = 85 \text{ l/min,}$$

per cui la portata complessiva della pompa è pari a:

$$1.605 + 85 = 1.690 \text{ l/min.}$$

Per tener conto del deperimento della pompa derivante dall'uso, con conseguente diminuzione della sua efficienza, si consiglia



Fig. 44. Lavatrice automatica (Fonte Surge). Le soluzioni di lavaggio devono muoversi all'interno delle condutture con elevata turbolenza.

di incrementare il valore della portata del 10%. Pertanto, la portata risulta uguale a:

$$1.690 * 110/100 = 1.859 \text{ l/min.}$$

Con una caduta di vuoto di 2 kPa fra la pompa e il punto di misurazione, il livello di vuoto della pompa sarà di $40 + 2 = 42$ kPa. Per ottenere il valore nominale della pompa per vuoto che lavora ad un'altitudine di 400 m s.l.m. e ad un livello di vuoto di 42 kPa, occorre utilizzare il fattore di correzione $H = 0,88$ in accordo con la tabella 6:

$$1.859 * 0,88 = 1.636 \text{ l/min.}$$

La portata nominale dovrà essere superiore o uguale a 1.636 l/min.

Procedimento sintetico

Si consideri la stessa sala di mungitura per le pecore dell'esempio precedente.

Per determinare con sufficiente approssimazione la portata nominale della pompa per vuoto, alla pressione atmosferica di 100 kPa, si possono utilizzare le relazioni riportate nella tabella 4. La portata nominale della pompa per vuoto sarà:

$$1.300 + 60 * (16-10) = 1.660 \text{ l/min.}$$

Per tener conto del deperimento della pompa derivante dall'uso con conseguente diminuzione della sua efficienza, si consiglia di incrementare il valore della portata del 10%. La portata nominale della pompa dovrà essere uguale a:

$$1.660 * 110/100 = 1.826 \text{ l/min.}$$

Per ottenere il valore nominale della pompa per vuoto che lavora ad un'altitudine di 600 m s.l.m. e ad un livello di vuoto di 44 kPa, occorre utilizzare il fattore di correzione $H = 0,88$ in accordo con la tabella 6:

$$1.826 * 0,88 = 1.607 \text{ l/min.}$$

La portata nominale dovrà essere superiore o uguale a 1.607
l/min.

Tabella 6 - Pressione atmosferica normale e fattore di correzione H a varie altitudini.

| Altitudine (m) | Pressione Atmosferica normale, PBO (kPa) | Fattore di correzione H ad un livello di vuoto della pompa (P) di | | |
|-------------------|---|--|--------|--------|
| | | 40 kPa | 45 kPa | 50 kPa |
| Fino a 300 | 100 | 0,8 | 0,89 | 1 |
| 300-700 | 95 | 0,84 | 0,94 | 1,07 |
| 700-1200 | 90 | 0,88 | 1 | 1,16 |
| 1200-1700 | 85 | 0,93 | 1,08 | 1,28 |
| 1700-2200 | 80 | 1 | 1,19 | 1,45 |

9 CONDUTTURE DELL'ARIA

All'interno delle canalizzazioni l'aria presente nell'impianto si muove verso la pompa, vale a dire verso il luogo ove il vuoto risulta più elevato. Esiste, dunque, una caduta di vuoto, detta anche perdita di carico, causata dall'attrito dell'aria sulle superfici della condotta.

Come si è visto in precedenza, l'obiettivo del costruttore è quello di minimizzare la caduta di vuoto poiché ciò riduce la riserva utile del vuoto. Per una data portata d'aria il diametro della condotta principale dell'aria deve risultare tale da contenere in 2 kPa la caduta di vuoto fra pompa per vuoto e vaso terminale del latte. Per la condotta dell'aria di pulsazione la caduta di vuoto non deve superare 1 kPa.

Qui di seguito si riportano le relazioni che consentono di calcolare - in funzione della lunghezza della canalizzazione, della portata d'aria da smaltire e della caduta di vuoto - il diametro interno della condotta principale dell'aria e di quella di pulsazione.

9.1 Diametro della condotta principale

La caduta di pressione, fino a 3 kPa, nella condotta principale dell'aria liscia, generalmente in plastica, può essere calcolata dalla:

$$\Delta p = 27,8 * l * Q^{1,75} / d^{4,75} \quad (\text{kPa})$$

da cui, dato che generalmente la portata Q e la caduta massima di pressione ammessa sono conosciuti, si ricava il diametro interno della condotta:

$$(1) \quad d = \sqrt[4,75]{(27,8 * l * Q^{1,75}) / \Delta p} \quad (\text{mm})$$

Dove:

d = diametro interno della condotta (mm);

l = lunghezza della condotta (m);

Q = portata d'aria nella condotta (l/min di aria libera);

Δp = caduta di pressione nella condotta (kPa).

La caduta di vuoto, fino a 3 kPa, in condotte dell'aria zincate può essere calcolata a mezzo della seguente relazione:

$$\Delta p = 18,74 * l * (Q^2 / d^5) \quad (\text{kPa})$$

Dato che Q e la caduta massima di pressione ammissibile sono generalmente conosciuti, l'equazione può essere così scritta:

$$(2) \quad d = \sqrt[5]{(18,74 * l * Q^2) / \Delta p} \quad (\text{mm})$$

A causa del maggiore attrito prodotto dal movimento dell'aria nelle condutture zincate, il diametro interno di queste ultime risulta maggiore del 10% circa di quello delle corrispondenti condutture lisce. Il diametro delle condutture zincate, inoltre, deve essere aumentato di 2 mm per tener conto dei depositi che possono formarsi al suo interno.

L'entità della caduta di vuoto o di pressione è funzione, a parità di tutti gli altri parametri, del livello di vuoto operativo (*riquadro 16*).

Tabella 7 - Caduta di vuoto (kPa), misurata a 50 kPa, per 10 m di condotta rettilinea liscia (PVC).

| Portata pompa per vuoto | Diametro interno condotta (mm) | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|
| | 46 | 56 | 73 | 83 | 103 |
| 500 | 0,19 | | | | |
| 1000 | 0,63 | 0,25 | | | |
| 1500 | 1,27 | 0,5 | 0,14 | | |
| 2000 | 2,1 | 0,83 | 0,24 | 0,13 | |
| 2500 | - | 1,22 | 0,35 | 0,19 | 0,07 |
| 3000 | - | 1,7 | 0,48 | 0,26 | 0,09 |

Tabella 8 - Lunghezze equivalenti di tratti di condotta per vari tipi di raccordo espressi come numero di diametri di condotta o come lunghezza approssimata della condotta per alcuni diametri

| Tipo di raccordo | Diametri della condotta (n°) | Diametro nominale della condotta (mm) | | | | |
|---|------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| | | 38 | 50 | 63 | 75 | 100 |
| | | Lunghezza equivalente approssimata della condotta (m) | | | | |
| Curva | | | | | | |
| - normale a 45° | 8 - 10 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 |
| - a raggio corto a 90° (R/D = 0,75)* | 35 - 40 | 1,4 | 1,8 | 2,4 | 3,0 | 3,6 |
| - a raggio medio a 90° (R/D = 1,8)* | 15 - 20 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,8 |
| Innesto a T | | | | | | |
| - a flusso longitudinale | 15 - 20 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,8 |
| - a flusso perpendicolare | 40 - 45 | 1,6 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 4,2 |
| - a flusso laterale raccordato (T igienico) | 20 - 25 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 2,2 |
| Serbatoio e trappola per liquidi | | | | | | |
| - contrazione brusca da serbatoio a condotta | 20 - 25 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 2,2 |
| - espansione brusca da condotta a serbatoio | 40 - 45 | 1,6 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 4,2 |
| Intercettore sanitario | | | | | | |
| - serbatoio di distribuzione o vaso terminale** | 60 - 70 | 2,5 | 3,2 | 3,6 | 4,2 | 6,4 |

R/D = raggio esterno della curva diviso il diametro interno della condotta

** un punto di espansione più un punto di contrazione

9.2 Diametro della condotta di pulsazione

I valori del diametro interno minimo delle condutture dell'aria di pulsazione lisce, chiuse ad anello, sono dati dalla:

$$(3) \quad d = \sqrt[4,75]{[27,8 * \frac{1}{2} * (\frac{Q}{2})^{1,75}] / \Delta p} \quad (\text{mm})$$

La relazione si basa sulla formula calcolata per due condutture di eguale lunghezza ($l/2$) e sul fatto che vi sia la stessa portata ($Q/2$) in entrambi i tratti di condotta.

Per calcolare il diametro delle condutture zincate si usa la relazione:

$$(4) \quad d = \sqrt[5]{[18,74 * \frac{1}{2} * (\frac{Q}{2})^2] / \Delta p} \quad (\text{mm})$$

Anche in questo caso il diametro delle condutture zincate deve essere aumentato di 2 mm per tener conto di eventuali depositi di sporcizia.

9.3 Attrito equivalente per raccordi e giunzioni

I raccordi e le giunzioni presenti sulla condotta dell'aria determinano una perdita di carico della quale occorre tener conto nel



Fig. 45. Conduttura principale dell'aria. Al fine di ridurre le perdite di carico nella condotta è necessario ridurre al minimo indispensabile le curve e i collegamenti a T.

dimensionamento della condotta. Generalmente queste perdite sono espresse in termini di aumento teorico di lunghezza di condutture rettilinee che danno luogo alle stesse perdite di: curve, collegamenti a T e altri tipi di raccordo (fig. 45).

Le lunghezze equivalenti della condotta devono essere aggiunte

alla lunghezza totale quando si calcola la caduta di pressione in una condotta del vuoto. La tabella 8 riporta le lunghezze equivalenti per vari tipi di collegamento o connessione o giunzione.

*Riquadro 16***Caduta di pressione e vuoto di lavoro**

La caduta di pressione o di vuoto che si verifica nella condotta dell'aria risulta minore a livelli operativi più bassi, perché in queste condizioni la velocità dell'aria è ridotta. Operando a 40 kPa, ad esempio, la caduta di vuoto è dell'80% circa di quella misurabile al vuoto nominale di 50 kPa (tab. 7). La caduta di pressione per un determinato valore di vuoto di lavoro può essere calcolata facendo ricorso alla relazione:

$$\Delta p_o = \frac{\Delta p_n (100 - 50)}{100 - P_o} .$$

Dove:

Δp_o = caduta di pressione al vuoto di lavoro per 10 m di condotta dell'aria (kPa);

Δp_n = caduta di pressione al vuoto nominale per 10 m di condotta dell'aria (kPa);

P_o = vuoto di lavoro.

Si ipotizzi un impianto di mungitura nel quale il collegamento fra pompa per vuoto e terminale del latte sia stato interamente realizzato con una condotta rettilinea. I restanti parametri di riferimento per determinare la caduta di vuoto dovuta al flusso d'aria sono:

- materiale condotta: PVC;
- diametro interno condotta: 73 mm;
- portata pompa per vuoto: 2.000 l/min;
- vuoto nominale: 50 kPa;
- vuoto di lavoro: 40 kPa.

Facendo riferimento alla tabella 7, la caduta di pressione al vuoto nominale è di 0,24 kPa. Operando col vuoto pari a 40 kPa la caduta di pressione risulta inferiore del 20% circa:

$$\Delta p_o = \frac{0,24 (100 - 50)}{100 - 40} = 0,20 \text{ kPa} .$$

9.4 Esempi di calcolo

Conduttura principale dell'aria (caduta di vuoto 2 kPa)

Si consideri un impianto a lattodotto di 48 poste di mungitura (24 su ciascun lato) con 16 gruppi prendicapezzoli (8 per lato) installato a 400 m s.l.m.. La portata d'aria nominale della pompa è di 1.600 l/min. Le condutture del vuoto saranno in plastica ed il limite di progetto della caduta di vuoto è di 2 kPa.

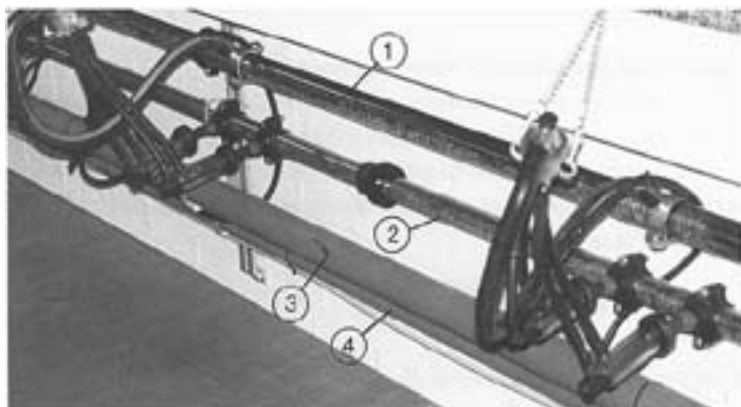


Fig. 46. Il diametro della conduttura dell'aria di pulsazione risulta sempre notevolmente inferiore a quello della conduttura principale; 1) lattodotto; 2) conduttura di lavaggio; 3) conduttura dell'aria di pulsazione; 4) conduttura dell'aria filtrata.

La lunghezza della conduttura dalla pompa al vaso terminale è pari a 16 m, con 6 curve (4 a raggio medio a 90° e 2 con raggio corto a 90°), 2 innesti a T e un serbatoio di distribuzione (intercettore sanitario) posto sulla conduttura.

Con riferimento alla formula (1), per un tratto della conduttura di 16 m e una portata di 1.600 l/min, risulta necessario un diametro della conduttura di circa 47,3 mm.

Dalla tabella 8 si ricava che i raccordi nel loro insieme rappresentano una lunghezza equivalente di:

$$4 * 0,9 + 2 * 1,8 + 2 * 1,1 + 1 * 3,2 = 12,6 \text{ m.}$$

La lunghezza totale della conduttura per la valutazione del diametro sarà di 28,6 m (16+12,6). Applicando la (1) si ricava il diametro interno minimo della conduttura principale dell'aria:

$$d = \sqrt[4,75]{(27,8 * 28,6 * 1600^{1,75})/2} = 53,4$$

La tabella 6 indica un fattore di correzione per 400 m s.l.m. e 40 kPa di vuoto di circa 0,97, per cui si ottiene:

$$53,4 * 0,97 = 51,8 \text{ mm.}$$

Conduttura principale dell'aria (caduta di vuoto 0,5 kPa)

Attualmente la maggior parte dei costruttori installa condutture primarie dell'aria con un diametro superiore a quello minimo raccomandato. In tal modo si riducono considerevolmente i consumi della conduttura in quanto si contiene la caduta di vuoto di progetto

mediamente intorno a 0,5 kPa. Qui di seguito si riporta il procedimento di calcolo della condotta dell'impianto considerato nell'esempio precedente.

Con una portata di 1.600 l/min, una lunghezza di 16 m e una caduta di vuoto di 0,5 kPa, in base alla (1) il diametro della condotta è pari 63,3 mm. con riferimento alla tabella 8 i raccordi nel loro insieme rappresentano una lunghezza equivalente di:

$$4 * 1,1 + 2 * 2,4 + 2 * 1,2 + 1 * 3,6 = 15,2 \text{ m.}$$

Utilizzando ancora la formula (1), per una lunghezza della condotta di 31,2 m (16 + 15,2), si ottiene un diametro pari a:

$$\sqrt[4,75]{(27,8 * 31,2 * 1600^{1,75}) / 0,5} = 72,8 \text{ mm.}$$

La tabella 6 indica un fattore di correzione per 400 m s.l.m. e 40 kPa di vuoto di circa 0,97, per cui si ottiene

$$72,8 * 0,97 = 70,7 \text{ mm.}$$

Conduttura dell'aria di pulsazione (caduta di vuoto 1 kPa)

Si consideri l'impianto riportato nell'esempio precedente dotato di un pulsatore ogni due gruppi prendicapezzoli. Le condutture del vuoto saranno in plastica e la caduta di vuoto di progetto è di 1 kPa (fig. 46).

Ricordando che il consumo d'aria per ciascun pulsatore è pari a 25 l/min, il consumo di pulsatori risulterà di 200 l/min. La lunghezza della condotta dell'aria di pulsazione è di 25 m, con 6 curve (raggio medio 90°) che sono equivalenti ad una lunghezza di condotta di circa 4,2 m (6 * 0,7).

Dalla relazione (3), per un consumo di 200 l/min ed una lunghezza di condotta di 29,2 m, si ricava un diametro interno minimo di:

$$d = \sqrt[4,75]{\left[27,8 * \frac{29,2}{2} * \left(\frac{200}{2} \right)^{1,75} \right]} = 19,3 \text{ mm.}$$

Conduttura dell'aria di pulsazione (caduta di vuoto 0,1 kPa)

Anche in questo caso la maggior parte dei costruttori installa condutture dell'aria di pulsazione con un diametro notevolmente superiore a quello minimo raccomandato; in tal modo si rendono praticamente nulli i consumi della condotta e si assicura la massima stabilità del vuoto. Qui di seguito si riporta il procedimento di calcolo della condotta dell'aria di pulsazione dell'impianto dell'esempio precedente considerando di limitare in 0,1 kPa la caduta di vuoto di progetto.

Per un consumo di 200 l/min ed una lunghezza della condotta di 29,2 m, il diametro interno minimo della condotta in plastica si ricava dalla formula (3):

$$d = \sqrt[4,75]{[27,8 * \frac{29,2}{2} * (\frac{200}{2})^{1,75}] / 0,1} = 31,4 \text{ mm} .$$

10 LATTODOTTO

I principali fattori che influiscono sulla capacità di trasporto del lattodotto sono:

- portata massima di latte da smaltire;
- numero di gruppi prendicapezzoli e di mungitori;
- ingressi d'aria;
- lunghezza e diametro della conduttura;
- riserva utile del vuoto.

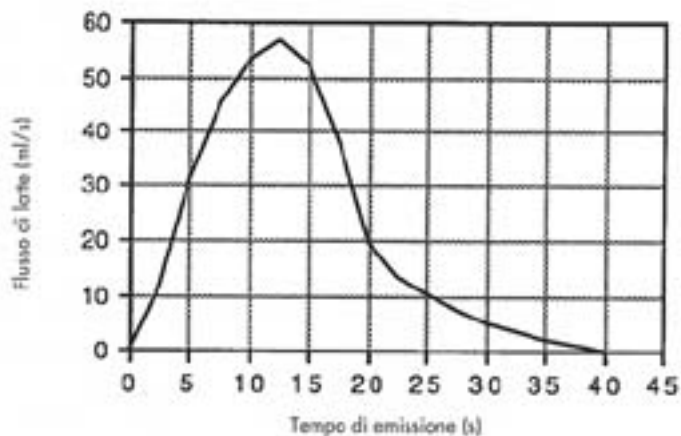
Fra i predetti fattori il diametro è quello che condiziona in misura maggiore le prestazioni del lattodotto. Difatti, come si vedrà meglio in seguito, l'incremento potenziale della capacità di trasporto è proporzionale al diametro elevato alla quarta potenza: ciò significa che piccolissimi aumenti del diametro determinano miglioramenti significativi della capacità di trasporto.

Le prestazioni della conduttura del latte sono definite in termini di stabilità del vuoto nel corso della mungitura. Per ottenere un flusso stratificato, il diametro interno del lattodotto deve essere tale che la caduta di vuoto tra il vaso terminale e qualsiasi punto del lattodotto non ecceda mediamente i 2 kPa. Variazioni di vuoto superiori a questo valore, come si è visto, determinano il rallentamento della mungitura e più frequenti scivolamenti dei prendicapezzoli a causa del minore livello di vuoto nel collettore.

10.1 Portata massima di latte

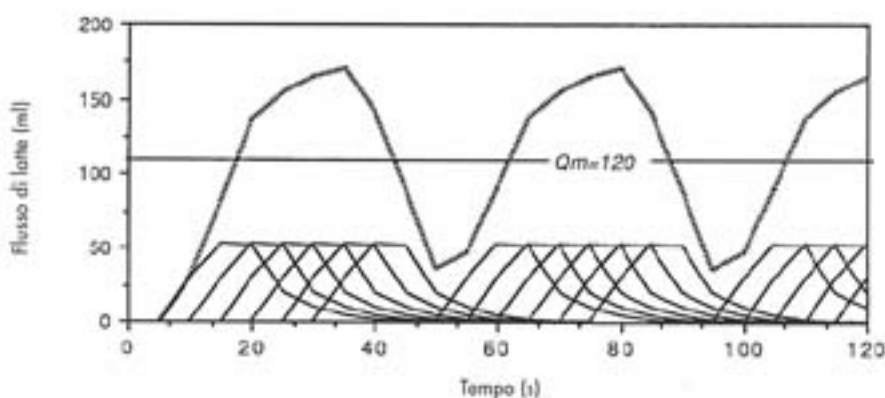
Per il corretto dimensionamento del lattodotto occorre, preliminarmente, stimare la portata massima di latte che la conduttura deve smaltire. Questo parametro può essere calcolato attraverso:

- le curve di emissione dei singoli capi, da cui si ricavano la produzione di latte e il tempo di emissione;
- le frequenze attese di attacco dei gruppi prendicapezzoli, vale a dire l'intervallo di tempo fra l'applicazione di un gruppo e l'altro;
- il rapporto gruppi/mungitore, ovvero il numero di gruppi affidati al singolo operatore;
- il numero di mungitori.



A sinistra: **fig. 47.** Curva di emissione del latte relativa ad una produzione di 0,8 litri.

Sotto: **fig. 48.** Stima della portata del latte nel lattodotto con 6 gruppi funzionanti simultaneamente ed un tempo di attacco-stacco pari a 10 secondi. La curva tratteggiata rappresenta il flusso combinato dei singoli gruppi, mentre la retta indica la portata media Q_m .



Pur essendo la curva di emissione del latte una caratteristica razziale e individuale e, come tale, soggetta a forti variazioni, per buone lattifere di razza Sarda, caratterizzate da un picco di emissione del latte, nella fase iniziale della lattazione può considerarsi mediamente rappresentativa quella riportata in figura 47. Dall'esame della curva di cessione si ricava che per una produzione di 0,8 l per mungitura la portata massima, registrata a 12,5 s dall'inizio della mungitura, risulta di 56,62 ml/s, pari a 3,4 l/min.

Correlando la portata media con quella massima ($r = 0,87$) si ricava l'equazione della retta di regressione ($Y = 1,71 + 1,4 X$) che consente di stimare, per pecore con un solo picco di emissione, il valore della portata massima. Per impostare la relazione è necessario conoscere solamente la produzione media individuale e il tempo di cessione:

$$Q_{\max} = 1,71 + 1,41 \frac{P_m}{t} \quad (\text{l/min}) .$$

Dove:

Q_{\max} = portata massima di latte (l/min);

P_m = produzione media per mungitura (l/capo);

t = tempo di cessione del latte (min/capo).

Con capi da 0,8 l per mungitura e con un tempo di emissione di 0,67 min (40 s) si ottiene una portata massima di mungitura di 3,4 l/min.

Per determinare il fattore di contemporaneità (η_c), cioè il numero di prendicapezzoli che operano contemporaneamente per ciascun addetto, occorre considerare che un mungitore esperto applica i gruppi prendicapezzoli con un intervallo di 6 secondi. Presupponendo un tempo di cessione del latte mediamente pari a 40 secondi, e considerando quello necessario per lo spostamento dell'operatore da un capo all'altro, risulta che un addetto può governare al massimo 6 gruppi. Si deve prendere questo valore anche quando il mungitore utilizza più di 6 prendicapezzoli; infatti, al momento dell'attacco del gruppo sulla settima pecora la prima risulta completamente munta.

Sulla base di questi elementi si è costruito il modello dei flussi di latte relativi ai gruppi di mungitura operanti contemporaneamente e, da questo, la curva cumulata dei singoli flussi e la portata massima da smaltire attraverso il lattodotto. Fissando in 6 secondi il tempo di applicazione dei gruppi, sono stati simulati i flussi di latte in impianti con 8, 12, 16 e 24 gruppi nell'ipotesi di valori di η_c di 4 e 6 (fig. 48).

La massima portata di latte nella condotta può essere calcolata, con buona approssimazione, moltiplicando il valore della portata media per un fattore di correzione β , pari a 1,4 nel caso di η_c uguale a 6. Nell'ipotesi di un numero eccessivo di mungitori rispetto ai gruppi disponibili (ad esempio 4 per 16 gruppi) il coefficiente β risulta in media di 1,7.

Mantenendo ottimale, cioè pari a 6, il rapporto gruppi/mungitore e adottando una routine senza sgocciolatura, il modello matematico può essere rappresentato con buona approssimazione dalla seguente relazione:

$$(5) \quad Ql = \frac{Pm * \eta_c * \beta * M}{t} ;$$

Dove:

Ql = portata massima di latte all'interno del lattodotto (l/min);

Pm = produzione media individuale per mungitura (l);

η_c = gruppi prendicapezzoli/mungitore;

β = fattore di correzione per riportare la portata media a quella massima;

M = numero di mungitori;

t = tempo di emissione del latte (min).

Per pecore con una produzione individuale di 0,8 l e per un impianto con 6 prendicapezzoli la portata massima di latte all'interno del lattodotto risulta di circa 10 l/min.

10.2 Portata equivalente

La portata equivalente, costituita da aria e latte, che la conduttura deve smaltire può calcolarsi a mezzo della formula:

$$(6) \quad Q_e = \frac{(Q_a * M) + (n * Q_f)}{5} + Q_l .$$

Dove:

Q_e = portata equivalente (l/min);

Q_a = ingresso d'aria durante l'attacco o la caduta dei preindicapezzi (l/min). Per condutture aperte 150 l/min; per condutture ad anello con due mungitori 120 l/min;

M = numero di mungitori;

n = numero di preindicapezzi contemporaneamente in fase di mungitura;

Q_f = ingresso d'aria dal foro praticato sul collettore (l/min);

Q_l = portata massima di latte (l/min).

Il valore di Q_a tiene conto anche degli ingressi d'aria derivanti dalla caduta dei preindicapezzi. Partendo dall'osservazione che, in normali condizioni operative e di funzionamento dell'impianto, la frequenza di caduta dei gruppi è del 4% circa, vale a dire 4 cadute ogni 100 attacchi, è ragionevole attendersi non più di una caduta del gruppo ogni lotto di 24 capi.

L'ingresso d'aria derivante dalla manipolazione dei gruppi per i lattodotti ad anello è stato stimato in 120 l/min rispetto ai 150 l/min dei lattodotti aperti. Questa differenza tiene conto del fatto che l'applicazione e la rimozione dei gruppi, effettuata dai mungitori che lavorano sui lati opposti dell'anello, non sempre avviene simultaneamente. Mentre nella conduttura aperta l'ingresso d'aria atmosferica deve essere smaltito interamente dall'unico ramo, con l'anello lo stesso volume d'aria viene ripartito in parti uguali sui due rami causando, quindi, una caduta di vuoto minore. A parità di condizioni operative, quindi, nella conduttura aperta risulta necessario maggiorare il diametro di alcuni mm per ottenere la stessa caduta di vuoto della conduttura ad anello.

10.3 Diametro interno

Il movimento del latte nei lattodotti quasi orizzontali, vale a dire con pendenza dello 0,2% (2 cm ogni 10 m), è dovuto, come si è detto, all'attrito fra aria e latte e alla formazione di tappi di latte. Per condutture chiuse ad anello il diametro può essere calcolato in base a:

$$(7) \quad d = \sqrt[4]{(70 * l * Q_e^2 / \Delta P)} ;$$

per lattodotti aperti, siano essi a ramo unico o doppio, il calcolo del diametro va riferito ad un solo ramo utilizzando la relazione:

$$(8) \quad d = \sqrt[4]{(540 * l * Qe^2 / \Delta P)} \quad .$$

Dove:

d = diametro interno (mm);

Qe = portata equivalente (l/min);

l = lunghezza del lattodotto (m);

ΔP = caduta di vuoto (2 kPa).

Recenti studi hanno evidenziato che le prestazioni del lattodotto, in termini di stabilità del vuoto nel corso della mungitura, sono condizionate dall'entità della riserva utile del vuoto. I dati riportati in tabella 9 mostrano chiaramente che solo negli impianti dotati di riserva utile insufficiente (A₁, B₁, F) la caduta media di vuoto risulta superiore a 2 kPa; per contro, negli impianti con riserva utile esuberante (B₂, E, G₂) si riscontra maggiore stabilità del vuoto.

Tabella 10 - Principali caratteristiche degli impianti controllati e valori della caduta di vuoto nel corso della mungitura.

| Impianto | Gruppi (n°) | Lattodotto | | Riserva utile (l/min) | | Caduta vuoto (kPa) | |
|----------|----------------|------------|------------|-----------------------|-------------|--------------------|-----------|
| | | tipo | diam. (mm) | rilevata | consigliata | 1 addetto | 2 addetti |
| A1 | 16 | anello | 50 | 600* | 1140 | - | 2,2* |
| A2 | 16 | anello | 50 | 1140 | 1140 | - | 0,8 |
| B1 | 16 | aperto | 50 | 770* | 1140 | - | 2,1* |
| B2 | 16 | aperto | 50 | 1870 | 1140 | - | 0,6 |
| C1 | 12 | anello | 50 | 1480 | 980 | - | 1,4 |
| C2 | 6 | anello | 50 | 870 | 720 | 0,7 | - |
| D1 | 8 | aperto | 50 | 880 | 720 | 0,8 | - |
| D2 | 8 | aperto | 50 | 1180 | 720 | 1 | - |
| E | 9 | anello | 50 | 1660 | 780 | 0,5 | - |
| F | 24 | anello | 50 | 680* | 1460 | - | 2,1* |
| G1 | 8 | aperto | 100 | 1310 | 720 | 0,6 | - |
| G2 | 16 | aperto | 100 | 1880 | 1140 | - | 0,5 |

L'azione esercitata da questo parametro sulle prestazioni del lattodotto è confermata dal diagramma di figura 49 che evidenzia un'elevata correlazione lineare ($r = 0,86$) fra la riserva utile e la caduta di vuoto.

Pertanto, il valore del diametro di condotta che scaturisce dalle formule risulta valido solo per impianti dotati di riserva utile sufficiente.

Dall'esame del riquadro 17, dove sono riportate alcune esemplificazioni numeriche di dimensionamento del lattodotto ad anello, si possono trarre alcune conclusioni.

Le formule proposte per il dimensionamento del lattodotto, che accomunano cognizioni teoriche e acquisizioni tecniche e sperimentali,

Riquadro 17

Dimensionamento conduttura del latte

Si consideri un impianto per ovini con 48 poste di mungitura disposte su due file (24+24) dotato di 16 gruppi prendicapezzoli. Gli altri parametri di riferimento per il calcolo del diametro interno del lattodotto sono:

- produzione individuale (Pm): 0,8 l/min;
- fattore di contemporaneità (η_c): 6;
- mungitori (m): 2;
- tempo di cessione latte (t): 0,67 min;
- ingresso aria gruppi (Qa): 120 l/min;
- ingresso aria collettore (Qf): 5 l/min;
- lunghezza lattodotto (l): 18 m;
- caduta vuoto (Δp): 2 kPa.

Sostituendo alla (5) i corrispondenti valori numerici si ottiene la portata massima di latte all'interno della conduttura:

$$Q_l = \frac{0,8 * 6 * 1,4 * 2}{0,67} = 20 \text{ l/min.}$$

Per determinare la portata equivalente di aria e latte si fa ricorso alla (6):

$$Q_e = \frac{(120 * 2) + (16 * 5)}{5} + 20 = 84 \text{ l/min.}$$

Il diametro interno del lattodotto ad anello si calcola mediante la (7):

$$d = \sqrt[4]{(70 * 18 * 84^2 / 2)} = 45,9 \text{ mm.}$$

Non di rado accade che un numero eccessivo di mungitori, rispetto a quello dei prendicapezzoli, si trovi ad operare all'interno della fossa. In questo caso la portata equivalente (aria+latte) aumenta in proporzione e, di pari passo, aumentano anche le cadute di vuoto. Nell'ipotesi che sull'impianto lavorino 4 mungitori, per i quali si deve considerare $\beta = 1,7$, occorrerebbe un diametro di 60,1 mm per contenere in 2 kPa le fluttuazioni di vuoto.

Il collettore ad elevato "consumo" d'aria rappresenta un altro elemento che influenza in misura rilevante le prestazioni del lattodotto. Utilizzando, ad esempio, un collettore con un ingresso d'aria di 22 l/min in luogo di 5 l/min, operando con due mungitori la portata equivalente Q_e (138 l/min) risulta praticamente uguale a quella che si ottiene operando con quattro mungitori (144 l/min).

Nel caso di lattodotto aperto a ramo doppio il calcolo deve essere riferito ad un solo ramo. Rispetto al lattodotto chiuso la portata massima di latte Q_l all'interno della conduttura rimane invariata, mentre la portata equivalente risulta pari a:

$$Q_e = \frac{(150 * 1) + (8 * 5)}{5} + 20 = 58 \text{ l/min.}$$

Per il calcolo del diametro interno del lattodotto aperto si utilizza la relazione (8):

$$d = \sqrt[4]{(540 * 9 * 58^2 / 2)} = 53,5 \text{ mm.}$$

evidenziano, innanzitutto, l'importanza di adottare una corretta tecnica di mungitura per contenere gli ingressi d'aria estemporanei. L'applicazione del gruppo è necessario che avvenga contemporaneamente per i due capezzoli al fine di ridurre il tempo di esecuzione e gli ingressi d'aria atmosferica. Il vuoto all'interno della guaina si crea agendo sull'apposita valvola posta sul collettore; contemporaneamente, se il gruppo non è dotato di un sistema per l'interruzione automatica del vuoto, è buona norma tappare col pollice l'imboccatura della guaina per limitare gli ingressi d'aria. Anche la durata della sgocciolatura meccanica, se proprio si vuole effettuarla, va ridotta al minimo indispensabile.

Sulle prestazioni del lattodotto influisce in misura rilevante anche il numero di mungitori che operano contemporaneamente all'interno della fossa. Se gli operatori risultano in eccesso rispetto alla disponibilità dei prendicapezzoli, ad esempio con un rapporto di 1 a 4, aumentano le portate d'aria e di latte e, di conseguenza, occorre prevedere un diametro superiore a quello standard di 50 mm.

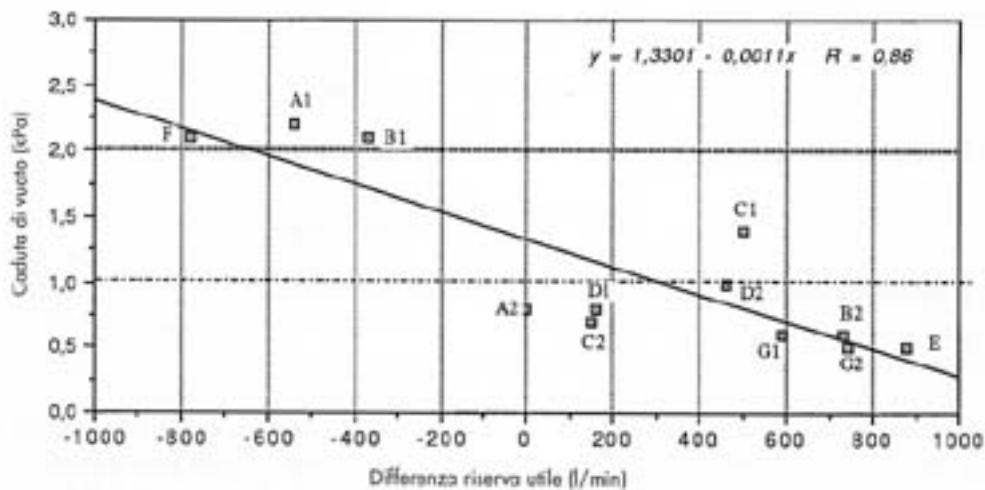


Fig. 49. Valori di caduta del vuoto, durante la mungitura, in funzione della differenza tra riserva utile consigliata e quella rilevata. I valori negativi indicano una riserva di vuoto insufficiente.

11 ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO

11.1 Impostazione metodologica

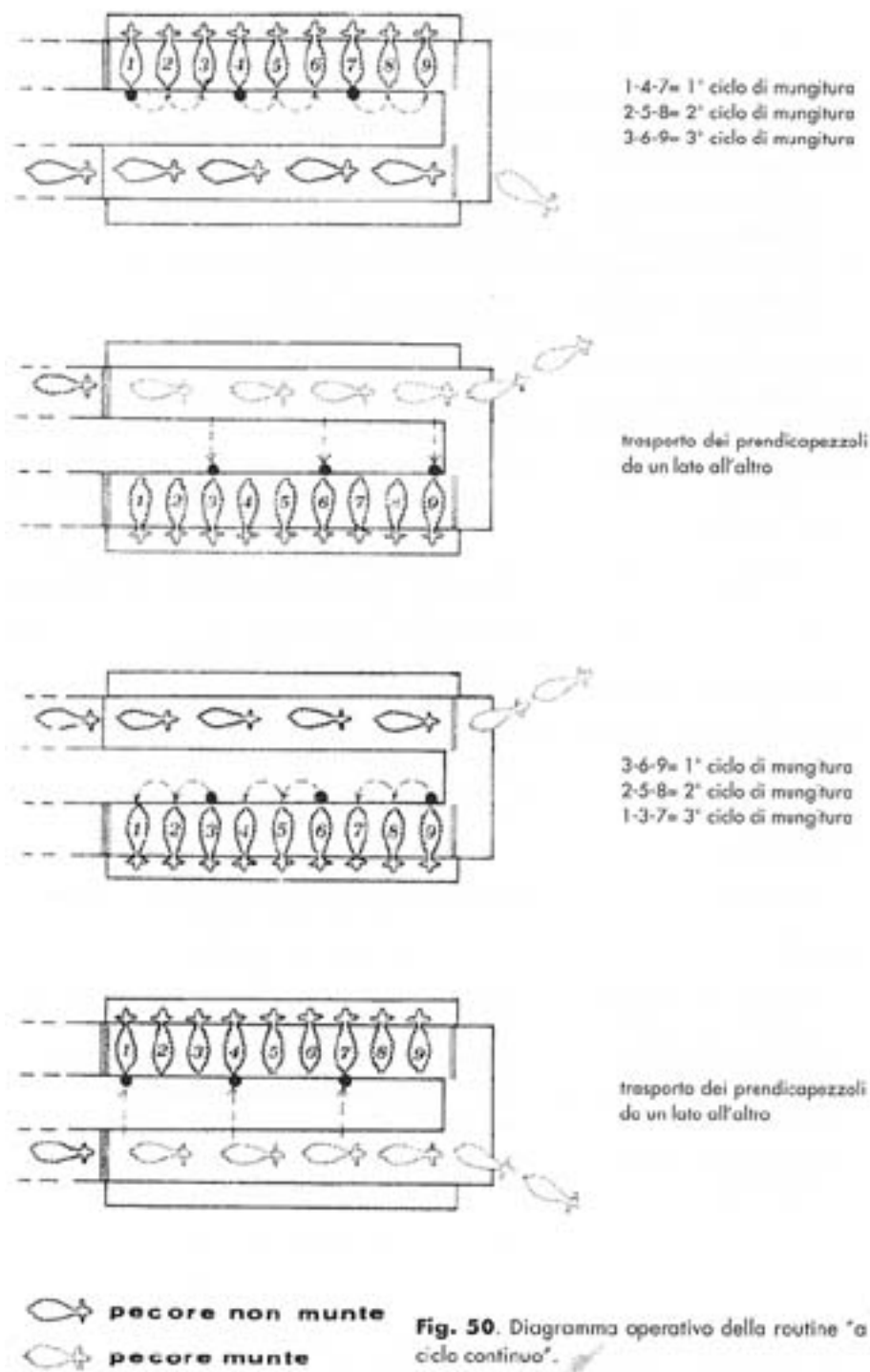
La tecnica o routine di mungitura è uno dei più importanti fattori che condizionano la capacità operativa degli impianti, la qualità del latte e lo stato di salute della mammella, in quanto la sua corretta esecuzione riduce la frequenza di caduta dei gruppi prendicapezzoli e previene i danni dell'apparato mammario. Questi aspetti assumono ancora maggiore rilevanza in considerazione delle imposizioni contenute nella Direttiva CEE 92/46 in merito alla qualità del latte.

Negli impianti a lattodotto con gli animali disposti su due file si possono distinguere due tipi di routine: una di tipo "discontinuo" e l'altra di tipo "continuo". La prima è caratterizzata dalla ciclica interruzione della mungitura quando si provvede a sostituire un lotto di pecore col successivo. Nella routine di tipo continuo, invece, i prendicapezzoli sono sempre in fase di mungitura, così come avviene negli impianti rotativi, giacché la sostituzione di una fila di capi avviene mentre gli altri sono ancora in mungitura (fig. 50).

La produttività della manodopera (capi/h·addetto), e quindi la capacità operativa della mungitrice (capi/h) dipende in larga misura, oltretutto dal tipo di impianto, dalla routine di mungitura e dal numero di poste, di gruppi prendicapezzoli e di mungitori. Al fine di stimare con elevata approssimazione la produttività del lavoro in funzione dei predetti parametri occorre analizzare i tempi di esecuzione relativi alla sequenza delle operazioni elementari che costituiscono la routine di mungitura. Per semplicità di calcolo i tempi di esecuzione delle diverse operazioni inerenti la mungitura sono riferiti all'intero lotto di animali che di volta in volta accedono alle poste di mungitura.

Nella tabella 10 sono riportati i tempi di esecuzione delle corrispondenti operazioni di routine: con la lettera maiuscola sono indicati i tempi relativi all'intero lotto in mungitura e con la lettera minuscola quelli riferiti al singolo capo. La metodologia proposta, che è stata testata sperimentalmente, è rigorosamente valida solamente per routine che prevedono di affidare 4-6 gruppi prendicapezzoli a ciascun mungitore.

Il *tempo di mungitura*, che comprende le operazioni di attacco dei gruppi prendicapezzoli, l'eventuale sgocciolatura meccanica e il distacco dei gruppi, si ricava dal prodotto dei corrispondenti tempi elementari per il numero di capi che costituiscono il lotto. A questi si devono aggiungere i tempi di cammino del mungitore tra un animale e l'altro della stessa fila e fra le file. Nel caso si operi con più mungitori non



figureranno i tempi di cammino fra una fila e l'altra. Pertanto, il tempo di mungitura risulta pari a:

$$(9) \quad T_m = \frac{N (tag + tsg + tdg) + C \cdot tc + Cf \cdot tcf}{M}$$

Dove:

T_m = tempo di mungitura del lotto (s/addetto);

N = numero di capi che costituiscono il lotto in mungitura;

tag = tempo di attacco dei gruppi prendicapezzoli (s);

tsg = tempo di sgocciolatura meccanica (s);

tdg = tempo di distacco dei gruppi prendicapezzoli (s);

C = numero di percorsi fra un capo e l'altro della stessa fila;
 tc = tempo di cammino fra un capo e l'altro della stessa fila (s);
 Cf = numero di percorsi fra una fila e l'altra;
 tcf = tempo di cammino fra una fila e l'altra;
 M = numero di mungitori.

Tab. 11 - Tempi elementari di lavoro in un impianto a lattodotto con 24 (12+12) poste governato da un mungitore

| Operazione | Simbolo | Unità di misura | Tempi di lavoro | |
|---------------------------|---------|--------------------|-----------------|---------|
| | | | ovini | caprini |
| Attacco prendicapezzoli | tag | (s/capo) | 6 | 9 |
| Sgocciolatura meccanica | tsg | (s/capo) | 7 | 12 |
| Distacco prendicapezzoli | tdg | (s/capo) | 4 | 5 |
| Cammino sulla fila | tc | (s/capo) | 0,4 | 0,4 |
| Cammino tra le file | tcf | (s/capo) | 0,6 | 0,6 |
| Movimentazione barriera | Tb | (s/lotto) | 45 | 45 |
| Ingresso animali | ti | (s/capo) | 2,7 | 3 |
| Uscita animali | tu | (s/capo) | 1,5 | 1,8 |
| Azionamento cancelletti | Tac | (s/lotto) | 16 | 16 |
| Distribuzione concentrati | Tsc | (s/lotto) | 8 | 8 |
| Riposo operatore | tro | (s/capo) | 0,6 | 0,6 |
| Tempo morto | tmo | (s/capo) | 0,8 | 0,8 |

Il numero di percorsi del mungitore risulta direttamente proporzionale alle dimensioni del lotto in mungitura e inversamente proporzionale al numero di gruppi prendicapezzoli (X) affidati al mungitore. Il fenomeno è rappresentato dalle seguenti relazioni:

$$(10) \quad C = \frac{N (165,6 - 12X)}{20} ;$$

$$(11) \quad Cf = 2 \left(\frac{N}{X} + 1 \right) .$$

I tempi accessori, relativi alle operazioni che si svolgono “fuori mungitura”, si riferiscono alle fasi di ingresso e di uscita degli animali dalle poste, di distribuzione dei concentrati, di movimentazione delle barriere e di azionamento dei cancelletti. Fanno parte dei tempi accessori il tempo di riposo dell'operatore, previsto in tutte le routine di lavoro, e i tempi morti dovuti a cause diverse (mancata cattura di un capo, ecc.). Con riferimento al lotto in mungitura e al numero di file (1-2) in cui esso è suddiviso, i tempi accessori sono dati dalla relazione:

$$(12) \quad T_a = \frac{N (t_i + t_u + t_{ro} + t_{mo})}{M \cdot n_f} + T_{sc} + T_b + T_{ac} .$$

Dove:

T_a = tempi accessori del lotto (s/addetto);

N = capi del lotto in mungitura;

t_i = tempo di ingresso dei capi (s/capo);

t_u = tempo di uscita dei capi (s/capo);

t_{ro} = tempo di riposo dell'operatore (s/capo);

t_{mo} = tempo morto dell'operatore (s/capo);

M = numero di mungitori;

n_f = numero delle file in cui è suddiviso il lotto;

T_{sc} = tempo di somministrazione dei concentrati riferito al lotto (s);

T_b = tempo di movimentazione delle barriere riferito al lotto (s);

T_{ac} = tempo di azionamento dei cancelletti ingresso-uscita riferito al lotto (s).

Il *tempo totale di mungitura* (T_t) dell'intero lotto, espresso in min/addetto, è costituito dal tempo relativo alla fase di mungitura vera e propria e dai tempi accessori connessi con le operazioni di movimentazione e sistemazione degli animali nelle poste:

$$(13) \quad T_t = \frac{T_m + T_a}{60} .$$

La *produttività del lavoro* (P), in capi/h per addetto, si ricava da:

$$(14) \quad P = \frac{60 N}{T_t \cdot M} .$$

La *capacità operativa dell'impianto* (C_o), in capi/h, si ottiene da:

$$(15) \quad C_o = P \cdot M .$$

Infine, il *tempo totale di mungitura del gregge* (TT), espresso in ore, si ottiene dal rapporto fra il numero di capi del gregge in mungitura e la produttività del lavoro:

$$(16) \quad TT = \frac{G}{C_o} .$$

Nel riquadro 18 è riportato un esempio numerico di calcolo della produttività del lavoro, mentre dalla tabella 11 si ricava la produttività della manodopera in funzione di alcune tipologie impiantistiche e della routine di mungitura adottata.

11.2 Numero dei gruppi prendicapezzoli

I parametri di dimensionamento degli impianti a lattodotto sono rappresentati dal numero di poste di mungitura e da quello di gruppi prendicapezzoli.

In particolare, il numero di poste influisce direttamente sulla capacità operativa dell'impianto e sulla produttività della manodopera. Infatti, ad un incremento del numero di poste, mantenendo invariato il numero di operatori, corrisponde una diminuzione dell'incidenza dei tempi accessori, delle fasi di ingresso e di uscita dei capi, sulla durata complessiva della mungitura. Sono palesi i vantaggi derivanti nel

Tabella 12 - Produttività della manodopera in funzione dell'impianto e della routine di mungitura.

| Impianto mungitura | | Addetti | Produttività manod. (capi/h addetto) | |
|--------------------|--------|---------|---|-------------|
| poste | gruppi | | senza ripasso | con ripasso |
| (n) | (n) | (n) | | |
| 12 | 4 | 1 | 152 | 117 |
| | 6 | 1 | 155 | 119 |
| 24 | 6 | 1 | 177 | 132 |
| | 8 | 2 | 152 | 117 |
| | 12 | 2 | 155 | 119 |
| 12+12 | 6 | 1 | 202 | 145 |
| | 8 | 2 | 172 | 129 |
| | 12 | 2 | 177 | 132 |
| 24+24 | 12 | 2 | 205 | 147 |
| | 16 | 4 | 172 | 129 |
| | 24 | 4 | 177 | 132 |
| 48+48 | 24 | 4 | 205 | 147 |

Riquadro 18

Produttività del lavoro

Per il calcolo della produttività del lavoro si consideri un impianto a lattodotto in linea bassa a 24 (12+12) poste con 6 (3+3) gruppi prendicapezzioli. L'impianto è governato da un solo operatore e le pecore in lattazione sono 250. Il tempo di mungitura riferito al lotto è dato dalla (9):

$$T_m = 24 (6+7+4) + 112 * 0,4 + 10 * 0,6 = 459 \text{ s/addetto} .$$

Il numero di percorsi sulla fila e tra le file del lotto si ricava dalle relazioni (10) e (11):

$$C = \frac{24 (165,6 - 12 * 6)}{20} = 112 \text{ percorsi}$$

$$C_f = 2 \left(\frac{24}{6} + 1 \right) = 10 \text{ percorsi} .$$

I tempi accessori si ottengono dalla relazione (12):

$$T_a = \frac{24 (2,7+1,5+0,6+0,8)}{2} + 8 + 45 + 16 = 136 \text{ s/addetto} .$$

Il tempo totale di mungitura riferito al lotto (T_t) sono dati dalla (13):

$$T_t = \frac{459 + 136}{60} = 9,92 \text{ min/addetto} .$$

La produttività del lavoro (P), che nel caso di un solo mungitore corrisponde anche alla capacità operativa dell'impianto (C_o), si calcola con la (14):

$$P = \frac{60 * 24}{9,92} = 145 \text{ capi/h·addetto} .$$

Il tempo necessario per la mungitura dell'intero gregge (TT) è dato dalla (16):

$$TT = \frac{250}{145} = 1,72 \text{ h} .$$

Nel caso si voglia semplificare la routine di mungitura con l'omissione della sgocciolatura meccanica, il T_m si riduce del 37% portandosi a soli 4,8 min ed il TT risulta pari a 1,49 h con un risparmio di tempo del 28%; la produttività della manodopera passa da 145 capi/h·addetto a 202 capi/h·addetto.

Se si adotta la routine di mungitura di tipo continuo, e non si effettua la sgocciolatura, il T_a si riduce del 38%, in quanto non figurano i tempi di ingresso e di uscita degli animali, e la produttività del lavoro arriva a ben 230 capi/h·operaio.

passaggio da un'installazione a 12 poste in linea con una a 24 poste suddivise su due linee.

Vi sono però anche delle situazioni nelle quali all'aumento del numero di poste non sempre corrisponde un incremento della produttività della manodopera (tab. 11).

Si consideri, ad esempio, un impianto per ovini a 24 (12+12) poste, con 6 gruppi prendicapezzoli ed un addetto, dove la produttività della manodopera è pari a 202 capi/h·addetto. Raddoppiando il numero delle poste (24+24) ed utilizzando 24 gruppi saranno necessari 4 mungitori e la produttività del lavoro si ridurrà a 177 capi/h·addetto a causa dell'inoperosità di due mungitori delle fasi di convogliamento degli animali.

Di norma al raddoppio delle poste segue anche il raddoppio del numero dei gruppi e quello degli addetti. Ne consegue che la durata dei tempi accessori riferita al singolo mungitore resta invariata rispetto alla soluzione con 24 poste e un mungitore. In questo caso, pertanto, la produttività della manodopera non subisce incremento alcuno.

Il numero di gruppi prendicapezzoli dominabili dal singolo mungitore è strettamente correlato al tempo medio di emissione del latte dei capi in mungitura (per le capre 80-140 s/capo e per le pecore 30-50 s/capo) e alla durata della routine. Quest'ultima è data dalla sommatoria dei tempi necessari per effettuare l'attacco e il distacco del gruppo (tag, tsg) e l'eventuale sgocciolatura (tsg).

Come regola generale è necessario garantirsi che la durata della sommatoria dei tempi elementari che costituiscono le singole operazioni della routine di mungitura non superi il tempo di emissione del latte (te). In tal modo si evita la sovramungitura, detta anche mungitura a vuoto, e non si mette a repentaglio la salute della mammella. Pertanto, in un impianto correttamente dimensionato, il mungitore effettua lo stacco del gruppo al termine dell'emissione del latte del relativo animale.

Per il calcolo del numero ottimale di gruppi dominabili dal singolo operatore si può utilizzare la seguente relazione:

$$\text{n° gruppi/addetto} = \frac{te}{\text{tag} + \text{tsg} + \text{tdg}} + 1$$

Ipotizzando un tempo di routine pari a 25 s/capo per la mungitura di un gregge di capre con un tempo medio di emissione del latte di 100 s/capo, il numero di gruppi dominabili dal singolo operatore risulta uguale a 5. Di solito, rinunciando alla sgocciolatura si incrementa di una unità il numero di gruppi per addetto.

12 DETERSIONE E DISINFEZIONE

12.1 Natura dei depositi

I depositi di latte si possono distinguere in depositi molli e in depositi duri; la presenza dei primi, in particolare all'interno del collettore del latte, è un chiaro indice di lavaggio giornaliero insufficiente. Oltre ai residui di latte intero, si trovano delle pellicole di grasso identificabili dallo stato delle superfici e dalle goccioline d'acqua sulle pareti.

I residui duri non appaiono subito, quando l'impianto è ancora nuovo, ma dopo qualche tempo; essi sono indice sia di lavaggio giornaliero incompleto, sia dell'assenza o della scarsa frequenza di lavaggi acidi disincrostanti. I depositi duri si presentano sotto diverse forme: minerale e metallica. I sedimenti minerali, comunemente chiamati "pietra di latte", sono originati dai minerali dell'acqua e del latte insieme, mentre i sedimenti metallici si formano, ad esempio, nelle regioni in cui l'acqua è molto ricca di ferro e presentano una colorazione rossa. Talvolta compaiono pure depositi di colore grigio di natura argillosa.

Vi sono anche dei depositi dovuti a gomma e plastica che appaiono neri se provengono dalla migrazione di particelle dalla gomma o dalla reazione della gomma col cloro. Per le parti in plastica, si può osservare che esse diventano opache o gialle; ciò è dovuto al normale invecchiamento del materiale ma, il più delle volte, è causato dall'uso di prodotti iodati.

12.2 Proprietà dei detersivi

Il lavaggio, che mira all'eliminazione dei depositi di varia natura formati sulla superficie interna dell'impianto di mungitura, deve esercitare tre azioni:

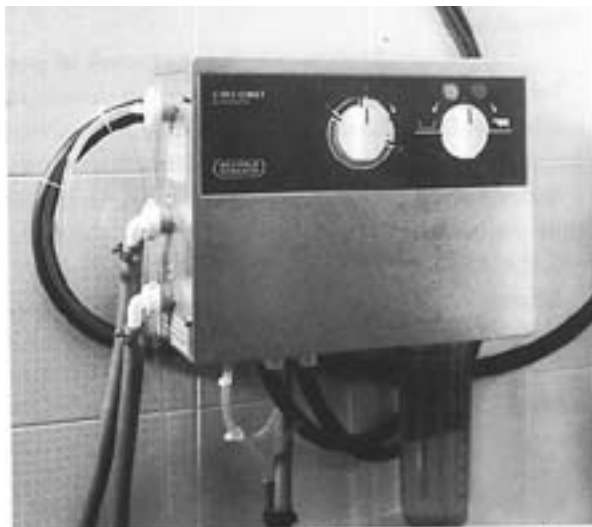


Fig. 51. Programmatore per il lavaggio automatico (Fonte Westfalia).

- azione detergente, per mezzo di prodotti alcalini, per allontanare i depositi di natura organica. In pratica agiscono sui grassi e sulle proteine del latte dissolvendoli così che possano essere allontanati dalla soluzione lavante;
- azione detartrante o disincrostante, con composti acidi, per asportare le concrezioni di sali di calcio provenienti dal latte e i

sedimenti di tartaro derivanti dalla durezza dell'acqua;

- azione sanitizzante o disinfettante, con formulati principalmente a base di cloro, per distruggere i microorganismi.

Un solo prodotto chimico non può avere tutte le proprietà richieste. Pertanto, si dovranno impiegare delle combinazioni di differente costituzione per arrivare ad una soluzione di lavaggio veramente efficace.

Detergenti alcalini

I detergenti alcalini sono composti solitamente da tre frazioni attive: alcali, tensioattivi, agenti complessi.

Come *alcali* si utilizzano principalmente silicati, fosfati e carbonati, ma non di rado si trova nello stesso prodotto un'associazione di questi composti. I *tensioattivi* o agenti bagnanti (saponi, oli solfonati, ecc.) hanno il compito di abbassare la tensione superficiale della soluzione circolante e far sì che l'agente lavante possa infiltrarsi sotto i depositi di sporcizia.

Gli *agenti complessi* intervengono neutralizzando i sali di calcio e magnesio presenti nell'acqua mantenendoli in soluzione e impedendone la deposizione. Un'eccessiva durezza dell'acqua potrebbe determinare nel tempo la formazione di incrostazioni difficili da eliminare anche col lavaggio acido. E' importante, quindi, effettuare preventivamente l'analisi dell'acqua per conoscere con precisione il suo contenuto in sali di calcio e di magnesio, così da poter effettuare un corretto dosaggio del prodotto e prevenire le deposizioni. L'azione degli agenti complessi si esplica anche su ferro e sali di rame.

Detergenti acidi

I detergenti acidi sono prodotti composti da acidi, tensioattivi e agenti inibenti.

Come *acidi* o detartranti, si utilizzano acidi organici deboli (acido citrico, lattico e acetico) e acidi organici forti (acido cloridrico, solforico, nitrico, fosforico e altri ancora). In considerazione del fatto che l'azione degli acidi non è selettiva, in quanto assieme ai depositi minerali agiscono anche sui materiali dell'impianto, si è resa necessario l'introduzione di *agenti inibenti* per limitare al massimo eventuali danni alla mungitrice.

Un impianto di mungitura è costruito con diversi materiali come il vetro, la plastica, la gomma, l'acciaio e l'alluminio. Questi materiali sono diversi da pulire e i detergenti devono possedere le qualità per pulirli tutti ugualmente bene e senza intaccarli (*riquadro 19*).

Sanitizzanti

Fra i sanitizzanti più usati si ricordano il cloro, lo iodio, i composti iodofori e l'acido paracetico. Le soluzioni clorate sono a base di ipocloriti (varecchina), di fosfati trisodici clorati e, non di rado da clorammine. Questi prodotti, che agiscono contro i batteri e i virus, vanno utilizzati in

*Riquadro 19***Resistenza dei materiali ai prodotti di lavaggio**

Vetro Il vetro è resistente a tutti gli agenti chimici e all'azione meccanica delle spazzole. Per aumentare l'efficacia del lavaggio, alla soluzione detergente si dovrebbe aggiungere un agente bagnante o tensioattivo che possa staccare lo sporco dalle superfici solubilizzandolo.

Acciaio L'acciaio è resistente all'azione dei detergenti alcalini, dell'acido nitrico e del cloro, come pure alle combinazioni detergente/disinfettante. Risulta, tuttavia, attaccabile da ipoclorito di sodio (la comune varechina) e acido solforico.

Alluminio L'alluminio è corrosivo da molti prodotti alcalini e dagli acidi forti; il cloro e lo iodio formano uno strato di ossido che scolora le superfici senza danneggiarle.

Gomma La gomma, soprattutto quella naturale, è il materiale più delicato dell'impianto. Per evitare il rischio di graffiature occorre usare la spazzola con molta prudenza. La gomma è attaccata dai composti quaternari d'ammonio e assume una colorazione gialla quando viene a contatto con lo iodio.

Plastica La plastica risulta difficile da bagnare come il vetro e richiede le stesse precauzioni usate per la gomma quando si utilizzano le spazzole. In funzione del tipo e della qualità del materiale plastico la resistenza offerta ai prodotti di lavaggio risulta assai differente.

soluzioni alcaline (pH maggiore di 8) e a caldo, ma ad una temperatura inferiore a 65 °C per non incorrere nel rischio di rendere inattivo il cloro.

Considerata l'azione corrosiva del cloro sulle gomme e sui metalli, acciaio inossidabile compreso, la concentrazione di questo sanitizzante non deve superare le 50-100 ppm ed il tempo di contatto con le parti in gomma non deve eccedere i 20 minuti.

Lo iodio, pur essendo un eccellente disinfettante, non è solubile nell'acqua. Perciò, lo si deve associare con un tensioattivo e con un acido per costituire ciò che si chiama un composto iodoforo. Gli iodofori offrono il vantaggio di essere attivi anche a freddo, di possedere le

medesime qualità battericide dei derivati del cloro e di risultare meno corrosivi del cloro.

I detergenti sono dotati, in genere, di un potere disinfettante assai modesto: essi agiscono nei riguardi dei batteri rimuovendo i depositi di latte che servono loro da supporto, ed è per questo che il lavaggio, anche se eccellente, non assicura la completa disinfezione. E' consigliabile, pertanto, utilizzare una soluzione disinfettante sia da sola, dopo il lavaggio, sia miscelata con i detergenti che si designano allora col termine di "detergenti battericidi".

Nel riquadro 20 sono riassunte le principali norme d'impiego dei prodotti di lavaggio.

12.3 Lavaggio automatico

Per lavaggio automatico si intende un dispositivo dotato di programmatore elettronico o meccanico che regola automaticamente le dosi dei detergenti e tutte le fasi di lavaggio, disinfezione e portate d'acqua comprese.

Esistono diversi sistemi di lavaggio automatico, più o meno complessi, comandati manualmente o a mezzo di un programmatore. I dispositivi completamente automatizzati sono costituiti essenzialmente dai seguenti elementi (fig. 51):

- programmatore elettronico, situato nell'apposito pannello di comando, che regola automaticamente le dosi dei detergenti e tutte le fasi di lavaggio, disinfezione compresa;
- due serbatoi, della capacità di circa 0,6 l ciascuno, che contengono il detergente e il disinfettante, allo stato liquido o in polvere;
- eventuale resistenza elettrica per il riscaldamento dell'acqua;
- spia luminosa che indica l'attivazione del programma di lavaggio;
- valvola pneumatica a tre vie, sempre comandata dal programmatore, per far circolare la soluzione di lavaggio o per deviarla allo scarico.

*Riquadro 20***Norme di impiego dei prodotti di lavaggio**Temperatura dell'acqua:

- alcalini clorati, 40-60 °C;
- iodofori, non superiore a 40 °C;
- acido fosforico, 75 °C;
- acido paracetico, 60-70 °C.

Concentrazione:

- di norma l'1%;
- composti ad alta alcalinità, 0,5%;
- composti a bassa alcalinità, 2,0%.

Tempo di contatto:

- lavaggio manuale con spazzole, 2-3 minuti;
 - lavaggio classico a caldo in circuito, 10-15 minuti;
 - lavaggio a freddo in circuito, 20-25 minuti;
 - lavaggio automatico con lavatrice, 10 minuti.
-

Le moderne lavatrici sono dotate di due programmi principali:

- lavaggio, da effettuarsi subito dopo la mungitura, della durata di circa 30 minuti a cui si deve aggiungere il tempo necessario per riempire d'acqua l'apposita vaschetta;
- disinfezione, da effettuarsi prima della mungitura, della durata di circa 10 minuti più il tempo per accumulare l'acqua nella vaschetta.

La velocità e la pressione delle soluzioni detergenti devono risultare sempre superiori alla pressione e alla velocità di circolazione del latte. L'impianto, quindi, dovrebbe essere dotato di opportuni sistemi, come ad esempio l'insufflazione ciclica d'aria atmosferica, per garantire un'adeguata turbolenza e velocità (7-10 m/s) delle soluzioni di lavaggio. Inoltre, il costruttore dovrebbe indicare le concentrazioni e le temperature ottimali delle soluzioni di lavaggio per ciascuna fase del programma.

Il volume d'acqua in circolazione nel corso del lavaggio deve essere sufficiente ad assicurare un adeguato e completo lavaggio di ogni parte dell'impianto. Nel calcolare i volumi d'acqua necessari per il lavaggio automatico degli impianti a lattodotto, con e senza vasi misuratori, si è preferito fare riferimento a tre grandi gruppi:

- impianti di piccole dimensioni (4-6 gruppi prendicapezzoli);
- impianti di medie dimensioni (8-12 gruppi prendicapezzoli);
- impianti di grandi dimensioni (16-24 gruppi prendicapezzoli).

Tutto ciò al fine di considerare il fatto che all'aumentare del numero di gruppi i consumi specifici d'acqua (l/gruppo) tendono a ridursi, in quanto il volume degli altri componenti la mungitrice subiscono incrementi di volume meno che proporzionali al numero di gruppi stessi. I consumi d'acqua riportati in tabella 12 sono riferiti al sistema di lavaggio automatico comunemente adottato che prevede tre fasi:

- risciacquo preliminare con acqua fredda o tiepida (35 °C);
- lavaggio a caldo con detergente disinfettante (65-70 °C);
- risciacquo finale con acqua fredda o tiepida.

Tuttavia vi sono anche programmi di lavaggio che prevedono 4 o 5 fasi a seconda che i risciacqui siano rispettivamente in numero di 3 o di 4; si devono considerare altresì i casi in cui si effettua un lavaggio con prodotti disinfettanti. In tutti questi casi i volumi d'acqua riportati nella predetta tabella devono essere aumentati di un terzo.

Per un impianto a lattodotto con 16 gruppi prendicapezzoli dotato di vasi misuratori, ad esempio, sono necessari in media 10-15 l/gruppo per un lavaggio completo. L'intervallo fra i due valori dipende principalmente dal volume del vaso terminale e dalla lunghezza della condotta di scarico che trasporta il latte al serbatoio refrigerante.

Tabella 13 - Volumi d'acqua necessari per il lavaggio degli impianti di mungitura.

| Impianto di mungitura | Volumi d'acqua | |
|--------------------------------------|------------------|-------------------|
| | per mungitura | per giorno |
| • Secchio e carrello* | 60-100 l/secchio | 120-200 l/secchio |
| • Lattodotto senza vasi misuratori** | | |
| 4--6 gruppi prendicapezzoli | 15-25 l/gruppo | 30-50 l/gruppo |
| 8-12 gruppi prendicapezzoli | 12-20 l/gruppo | 24-40 l/gruppo |
| 16-24 gruppi prendicapezzoli | 10-15 l/gruppo | 20-30 l/gruppo |
| > 24 gruppi prendicapezzoli | 8-10 l/gruppo | 16-20 l/gruppo |
| • Lattodotto con vasi misuratori** | | |
| 4-6 gruppi prendicapezzoli | 18-30 l/gruppo | 36-60 l/gruppo |
| 8-12 gruppi prendicapezzoli | 15-25 l/gruppo | 30-50 l/gruppo |
| 16-24 gruppi prendicapezzoli | 12-18 l/gruppo | 24-36 l/gruppo |
| > 24 gruppi prendicapezzoli | 10-12 l/gruppo | 20-24 l/gruppo |

*Lavaggio manuale

**I consumi d'acqua sono riferiti al lavaggio automatico effettuato in 3 fasi. Per un numero superiore di fasi, i volumi d'acqua si devono incrementare di 1/3 per ciascuna fase.

La sanitizzazione degli impianti, quando effettuata con prodotti corrosivi, può aver luogo al termine delle operazioni di lavaggio, lasciando poi la soluzione disinfettante all'interno dell'impianto fino alla mungitura successiva, prima della quale si procede in ogni caso ad un

accurato risciacquo. Se, invece, si utilizzano sostanze corrosive come il cloro, allora è consigliabile procedere alla sanitizzazione ed al risciacquo dell'impianto poco prima della mungitura.

Il lavaggio dell'impianto deve comprendere anche la pulizia delle condutture dell'aria che deve essere eseguita con regolarità: in genere è sufficiente un intervento annuale. Nel caso in cui penetri del latte nelle condutture è necessario effettuare un risciacquo, immediatamente al termine del turno di mungitura, con acqua a 60 °C addizionata con prodotti detergenti-disinfettanti a reazione alcalina. Il volume della soluzione da impiegare dovrà superare la metà della capacità del serbatoio del vuoto.

13 COSTI DI ESERCIZIO

Fra le diverse operazioni inerenti l'allevamento ovino e caprino, la mungitura risulta senza dubbio la più onerosa in termini sia di fatica fisica, per l'impegno biquotidiano richiesto nel corso della lattazione, e sia di costi per la grande quantità di lavoro qualificato che essa richiede.

La buona conoscenza dei costi di esercizio delle diverse tipologie impiantistiche costituisce un elemento di basilare importanza per la scelta e l'impiego ottimali dell'impianto. Oltre agli indubbi vantaggi sulla qualità del prodotto e sull'organizzazione del lavoro aziendale, la mungitura meccanica rispetto a quella manuale comporta, in moltissimi casi, la riduzione dei costi di produzione.

Nel caso di mungitura manuale, il vincolo imposto dall'Ue di contenere entro determinati valori la carica microbica rende inevitabile l'adozione di alcune operazioni accessorie - pulizia e lavaggio della mammella, eliminazione dei primi getti - che producono l'effetto di dilatare i tempi di mungitura e di ridurre la produttività del lavoro.

In questo contesto la macchina mungitrice appare la soluzione più appropriata sotto gli aspetti tecnico ed economico. La mungitura meccanica, che richiede investimenti tutt'altro che insostenibili per le imprese zootecniche, consente di esaltare fortemente il fattore lavoro incrementandone la produttività fino al 300% circa. Inoltre, la mungitura meccanica, se attuata nel rispetto di alcune elementari norme di utilizzazione della macchina, permette l'efficace controllo della carica microbica del latte.

Per esprimere un giudizio articolato sui costi di esercizio degli impianti di mungitura si è fatto riferimento al costo d'uso orario ed unitario espresso in £/capo giorno (*riquadro 21*). Le voci di costo considerate riguardano:

- i costi fissi relativi all'impianto di mungitura ed alla sala;
- i costi variabili inerenti la manodopera, la manutenzione, l'energia elettrica e la pulizia dell'impianto.

Adottando un tasso annuo di interesse del 6,50%, la quota di ammortamento della mungitrice è risultata pari all'11% del prezzo di acquisto della macchina, considerando una dotazione standard di accessori. Il calcolo si è effettuato sulla base di una vita utile di 10 anni e di una vita annua di 220 giorni. L'incidenza degli oneri inerenti l'assicurazione della mungitrice, anch'essa proporzionale al valore a nuovo della macchina, è stimata in una quota media annua del 2,50%. Gli oneri relativi alla sala di mungitura sono valutati annualmente al 5% del costo di ricostruzione di 250.000 £/m².

Riquadro 21

Costi di esercizio per la mungitura manuale e meccanicaElementi tecnici ed economici di riferimento

- Quota di ammortamento dell'impianto: 11% del prezzo di acquisto
- Durata tecnica: 10 anni
- Tasso annuo di interesse: 6,5%
- Quota annua per imposte ed assicurazioni: 2,5% del prezzo di acquisto
- Costo d'uso dei fabbricati: 5% del costo di ricostruzione (250.000 m²)
- Costo di manutenzione: 5% del prezzo di acquisto
- Prezzo dell'energia elettrica: 175 £/kWh
- Prezzo detergenti: 3.400 £/kg
- Costo manodopera: 10.000 £/h
- Durata della stagione di mungitura: 220 giorni.
- Tecnica di mungitura meccanica: senza ripasso

| | Manuale 12+12 poste | Secchio rotaia 12+12 poste (4 gruppi) | Lattodotto 12+12 poste (6 gruppi) | Lattodotto 24+24 poste (12 gruppi) |
|--------------------------------------|---------------------------|---|---|--|
| Capi in lattazione (n) | 200 | 200 | 350 | 700 |
| Produtt. lavoro (capi/h uomo) | 60* | 110 | 200 | 200 |
| Addetti (n) | 2 | 1 | 1 | 2 |
| Prezzo impianto (£) | = | 12.000.000 | 25.000.000 | 35.000.000 |
| Costi fissi (£/capo anno) | | | | |
| • Ammortamento impianto | = | 6.600 | 7.857 | 5.500 |
| • Prezzo uso sala | 2500** | 4.030 | 2.451 | 1.708 |
| • Imposte -Assicurazioni | = | 1.500 | 1.785 | 1.250 |
| Totale | 2.500 | 12.130 | 12.093 | 8.458 |
| Costi variabili (£/capo anno) | | | | |
| • Manodopera*** | 73.333 | 47.326 | 26.186 | 24.093 |
| • Manutenzione | = | 3.000 | 3.572 | 2.500 |
| • Elettricità | = | 1.433 | 1.038 | 866 |
| • Lavaggio | = | 1.900 | 1.356 | 1.085 |
| Totale | 73.333 | 53.659 | 32.152 | 28.544 |
| Costi di esercizio SF+SV | | | | |
| £/capo anno | 75.833 | 65.789 | 44.245 | 37.002 |
| £/capo giorno | 347 | 299 | 201 | 168 |

*Con lavaggio della mammella

**Comprese le rastrelliere

***Compreso il tempo per il lavaggio dell'impianto e la pulizia della sala

I costi di manutenzione, comprensivi di materiali e di manodopera, sono calcolati con criteri di proporzionalità rispetto al valore a nuovo dell'impianto, sul quale si è ipotizzata un'incidenza media annua del 5%.

Per il lavaggio dell'impianto, prevedendo l'uso di un sistema automatico, si sono computati solamente i costi inerenti i detersivi (3.400 £/kg) e l'acqua calda.

I costi relativi al consumo di energia elettrica, calcolati in ragione della potenza assorbita dall'impianto e nell'ipotesi di utilizzazione media giornaliera di circa 4 ore, comprensive delle operazioni di lavaggio, per un costo unitario di 175 £/kWh.

Come si rileva dagli esempi numerici riportati nel riquadro 21 il costo della mungitura manuale, ipotizzando una produttività del lavoro di 60 capi/h per rispettare i requisiti igienici imposti dall'Ue, risulta di 347 £/capo per giorno. L'uso del mezzo meccanico riduce in misura considerevole i costi di mungitura che, nel caso di greggi di ampie dimensioni (700 capi), può essere addirittura dimezzato. Tutto ciò ipotizzando di sostenere per intero l'investimento con l'autofinanziamento. Nell'eventualità, più frequente nella realtà operativa, di ricorso a fonti di finanziamento creditizio agevolato, i costi di esercizio per la mungitura meccanica subiscono un sensibile decremento.

Per contenere i costi è di fondamentale importanza utilizzare impianti coerenti con le dimensioni del gregge. Utilizzando, ad esempio, un impianto con 48 poste e 12 gruppi prendicapezzoli per la mungitura di 350-400 capi, in luogo dei 700-800 considerati ottimali, i costi di esercizio aumentano del 25-30%.

Bibliografia principale

- A.I.A.**, *Caratteristiche dei prodotti di lavaggio e disinfezione degli impianti di mungitura*, Norma integrativa al "Manuale per tecnici", Milano, 1977, pp. 1-50.
- ARA Sardegna**, La qualità del latte ovino, "Sardegna Agricoltura", n. 4, 1990, pp. 1-16
- Codeluppi M.**, *Mungitura e latte di qualità*, "Informatore Zootecnico", n. 21, 1990, pp. 79-87.
- Del Monte P.**, *L'igiene degli impianti di mungitura*, "L'informatore Zootecnico", n. 11, 1983, pp. 32-34.
- Eitam M., Leibovich H.**, *Rotary milking parlour performance in small ruminants*, 5th International Symposium on machine milking of small ruminants, Budapest (Hungary), may 14-20, 1993, pp. 349-352.
- Franchi A.**, *Impianti di mungitura in ordine ed efficienti*, "Informatore Zootecnico", n. 22, 1992, pp. 51-54.
- Gates R. S., Sagi R., Guest R. W.**, *Criteria for optimizing size and configuration of milk pipelines*, "J. Dairy Science", 65, 1982, pp. 410-418.
- Le Du J.**, La machine à traire: réflexions sur la pulsation. "L'éleveur de bovins", n.52, 1981, pp. 5-10.
- Le Du J.**, *Etude sur la productivité en salle de traite pour brebis*, "III Symposium Internacional de ordeño mecanico de pequeños rumiantes", Valladolid (España), 16-20 mayo, 1983, pp. 303-314.
- Le Mens P.**, *Analyse et conception du chantier de traite caprin*, "III Symposium Internacional de ordeño mecanico de pequeños rumiantes", Valladolid (España), 16-20 mayo, 1983, pp. 347-356.
- Lengyel L.**, *Labour organization in the various types of sheep milking parlours*. 5th International Symposium on machine milking of small ruminants, Budapest (Hungary), may 14-20, 1993, pp. 419-432.
- Mein G. A.**, *Recent changes in design and performance standards for milking systems*, "Proc. Designing a Modern Milking Center", Northeast Regional Agricultural Engineering Service, nov. 19-dec.1, Rochester, New York, 1995, pp. 56-62.
- Mottram T.**, *Prospects for automation in goat dairying*. 5th International Symposium on machine milking of small ruminants, Budapest (Hungary), may 14-20, 1993, pp. 343-348.
- Murgia L., Pazzona A.**, *Detersione e disinfezione delle mungitrici*, "Informatore Zootecnico", n. 1, 1991, pp. 61-66.
- Murgia L., Pazzona A.**, *Lactofeed, per la mungitura di ovini e caprini*, "Macchine & Motori Agricoli", n. 6, 1994, pp. 57-62.
- Murgia L., Pazzona A.**, *Organizzazione del lavoro nella mungitura meccanica degli ovini e dei caprini*, "Sardegna Agricoltura", n. 4, 1996, pp. 11-15.
- Pazzona A., Piccarolo P., Zironi V.**, *Nouvelle installation pour la traite en alpage des brebis et des chèvres (deuxième prototype)*, "XII Conferencia Internacional de mecanisacion agraria, Zaragoza (España), 22-30 mars, 1980, pp. 155-174.
- Pazzona A., Piccarolo P.**, *Definizione sperimentale des conditions optimales de traite de la brebis Sarde*, "III Symposium Internacional de ordeño mecanico de pequeños rumiantes", Valladolid (España), 16-20 mayo, 1983, pp. 433-444.
- Pazzona A.**, *Evoluzione delle tecnologie di mungitura degli ovini*, "Informatore Zootecnico", n. 24, 1987, pp. 22-25.

- Pazzona A.**, MUNGITURA MECCANICA E REFRIGERAZIONE DEL LATTE ALLA STALLA, Istituto Nazionale di Economia Agraria, Quaderni di zootecnia, n. 15, 1994.
- Pazzona A., Murgia L., Sabelli M.**, Nuovi orientamenti nella mungitura meccanica degli ovini e dei caprini, "Informatore Zootecnico", n. 9, 1995, pp. 27-37.
- Pazzona A., Murgia L.**, Mungitura ovini: sistema innovativo Fisiomilk, "Macchine & Motori Agricoli", n. 9, 1996, pp. 43-47.
- Pazzona A., Murgia L.**, Mungitrici per ovini: la condotta del latte, "Informatore Zootecnico", n. 19, 1996, pp. 45-46.
- Pazzona A., Murgia L.**, Dimensionamento e prestazioni del lattodotto nelle mungitrici per ovini. "L'Informatore Agrario", n. 8, 1997, pp. 89-93.
- Peris C., Diaz J.R., Torres A., Fernandez R., Rodriguez M.**, Effect of variable traction on the teatcup during machine milking of ewes. 5th International Symposium on machine milking of small ruminants, Budapest (Hungary), may 14-20, 1993, pp. 385- 400.
- Resti B.**, Igiene della mungitura "Informatore Zootecnico", n. 22, 1994, pp. 32-33.
- Salvadori Del Prato O.**, Un buon lavaggio risolve molti problemi, "Informatore Zootecnico", n. 3, 1996, pp. 23-26.
- UNI**, Impianti per la mungitura meccanica delle specie ovina e caprina: terminologia, requisiti costruttivi e prestazionali (progetto di norma U590C2240), Milano, 1997, pp. 1-50.

Parte quarta

LA REFRIGERAZIONE DEL LATTE

14 Refrigerazione e qualità del latte

Il latte costituisce un buon terreno di coltura per molti ceppi di microrganismi che vi si trovano naturalmente e che provengono tanto dall'interno della mammella che dall'ambiente esterno. Alcuni di questi microrganismi possono essere dannosi per la salute dei consumatori, altri provocano l'alterazione dei costituenti del latte ponendo problemi di conservazione e di trasformazione, altri ancora sono indice di una scarsa igiene aziendale. La refrigerazione, inducendo una stasi dell'attività moltiplicativa per effetto della bassa temperatura, costituisce il miglior mezzo per contenere la proliferazione dei germi, e la sua efficacia è legata tanto alle prestazioni degli impianti quanto alla qualità iniziale del prodotto. Infatti, poiché la refrigerazione non costituisce un trattamento di risanamento ma solo di stabilizzazione, sia in fase di allevamento che di mungitura devono essere messe in atto tutte quelle procedure che consentono di limitare al massimo il grado di contaminazione iniziale del latte.

14.1 Evoluzione della flora batterica

Come già accennato, i batteri che colonizzano il latte sono di provenienza endogena ed esogena. Sono endogeni sia germi banali presenti nel canale capezzolare che alcuni patogeni la cui presenza è associata ad uno stato di malattia dell'animale (mastite, brucellosi, tubercolosi).

La massima parte dei comuni germi il latte è di origine esogena e, quindi, strettamente dipendente dal grado di igiene dell'animale e dell'ambiente. Alcuni di questi sono patogeni di provenienza fecale (come gli enterobatteri), ma la maggior parte è rappresentata dalla cosiddetta flora d'alterazione, cioè da quei microrganismi che degradano le proteine, il lattosio e i lipidi e alterano, quindi, la composizione originaria del latte.

La flora dominante in un latte appena munto è rappresentata da tre gruppi principali: i batteri lattici, i coliformi, gli psicrotrofi. I batteri lattici (Lattobacilli e Streptococchi) ed i coliformi demoliscono il lattosio provocando l'acidificazione del latte; i batteri psicrofili producono lipasi e proteasi termoresistenti che determinano difetti nei prodotti caseari. La consistenza numerica iniziale di ciascun gruppo di batteri è quantomai variabile e dipende dal tipo di inquinamento microbiologico predominante; durante la conservazione essa varia in funzione della temperatura del latte che influisce sul tasso di moltiplicazione delle diverse specie. Infatti, ciascun ceppo di batteri si riproduce attivamente entro un determinato campo di temperature, nell'ambito del quale vi è un valore ottimale cui corrisponde la massima velocità di crescita. Al di

sopra ed al di sotto di questo valore la crescita è rallentata fino a cessare completamente per valori di temperatura al di fuori dei limiti minimo e massimo del campo di sviluppo (fig. 52).

Pur tenendo presente che tali limiti non sono rigidissimi, i batteri del latte possono essere suddivisi in specie mesofile, termofile, e psicrofile in funzione delle loro temperature di sviluppo. Come si nota dai valori riportati nella tabella 13, subito dopo la mungitura è favorita la microflora lattica mesofila che trova la temperatura ottimale per il proprio sviluppo e che, inizialmente, costituisce infatti il gruppo predominante.

La moltiplicazione dei batteri nel latte appena munto non è però quasi mai immediata, ma inizia solo dopo un certo periodo di tempo (2-3 ore, ma il dato è estremamente variabile) a causa della presenza di alcune sostanze inibenti naturali, indicate col termine generico di lattenine. Ciò determina una fase iniziale di latenza nello sviluppo dei microrganismi prima che si instauri la fase di moltiplicazione esponenziale. Sulla base di queste informazioni si comprende come sull'efficacia del processo di refrigerazione giochino due fattori fondamentali: il tempo e la temperatura. Il tempo perché intervenendo tempestivamente si sfrutta la fase iniziale batteriostatica, la temperatura perché già al di sotto di 10 °C si rallenta lo sviluppo dei batteri mesofili, fino a bloccarlo completamente nel latte a 4°C.

14.2 Aspetti chimici e microbiologici della refrigerazione

Durante il processo di refrigerazione e la successiva conservazione a bassa temperatura si verificano dei cambiamenti di natura chimica e microbiologica a carico dei costituenti del latte e che ne influenzano, in diversa misura, l'attitudine alla caseificazione.

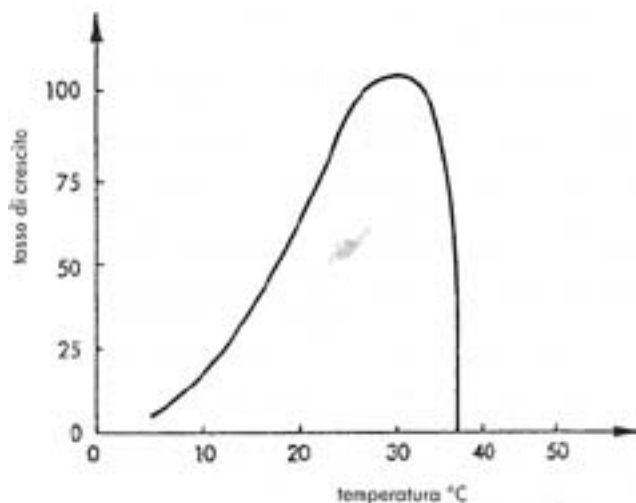


Fig. 52. Influenza della temperatura sulla moltiplicazione di un ceppo batterico mesofilo. Il tasso di crescita è espresso in percentuale del tasso massimo.

Sotto l'aspetto chimico, le modificazioni indotte dalla bassa 118 temperatura riguardano la frazione proteica, quella lipidica ed i minerali. La rottura delle micelle proteiche e l'aumento della caseina solubile nel siero, la dissociazione di Ca e P dalle micelle nel siero, la formazione di complessi insolubili Ca-fosfati e l'aumento del pH comportano in generale un tempo di coagulazione più prolungato, una cagliata più molle ed una riduzione della sineresi rispetto alla lavorazione di latte fresco. In particolare, il tempo di coagulazione aumenta quanto minore risulta la temperatura di refrigerazione, e ciò si verifica già entro le prime 24 ore di conservazione, per cui la durata dello stoccaggio non ha un'influenza determinante su tale parametro. La causa del rallentamento della coagulazione risiede essenzialmente nell'aumento del pH del latte refrigerato, dovuto alla dissociazione del Ca-fosfato ed alla liberazione di ioni H^+ .

La minor resa in formaggio che si verifica nella lavorazione del latte conservato a freddo è legata, più che alla solubilizzazione della β -caseina dipendente dalla temperatura, all'attività proteolitica della flora psicrotrofa e, quindi, alla perdita di microparticelle caseiniche che si disperdono nel siero durante la lavorazione. Abbiamo già visto che queste specie batteriche, avendo un optimum di temperatura per la crescita intorno ai 5 °C, possono svilupparsi attivamente nel latte refrigerato. Di conseguenza, la composizione originaria della flora batterica si modifica durante la conservazione prolungata, variando così il rapporto fra i vari ceppi, con una diminuzione delle specie mesofile ed un aumento significativo di quelle psicrotrote costituite prevalentemente da *Pseudomonas*. Lo squilibrio risulta tanto più marcato quanto più elevato era il grado di contaminazione iniziale del latte da parte dei batteri di questo tipo, ciò che indica un inquinamento ambientale derivante da una scarsa igiene dei materiali a contatto con il latte. In situazioni igienico-sanitarie buone, l'incidenza della microflora psicrotrofa nel latte crudo è pari a circa il 10% di quella totale, ma può arrivare a costituire anche il 75% in condizioni di scarsa igiene.

Tab. 14 - Classificazione dei batteri del latte in funzione delle temperature di sviluppo

| Batteri | Temperatura di sviluppo (°C) | | |
|-------------|------------------------------|----------|---------|
| | Minima | Ottimale | Massima |
| PSICROFILFI | -5 | 5-10 | 20 |
| MESOFILI | 10 | 30-40 | 45 |

| | | | |
|-----------|----|-------|----|
| TERMOFILI | 40 | 50-60 | 75 |
|-----------|----|-------|----|

La produzione, da parte di questi microrganismi, di enzimi esocellulari proteolitici e lipolitici resistenti ai successivi trattamenti termici provoca, oltre il peggioramento delle caratteristiche reologiche del latte, la comparsa del gusto amaro e di rancido nei prodotti caseari. Poiché gli effetti divengono evidenti dopo 48 ore di conservazione a 4°C e soprattutto nei latti molto contaminati, la durata accettabile dello stoccaggio in vasca è strettamente legata al numero di psicrotrofi presenti inizialmente.

La sintesi delle proteasi e delle lipasi è comunque inibita alla temperatura di 2°C, per cui spingere la refrigerazione fino a questo livello di temperatura potrebbe consentire di aumentare il periodo di conservabilità del latte.

15 Fondamenti del processo di refrigerazione

Refrigerare un corpo, come nel nostro caso il latte, significa provocarne un abbassamento di temperatura senza però portarlo al punto di congelamento. Questo implica la sottrazione di una certa quantità di calore che deve essere poi trasferita e smaltita in un mezzo esterno. Quando avviene spontaneamente, il flusso di calore va nel verso delle temperature decrescenti, ossia passa da un corpo caldo verso uno freddo. Una macchina frigorifera permette di invertire il senso naturale del flusso termico e cioè consente di trasferire il calore da una sorgente fredda verso un corpo caldo. Tutto ciò avviene, ovviamente, con una certa spesa di energia (*riquadro 22*).

Il funzionamento della macchina frigorifera si basa su poche leggi fondamentali relative al comportamento dei fluidi sotto l'azione di variabili esterne e ai modi di trasferimento dell'energia. In breve, esse sono le seguenti:

- i fluidi assorbono calore (calore latente di evaporazione) nel passaggio dallo stato liquido allo stato aeriforme, e lo restituiscono interamente quando dallo stato gassoso ritornano allo stato liquido (calore latente di condensazione);
- la temperatura alla quale avviene il cambiamento di stato (o di fase) di una sostanza è influenzata dalla pressione, ma rimane costante per tutta la durata del cambiamento di stato;
- il calore fluisce sempre spontaneamente da un corpo caldo a un corpo più freddo;
- il volume di un gas varia col variare della pressione cui è sottoposto.

Fra i sistemi pratici di refrigerazione il più diffuso in tutti i campi di applicazione (refrigerazione domestica, industriale, condizionamento dell'aria) è il sistema frigorifero a compressione che utilizza come vettori termici delle sostanze, con particolari proprietà termodinamiche, chiamate fluidi frigoriferi. Questi fluidi vengono sottoposti a dei cambiamenti di stato che avvengono in modo controllato e ripetitivo all'interno di un circuito frigorifero composto da quattro organi principali: l'evaporatore, il compressore, il condensatore, il dispositivo di laminazione.

15.1 Ciclo frigorifero

Funzionamento ideale

Il ciclo frigorifero consiste nella sequenza delle trasformazioni termodinamiche subite dal fluido frigorifero all'interno di un circuito frigorifero. Nel diagramma di figura 53, in cui sono riportati in ascisse i valori dell'entalpia e in ordinate i valori della pressione nelle diverse fasi

del ciclo, è rappresentato il ciclo frigorifero ideale, che cioè non tiene conto delle dispersioni termiche e delle perdite di carico nel circuito. Ciò che si vuole evidenziare per il momento sono i cambiamenti di stato del fluido che permettono la veicolazione del calore: il passaggio da liquido a gas (tratto A-B) è un fenomeno endotermico che permette di produrre freddo assorbendo calore; questo calore viene quindi restituito attraverso un processo esotermico di condensazione del fluido (tratto C-D) che da gas ritorna allo stato liquido.

Ciascun punto del diagramma identifica un particolare stato del fluido, caratterizzato da differenti valori di pressione e di calore (*riquadro 23*). Nel punto A il refrigerante si trova quasi totalmente allo stato liquido. Per passare allo stato di vapore (punto B) il fluido sottrae calore dall'ambiente circostante e lo utilizza come calore latente di vaporizzazione: il processo avviene all'interno dell'evaporatore a bassi valori di pressione e temperatura, che rimangono costanti per tutta la durata della trasformazione. La differenza fra i contenuti termici relativi ai punti A e B ($Q_0 = H_B - H_A$) rappresenta la quantità di calore prelevata, ossia l'effetto frigorifero.

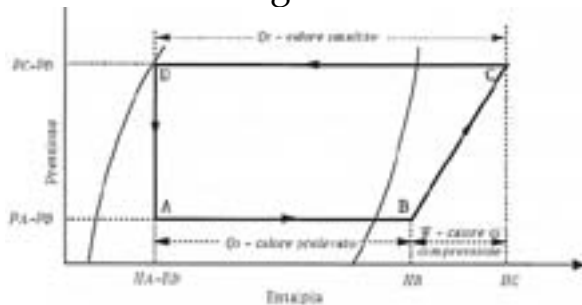


Fig. 53. Ciclo frigorifero schematizzato in un diagramma pressioni-entalpie di un comune fluido refrigerante.

Affinchè il processo di raffreddamento continui, il refrigerante gassoso, carico di calore, deve essere rimosso dall'evaporatore con continuità; questo compito viene svolto dal compressore

che aspira il vapore, lo comprime e lo surriscalda (punto C). Il compressore, quindi, mantiene una pressione bassa all'interno dell'evaporatore, e porta il fluido ad una pressione più elevata P_C , corrispondente ad una temperatura di saturazione T_C , compatibile con quella del mezzo raffreddante impiegato per ottenere la successiva condensazione del refrigerante allo stato liquido. La differenza fra le entalpie dei punti C e B ($W = H_C - H_B$) rappresenta l'equivalente termico del lavoro di compressione, ossia l'energia meccanica spesa per comprimere il gas e trasferita al gas stesso sotto forma di calore.

Il vapore caldo e ad alta pressione passa quindi all'interno del condensatore dove subisce prima un desurriscaldamento e poi una condensazione a temperatura e pressione costanti. Il calore di condensazione ($Q_C = H_C - H_D = Q_0 + W$) viene ceduto ad un mezzo di

raffreddamento (aria o acqua) la cui temperatura deve essere 122
ovviamente inferiore a quella di condensazione del fluido
frigorifero.

Dal punto D, in cui si trova allo stato di liquido ad alta
temperatura e ad alta pressione, il fluido deve essere riportato ad
un valore di
temperatura inferiore a quella del corpo che si deve refrigerare e ad un

Contenuto termico di un corpo

Il livello o intensità di calore di un corpo si definisce *temperatura* e si misura mediante apparecchi detti termometri. La *quantità di calore* contenuta in un corpo non si misura direttamente ma si ottiene per differenza nel corso dello scambio termico con un corpo di riferimento; la misura si effettua mediante apparecchiature denominate calorimetri.

Il *calore specifico* ($c_s = \text{kJ o kcal/kg}^\circ\text{C}$) si definisce come la quantità di calore da somministrare per far innalzare di 1°C la temperatura di una massa unitaria di quel corpo. Il valore di c_s è caratteristico di ogni sostanza e varia in funzione dello stato fisico (solido, liquido, gassoso) della sostanza stessa. Per il ghiaccio, ad esempio, il calore specifico è pari alla metà di quello dell'acqua di cui è costituito.

Il contenuto termico di un corpo o *entalpia* (H) è dato dalla somma del calore sensibile e del calore latente. Il *calore sensibile* è la quantità di calore impiegata (fornita o asportata) per spostare la temperatura di una sostanza da quella di partenza alla temperatura alla quale è possibile il cambiamento di stato dell'intera massa di quella sostanza. Tuttavia, per modificare lo stato fisico del corpo è necessario somministrare, o asportare, un'ulteriore quantità di calore che si definisce *calore latente*: sottraendo calore, un vapore si trasforma in liquido e un liquido si trasforma in solido; fornendo calore, si inverte il senso delle trasformazioni. Il cambiamento di stato è quindi caratterizzato da un guadagno o da una perdita di calore latente, ma la temperatura del corpo non subisce modificazioni.

Si definisce *calore latente di vaporizzazione* la quantità di calore che si deve somministrare per cambiare da liquido a vapore lo stato di una massa unitaria di una sostanza, alla pressione atmosferica a livello del mare; la stessa quantità di calore deve invece essere rimossa per cambiarne lo stato fisico da gassoso a liquido (*calore latente di condensazione*). Analogamente si definiscono il calore latente di fusione e di solidificazione.

Pressione e temperatura

La compressione di una sostanza gassosa produce un aumento della sua temperatura dovuto alla trasformazione in *energia interna* dell'energia spesa dal pistone nell'atto di comprimere il gas: questo aumento di energia interna si definisce *calore di compressione*.

Se il gas viene compresso partendo da condizioni di temperatura ambiente, il suo aumento di temperatura gli consentirà di riversare nell'ambiente il proprio calore di compressione. Nello stesso tempo la compressione sposta la temperatura di condensazione del gas a valori superiori alla temperatura ambiente, cosicché il gas finisce per condensare.

Di questa proprietà si fa uso nella sezione di condensazione (alta pressione) del circuito frigorifero dove il gas pressurizzato cede all'ambiente non solo il calore di compressione, ma anche il calore assorbito durante il passaggio nell'evaporatore. Nella sezione di evaporazione (bassa pressione) si fa ricorso alla proprietà reciproca per favorire l'evaporazione a bassa temperatura del fluido refrigerante.

valore di pressione compatibile con le condizioni di evaporazione. 125 Questo si ottiene facendo passare il liquido attraverso un dispositivo di laminazione che crea una strozzatura del circuito per opporre una resistenza calcolata al deflusso dal condensatore all'evaporatore. Ciò provoca la caduta di pressione al valore desiderato (P_A), e contemporaneamente il raffreddamento del fluido, dovuto al fatto che una frazione del liquido evapora sottraendo calore alla parte restante. L'entalpia del processo rimane comunque costante perché il calore sensibile perduto dal liquido che si raffredda si ritrova sotto forma di calore latente nel gas.

Al punto A il ciclo è concluso ed il fluido, che ha riacquisito le caratteristiche iniziali ed è cioè freddo ed a bassa pressione, può nuovamente vaporizzare all'interno dell'evaporatore.

Funzionamento reale

L'efficienza di una macchina frigorifera risulta tanto maggiore quanto più elevata è la quantità di calore sottratta per un dato lavoro speso. Il rapporto fra l'effetto frigorifero Q_0 e l'equivalente termico del lavoro di compressione W , per il quale viene spesa dell'energia, è definito *coefficiente di prestazione frigorifera* o coefficiente d'effetto utile (ε).

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W} = \frac{Q_0}{Q_C - Q_0}$$

Questo parametro varia con le temperature di evaporazione e di condensazione, ed è influenzato dalle perdite di resa di tipo meccanico nel circuito. Infatti, il funzionamento reale di una macchina frigorifera si discosta leggermente da quello appena descritto per due ragioni fondamentali: il circuito non è un sistema isolato e può scambiare calore con l'esterno; l'attrito e la turbolenza del fluido nelle tubazioni provocano delle perdite di pressione.

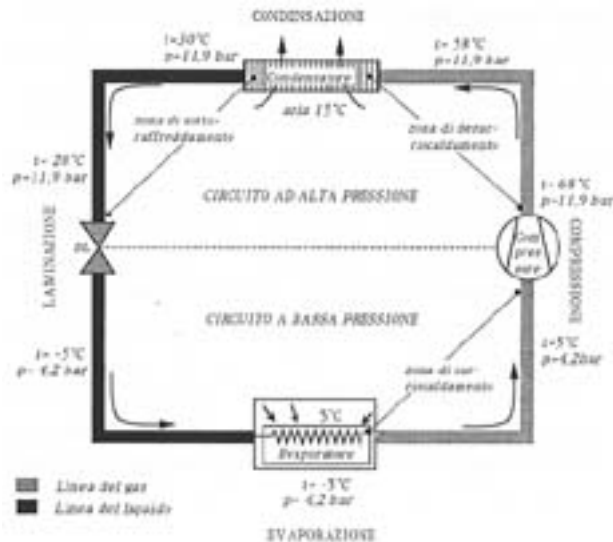


Fig. 54. Schema di funzionamento di una macchina frigorifera funzionante con R22

Queste ultime sono trascurabili in un impianto ben progettato, mentre assumono maggior importanza le variazioni di calore. Per comprendere quali sono queste variazioni analizziamo quindi nel dettaglio quali sono i valori di temperatura che si riscontrano nelle varie sezioni di un circuito funzionante con monocloro-difluoro-metano (R22), schematizzato in figura 54,

in cui la temperatura di refrigerazione richiesta è di 5°C

La temperatura di evaporazione del fluido viene generalmente scelta di circa 5-10°C inferiore a quella della sostanza da raffreddare, cioè nel nostro caso sarà pari a -5°C. Poiché la temperatura di vaporizzazione dipende dalla tensione di vapore saturo, ossia dalla pressione che si esercita sulla superficie del liquido, una volta fissata la temperatura, si può quindi conoscere la pressione corrispondente che per l'R22 a -5°C è pari a 4,2 bar.

Il gas che dall'evaporatore arriva al lato aspirante del compressore tramite una tubazione esterna subisce un incremento di temperatura. Questo aumento di calore sensibile è dovuto in parte ad un surriscaldamento del gas nell'ultimo tratto dell'evaporatore, ed in parte al fatto che, percorrendo un tratto di tubazione a contatto con l'ambiente esterno, il gas assorbe calore dall'aria e si riscalda in maniera tanto più elevata quanto più alta risulta la temperatura dell'aria esterna e più lunga la tubazione.

Poniamo che il refrigerante si surriscaldi di circa 10°C: all'ingresso del compressore il gas avrà allora una temperatura di 5°C ed una pressione di 4,2 bar. Il lavoro meccanico del compressore dovrà aumentarne la pressione fino ad un valore tale da permetterne la condensazione alla temperatura scelta. Questa dipende a sua volta dalla temperatura del mezzo impiegato per il raffreddamento del condensatore, e che si stima debba essere inferiore di circa 15°C: se per esempio si dispone di aria ambiente a 15°C, la temperatura di condensazione sarà di 30°C. Siccome per l'R22 la tensione di vapore saturo a 30°C risulta di 11,9 bar, il compressore dovrà aumentare la

pressione da 4,2 a 11,9 ed il lavoro meccanico che esso svolge si trasforma in calore che provoca un incremento di temperatura del gas fino a 68°C.

Quindi, il fluido totalmente gassoso, ad alta temperatura ed alta pressione, viene inviato al condensatore. Nella tubazione di mandata, a contatto dell'ambiente esterno, si ha un primo desurriscaldamento del gas che cede calore all'aria (che ha 15°C), riducendo la propria temperatura di circa 10°C. Poi, nel primo tratto del condensatore, si completa il desurriscaldamento del gas che cede calore al mezzo di raffreddamento portandosi a 30°C. A questo punto inizia la condensazione, a temperatura costante, del gas che cede il calore latente al mezzo di raffreddamento e ritorna così allo stato liquido. Il calore smaltito risulta dalla somma di quello assorbito per l'evaporazione e di quello sviluppato dal lavoro di compressione. Alla fine della condensazione il fluido frigorifero è allo stato liquido al 100%, ha una temperatura di 30°C ed una pressione di 11,9 bar.

Nell'ultimo tratto del condensatore, e in piccola parte nella tubazione di mandata al dispositivo di laminazione, si verifica un raffreddamento iniziale del fluido, che poniamo sia di 10°C. Il dispositivo di laminazione, come già detto, ha la funzione di ripristinare le condizioni di temperatura e pressione compatibili con l'evaporazione del frigorifero: dapprima si ha la caduta di pressione dal valore di 11,9 bar fino a 4,2 bar e quindi, per effetto della vaporizzazione parziale del liquido, la caduta della temperatura da 20°C a -5°C. Il calore latente di vaporizzazione assorbito in questo punto non contribuisce però all'effetto frigorifero utile (abbiamo detto che l'entalpia rimane costante). Il sottoraffreddamento che si verifica a monte, determinando una riduzione del gas di autoevaporazione, permette un guadagno di produzione frigorifera del sistema. All'uscita del dispositivo il fluido è per la gran parte liquido, ma è presente anche una quota sotto forma di gas (10-20%), variabile da un'installazione all'altra in funzione di numerosi fattori (pressioni d'esercizio, tipo di fluido, ecc.). In queste condizioni il fluido entra nell'evaporatore e ricomincia il ciclo.

15.2 Fluidi frigoriferi

Affinché una sostanza possa svolgere efficacemente il ruolo di fluido frigorifero è necessario che evapori a bassi valori di temperatura e pressione e condensi a valori di temperatura e pressione più elevati. Più precisamente deve possedere particolari proprietà termodinamiche, quali:

- *elevato calore latente di evaporazione*, che determina un maggiore 128 effetto frigorifero utile, ossia consente l'assorbimento di una maggiore quantità di calore;
- *basso calore specifico*, perché ciò implica l'impiego di una minore quota di calore ai fini non specifici della refrigerazione (durante la laminazione);
- *temperatura di ebollizione*, alla pressione atmosferica, sufficientemente *bassa*, in modo da poter ottenere basse temperature senza dover mantenere pressioni basse all'interno dell'evaporatore. La pressione di evaporazione deve in ogni caso essere positiva in modo che non vi possano essere infiltrazioni di aria o umidità all'interno dell'impianto;
- *temperatura critica elevata*, in modo che l'aria o l'acqua utilizzati per il raffreddamento del condensatore possano raffreddare il gas almeno alla temperatura critica, tenendo presente che se ciò avviene ad un valore lontano dalla temperatura critica, si ha un migliore rendimento;
- *volume specifico del vapore basso* per contenere il volume del compressore e delle restanti parti del circuito;
- *bassa pressione di condensazione*, in modo che il rapporto di compressione non debba essere elevato, il che implica un minor dispendio energetico ed un minor costo dei componenti;

Oltre queste proprietà, che influiscono direttamente sul flusso di calore che il refrigerante è in grado di veicolare, il fluido deve possedere i seguenti requisiti fisico-chimici: stabilità chimica alle pressioni ed alle temperature di esercizio, non corrosività nei confronti dei materiali del circuito, una certa solubilità nell'acqua e miscibilità con gli olii lubrificanti, sicurezza di impiego (non tossico, non infiammabile e non esplosivo).

I fluidi frigoriferi utilizzati negli impianti per la refrigerazione del latte appartengono a tre gruppi di idrocarburi alogenati: i clorofluorocarburi (CFC), gli idroclorofluorocarburi (HCFC) e gli idrofluorocarburi (HFC). I diversi composti chimici vengono comunemente indicati con la lettera R seguita da una sigla numerica identificativa.

I CFC, a causa degli effetti nocivi sullo strato di ozono dovuti ai due atomi di cloro presenti nella loro molecola, sono stati progressivamente abbandonati e la loro produzione è stata bloccata dal gennaio 1996. Fa parte di questo gruppo l'R12 (diclorodifluorometano), un composto molto comune e impiegato negli impianti di media e piccola potenza, ormai sostituito in quelli di recente fabbricazione con l'R22 (monoclorodifluorometano). Anche l'R22, che essendo un HCFC contiene un solo atomo di cloro nella molecola ed ha un potenziale

d'impoverimento dell'ozono pari al 5% dell'R12, verrà comunque 129 messo fuori produzione entro il 2031.

La tendenza attuale dell'industria è quindi quella di impiegare nei circuiti frigoriferi i fluidi della categoria degli HFC che hanno un impatto praticamente nullo sia sullo strato d'ozono, sia sull'effetto serra. Gli impianti per la refrigerazione del latte di recente fabbricazione impiegano tutti l'R22; quelli già installati e che funzionano con l'R12 possono comunque continuare ad operare indefinitamente senza problemi. Se però si rendessero necessari degli interventi di riparazione, sarà necessario o cambiare l'intero gruppo frigorifero o sostituire il solo fluido refrigerante con un altro compatibile. In genere i costi addizionali, necessari per adattare alcuni componenti del circuito ad un nuovo fluido (come l'HCF134a), risultano competitivi rispetto all'acquisto di un nuovo impianto. Da sottolineare il fatto che l'R22 non può essere assolutamente utilizzato in un circuito progettato per funzionare con R12 a causa delle differenti proprietà termodinamiche e fisiche dei due fluidi.

15.3 I componenti del circuito frigorifero

Un impianto frigorifero a compressione si compone di quattro organi principali collegati fra loro in modo da costituire un circuito chiuso: il compressore, il condensatore, il dispositivo d'espansione, l'evaporatore. Facendo riferimento ancora allo schema di figura 54, si distingue un *circuito a bassa pressione*, che va dal dispositivo di



Fig. 55. Compressore ermetico.

laminazione al compressore passando per l'evaporatore, in cui il valore della pressione è di 4,2 bar, e di un *circuito ad alta pressione*, che va dal compressore al condensatore fino all'organo di laminazione, in cui regna una pressione di 11,9 bar. Vediamo brevemente le caratteristiche principali di questi organi,

mentre si rimanda alla consultazione di testi specifici per un approfondimento dell'argomento.

Compressore

I compressori utilizzati negli impianti per la refrigerazione aziendale del latte sono del tipo alternativo ed ermetici, in cui il compressore propriamente detto ed il motore elettrico di trazione sono

montati sullo stesso albero e racchiusi dentro un involucro 130 d'acciaio elettrosaldato. Esternamente questo tipo di motore compressore si presenta come un contenitore cilindrico da cui fuoriescono la tubazione di aspirazione, quella di mandata e le connessioni elettriche (fig. 55). Rispetto ai tipi aperto e semiermetico, presenta il vantaggio di essere compatto, poco rumoroso, protetto dall'ambiente esterno; nell'eventualità si verificano dei guasti non può però essere riparato, ma ciò è compensato da un'affidabilità ed una durata molto elevate (riquadro 24).

Le prestazioni operative sono influenzate dalle caratteristiche di progetto del compressore (cilindrata, spazio morto, tipo di valvole) e dalle condizioni di lavoro (velocità di rotazione, pressioni di aspirazione e mandata, tipo di fluido impiegato). In funzione di queste ultime i costruttori dichiarano le prestazioni nominali come potenzialità frigorifera (Kcal/h) e potenza elettrica assorbita (kW).



Fig. 56. Condensatore ad aria e ventilatore.

Condensatore

Il condensatore è uno scambiatore di calore che permette di cedere il calore all'ambiente esterno. Nei tank refrigeranti vengono montati i condensatori raffreddati ad aria, mentre quelli ad acqua sono utilizzati negli impianti dotati di sistemi per il recupero di calore (vedi par. 19.3).

In entrambi, il mezzo raffreddante scambia calore con il frigorifero unicamente sotto forma sensibile, per cui la quantità di calore che può essere smaltita, a parità di salto termico e di portata, è funzione del peso specifico e del calore specifico del fluido. Ciò significa che nei condensatori ad aria, dato il basso calore specifico ($1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ contro $4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ dell'acqua) ed il limitato coefficiente di adduzione termica, bisogna ricorrere ad elevate portate ed a superfici di scambio molto estese. Tuttavia risultano di maggiore semplicità costruttiva e di funzionamento, considerata la disponibilità praticamente illimitata di aria.

Il condensatore ad aria è del tipo a pacco alettato, formato da una serie di tubi di piccolo diametro, all'interno dei quali scorre il

frigorifero, dotati di alette fitte che ne ampliano la superficie 131 disperdente. Il passaggio dell'aria viene forzato da un elettroventilatore indipendente, in posizione premente o aspirante, le cui portate variano da 300 a 700 m³/h per 1000 kcal/h da smaltire (fig. 56). La temperatura di condensazione del gas è generalmente superiore di 7-8 °C rispetto alla temperatura di uscita dell'aria e, poiché il riscaldamento subito dall'aria nel passaggio attraverso il condensatore è di 5-6 °C, essa risulterà in definitiva maggiore di circa 15°C rispetto alla temperatura ambientale.

I condensatori ad acqua più diffusi sono quelli ad immersione e a doppio tubo; nei primi un tubo avvolto a spirale è posizionato in un contenitore contenente l'acqua di raffreddamento; i secondi sono costituiti di due tubi concentrici in cui scorrono in controcorrente il frigorifero (nel tubo interno) e l'acqua (nello spazio anulare). Dato che l'acqua è in grado di veicolare maggiori quantità di calore rispetto all'aria, a parità di esigenze di raffreddamento in questo tipo di apparecchi sono richieste superfici di scambio ridotte. Chiaramente le prestazioni sono legate alla disponibilità ed alla temperatura dell'acqua e, affinché l'impiego di un condensatore di questo tipo sia conveniente, è necessario che si provveda al recupero ed al reimpiego del calore.

Dispositivo di laminazione

Il dispositivo di laminazione (o valvola di espansione) ha la funzione, come abbiamo già visto, di alimentare l'evaporatore con

frigorifero liquido a bassa pressione. Questo obiettivo si realizza secondo principi di funzionamento differenti, ma che provocano tutti, mediante il passaggio del fluido attraverso un foro calibrato, un forte abbassamento della pressione di condensazione, unitamente al raffreddamento del fluido stesso per evaporazione parziale. Nei tank refrigeranti vengono montate due tipi di valvole di espansione: il tubo capillare e la valvola termostatica.



Fig. 57. Dispositivo di laminazione a tubo capillare: a) ingresso del liquido caldo e ed alta pressione dal condensatore; b) uscita della miscela liquido-gas verso l'evaporatore.

Il *capillare* è il dispositivo più semplice sotto l'aspetto costruttivo, essendo costituito da un tubo molto sottile il cui diametro e la cui lunghezza sono proporzionati in funzione della potenza e delle specifiche condizioni di funzionamento del sistema (fig. 57).

Ciò significa che se i valori di esercizio della pressione e della temperatura variano rispetto a quelli di progetto, l'alimentazione dell'evaporatore rimane fissa e non potrà adattarsi automaticamente alle

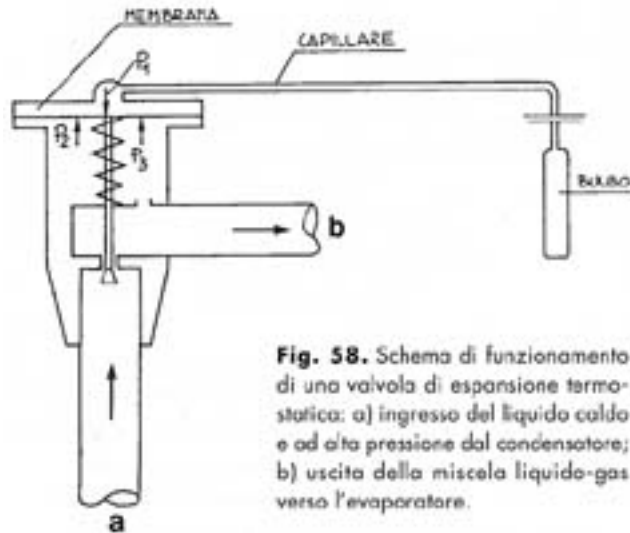
*Riquadro 24***Il compressore ermetico**

Il principio di funzionamento ricalca quello dei motori a scoppio, cioè con pistoni che si muovono con moto alternativo, con la differenza che le valvole poste sulla testa del cilindro sono automatiche e, quindi, si aprono o si chiudono per effetto della differenza tra la pressione all'interno del cilindro e, rispettivamente, quella di aspirazione e quella di mandata.

Il compressore ermetico è una macchina così ben progettata e così ben realizzata da poter durare per l'intera vita dell'apparecchio che la impiega, in pratica oltre dieci anni. Il compressore viene sigillato in un involucro con una carica di fluido refrigerante, che è quella di partenza, e con una scorta di lubrificante destinata a durare indefinitamente.

Quella stessa inaccessibilità che preclude ogni manutenzione è anche il fattore determinante per renderla superflua. Posto il lubrificante in un contenitore stagno, se ne stabilizzano le qualità: non può ossidarsi, né inquinarsi, né disperdersi per perdite o volatizzazione. Il motore elettrico posto anch'esso al riparo della polvere, gode di un secondo privilegio: essendo attraversato dal gas refrigerante durante la fase di aspirazione, rimane sempre in condizioni ottimali di temperatura che ne allungano la vita. L'ingegnosità della circuitazione a flusso totale (full-flow) del gas attraverso il rotore e lo statore del motore elettrico presenta un altro risvolto positivo: eventuali residui di refrigerante allo stato liquido, sempre possibili in macchine che lavorano con carichi non costanti, al contatto con le parti calde del motore evaporano completamente, evitando così il rischio di essere aspirati in fase liquida dal compressore.

nuove esigenze. Per questa ragione il capillare viene di norma 1/34 montato negli impianti di ridotta potenza con carico termico stabile all'evaporatore. Il capillare viene saldato parallelamente al condotto di aspirazione in modo da evitare l'evaporazione parziale nel tubo. All'arresto del compressore il liquido continuerà a fluire fino all'equilibrio delle pressioni nel condensatore e nell'evaporatore, ciò che favorisce poi il riavvio con motori a bassa coppia di spunto.



La *valvola termostatica* inietta nell'evaporatore una quantità di refrigerante liquido variabile in funzione del carico termico. Si tratta di un regolatore che, pilotato da un sensore di temperatura, dosa la portata del fluido in funzione del grado di surriscaldamento subito dai vapori in uscita dall'evaporatore (fig. 58). L'elemento sensibile alla

temperatura, posto sulla linea di aspirazione, è costituito da un bulbo contenente un gas o un liquido che, dilatandosi col calore, determina un aumento di pressione e quindi l'apertura della valvola ed un incremento del flusso. Viceversa, se la temperatura si abbassa, avrà una riduzione del flusso. In questo modo la valvola inietta una quantità di fluido tale che possa vaporizzare completamente e lasci l'evaporatore con una temperatura superiore di qualche grado a quella di vaporizzazione (surriscaldamento costante). Ciò evita l'ingresso di fluido non vaporizzato nel compressore (colpi di liquido) e rende massimo il rendimento del sistema in qualsiasi condizione di funzionamento, poiché l'intera superficie di scambio dell'evaporatore risulta attiva.

Evaporatore

L'evaporatore può sottrarre il calore direttamente dalla sostanza che deve essere raffreddata, oppure indirettamente quando viene impiegato un fluido intermedio (acqua pura o in soluzione alcolica). Gli evaporatori montati nei serbatoi per il latte sono del tipo ad espansione diretta, caratterizzati dal fatto che non si ha riciclo di fluido, né esiste una netta separazione fra vapore e liquido che si trovano miscelati con concentrazioni diverse nei diversi punti dello scambiatore, con un tenore crescente di gas verso il lato aspirante.

Nei sistemi diretti di refrigerazione l'evaporatore è saldato sul lato esterno della vasca contenente il latte. Può essere costituito da una tubazione disposta a spirale oppure viene ottenuto da due lamiere d'acciaio saldate per punti fra le quali viene creata una canalizzazione di varia forma (maglia a nido d'ape, ad alveoli) all'interno della quale si muove il refrigerante (fig. 59). La superficie di scambio, la conformazione del percorso e la velocità di flusso del refrigerante determinano l'efficienza di scambio termico dell'evaporatore, che sarà tanto migliore quanto maggiore sarà la quantità di calore scambiato per unità di superficie, e ciò con una differenza di temperatura tra latte e refrigerante la minore possibile.

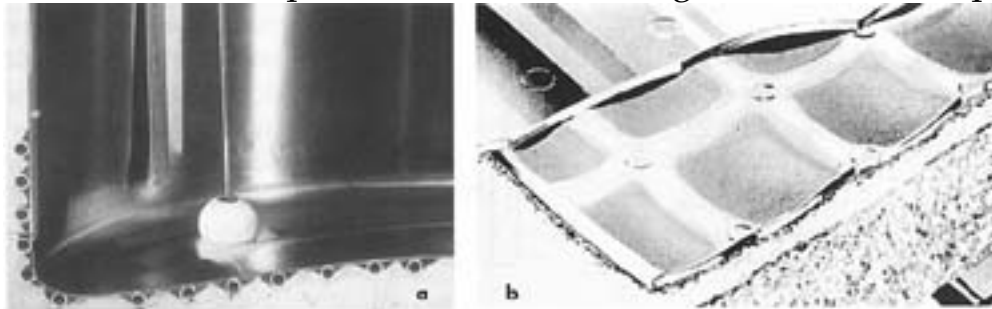


Fig. 59. Tipologie di evaporatori: a) a serpentina; b) maglia a nido d'ape.

Nei sistemi indiretti l'evaporatore è del tipo tubolare, costituito da una serpentina di tubi di rame immersi in un bagno di acqua e, quindi, non in contatto termico diretto con la vasca di contenimento del latte. In questo tipo di impianti le temperature d'aspirazione più basse riducono l'efficienza del compressore e, inoltre, lo strato di ghiaccio che si forma intorno all'evaporatore ne riduce la velocità di trasferimento del calore.

Oltre questi organi principali sono presenti, particolarmente negli impianti di potenza frigorifera elevata, dei dispositivi di controllo e degli apparecchi complementari che garantiscono il corretto funzionamento della macchina.

Dispositivi di controllo

I dispositivi di controllo hanno la funzione di avviare o spegnere l'impianto (controllo primario) oppure di regolarlo e proteggerlo durante il funzionamento (controllo secondario). In linea generale tali dispositivi si compongono di un sensore del parametro che controllano e di un attuatore che agisce sul funzionamento della macchina. Fra i più importanti, *termostati* e *pressostati* che esercitano il controllo dell'impianto, sia di tipo primario che secondario, in funzione dei valori di temperatura e di pressione rilevati in diverse sezioni del circuito. Per esempio, un termostato avvia o spegne il compressore in funzione della temperatura rilevata all'interno della vasca del latte; un pressostato posto sul condotto di aspirazione mantiene costante la pressione d'evaporazione

arrestando il compressore se questa scende al di sotto di un valore prefissato.

Organi complementari

Gli organi complementari hanno invece lo scopo di migliorare le prestazioni dell'impianto frigorifero, ma non sono essenziali per il suo funzionamento. In linea generale, negli impianti troviamo componenti accessori sia sul circuito ad alta pressione (separatore dell'olio, ricevitore di liquido, filtro disidratatore, ecc.) che a bassa pressione (accumulatore di aspirazione).

Il *separatore dell'olio*, montato sul lato premente del compressore, è un recipiente cilindrico in cui si attua la separazione di una buona parte del lubrificante contenuto nel gas; l'olio si accumula sul fondo e viene quindi rinviato al carter del compressore, evitando così la formazione di depositi sulle superfici di scambio dell'evaporatore e del condensatore.

Il *ricevitore di liquido* è un contenitore di forma cilindrica, posto a monte della valvola di espansione (non è presente negli impianti a capillare), in cui si accumula temporaneamente il liquido proveniente dal condensatore. In pratica costituisce una riserva di refrigerante che permette di far fronte alle brusche variazioni di carico termico sull'evaporatore; durante le soste per la manutenzione dell'impianto ospita tutto il liquido.

Il *filtro disidratatore* ha la funzione di eliminare le tracce di umidità presenti nel refrigerante e che possono originare da scarsa tenuta ermetica del circuito o da lubrificanti e fluidi mal disidratati. L'umidità, assolutamente da evitare negli impianti con idrocarburi alogenati data la scarsissima igroscopicità, provoca la formazione di ossidi e depositi metallici che danneggiano gli organi del circuito.

L'*accumulatore* (o trappola) sulla linea di aspirazione del gas protegge il compressore contro i colpi di liquido dovuti all'ingresso accidentale di refrigerante non evaporato. Ciò può verificarsi per difetti di dimensionamento o di funzionamento del sistema di alimentazione dell'evaporatore, particolarmente quando il carico termico è basso e al momento dell'arresto negli impianti con tubo capillare.

Bibliografia principale

Alais C., *SCIENZA DEL LATTE*, Tecniche Nuove, Milano, 1984.

Auclair J., *Conservation du lait a la ferme. Collecte et transport aux laiteries*, "Le lait matière première de l'industrie laitière", CEPIL-INRA, 1987, pp. 231-239.

AA.VV., *MANUEL TECHNIQUE DU FROID*, PYC Edition, Ivry sur Seine, 1993.

AA.VV., *CORSO FONDAMENTALE DI REFRIGERAZIONE CARRIER*, Tecniche Nuove, Milano, 1992.

Billiard F., *Le froid dans les industries agro-alimentaires au regard de l'environnement*, Note technique du CEMAGREF, n. 2, 1994, pp. 1-8.

Bloquel R., Veillet-Poncet L., *Evolution et détermination de la flore bactérienne d'un lait cru réfrigéré paucimicrobien en fonction du temps*, "Le Lait", n. LX, 1980, pp. 474-486.

Briganti A., *IL CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA*, Tecniche Nuove, Milano, 1979.

Deiana P., Caredda M., Catzeddu P., *Evoluzione e composizione della microflora psicrotrofa in latte ovino*, "Industria del latte", n. 4, 1996, pp. 3-20.

Puhan Z., *Influence of cold milk storage on milk-chemical aspects*, "Scienza e tecnica lattiero-casearia", n. 40, 1989, pp. 340-363.

Rapin P.J., *IMPIANTI FRIGORIFERI - VOLUME 2*, Tecniche Nuove, Milano, 1992.

Rapin P.J., *IMPIANTI FRIGORIFERI - VOLUME 1*, Tecniche Nuove, Milano, 1993.

Richard J., *La flore microbienne du lait cru. Influence des conditions de traite*, "Le lait matière première de l'industrie laitière", CEPIL-INRA, 1987, pp. 187-191.

Parte quinta

COSTRUZIONE E PRESTAZIONI DEI SERBATOI REFRIGERANTI

16 Sistemi di refrigerazione

Una prima classificazione dei refrigeratori del latte, basata sulle modalità di trasferimento del calore, distingue sistemi di refrigerazione diretti ed indiretti.

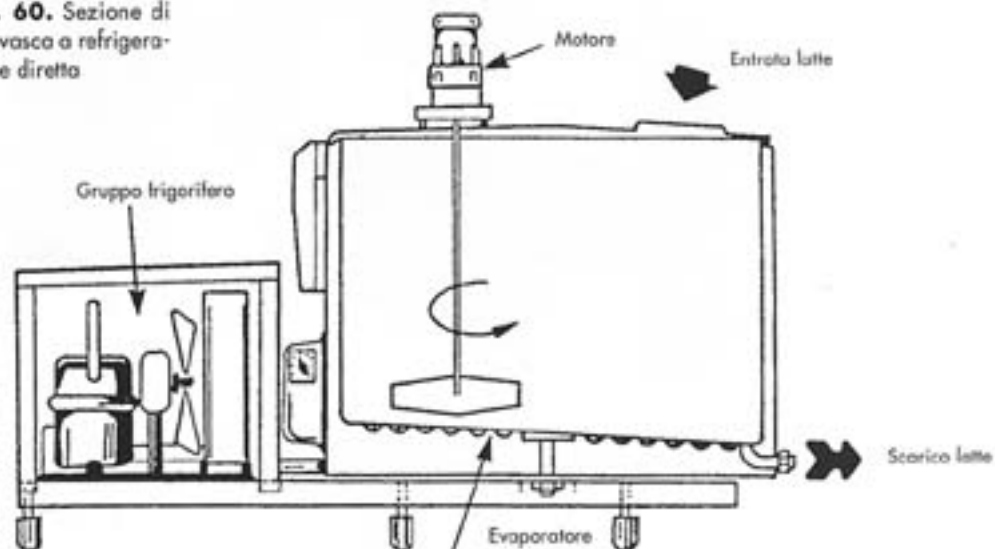
16.1 Refrigerazione diretta

Nel sistema diretto l'evaporatore dell'unità frigorifera, del tipo a nido d'ape, a placche o semitubolare, è saldato sulla parete esterna della vasca contenente il latte che risulta, quindi, in contatto termico diretto con esso (fig. 60). Il trasferimento di calore avviene direttamente sul fluido frigorifero e, perciò, la refrigerazione del latte è contemporanea al funzionamento del gruppo frigorifero. Il processo è regolato da un dispositivo di controllo, il termostato, che aziona o spegne il compressore in funzione della temperatura del latte all'interno della vasca. La potenza elettrica dell'impianto frigorifero è dimensionata in modo tale da assicurare il raffreddamento di una data quantità di latte entro un tempo stabilito (normalmente 2, 3 ore). Nei serbatoi di limitata capacità l'evaporatore è situato sul fondo della vasca, mentre in quelli di dimensioni elevate possono essere presenti più circuiti refrigeranti indipendenti, posti a livelli diversi attorno alla vasca, e che vengono attivati in funzione del livello di riempimento.

16.2 Refrigerazione indiretta o a fluido intermedio

Nel sistema indiretto il calore viene rimosso dal latte per mezzo di un fluido intermedio, normalmente l'acqua. L'evaporatore tubolare,

Fig. 60. Sezione di una vasca a refrigerazione diretta



situato sul fondo dell'intercapedine che circonda il contenitore del latte, è immerso nell'acqua; questa, cedendo il proprio calore al fluido refrigerante, forma uno strato di ghiaccio più o meno spesso intorno alla serpentina, costituendo così una "riserva di freddo". Nei modelli attualmente più diffusi, detti ad aspersione di acqua ghiacciata, un

secondo circuito, in aggiunta a quello frigorifero, permette la circolazione costante di acqua durante la refrigerazione del latte (fig. 61). L'acqua, che ha una temperatura di $0,5-1^{\circ}\text{C}$, viene aspirata da una pompa e spruzzata attraverso degli ugelli, contro le pareti esterne del contenitore del latte, sottraendo calore da tutta la superficie; l'acqua così riscaldata rifluisce sull'accumulo di ghiaccio fondendolo e assicurando la disponibilità costante di acqua gelida. In questi impianti non c'è quindi contemporaneità tra funzionamento dell'unità frigorifera e refrigerazione del latte: il compressore funziona nell'intervallo di tempo fra successivi riempimenti della vasca per formare la riserva di ghiaccio, mentre durante il raffreddamento del latte è in azione solo il sistema di circolazione ed aspersione dell'acqua. Il termostato in questo caso controlla la circolazione dell'acqua e l'agitazione del latte in fase di raffreddamento del latte, mentre un secondo dispositivo (detto anche gelostato) aziona il gruppo frigo in funzione dello spessore dell'accumulo di ghiaccio.

16.3 Criteri di scelta

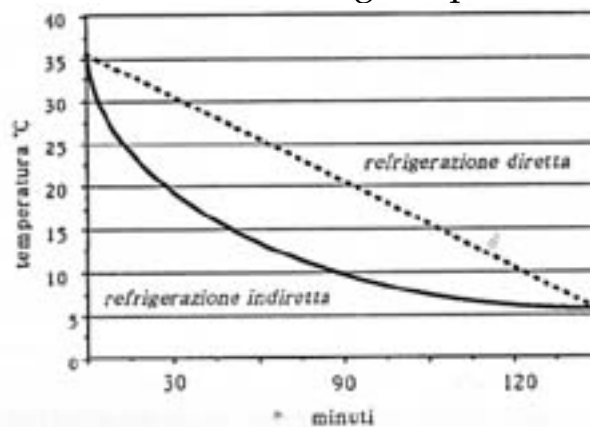
La potenza elettrica installata nei sistemi indiretti risulta inferiore del 40-50% circa rispetto ai sistemi ad espansione diretta, in quanto il periodo di funzionamento del gruppo frigorifero per la produzione della riserva di ghiaccio, non coincidendo con il tempo di refrigerazione del latte, può essere considerevolmente lungo. Questo comporta però un consumo di energia elettrica, relativo ad un ciclo di refrigerazione, pari a circa 23 Wh/l di latte, superiore del 25% circa a quello effettivo dei sistemi ad espansione diretta (18 Wh/l). Inoltre, la formazione di uno strato di ghiaccio intorno alla serpentina ha un'azione isolante e quindi riduce l'efficienza nel trasferimento del calore verso l'evaporatore.



Fig. 61. Vasca refrigerante ad aspersione di acqua ghiacciata: 1) evaporatore; 2) riserva di acqua ghiacciata; 3) pompa di circolazione dell'acqua; 4) ugelli; 5) strato coibente; 6) agitatore; 7) pozzetto d'ispezione.

L'uso di tali sistemi può risultare comunque interessante per quelle aziende in cui si ha una ridotta potenza elettrica installata o che possono usufruire di tariffe elettriche agevolate, dato il funzionamento prevalentemente notturno degli impianti.

Fig. 62. Curve di refrigerazione del latte con sistema diretto e indiretto di refrigerazione.



La curva dei consumi aziendali giornalieri, nelle aziende dotate di sistemi indiretti, è distribuita molto più uniformemente e presenta riduzioni di picco molto meno marcate.

Le caratteristiche di raffreddamento dei due diversi sistemi possono avere una certa influenza nella produzione di latte di qualità. Il sistema indiretto, infatti, rispetto a quello diretto, richiede un tempo significativamente più breve per portare il latte alla temperatura 10°C, valore al di sotto del quale la moltiplicazione batterica è per gran parte inibita. Infatti, la presenza di una consistente riserva di "freddo" immediatamente disponibile per coprire i carichi di punta, unitamente alla maggiore superficie di scambio termico, consente una velocità di refrigerazione da 35°C a 10°C maggiore di circa 1,5 volte rispetto ai sistemi ad espansione diretta della medesima classe di prestazione (fig. 62).

Il congelamento del latte, con la conseguente distruzione dei globuli di grasso, può verificarsi solo in quegli impianti in cui il contenitore del latte è immerso nella riserva di ghiaccio, mentre questo rischio è maggiore negli impianti ad espansione diretta. In quelli ad aspersione di acqua ghiacciata, che sono i più diffusi, il rischio è completamente assente proprio perchè la temperatura dell'acqua risulta costantemente superiore a 0°C.

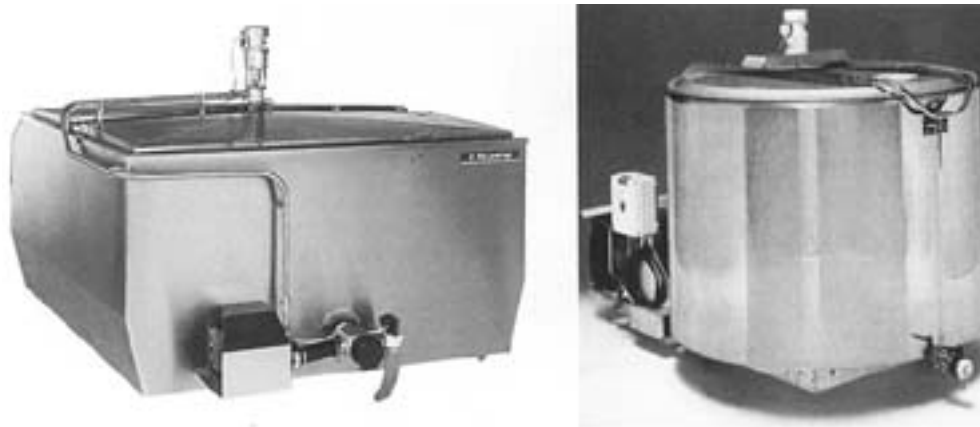
La maggiore complessità impiantistica dei sistemi di refrigerazione indiretti comporta, rispetto a quelli diretti, un più elevato prezzo d'acquisto, superiori oneri di manutenzione ed un maggiore rischio di guasti. Queste differenze, molto marcate nei tank di dimensioni medio-piccole, si riducono sensibilmente all'aumentare della capacità, dato che a partire dai 3000 litri anche quelli ad espansione diretta sono equipaggiati con componenti aggiuntivi (unità frigo multiple, pressostati differenziali, pompa dell'olio).

Se poi si considera che i refrigeratori hanno comunque una lunga vita utile, i costi fissi per litro di latte, ripartiti su un ampio periodo di deprezzamento, non risultano significativamente più alti negli impianti ad accumulo di ghiaccio, particolarmente se riferiti ad impianti di grande capacità.

Un'ultima considerazione, di ordine pratico, riguarda la maggior facilità di lavaggio dei refrigeratori indiretti, dovuta al velo di umidità che ricopre le pareti della vasca e che impedisce l'adesione del latte.

17 Tipologie impiantistiche

La gamma dei refrigeratori del latte presenti sul mercato comprende vasche con capacità da 100 fino a 25.000 litri, la cui conformazione esterna si può essere ricondotta a cinque tipologie principali: cilindrica verticale, cilindrica orizzontale, emicilindrica, ellissoidale, parallelepipedica. Quest'ultima è frequente negli impianti a refrigerazione indiretta (fig. 63), in cui la vasca interna ha profilo emicilindrico e delimita l'intercapedine per la circolazione dell'acqua. Le forme cilindrico verticali ed emicilindriche (figg. 64, 65), più frequenti nei serbatoi con capacità medio-bassa, sono dotate di uno o più coperchi ampi quanto l'imboccatura della vasca; i modelli cilindrico-orizzontali ed ellissoidali (fig. 66) sono equipaggiati con aperture notevolmente più ridotte, ma tali da consentire comunque l'ispezione dell'interno.



A sinistra: **Fig. 63.** Vasca parallelepipedica ad aspersione di acqua ghiacciata (Alfa Laval).
A destra: **Fig. 64.** Serbatoio di tipo aperto (Forte Packo).

Se il serbatoio viene connesso al sistema del vuoto dell'impianto di mungitura, costituendone in pratica un'estensione, tutti i coperchi saranno stagni ed i serbatoi saranno definiti sotto vuoto. Nella maggior parte dei casi i serbatoi operano a pressione atmosferica ed il riempimento viene effettuato, attraverso un'apposita apertura, mediante la linea di trasferimento dell'impianto di mungitura, oppure versando direttamente il latte contenuto nei bidoni. Lo svuotamento del tank avviene tramite un orifizio posto sul fondo della vasca e dotato di rubinetto a tenuta.



Sopra: **fig. 65.** Vasca emisferica di tipo aperto (Fonte Packo).

Sotto: **fig. 66.** Vasca cilindrica orizzontale di tipo chiuso con lavaggio automatico (Fonte Manus).

Il refrigeratore è dotato di uno o più agitatori che hanno la funzione di favorire lo scambio termico all'interno della massa del latte e prevenire la stratificazione del grasso. L'agitatore, azionato da un motorino elettrico indipendente (figg. 67, 68) con potenza variabile da 20



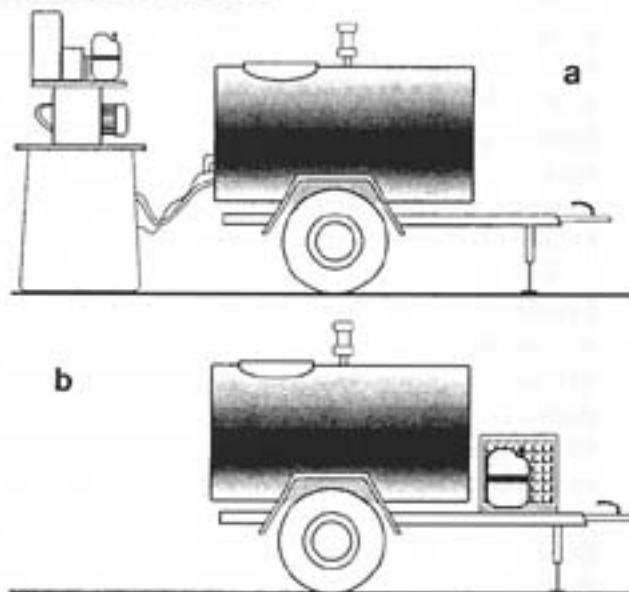
A sinistra: **fig. 67.** Agitatore del latte montato sul coperchio. A destra: **fig. 68.** Motore elettrico dell'agitatore.

a 200 W a seconda della capacità del tank, è composto da un albero sulla cui estremità è montata una pala sagomata di dimensioni variabili fra 150 e 800 mm (300-500 mm sono le dimensioni più frequenti), il cui regime di rotazione è di norma compreso fra 21 e 48 giri/min (30-32



A sinistra: **fig. 69.** Vista posteriore di un serbatoio refrigerante con gruppo frigorifero compatto. In alto: **fig. 70.** Sistema di controllo elettronico programmabile.

In basso: **Fig. 71.** Impianti mobili per la refrigerazione del latte: a) ad aspersione di acqua ghiacciata con unità frigorifero separata; b) a refrigerazione diretta con gruppo frigorifero compatto.



giri/min è il regime più frequente). E' bene non superare una velocità di rotazione di 50 giri/min per evitare che un'azione meccanica troppo energica possa danneggiare i costituenti del latte, principalmente i globuli di grasso, e provocare l'inglobamento di aria nella massa ed il conseguente instaurarsi di fenomeni ossidativi di irrancidimento

Il funzionamento dell'agitatore è continuo durante la refrigerazione del latte, mentre è ciclico durante la conservazione, con 2-3 minuti di agitazione intervallati da 13-15 minuti di pausa.

Una classificazione fondamentale della vasche riguarda il numero di mungiture che questa è in grado di refrigerare correttamente. Si distinguono così vasche per 2 e 4 mungiture, adatte rispettivamente per una consegna del latte quotidiana e a giorni alterni. Ciò significa che la quantità massima di latte che deve essere immessa nel refrigeratore ad ogni mungitura è pari al 50% del volume nominale nel caso di una una

vasca del tipo per 2 mungiture, e al 25% del volume nominale nel caso di una vasca per 4 mungiture.

L'unità frigorifera accoppiata alla vasca, a parità di classe di prestazione, ha una potenza variabile in funzione del tipo di impianto (2 o 4 mungiture) e del sistema di refrigerazione adottato.

La potenza specifica installata nei refrigeratori per 2 mungiture, pur variando con la capacità, si aggira sul valore di 0,20 kW/100 litri, superiore in media del 40% rispetto ad una vasca, della medesima capacità, per 4 mungiture (0,12 kW/100 l). Questo perché una vasca del tipo 4 mungiture deve refrigerare, per ogni mungitura, una quantità di latte pari esattamente alla metà rispetto ad un tank per 2 mungiture dello stesso volume nominale. Come già osservato, negli impianti con sistema di refrigerazione indiretto la potenza del compressore risulta circa la metà di quelli diretti.

Il gruppo frigorifero può essere compatto, formando un unico corpo con la vasca (fig. 69), oppure remoto, come negli impianti di grande capacità, montato ad una certa distanza dal serbatoio. Più frequentemente viene dislocata a distanza solo l'unità condensatrice, in modo da favorire la circolazione d'aria attraverso lo scambiatore e quindi lo smaltimento del calore dal fluido refrigerante.

Nella maggior parte delle vasche oggi in commercio il controllo del processo di refrigerazione, del funzionamento dell'unità frigorifera e del sistema di lavaggio automatico viene svolto da una centralina elettronica che, nelle configurazioni più estese, consente anche la registrazione dei dati ed il trasferimento ad unità di calcolo remote (fig. 70).

Oltre agli impianti fissi, sono disponibili anche modelli di impianti mobili che possono risultare utili nel caso di aziende non accorpate o decentrate rispetto al circuito di raccolta del caseificio. La vasca, montata su un telaio a ruote trainabile da una motrice, è alimentata da un circuito di raffreddamento ad acqua gelida analogo a quello degli impianti fissi. L'unità frigorifera è in questo caso indipendente dalla vasca alla quale viene connessa, mediante delle tubazioni flessibili, al momento della refrigerazione, mentre ne viene staccata al momento del trasporto (fig 71). L'alimentazione del gruppo frigorifero viene fornita da una batteria a 12 volts ed il volume nominale della vasca del latte è variabile da 450 a 1350 litri. Gli impianti mobili con gruppo frigorifero compatto, montato su un telaio insieme alla vasca, hanno invece il problema della fragilità del sistema durante il trasporto su percorsi accidentati.

18 Caratteristiche costruttive e di funzionamento

18.1 Normativa

La normativa internazionale di riferimento per i refrigeratori del latte allo stato sfuso è la ISO 5708 che specifica le caratteristiche progettuali, costruttive, di funzionamento e i metodi di collaudo delle vasche. Secondo questa norma, gli impianti vengono identificati in tre classi di prestazione in funzione del tempo di refrigerazione e della temperatura ambientale.

Questa classificazione costituisce un elemento fondamentale nella valutazione dell'impianto al momento dell'acquisto, permettendone l'immediata identificazione delle prestazioni. Poiché la ISO 5708, pur approvata dall'istituto di normalizzazione del nostro Paese, non risulta ancora applicata, di fatto non vincola i costruttori degli impianti alla dichiarazione di conformità. Ne deriva che non tutti i refrigeratori commercializzati riportino sulla targa i dettagli sulle prestazioni operative e che, talvolta, le informazioni risultino insufficienti per una valutazione tecnica dell'impianto. Attualmente, presso il CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione), è in fase avanzata di elaborazione una nuova normativa che avrà carattere europeo e che, partendo dalla ISO 5708, la completa e la amplia con l'apporto tecnico di esperti dei diversi paesi europei.

In attesa dell'emanazione e dell'accoglimento generale di questa normativa europea, la conoscenza dei punti salienti della ISO 5708 e della bozza CEN consente di acquisire informazioni sulle caratteristiche costruttive e di funzionamento, che risultano fondamentali per l'orientamento nella scelta, l'installazione e l'uso delle vasche refrigeranti.

18.2 Serbatoio

La vasca e tutti gli accessori che entrano in contatto con il latte devono essere costruiti e progettati in modo da prevenire contaminazioni del latte, non conferire odori o sapori sgradevoli, ed essere facilmente puliti e disinfettati senza che vi siano problemi di corrosione o degradazione dei materiali. L'acciaio inossidabile è il *materiale* d'elezione per la sua inerzia chimica e la sua resistenza meccanica; grande attenzione deve essere posta al grado di finitura delle saldature, perchè eventuali rugosità ostacolano la perfetta pulizia delle superfici, ed alle guarnizioni di gomma, che devono essere atossiche, resistenti ai grassi ed alle sostanze detergenti.

La vasca, il cui *volume nominale* è compreso tra il 90 e il 98% del volume massimo, poggia su supporti (piedini) regolabili che consentono di metterla a livello su pavimenti con una pendenza massima di 1:50

in ogni direzione. Quando la misura del latte viene effettuata per mezzo di un'asta graduata, i supporti devono essere sigillati dopo aver messo la vasca correttamente a livello.

Uno o più *coperchi* consentono un'agevole ispezione dell'interno del serbatoio ed il prelievo dei campioni del latte; il riempimento viene effettuato attraverso un'apposita apertura, di diametro sufficiente per l'introduzione del condotto collegato all'impianto di mungitura, senza che sia necessario aprire il coperchio. Per facilitare lo sgrondo dell'acqua ed evitare contaminazioni del latte, i bordi dei coperchi devono essere rivolti verso il basso e tutte le aperture devono avere i bordi rialzati. Nei serbatoi progettati per la pulizia manuale, il grado di apertura dei coperchi deve essere tale da permettere un'agevole pulizia di tutte le parti; è importante che i coperchi incernierati abbiano un sostegno adeguato e sicuro per bloccarli nella posizione aperta in modo da garantire la sicurezza dell'operatore durante le operazioni di pulizia.

Il serbatoio deve essere provvisto di un *condotto di scarico*, anch'esso di acciaio inox, con un diametro di almeno 50 mm, dotato di un rubinetto di chiusura. Per permettere il deflusso di tutto il latte contenuto nel refrigeratore, il fondo della vasca deve essere inclinato verso l'orifizio di scarico ed il condotto deve essere conformato in modo che la sua parte esterna si trovi ad una quota inferiore. In particolare se il tank è correttamente posizionato e contiene 40 l di latte, 39,8 l devono fuoriuscire in un minuto per forza di gravità. Lo spazio libero tra il pavimento e il dispositivo di scarico non deve essere inferiore a 100 mm.

Il *dispositivo di agitazione* del latte deve essere costruito in modo da evitare qualsiasi contaminazione dall'esterno; deve poter essere facilmente pulito e disinfettato; vi deve essere un'adeguata protezione in modo che l'operatore non venga in contatto con parti in movimento. In particolare, se l'agitatore è montato sul al coperchio del serbatoio, uno speciale dispositivo deve provvedere allo stacco automatico dell'agitatore quando si solleva il coperchio; altrimenti deve essere ben visibile vicino al coperchio il messaggio in cui si avverte di bloccare l'agitatore prima di aprire la vasca. Il punto più basso in cui il latte può penetrare nell'alloggiamento dell'agitatore deve essere almeno 30 mm al di sopra del livello del latte corrispondente al volume massimo.

Negli impianti ad accumulo di ghiaccio, il *contenitore dell'acqua* deve essere di dimensione adeguate per il corretto funzionamento dei sistemi di controllo dell'accumulo e di circolazione dell'acqua gelida; la formazione del ghiaccio deve essere regolare su tutta la superficie dell'evaporatore e deve essere possibile sia l'ispezione della riserva che la sostituzione dell'acqua. L'accumulo di ghiaccio dovrà essere sufficiente a raffreddare, da 35 °C a 4 °C, senza l'ulteriore azionamento

del gruppo frigorifero, il 60%, il 30% o il 20% del volume nominale di un tank rispettivamente per due, quattro o sei mungiture. La vasca deve essere progettata in modo che, se si verifica un guasto al sistema di controllo dell'accumulo, nessuna parte della struttura subisca un danno permanente.

I serbatoi sottovuoto devono essere in grado di assicurare le prestazioni fino ad un livello di vuoto di 80 kPa, e l'ingresso d'aria, a 50 kPa di vuoto operativo, non deve essere superiore a 5 l/min.

18.3 Dispositivi di regolazione e controllo

L'interruttore di comando del refrigeratore comprende le seguenti funzioni: 0, arresto; refrigerazione del latte automatica; refrigerazione del latte manuale; raccolta; lavaggio. Un timer aziona l'agitatore per periodi di tempo e ad intervalli predeterminati indipendentemente dalle altre funzioni. Selezionando la funzione raccolta, un interruttore a tempo deve azionare l'agitatore per un periodo non inferiore a due minuti.

Il *termostato* deve assicurare che la refrigerazione abbia inizio appena si introduce la seconda o le successive mungiture; deve operare in modo soddisfacente con quantità di latte comprese fra il 10 e il 100% del volume nominale, con temperature del latte comprese fra 0 e 35 °C ed a temperature ambiente comprese fra -20 °C e la temperatura di sicurezza .

Il termostato del latte controlla automaticamente il funzionamento contemporaneo dell'agitatore e dell'unità condensatrice nei sistemi ad espansione diretta, e dell'agitatore e del sistema di circolazione dell'acqua gelida nei sistemi indiretti. In questi ultimi, è presente un dispositivo indipendente di regolazione per ogni unità condensatrice; questo controlla automaticamente la formazione del ghiaccio e deve funzionare con temperature ambientali comprese tra 5 °C e la temperatura di sicurezza specificata, in modo che per ogni quantità di latte compresa fra il 10% e il 100% del volume nominale la quantità di ghiaccio sia adeguata a soddisfare le prestazioni.

L'impianto frigorifero e quello elettrico devono soddisfare gli standard previsti dalle normative internazionali e nazionali specifiche. Inoltre il gruppo frigo deve essere dimensionato in modo da assicurare le prestazioni dichiarate a temperature ambientali comprese fra 5°C e la temperatura di sicurezza.

18.4 Dispositivi di misura

Ogni serbatoio refrigerante deve essere dotato di un *termometro* che rilevi la temperatura di quantità di latte comprese fra il 10% e il 100% del volume nominale. Non si devono usare termometri di vetro e lo

strumento deve essere adeguatamente protetto dall'ingresso di polvere o liquidi. Inoltre deve resistere, senza perdite di calibrazione, a temperature di lavaggio fino a 70°C, con temperatura ambientale compresa fra -20°C e la temperatura di sicurezza.

Se il termometro è dotato di una scala graduata, questa deve essere facilmente leggibile e lo strumento dovrà essere situato preferibilmente sul lato della vasca dal quale si effettua lo svuotamento. La scala delle temperature deve essere graduata in gradi Celsius, con una tacca per grado fino a 12 °C, coprire il campo da 0 a 40 °C (80° secondo la bozza CEN) e deve risultare facilmente leggibile. Se si tratta di un termometro digitale l'altezza delle cifre non deve essere inferiore a 6 mm (10 mm nella bozza CEN). Per quanto riguarda la precisione, l'errore di lettura del termometro non deve superare 1 °C nel campo fra 2 e 12 °C, quando la temperatura ambientale è compresa fra 5 °C e la temperatura di prestazione, e la velocità di raffreddamento del latte non è superiore a 15 °C/h.

L'asta graduata ad immersione per la misura della quantità di latte deve poter misurare volumi compresi fra il 10 e il 100% del volume nominale ed ogni divisione sulla scala deve essere di un millimetro.

18.5 Prestazioni

Le caratteristiche di funzionamento di un refrigeratore vengono definite in funzione del numero di mungiture che la vasca può contenere, della temperatura ambientale presente al momento del collaudo, del tempo necessario per refrigerare il latte da 35°C a 4°C. Secondo la ISO 5708 le prestazioni devono essere specificate secondo la seguente classificazione:

- *Numero di mungiture*: la cifra 2 o 4 indica rispettivamente un serbatoio per 2 o 4 mungiture. Nella proposta CEN si introduce anche il tank per 6 mungiture, nei casi in cui la consegna del latte avvenga ogni 3 giorni.
- *Temperatura ambiente*: in funzione di questa vengono definite 3 classi di prestazione contraddistinte dalle prime tre lettere dell'alfabeto:

| Classe | Temperatura di prestazione (°C) | Temperatura di sicurezza (°C) |
|--------|---------------------------------|-------------------------------|
| A | 38 | 43 |
| B | 32 | 38 |
| C | 25 | 32 |

- *Tempi di refrigerazione del latte*:

| Classe | Tempo di refrigerazione in ore per tutte le mungiture da 35 a 4 °C |
|--------|--|
| I | 2,5 |
| II | 3,0 |
| III | 3,5 |

A queste tre classi contenute nella ISO, la bozza CEN aggiunge la classe 0 corrispondente ad un tempo di refrigerazione di 2,0 ore.

Il tempo di refrigerazione dichiarato costituisce il limite massimo entro il quale un serbatoio, di una determinata classe, deve assicurare il raffreddamento di tutto il latte da 35 a 4°C, con una temperatura ambientale compresa fra 5°C e la T_p ; le condizioni di riempimento si riferiscono:

- ad un serbatoio per due mungiture, vuoto o contenente il 50% del suo volume di latte a 4°C, nel quale viene versata tutta in una volta una quantità di latte a 35 °C pari al 50% del volume nominale;
- ad un serbatoio per 4 mungiture, vuoto o contenente il 25, 50 o il 75% del suo volume nominale di latte a 4°C, nel quale viene versata tutta in una volta una quantità di latte a 35°C pari al 25% del volume nominale;
- ad un serbatoio per 6 mungiture, vuoto o contenente il 16,6, 33,3, 50, 66,6 o l'83,2% del suo volume nominale di latte a 4°C, nel quale viene versata tutta in una volta una quantità di latte a 35°C pari al 16,6% del volume nominale.

Durante la *conservazione del latte* fra due periodi di refrigerazione successivi, la temperatura media del latte non deve essere superiore a 4°C. Inoltre l'isolamento termico della vasca deve essere tale da assicurare che, alla temperatura di prestazione specificata, l'incremento di temperatura del latte conservato, per un volume pari a quello nominale, non sia maggiore di 3 °C in 12 ore.

Durante il raffreddamento o la conservazione non si deve assolutamente avere formazione di ghiaccio nel latte.

Il *funzionamento dell'agitatore* non deve provocare la trascinazione del latte dalla vasca anche quando questa è riempita fino al suo volume nominale. Quando il tank è riempito dal 10 al 100% del suo volume nominale con latte raffreddato a 4°C e lasciato riposare per un'ora, l'omogeneità della distribuzione del grasso nella massa del latte deve essere tale che la variazione del tenore lipidico fra i campioni prelevati a caso sia contenuta entro 0,1 g/100 g di latte, sia nel caso non si effettui l'agitazione complementare prima del prelievo, sia dopo 2 min di agitazione supplementare. Tali prestazioni devono essere assicurate

senza che vi sia deterioramento del latte derivante, per esempio dalla formazione di schiuma o di burro.

Le caratteristiche di funzionamento e i dati tecnici dell'impianto devono essere riportati su una targa, facilmente visibile e fissata stabilmente alla vasca. Le informazioni dovrebbero riguardare almeno:

- a) nome del costruttore o marca commerciale;
- b) tipo e numero di serie;
- c) volume nominale espresso in litri;
- d) la classe di prestazione espressa da tre simboli indicanti rispettivamente il numero di mungiture, la classe di temperatura, la classe del tempo di refrigerazione ed, eventualmente fra parentesi il tenore di grasso del latte utilizzato per il collaudo della vasca. Ad esempio 2 B II (4,5%) indica un refrigeratore per due mungiture, con classe di temperatura B corrispondente a una T_p di 32 °C, di II classe corrispondente ad un tempo di refrigerazione di 3 ore, ed un tenore di grasso del latte del 4,5%;
- e) tipo di liquido frigorifero.

Oltre queste prescrizioni, la bozza CEN prevede che si indichino anche l'anno di fabbricazione, la quantità di liquido refrigerante presente nel circuito, la potenza del compressore e la capacità frigorifera massima.

E' di fondamentale importanza che insieme all'impianto venga fornito un manuale dettagliato che illustri, in maniera semplice e chiara, le modalità di impiego, di conduzione, di manutenzione e di installazione dell'impianto.

19 Risparmio energetico nella refrigerazione

Le principali utenze elettriche di un'azienda zootecnica sono costituite dalla refrigerazione del latte e dal riscaldamento dell'acqua necessaria per il lavaggio degli impianti. Migliorare l'efficienza di questi processi consente di risparmiare energia e, quindi, di ridurre l'incidenza economica.

Alcuni dispositivi accessori, quali il prerrefrigeratore ed il recuperatore di calore, consentono diminuire del 40-50% i consumi di energia elettrica per la refrigerazione del latte.

19.1 Prerrefrigerazione

Il prerrefrigeratore è un apparecchio che consente lo scambio termico in controcorrente fra il latte appena munto e l'acqua proveniente da un pozzo o dalla rete idrica collettiva. Il latte subisce quindi un raffreddamento parziale, di entità variabile in funzione della temperatura dell'acqua utilizzata.

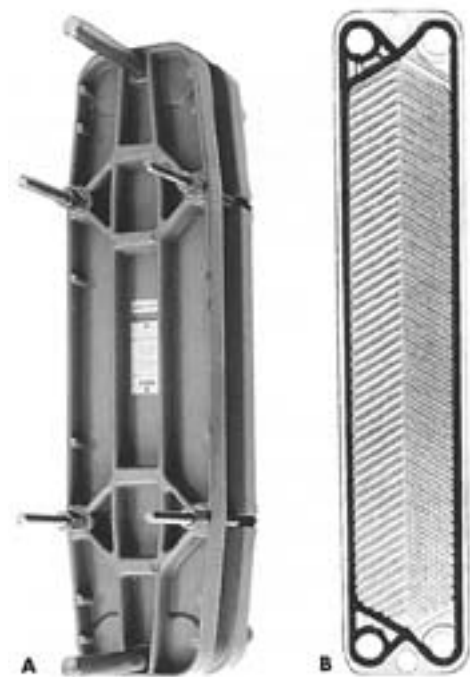


Fig. 72. Prerrefrigeratori a piastre: a) vista esterna; b) piastra (Fonte Alfa Laval).

Le soluzioni costruttive adottate per i prerrefrigeratori del latte sono due: scambiatore a piastre e tubolare. Il primo si compone di un numero variabile di piastre d'acciaio inossidabile dalla superficie sagomata generalmente a spina di pesce, disposte in serie e collegate rigidamente ad una struttura portante mediante una piastra di pressione e dei tiranti filettati (fig. 72). Il latte e l'acqua scorrono in controcorrente su piastre contigue e lungo le canalizzazioni formate dalle sagomature che aumentano la turbolenza del flusso migliorando

lo scambio termico tra i due fluidi. La tenuta fra le piastre è garantita da una guarnizione di gomma nitrilica disposta lungo il perimetro di ogni piastra.

Il secondo tipo di prerrefrigeratore è uno scambiatore tubolare coassiale, formato da un serpentino di lunghezza variabile comprendente un tubo interno di acciaio inossidabile in cui scorre il latte, avvolto da un secondo tubo esterno che crea un'intercapedine in

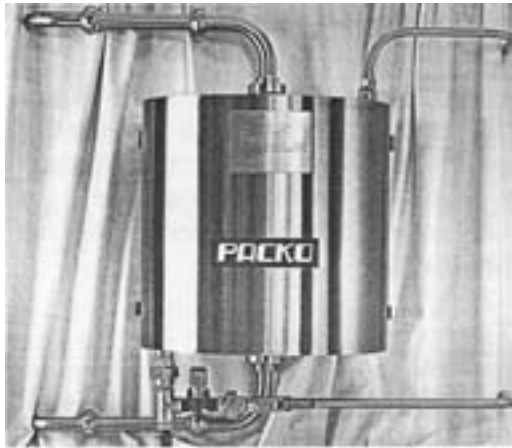


Fig. 73. Preraffreddatore tubolare (Fonte Packo).

cui scorre l'acqua (fig. 73). Il sistema è situato all'interno di un contenitore metallico di forma cilindrica.

L'inserimento del preraffreddatore non richiede alcuna modifica dell'impianto di mungitura né interferisce con i tempi o la tecnica di mungitura. Lo scambiatore viene montato sulla linea di trasferimento

del latte al tank refrigerante, a valle della pompa estrattrice e del filtro. La circolazione del latte all'interno dello scambiatore è comandata dal funzionamento della pompa del latte, e non è quindi necessaria alcuna pompa ausiliaria, mentre la circolazione dell'acqua è comandata da una elettrovalvola il cui tempo di apertura è regolato in base alla portata richiesta. Normalmente la portata della pompa estrattrice del latte eccede quella ottimale per il preraffreddatore, per cui all'uscita di essa risulta necessario inserire un dispositivo, valvola limitatrice o disco forato, che la riduca ad un valore adatto. Anche il lavaggio dello scambiatore avviene in linea con quello di mungitura.

Le prestazioni del preraffreddatore, intese come capacità ed efficacia nel trasferire il calore dal latte al mezzo refrigerante, dipendono da numerosi fattori quali la superficie di contatto, la portata e la velocità dei flussi, il tempo di ritenzione e la differenza di temperatura tra i due fluidi.

L'efficacia viene espressa come il decremento reale di temperatura del latte rispetto al massimo decremento possibile. Il massimo decremento possibile si verifica quando la temperatura del latte in uscita eguaglia quella del mezzo raffreddante all'ingresso dello scambiatore, e quindi l'efficacia è pari ad 1,0:

$$E = \frac{t_{li} - t_{lo}}{t_{li} - t_{ai}}$$

Dove

t_{li} : temperatura del latte all'ingresso dello scambiatore

t_{lo} : temperatura del latte all'uscita dello scambiatore

t_{ai} : temperatura dell'acqua all'ingresso dello scambiatore.

L'aumento della superficie utile di contatto fra i due fluidi, che dipende dal numero e dalla superficie delle piastre negli scambiatori

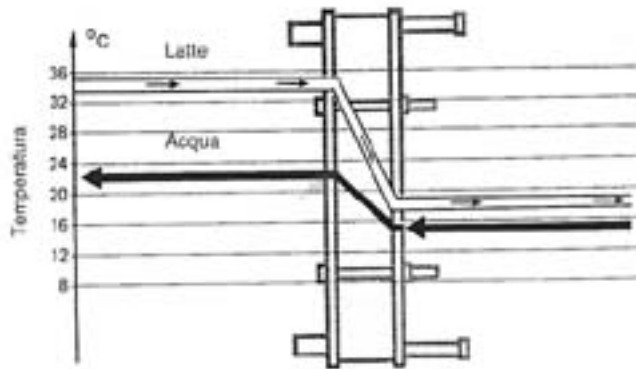


Fig. 74. Andamento delle temperature del latte e dell'acqua in uno scambio termico controflusso.

piani e dalla lunghezza, diametro e numero dei tubi in quelli tubolari, determina un incremento dell'efficacia dello scambiatore. Un'elevata portata, e quindi una maggiore velocità dei fluidi, aumenta la turbolenza e migliora il trasferimento del calore.

Bisogna però considerare che un'elevata portata di latte si traduce in una diminuzione del tempo di ritenzione che si ripercuote negativamente sulle prestazioni del sistema. Infatti, per una data portata di acqua, al diminuire del flusso di latte aumenta il tempo di contatto e diminuisce la temperatura di uscita del latte.

Il rapporto fra la portata dell'acqua e quella del latte varia comunemente fra 1:1 e 2,5:1; più alto è il rapporto, migliore risulta l'efficacia del prerrefrigeratore perché si ha una maggiore differenza di temperatura tra i due fluidi. Migliorare il rapporto di flusso può però essere difficoltoso a causa della limitata disponibilità di acqua, per cui si adotta in genere un rapporto di 2:1.

E' fondamentale che la differenza media di temperatura fra il latte ed il mezzo di raffreddamento sia la più ampia possibile. Ciò si ottiene assicurando il movimento in controcorrente dei due fluidi, e si può ulteriormente migliorare utilizzando uno scambiatore a doppio stadio. Questo tipo di scambiatore a paistre è diviso in due sezioni nelle quali il latte fluisce in direzione opposta, sempre in controcorrente rispetto all'acqua; in questo modo si aumenta la superficie di contatto e si può ridurre la portata del latte che determina un incremento del tempo di ritenzione e, in definitiva, un miglioramento dell'efficacia di scambio termico.

I principali vantaggi connessi alla prerrefrigerazione del latte si riconducono essenzialmente alla riduzione dei costi di refrigerazione ed al miglioramento della qualità del latte.

Il vantaggio economico è dovuto alla riduzione dei costi energetici poiché l'uso del prerrefrigeratore consente di risparmiare circa il 40-50% dell'elettricità necessaria per la refrigerazione del latte in condizioni ordinarie. Infatti il latte, la cui temperatura all'uscita dell'impianto di mungitura si aggira sui 28-35 °C, subisce un preraffreddamento di entità variabile in funzione della temperatura dell'acqua, e che si può stimare

dell'ordine di 15-20°C (fig. 74). Ciò consente di abbassarne successivamente la temperatura a 4°C, all'interno del tank, in tempi notevolmente ridotti o, in alternativa, di utilizzare un refrigeratore equipaggiato con un compressore di potenza inferiore. Con una produzione annuale di 100.000 litri di latte, considerando un abbattimento del 40% dei consumi elettrici globali stimati in 20 Wh/l, il risparmio energetico si attesta intorno alle 150.000 £/anno.

Parallelamente si dispone di acqua tiepida, il cui aumento di temperatura si aggira sui 7-10 °C, che può essere utilizzata sia per l'abbeverata degli animali sia per il lavaggio dei locali.

L'abbassamento immediato della temperatura del latte ed il breve tempo di refrigerazione hanno una ripercussione positiva sulla qualità del latte sia per la riduzione dello sviluppo della flora batterica, conseguente all'abbattimento istantaneo della temperatura del latte, sia

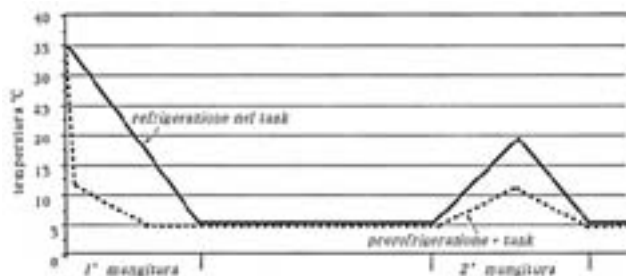


Fig. 75. Comparazione delle curve di refrigerazione del latte con e senza prerefrigerazione.

perchè evita l'alterazione dei costituenti del latte dovuta all'agitazione del latte caldo. Inoltre, nelle mungiture successive alla prima, l'aggiunta di latte preraffreddato permette di contenere al di sotto della soglia critica di 10-12°C

l'innalzamento della temperatura del latte già conservato nel tank, evitando così la ripresa dell'attività moltiplicativa della microflora batterica (fig. 75). Ciò risulta particolarmente importante quando il latte viene conservato per più giorni.

19.2 Refrigerazione istantanea

Abbiamo già detto che l'abbassamento di temperatura del latte all'interno di uno scambiatore di calore dipende strettamente dalla temperatura iniziale del mezzo di raffreddamento utilizzato. Se al posto di acqua corrente si fa circolare dell'acqua ghiacciata, prodotta da un



Fig. 76. Impianto per la refrigerazione istantanea con accumulatore di ghiaccio incorporato nella vasca e raffreddatore tubolare (Fonte Packo).

apposito impianto frigorifero, la temperatura del latte può essere abbassata fino a quella di conservazione (4°C). In questo modo il latte viene sottoposto ad una refrigerazione istantanea che ha lo scopo di limitare al massimo lo sviluppo della microflora batterica. Inoltre, al momento dell'aggiunta delle mungiture successive, si evita qualsiasi

risalita di temperatura del latte già presente nella vasca.

La produzione di acqua ghiacciata da utilizzare nello scambiatore può essere affidata ad una centrale indipendente, i cosiddetti accumulatori di ghiaccio, oppure si può derivare, tramite un circuito aggiuntivo, da una normale vasca per la refrigerazione indiretta del latte (fig. 76). In entrambi i casi l'acqua ghiacciata viene fatta circolare anche nella vasca di stoccaggio del latte per il completamento della refrigerazione e/o il mantenimento della temperatura di conservazione.

Alcuni sistemi utilizzano come mezzo refrigerante una miscela di acqua e alcool ad una temperatura prossima a $-1-0^{\circ}\text{C}$. L'alcool ha la funzione di favorire la formazione di piccoli cristalli di ghiaccio impedendone l'aggregazione in un unico blocco sulla superficie dell'evaporatore. Un agitatore-raschiatore garantisce la sofficità della miscela, mentre degli ugelli permettono di distribuire nella massa la miscela riscaldata di ritorno dallo scambiatore. Il latte, che con questo sistema viene portato in brevissimo tempo a 4°C , viene poi conservato in una vasca di stoccaggio dotata di una serpentina di fondo in cui viene fatta circolare la miscela ghiacciata per il mantenimento della temperatura (fig. 77).

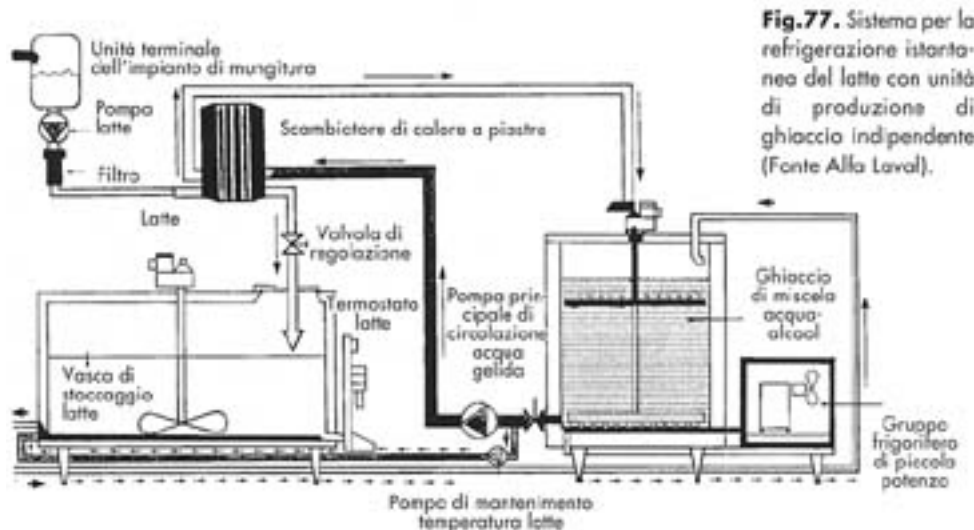


Fig.77. Sistema per la refrigerazione istantanea del latte con unità di produzione di ghiaccio indipendente (Fonte Alla Laval).

Gli impianti più piccoli consentono, con un gruppo frigo da 2,2 kW funzionante per circa 9 ore, di raffreddare da 35 a 4 °C una quantità di latte pari 1.350 litri. Se si utilizza uno scambiatore a doppio stadio, in cui nella prima sezione viene operato un preraffreddamento del latte a 20°C per mezzo di acqua corrente, e nella seconda la vera e propria refrigerazione istantanea, la capacità del sistema sale a 2.650 litri di latte.

19.3 Recupero di calore

Nei normali impianti frigoriferi il calore sottratto dal latte, unitamente a quello prodotto dal gruppo frigorifero per il lavoro di compressione del fluido refrigerante, viene disperso nell'atmosfera attraverso il condensatore ad aria. Per ogni litro di latte raffreddato da 35 a 4°C risultano disponibili circa 200 kJ di energia termica.

I sistemi per il recupero di calore sono degli scambiatori che utilizzano quest'energia termica per il riscaldamento dell'acqua necessaria nelle diverse operazioni di stalla. Il recuperatore di calore non cambia il funzionamento del ciclo di refrigerazione, ma cambia semplicemente il tipo o la combinazione dei condensatori utilizzati per smaltire il calore dal fluido refrigerante.

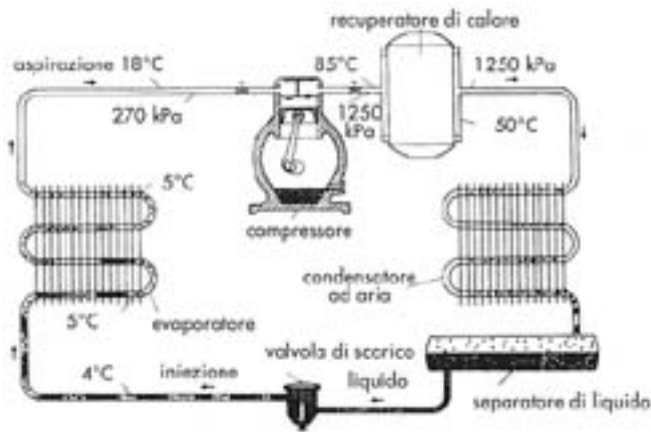


Fig. 78. Circuito frigorifero con recuperatore di calore inserito a monte del condensatore ad aria.

Una delle soluzioni adottate prevede la sostituzione del comune condensatore ad aria con uno ad acqua: in questo modo è possibile trasferire tutto il calore dal fluido refrigerante all'acqua. Per evitare che l'innalzamento continuo della temperatura all'interno del recuperatore riduca l'efficienza del sistema e sovraccarichi il compressore, è necessario

che l'acqua calda venga prelevata continuamente, oppure che vi sia una fonte di raffreddamento permanente.

La soluzione impiantistica più frequentemente utilizzata prevede l'inserimento del recuperatore tra il compressore ed il condensatore ad aria (figg. 78, 79). In pratica il fluido refrigerante viene prima raffreddato

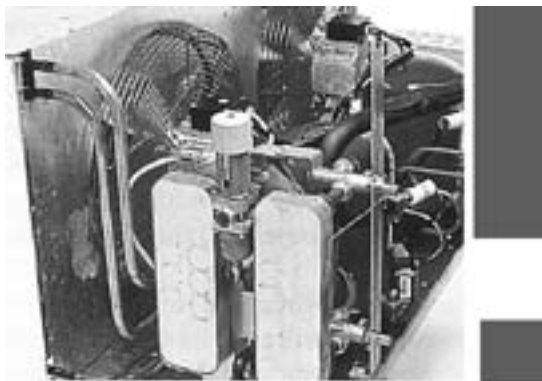


Fig. 79. Gruppo frigorifero con recuperatori di calore a piastre (Fonte Alfa Laval).

dall'acqua del recuperatore per poi passare al condensatore ad aria che ne rimuove il calore residuo; ciò migliora le prestazioni del ciclo frigorifero e permette nello stesso tempo una piccola riduzione dei consumi elettrici del frigorifero. La quantità di energia termica realmente recuperata con tale

sistema risulta al massimo il 50% di quella teoricamente disponibile (riquadro 25). Il serbatoio dell'acqua, che può essere integrato con lo scambiatore oppure esserne separato, ha capacità variabili da 100 a 500 litri e deve essere rivestito di materiale coibente per limitare le perdite radiative di energia.

La temperatura finale dell'acqua in uscita dal recuperatore varia fra 40 e 60°C; ciò significa che per le operazioni di lavaggio (che costituiscono la principale utenza elettrica aziendale) sarà necessario prevederne l'ulteriore riscaldamento con una resistenza elettrica ausiliaria, mentre potrà essere impiegata tal quale o miscelata per l'abbeverata degli animali o il lavaggio della mammella.

In media, il risparmio totale di energia elettrica conseguibile con un sistema per il recupero di calore, può raggiungere il 40% dei fabbisogni; la quota maggiore, pari al 91-95% è imputabile al risparmio per il riscaldamento dell'acqua, e solo una piccola parte è dovuta ad una riduzione dei consumi da parte del compressore del gruppo frigorifero.

Stima dell'energia recuperabile

La quantità di calore teoricamente recuperabile da un litro di latte è data dalla somma del calore sottratto al latte (Q_l) e di quello prodotto dal lavoro di compressione (Q_c).

$$Q_l = c_{sl} * (t_{lf} - t_{li})$$

dove: c_{sl} = calore specifico del latte, pari a 3,9 kJ/kg °C (0,93 kcal/kg °C)

t_{lf} = temperatura finale del latte, 4 °C

t_{li} = temperatura iniziale del latte, 35 °C.

Per ogni litro di latte refrigerato da 35 a 4°C si possono recuperare

$$Q_l = 3,9 * 31 = 121 \text{ kJ/l}$$

Considerando che la spesa di energia elettrica relativa alla refrigerazione si può stimare mediamente in 20 Wh/l di latte, cioè 72 kJ/l, e che circa il 13-15% del calore viene disperso in fase di compressione, la quantità di energia teoricamente recuperabile dal lavoro del compressore sarà pari a:

$$Q_c = 72 * 0,85 = 61,2 \text{ kJ/l}$$

L'energia totale disponibile sarà quindi $Q_T = (Q_l + Q_c) * \eta_s$, dove η_s rappresenta il rendimento del sistema di recupero, che tiene conto delle dispersioni di energia durante le diverse fasi del processo di trasferimento del calore. Il valore di η_s varia in funzione dell'efficienza del sistema, aggirandosi in media intorno ad un valore di 0,4-0,5.

Si può quindi stimare l'energia realmente utilizzabile, per ogni litro di latte refrigerato, per il riscaldamento dell'acqua:

$$Q_T = (121 + 61,2) * 0,45 = 82 \text{ kJ/l}$$

Per un dato valore di Q_T , il volume di acqua riscaldabile (V_a) è dato dalla relazione:

$$C = \frac{Q_T}{c_{sa} * (t_2 - t_1)} \quad (1)$$

dove: c_{sa} = calore specifico dell'acqua, pari a 4,186 kJ/l (1 kcal/l)

t_2 = temperatura finale dell'acqua (°C)

t_1 = temperatura iniziale dell'acqua (°C)

Se vogliamo dell'acqua a temperatura elevata dovremo accontentarci di una quantità inferiore e viceversa. Supponendo di avere dell'acqua a 10°C e di dover refrigerare 500 l di latte, potremo disporre di 41.000 kJ di energia, sufficienti a riscaldare un volume d'acqua pari a:

$$V_a = \frac{41000}{4,186 * (40 - 10)} = 326 \text{ litri di acqua a } 40^\circ\text{C}$$

$$V_a = \frac{41000}{4,186 * (50 - 10)} = 244 \text{ litri di acqua a } 50^\circ\text{C}$$

Nel primo caso si riuscirà ad ottenere 1 litro di acqua a 40°C ogni 1,5 l di latte refrigerato, nel secondo otterremo 1 litro di acqua a 50°C ogni 2 l di latte.

20 Criteri di scelta degli impianti

Il problema della scelta dell'impianto consiste essenzialmente nell'individuare la macchina le cui prestazioni siano adeguate alle esigenze aziendali, e il cui impiego renda minima l'incidenza dei costi di refrigerazione sul costo globale di produzione del latte. Questi due aspetti, come vedremo, sono strettamente collegati.

20.1 Aspetti tecnici

La quantità di latte prodotta giornalmente, le modalità di consegna (quotidiana o a giorni alterni) ed il tempo massimo di refrigerazione sono i parametri in base ai quali si dimensiona l'impianto, sia in termini di capacità della vasca che di prestazioni del gruppo frigo. La scelta fra il sistema ad espansione diretta e quello a fluido intermedio dipende, come già detto, da esigenze di rapidità di refrigerazione e dalla necessità di contenere il carico elettrico aziendale.

Volume nominale

Il volume nominale della vasca (V_n) viene calcolato in funzione della produzione giornaliera di latte e del ritmo di consegna al caseificio: nel caso di consegna giornaliera la vasca deve essere sufficiente a contenere il volume di due mungiture, e di quattro mungiture nel caso di raccolta a giorni alterni. La quantità giornaliera di latte cui far riferimento deve essere quella registrata nel periodo di massima produzione del gregge (L_{max}), incrementata del 10-15% per tener conto di eventuali picchi.

$$V_n = L_{max} * 1,10 * n$$

Dove $n = 1, 2, 3$ giorni.

Considerando che in un'azienda ovina la produzione di latte è soggetta a forti variazioni stagionali, la quantità media (L) refrigerata giornalmente -data dal rapporto fra la produzione totale annua e la durata della stagione di mungitura- risulta pari al 73-75% della produzione giornaliera massima. Ne deriva che la capacità del serbatoio, dimensionata in funzione di L_{max} , risulta in media sottoutilizzata.

Il rapporto fra la quantità di latte refrigerato fra due conferimenti consecutivi ed il volume nominale della vasca definisce il coefficiente di utilizzazione (CU):

$$CU = \frac{L * n}{V_n}$$

dove $n = 1, 2, 3$ giorni.

Per uno sfruttamento ottimale dell'impianto, il valore del CU dovrebbe tendere all'unità, ma in base alle considerazioni fatte precedentemente, il suo valore medio annuo risulta compreso fra 0,65 e 0,70.

Un CU inferiore a tali valori indica un sovradimensionamento eccessivo della vasca rispetto ai fabbisogni reali ed un sottosfruttamento delle potenzialità della macchina, che si traducono in un aumento dei consumi specifici di energia e dei costi di gestione.

Il ritmo di consegna del latte al caseificio condiziona, come già detto, la scelta del tipo di impianto. È importante che l'uso che si fa dell'impianto sia coerente con le sue caratteristiche di progetto: utilizzare una vasca per 2 mungiture nel caso di consegna a giorni alterni significa sottoutilizzarla e far aumentare i costi di refrigerazione del litro di latte; viceversa utilizzare una vasca per 4 mungiture come una per due mungiture non garantisce, a causa della minore potenza del gruppo frigo, il rispetto dei tempi di refrigerazione prefissati.

Tempo di refrigerazione

Il tempo di refrigerazione, ossia la classe di prestazione dell'impianto, dipende dall'efficienza del gruppo frigo nel suo complesso e, in particolare, dalla potenza del compressore. Conosciuto il volume di latte da refrigerare per ogni mungitura e calcolata la quantità di calore (Q_1) che è necessario asportare da esso, è possibile dimensionare la potenza del compressore (P) in funzione del tempo assegnato (T) e viceversa:

$$Q_1 = V_1 c_s * (t_1 - t_2) * 1,15 \quad (\text{kJ})$$

Dove:

V_1 = volume di latte (l);

c_s = calore specifico del latte (3,9 kJ/1 °C);

t_1 = temperatura iniziale del latte (°C);

t_2 = temperatura finale del latte (°C);

1,15 = incremento che tiene conto del raffreddamento del tank (5%) e della perdita di efficienza del sistema nel tempo (10%).

$$P = \frac{Q_1}{\text{cop} * T * 3600} \quad (\text{kW})$$

Dove:

T = tempo di refrigerazione (h);

cop = coefficiente di prestazione, generalmente pari a 3, indica la quantità di energia termica asportata per ogni kWh di energia elettrica spesa;

1/3600 = fattore di conversione da kJ a kWh.

La classe di prestazione degli impianti riveste un ruolo molto importante al momento della scelta in quanto esiste una correlazione positiva tra il tempo di refrigerazione e lo sviluppo della flora batterica totale e, quindi, la qualità del latte. Ad un minor tempo di refrigerazione corrisponde una diminuzione significativa del fattore di moltiplicazione microbica, mentre su questo risulta statisticamente poco significativa l'influenza del valore iniziale della carica batterica.

Per quanto concerne le classi di temperatura ambientale (A, B, C), è necessario orientarsi verso valori di collaudo adeguati alla situazione climatica in esame. Una temperatura ambientale elevata diminuisce la capacità di smaltimento del calore del condensatore ad aria, provocando l'allungamento del tempo di refrigerazione e l'aumento dei consumi specifici di energia elettrica.

20.2 Aspetti economici

La refrigerazione aziendale del latte, a fronte degli indubbi vantaggi sulla qualità del prodotto e sull'organizzazione del lavoro che pure hanno una valenza economica, comporta un aumento dei costi di produzione. Determinare questo incremento, e valutare l'incidenza dei singoli fattori che lo determinano, è di fondamentale importanza per una scelta ed un impiego ottimali dell'impianto.

Il prezzo d'acquisto, in funzione del quale si determinano le quote annue di ammortamento e gli interessi sulla base di una vita utile di dieci anni, costituisce il più immediato elemento di valutazione al momento della scelta dell'impianto. A parte le differenze nei materiali e nelle dotazioni di serie offerte dalle diverse marche presenti sul mercato, il prezzo degli impianti cresce all'aumentare della capacità della vasca, ma generalmente in maniera meno che proporzionale, cioè il prezzo unitario (£/100 l) si riduce nei tank di maggiori dimensioni rispetto a quelli di piccola capacità. A parità di volume nominale e di prestazioni, il prezzo varia in funzione del tipo di impianto e del sistema di refrigerazione: è maggiore nelle vasche per due mungiture rispetto a quelle per quattro mungiture, per via della maggior potenza dell'unità frigorifera installata; è maggiore nei sistemi indiretti rispetto a quelli ad espansione diretta, a causa della maggior complessità impiantistica.

La presenza di dotazioni accessorie, come ad esempio il lavaggio automatico o il prerrefrigeratore, che incidono sensibilmente sul prezzo dell'impianto, deve essere valutata in funzione dei vantaggi qualitativi ed economici che ne derivano e che possono ampiamente ripagare la maggior spesa iniziale.

I costi variabili, intendendo con questo termine quelli strettamente legati all'utilizzo dell'impianto, comprendono: i consumi di energia

elettrica, i prodotti detergenti impiegati per il lavaggio, le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il fabbisogno energetico, in particolare, comprende la refrigerazione del latte ed il mantenimento della temperatura di conservazione nell'intervallo fra mungiture successive, l'alimentazione dell'agitatore del latte e del ventilatore del condensatore, il riscaldamento dell'acqua necessaria al lavaggio della vasca, l'azionamento della pompa di circolazione per il lavaggio automatico. I consumi di elettricità per la refrigerazione risultano superiori nei sistemi indiretti rispetto a quelli ad espansione diretta, mentre per quanto riguarda il lavaggio, il costo aumenta nelle vasche di maggiori dimensioni e risulta dimezzato in quelle per quattro mungiture rispetto ai tipi per due mungiture della stessa capacità.

A queste spese dirette di gestione si deve aggiungere il mancato ricavo dovuto alla contrazione volumetrica che il latte subisce con l'abbassamento di temperatura, contrazione che è tanto maggiore quanto più elevati risultano il tenore in grasso ed il salto termico che si fa compiere al latte. Sulla base dell'andamento verificato con il latte bovino a differente titolo di grasso, si stima che nel latte ovino al 6,5% di grasso la contrazione volumetrica nel passare da 35 a 4°C sia pari allo 0,91%. Se la temperatura iniziale è di 30°C o di 25°C la contrazione si riduce, rispettivamente, a 0,73% e 0,58%. Poiché il pagamento del latte viene fatto sulla base del volume misurato al momento della consegna, e quindi con il latte refrigerato, è necessario computare tale riduzione ed il minor reddito che ne deriva.

I costi di esercizio dell'impianto, se riferiti al litro di latte prodotto, variano in funzione della quantità effettivamente refrigerata e, quindi, del coefficiente di utilizzazione della vasca come sopra definito. Un elevato CU riduce il costo unitario perché le spese costanti (ammortamento, interessi, lavaggio, manutenzione) vengono ripartite su una base produttiva più ampia.

Una stima dei costi d'impiego dell'impianto, riferiti a tank per due e quattro mungiture, è riportata nel riquadro 26; nello schema di calcolo non figurano i costi fissi, la cui entità dipende dal tipo di finanziamento utilizzato per l'acquisto, e i costi per la manodopera, in quanto si suppone che il tempo dedicato al lavaggio del tank non comporti un aggravio rispetto alla manipolazione dei bidoni. Il procedimento di calcolo è illustrato dettagliatamente nell'appendice C.

*Riquadro 26***Stima dei costi diretti per la refrigerazione nell'ipotesi di consegna quotidiana ed a giorni alterni***Parametri di riferimento*

- Quantità di latte da refrigerare: 650 l/giorno
- Durata della lattazione: 240 giorni
- Prezzo del latte: 1480 £/l
- Coefficiente di utilizzazione del tank: 0,65
- Temperatura di conferimento: 4°C
- Temperatura di ingresso del latte nel tank: 30°C
- Contrazione volumetrica del latte refrigerato: 0,7%
- Costo dell'energia elettrica: 175 £/kWh
- Costo del prodotto detergente: 3400 £/kg

Ipotesi A: Conferimento quotidiano

Tank per 2 mungiture, volume nominale 1000 litri, prezzo indicativo 10.000.000 £

| | | |
|---|------|------------|
| - Energia elettrica per refrigerazione e funzionamento dell'impianto: | 2,2 | £/1 giorno |
| - Lavaggio (energia e materiali): | 1,4 | " |
| - Contrazione di volume del latte: | 10,4 | " |
| - Manutenzione: | 1,9 | " |
| Totale | 15,9 | £/1 giorno |

Ipotesi B: Conferimento a giorni alterni

Tank per 4 mungiture, volume nominale 2000 litri, prezzo indicativo 16.000.000 £

| | | |
|---|------|------------|
| - Energia elettrica per refrigerazione e funzionamento dell'impianto: | 2,4 | £/1 giorno |
| - Lavaggio (energia e materiali): | 1,0 | " |
| - Contrazione di volume del latte: | 10,4 | " |
| - Manutenzione: | 3,1 | " |
| Totale | 16,9 | £/1 giorno |

21 Il controllo delle prestazioni dell'impianto

21.1 Generalità

La classe di prestazione del serbatoio refrigerante è strettamente correlata alla qualità microbiologica del prodotto che verrà poi conferito al centro di trasformazione. Prove sperimentali condotte con impianti appartenenti alle diverse classi di prestazione, utilizzando latte con differente carica batterica iniziale, hanno evidenziato una forte correlazione positiva della classe di prestazione con lo sviluppo della flora batterica nel latte conservato. La diminuzione del tempo di refrigerazione comporta una significativa riduzione del fattore di moltiplicazione microbico, il quale rimane pressoché inalterato al variare dell'entità della carica batterica iniziale. Quindi, partendo dal presupposto che l'igienicità delle operazioni di mungitura deve comunque assicurare la buona qualità di partenza del latte, l'impiego di serbatoi refrigeranti di classe superiore, svolgendo un ruolo determinante nel contenimento dello sviluppo della microflora, influisce direttamente sul valore economico del latte conservato.

Risulta quindi di fondamentale importanza accertare il corretto funzionamento dell'impianto nel tempo verificandone periodicamente le prestazioni. Come si è detto in precedenza, la classe di prestazione del serbatoio viene certificata dalla casa costruttrice secondo una procedura di collaudo descritta in un'apposita sezione della normativa ISO 5708. Tale prova, eseguita in laboratorio, deve essere condotta in condizioni di temperatura ambientale costante (T_p), utilizzando latte oppure acqua (il tempo di refrigerazione è pressoché uguale nei due fluidi) in quantità pari al volume di una mungitura, alla temperatura iniziale di 35°C e raffreddato fino alla temperatura di conservazione di 4°C . Allo stesso tempo si provvede alla rilevazione del consumo energetico del processo, del grado di isolamento termico della vasca e dell'efficienza del sistema di agitazione del latte.

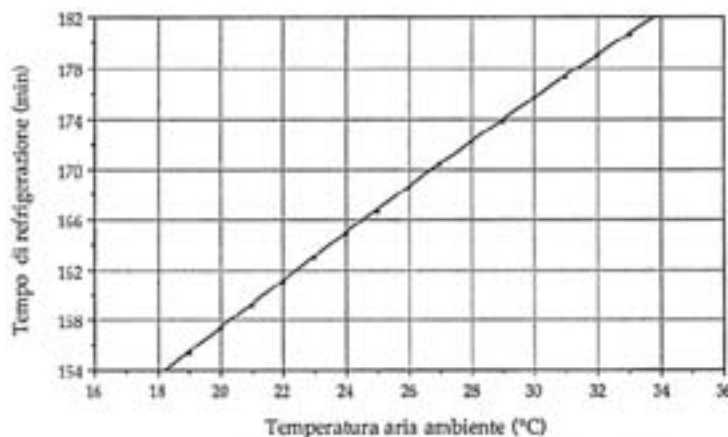


Fig. 80. Tempo di refrigerazione di un serbatoio con TP di 25°C in funzione della temperatura ambiente.

Considerando che le condizioni operative nelle quali viene svolto il controllo in azienda non possono essere quelle costanti richieste per i collaudi eseguiti secondo la normativa ISO, è necessario identificare i fattori di variabilità più importanti (temperatura ambiente, volume e temperatura del latte, ecc.) e valutare come questi intervengono a modificare i tempi di refrigerazione.

Di norma il rilievo completo richiede un tempo piuttosto elevato (4 ore circa), mentre utilizzando una metodologia semplificata si contiene in 60-70 minuti il tempo di esecuzione del controllo stesso.

21.2 Controllo standard

Temperatura ambientale

Come è noto, la temperatura ambientale (T_a) influisce sul rendimento del ciclo frigorifero e, quindi, sul tempo di raffreddamento (T_r). Pertanto, per esprimere un giudizio sulle prestazioni del serbatoio refrigerante occorrerebbe effettuare il controllo allo stesso valore di T_a indicato dal costruttore, vale a dire alla temperatura di prestazione.

Per T_a superiore a quella indicata in targa il costruttore non garantisce più le prestazioni del frigorifero, mentre per T_a inferiore l'impianto opera in condizioni più vantaggiose rispetto a quelle previste dal collaudo. Ad esempio, per un serbatoio di 730 litri a 2 mungiture con T_p di 25 °C la refrigerazione ha luogo in 166,7 min, operando con T_a di 30 °C il tempo di raffreddamento (T_r) arriva a 175,5 min (fig. 80). Da qui la necessità di riportare la curva di refrigerazione registrata in sala latte ad una data temperatura a quella che si sarebbe ottenuta alla temperatura di prestazione.

Nota l'influenza di T_a su T_r è possibile ricavare i corrispondenti coefficienti di correzione:

$$(17) \quad \eta_{ta} = 1,3925 - 0,0203 X + 1,846 \cdot 10^{-4} X^2$$

$$(18) \quad \eta_{ta'} = 1,4958 - 0,0219 X + 1,988 \cdot 10^{-4} X^2$$

Dove:

η_{ta} = coefficiente di correzione della temperatura ambientale per T_p di 25 °C;

$\eta_{ta'}$ = coefficiente di correzione della temperatura ambientale per T_p di 32 °C;

$X = T_a$ (°C).

Volume di latte

Come si è visto in precedenza le prestazioni del refrigeratore vanno rilevate con un grado di riempimento del serbatoio pari al 50% del volume utile per tank a 2 mungiture e al 25% del volume utile per quelli a 4 mungiture. In pratica, tuttavia, è assai improbabile trovare un serbatoio con l'esatto quantitativo di latte necessario per il controllo: per

un serbatoio a 2 mungiture, ad esempio, un riempimento del 40% riduce del 21% circa il Tr.

Per riportare il Tr rilevato in azienda ai valori di riempimento previsti per il controllo si deve ricorrere ai coefficienti ricavati dalle seguenti relazioni:

$$(19) \quad \eta_{rs} = 2,432 - 3,114 X + 0,5086 X^2$$

$$(20) \quad \eta_{rs'} = 3,011 X - 10,847 X + 11,629 X^2$$

Dove:

η_{rs} = coefficiente di correzione del grado di riempimento per serbatoi a 2 mungiture;

$\eta_{rs'}$ = coefficiente di correzione del grado di riempimento per serbatoi a 4 mungiture;

X = grado di riempimento, in valore assoluto, del serbatoio.

Temperatura iniziale del latte

Al momento del controllo il latte stoccato nel serbatoio si trova ad una temperatura inferiore a 35 °C; in tali condizioni il Tr rilevato potrebbe risultare sensibilmente inferiore a quello indicato dal costruttore con la classe di prestazione. Facendo ancora riferimento al serbatoio di 730 l, se con il latte a 35 °C occorrono 166,7 min per raffreddarlo fino a 4 °C, sono sufficienti 128 min quando la temperatura iniziale del latte è di 27 °C.

Il coefficiente che consente di correggere la temperatura del latte si ottiene dalla relazione:

$$(21) \quad \eta_{tl} = 4,8606 - 0,2055 X + 2,7244 \cdot 10^{-3} X^2$$

Dove:

η_{tl} = coefficiente di correzione della temperatura del latte;

X = temperatura iniziale del latte (°C).

Età dell'impianto

Le minori prestazioni di un serbatoio in servizio da alcuni anni, rispetto ad uno nuovo, sono da attribuire all'inevitabile usura del circuito frigorifero, in particolare del compressore ermetico. In condizioni di ordinaria manutenzione e di corretto uso, la riduzione di efficienza del sistema refrigerante dovuta a vetustà si può stimare sulla base dell'1% annuo per i primi sei anni e dell'1,5% annuo dal settimo anno in poi. Il coefficiente di vetustà è dato dalla relazione:

$$(22) \quad \eta_{vf} = 1,0005 - 9,119 \cdot 10^{-3} X - 2,727 \cdot 10^{-4} X^2$$

Dove:

η_{vf} = coefficiente di correzione per la vetustà dell'impianto frigorifero;

X = anni d'uso dell'impianto.

Il coefficiente totale (η_t), da moltiplicare per il Tr rilevato in occasione del controllo, si ottiene dal prodotto di tutti i coefficienti (riquadro 27):

$$(23) \quad \eta_t = \eta_{ta} * \eta_{rs} * \eta_{tl} * \eta_{vf}$$

4.2 Controllo semplificato

I controllo completo richiede un tempo piuttosto elevato (3-4 ore), mentre applicando una metodologia semplificata si può contenere in 60-90 minuti il tempo di esecuzione del controllo stesso.

La curva di refrigerazione, infatti, può suddividersi in tre segmenti omogenei, nei quali cioè l'andamento del tempo di refrigerazione risulta

Riquadro 27**Applicazione dei coefficienti di correzione
nel controllo dei serbatoi refrigeranti**Controllo standard

Si consideri di effettuare il controllo aziendale delle prestazioni di un serbatoio per la refrigerazione del latte aventi le seguenti caratteristiche:

- volume utile = 1.200 litri;
- classe di prestazione = I (da 35 a 4 °C in 150 min);
- temperatura di prestazione: B (32 °C);
- vetustà = 8 anni.

Le condizioni nelle quali viene eseguito il controllo sono:

- temperatura ambientale = 28 °C;
- latte stoccato = 504 litri (42% del volume utile);
- temperatura iniziale latte = 27 °C;
- tempo di raffreddamento (Tr) = 135 min (da 27 a 4 °C).

Per comparare il Tr rilevato in azienda con quello della classe di prestazione dichiarata dal costruttore, si devono applicare i corrispondenti coefficienti di correzione. In tal modo si riconducono le condizioni del controllo a quelle standard del collaudo col quale si è definita la classe di prestazione. Con riferimento alle relazioni (18) (19) (21) (22) (23) riportate nel testo si ricavano i seguenti coefficienti:

$$\eta_{ta} = 1,0385 \quad \eta_{rs} = 1,2138 \quad \eta_{tl} = 1,2982 \quad \eta_{vf} = 0,9101 \quad \eta_t = 1,4893$$

$$Tr \text{ corretto} = Tr * \eta_t = 135 * 1,4893 = 201 \text{ min}$$

Il sensibile incremento del tempo di refrigerazione (51 min) indica la presenza di anomalie di funzionamento (come perdita di fluido refrigerante, condensatore sporco, ecc.) che richiedono l'intervento del manutentore.

Controllo semplificato

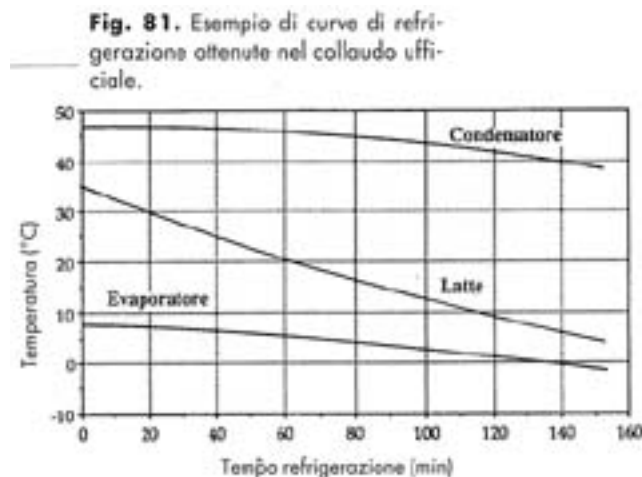
Nel caso si voglia utilizzare la procedura semplificata, il Tr si ottiene dal prodotto del tempo necessario per abbassare la temperatura del latte 24 a 14 °C (Tr_{14-24}) per il coefficiente di correzione η_{cs} :

$$Tr = Tr_{14-24} * \eta_{cs} = 42,3 * 3,2388 = 137 \text{ min}$$

Il tempo stimato risulta superiore di 2 min rispetto al tempo rilevato, per cui in questo caso l'errore è pari a 1,48%.

abbastanza costante. Prendendo ad esempio la curva di refrigerazione di una vasca ad espansione diretta con una capacità di 730 litri (fig. 81) che opera con una temperatura ambiente di 25 °C, si osserva che nel primo tratto della curva, compreso fra 35 e 24 °C, la sottrazione del calore avviene con una rapidità (4,5 min/°C) correlata alla differenza di temperatura (27 °C) fra il latte caldo (35 °C) ed il fluido refrigerante (8 °C). Nel secondo tratto (24-14°C) il tempo specifico di refrigerazione aumenta (5,2 min/°C) perché la differenza fra la temperatura del latte e quella del fluido frigorifero si riduce a circa 18°C. Nel terzo tratto (14-4°C) la sottrazione di calore risulta ancora più difficile (7,1 min/°C) in quanto la differenza di temperatura fra latte e frigorifero è di soli 11 °C.

Dall'esame delle curve di refrigerazione acquisite nel corso dei controlli, si è rilevato che l'incidenza percentuale del segmento centrale della curva sul tempo totale di raffreddamento rimane pressoché costante, e risulta mediamente pari al 30,875%. In considerazione del fatto che quando si effettua il controllo dell'impianto col latte la temperatura iniziale dello stesso è sempre inferiore a 35 °C e che a volte la refrigerazione ha termine prima che il latte raggiunga i 4 °C, si è individuato come segmento di riferimento quello compreso fra 24 e 14 °C. Pertanto, risulta sufficiente rilevare il tempo impiegato dalla vasca per portare il latte da 24 a 14 °C per risalire, tramite un opportuno coefficiente, al tempo complessivo di raffreddamento.



Naturalmente il tempo di refrigerazione calcolato con l'ausilio del coefficiente è gravato di un certo errore che, relativamente all'ampiezza del campione finora esaminato è risultato pari al 4,5%. In questo caso il tempo di refrigerazione verrebbe determinato con

un'approssimazione di 7-8 min. Questa approssimazione appare accettabile per le finalità del controllo che sono essenzialmente quelle di verificare il buon funzionamento dell'impianto e, qualora i tempi di raffreddamento dovessero discostarsi notevolmente da quelli attesi, suggerire interventi di manutenzione.

Per ricostruire l'intera curva di refrigerazione, e ricavare così il T_r , è necessario moltiplicare il tempo di raffreddamento del latte da 24 a 14

°C ($T_{r\ 24-14}$) per il coefficiente del controllo semplificato (η_{cs}) che risulta pari a 3,2388 (*riquadro 27*):

$$T_r = T_{r\ 14-24} * \eta_{cs}$$

Bibliografia principale

- ASAE EP256.2**, *Refrigeration equipment capacity for bulk milk cooling systems*, "Agricultural Engineers Yearbook", 1979, pp. 418-419.
- Bramley A.J.**, *Milk hygiene and machine milking*, in "Machine Milking and Lactation", Insight Books, Vermont, USA, 1992, pp. 373-398.
- CEN/TC153/WG8**, *EUROPEAN STANDARD DRAFT. BULK MILK COOLERS IN FARM*, 1992
- Chiumenti R., Sartori L.**, *Prove di refrigerazione istantanea del latte con recupero termico*, "Informatore Zootecnico", n. 21, 1986, pp. 32-35.
- Guul-Simonsen et al.**, *Cooling, storing and quality of raw milk*, AgEng '94, Milan, aug 29-sept 1, 1994, Report N. 94-G-019.
- ISO Standard 5708**, *REFRIGERATED BULK MILK TANKS*, 1985.
- Kammel D.W., Patoch J.**, *Energy savings achieved from heat recovery systems*, "Transactions of the ASAE", Vol. 36 (4), 1993, pp. 1211-1215.
- Ludington D.C. et al.**, *Principle of milk cooling*, "Proc. Designing a Modern Milking Center", Northeast Regional Agricultural Engineering Service, nov. 19-dec.1, Rochester, New York, 1995, pp. 246-257.
- Murgia L., Pazzona A.**, *La piccola manutenzione dei serbatoi refrigeranti*, "Informatore Zootecnico", n. 21, 1990, pp. 88-92.
- Murgia L., Pazzona A.**, *Indagine sugli impianti aziendali per la refrigerazione del latte in Sardegna*, "L'Informatore Agrario", n. 18, 1992, pp. 41-45.
- Pazzona A.**, *Il recupero di calore nella refrigerazione del latte alla stalla*, "L'Informatore Agrario", n. 46, 1981, pp. 18097-18101.
- Pazzona A.**, *Manutenzione dei refrigeratori del latte alla stalla*, "L'Informatore Agrario", n. 47, 1987, pp. 27-34.
- Pazzona A.**, *MUNGITURA MECCANICA E REFRIGERAZIONE DEL LATTE ALLA STALLA*, Istituto Nazionale di Economia Agraria, Quaderni di zootecnia, n. 15, 1994.
- Pazzona A.**, *Refrigeratori del latte alla stalla: criteri di scelta e modalità d'impiego*, "L'Informatore Agrario", n. 26, 1983, pp. 26499-26513
- Pazzona A., Murgia L.**, *Prestazioni degli impianti di refrigerazione e sviluppo della carica microbica nel latte ovino*, "Rivista di Ingegneria Agraria", n. 2, 1992, pp. 90-95.
- Pazzona A., Murgia L.**, *Controllo delle prestazioni aziendali dei refrigeratori del latte: proposta di una metodica*, "L'Informatore Agrario", n. 48, 1997, pp. 41-45.
- Sibani M., Roncaglioli B.**, *LA REFRIGERAZIONE DEL LATTE ALLA STALLA E AL CASEIFICIO*, Edagricole, Bologna, 1972.
- Spencer S.B.**, *Milk cooling and storage equipment*, in "Machine Milking and Lactation", Insight Books, Vermont, USA, 1992, pp. 399-417.
- Unalat-Crpa**, *Serbatoi refrigeranti per latte sfuso*, "L'Informatore Agrario", n. 16, 1992, pp. 55-70.

Appendice

A. IMPIANTI DI MUNGITURA MECCANICA: TERMINOLOGIA E DEFINIZIONI

A.1 - TERMINOLOGIA GENERALE

A.1.1 - Macchina mungitrice: impianto completo per la mungitura, comprendente, di solito, i sistemi del vuoto e della pulsazione, uno o più gruppi di mungitura e altri componenti.

A.1.2 - Gruppo di mungitura: insieme di componenti della macchina mungitrice necessari per mungere un singolo animale e che può essere replicato in un impianto in modo da poter mungere più di un animale contemporaneamente (costituito da: gruppo prendicapezzoli, tubo lungo del latte e tubo lungo di pulsazione).

A.1.3 - Linea o conduttura: tubazione rigida (per esempio: in acciaio, vetro o plastica rigida) che costituisce la parte fissa dell'impianto.

A.1.4 - Tubo: tubazione flessibile (per esempio: in gomma o plastica non rigida, che può anche comprendere un pezzo di tubazione rigida).

Nota: 1 *I termini "conduttura" e "tubo" sono qualificati, a seconda del loro uso e collocazione.*

A.1.5 - A monte: nella direzione opposta al flusso;

A.1.6 - A valle: nella direzione del flusso.

Nota: 12 *La pompa per vuoto è il punto più a valle del sistema del vuoto.*

A.1.7 - Punto morto: spazio nel quale il latte, le impurità, le soluzioni di lavaggio o di disinfezione possono essere ritenute o non essere completamente allontanate durante il lavaggio.

A.2 - TIPI DI MACCHINE MUNGITRICI

A.2.1 - Macchina mungitrice a secchio: macchina mungitrice, in cui il latte scorre da uno o più gruppi prendicapezzoli e si versa in un secchio portatile o in un bidone da trasporto collegati con il circuito del vuoto.

A.2.2 - Macchina mungitrice a lattodotto: macchina mungitrice il cui latte passa dal gruppo prendicapezzoli al lattodotto.

A.2.3 - Macchina mungitrice a vaso misuratore: macchina mungitrice in cui il latte passa dal gruppo prendicapezzoli al vaso misuratore.

A.3 - SISTEMI DEL VUOTO E DI PULSAZIONE

A.3.1 - Pompa per vuoto: macchina estraattrice d'aria che produce il vuoto nel sistema.

A.3.2 - Conduttura principale dell'aria: parte della conduttura tra la (le) pompa (e) per vuoto e il (i) separatore (i) igienico (i).

A.3.3 - Intercettore o serbatoio del vuoto: serbatoio posto nella conduttura principale dell'aria a monte della pompa del vuoto per impedire a liquidi o corpi solidi di raggiungere la pompa stessa.

A.3.4 - Serbatoio di distribuzione: serbatoio dell'aria posto nella conduttura principale dell'aria tra la pompa per vuoto (o intercettore) e il separatore igienico, che funziona da collettore delle condutture.

A.3.5 - Separatore igienico: vaso posto tra il sistema del latte e quello dell'aria per prevenire movimenti di latte verso il sistema dell'aria e dell'acqua verso il sistema del latte.

A.3.6 - Conduttura del vuoto di mungitura: conduttura tra l'intercettore e i gruppi di mungitura, in macchine mungitrici a vaso misuratore. Questa conduttura fornisce il vuoto ai gruppi prendicapezzoli per la mungitura e può anche far parte del circuito di lavaggio.

A.3.7 - Regolatore: valvola automatica progettata per mantenere un livello stabile di vuoto nell'impianto di mungitura.

A.3.8 - Vuotometro: manometro differenziale per indicare il livello di vuoto nell'impianto con riferimento alla pressione atmosferica.

A.3.9 - Tubo del vuoto: tubo che unisce un secchio, un bidone da trasporto e la conduttura dell'aria. Oppure tubo che unisce un vaso misuratore e la conduttura del vuoto di mungitura.

A.3.10 - Rubinetto del vuoto: valvola a funzionamento manuale per permettere la connessione dei gruppi di mungitura, o di altri componenti che funzionano col vuoto, al sistema del vuoto.

A.3.11 - Pulsatore: sistema per produrre cambiamenti ciclici di pressione.

A.3.12 - Conduttura dell'aria di pulsazione: conduttura che collega la conduttura principale dell'aria ai pulsatori.

A.3.13 - Conduttura dell'aria del terminale: conduttura che collega il separatore igienico al vaso terminale.

A.3.14 - Tubo lungo di pulsazione: tubo che collega il gruppo prendicapezzoli al pulsatore.

A.3.15 - Rubinetto del pulsatore: valvola a funzionamento manuale che permette la connessione routinaria, o il distacco, del pulsatore alla conduttura dell'aria di pulsazione.

A.4 - GRUPPO PRENDICAPEZZOLI

A.4.1 - Gruppo prendicapezzoli: insieme comprendente due prendicapezzoli e il collettore.

A.4.2 - Prendicapezzoli: insieme che comprende un portaguaina rigido, una guaina e un tubo corto di pulsazione e può includere un tubo corto del latte separato con relativo raccordo.

Portaguaina o cannelo: bossolo rigido che contiene la guaina.

Guaina: tubo flessibile composta da un'imboccatura, da un corpo e che può comprendere un tubo corto del latte integrato.

Tubo corto del latte: tubo che collega l'ingresso del latte del collettore con il corpo della guaina o con il raccordo.

Camera di pulsazione: spazio anulare tra guaina e portaguaina rigido.

Tubo corto di pulsazione: tubo che collega la camera di pulsazione e il collettore.

A.4.3 - Collettore: dispositivo di raccordo che collega i prendicapezzoli al tubo lungo del latte.

A.4.4 - Foro di ingresso aria (o apertura per immissione dell'aria): apertura calibrata per far entrare aria nel gruppo prendicapezzoli.

A.5 - CIRCUITO DEL LATTE

A.5.1 - Tubo lungo del latte: tubo di evacuazione del latte dal gruppo prendicapezzoli.

A.5.2 - Rubinetto del latte (o valvola di ingresso del latte): valvola auto-sigillante per consentire la connessione routinaria o il distacco del gruppo mungitura dal lattodotto.

A.5.3 - Conduittura del latte (o lattodotto): conduittura che trasporta il latte e l'aria durante la mungitura e che svolge la doppia funzione di fornire il vuoto di mungitura e di convogliare il latte al vaso terminale o direttamente all'estrattore del latte.

Lattodotto ad anello: lattodotto che forma un circuito chiuso con due tratti e due collegamenti a pieno diametro al vaso terminale.

Lattodotto con un solo tratto: lattodotto la cui parte distale è chiusa con una coppetta o un tappo e la parte prossimale ha un unico collegamento a pieno diametro con il vaso terminale.

Lattodotto di grande diametro: lattodotto che assolve anche la funzione di vaso terminale.

A.5.4 - Sistema di mungitura

Sistema di mungitura a linea alta: sistema in cui l'ingresso del latte nel secchio (o nel bidone), nel lattodotto o nel vaso misuratore è maggiore a 1,00 m sopra il piano di calpestio dell'animale.

Sistema di mungitura a linea media: sistema in cui l'ingresso del latte nel secchio (o nel bidone), nel lattodotto o nel vaso misuratore è compreso tra 0,10 m e 1,00 m sopra il piano di calpestio dell'animale.

Sistema di mungitura a linea bassa: sistema in cui l'ingresso del latte nel secchio (o nel bidone), nel lattodotto o nel vaso misuratore è minore di 0,10 m rispetto al piano di calpestio dell'animale.

A.5.5 - Vaso misuratore: recipiente graduato che riceve, contiene e permette la misurazione di tutto il latte proveniente da ogni singolo animale.

A.5.6 - Lattodotto di trasferimento: condotta in cui il latte viene trasportato dal vaso misuratore al vaso terminale o al serbatoio ricevente sottovuoto.

A.5.7 - Vaso terminale: contenitore che riceve il latte proveniente da uno o più lattodotti di mungitura o di trasferimento e che alimenta l'estrattore del latte o un serbatoio di raccolta sottovuoto, avente funzione di separare l'aria dal latte.

A.5.8 - Estrattore del latte: Meccanismo atto a togliere il latte che si trova sottovuoto nel vaso terminale o nel lattodotto di grande diametro.

Pompa estratrice del latte: pompa per togliere il latte che si trova sottovuoto nel vaso terminale o nel lattodotto di grande diametro.

A.5.9 - Linea di scarico: condotta in cui il latte fluisce a pressione \geq a quella atmosferica da un estrattore del latte verso il serbatoio del latte.

A.6 - COMPONENTI ACCESSORIE

A.6.1 - Lattometro: meccanismo posto tra il gruppo prendicapezzoli e il lattodotto che serve a misurare la produzione di latte di ogni singolo animale.

A.6.2 - Stacco automatico (SA): meccanismo, basato sulla portata di latte o sul tempo o su una combinazione di portata e di tempo, che interrompe il vuoto di mungitura al gruppo prendicapezzoli e lo rimuove.

A.7 - IMPIANTO DI LAVAGGIO

A.7.1 - Lavaggio in circuito chiuso (C.I.P.): possibilità di lavare e di sanificare il circuito del latte facendo circolare soluzioni appropriate senza smontare l'impianto.

A.7.2 - Gruppo di lavaggio dei prendicapezzoli: dispositivo di collegamento del gruppo prendicapezzoli alla condotta di lavaggio.

A.7.3 - Conduttura di lavaggio: condotta entro cui, durante il lavaggio, fluiscono soluzioni detergenti e sanificanti provenienti da un livello o da un serbatoio di riscaldamento dell'acqua, fino ai gruppi di mungitura e al lattodotto.

A.8 - MISURAZIONI

A.8.1 - Vuoto: qualsiasi pressione al di sotto della pressione atmosferica, misurata come differenza con la pressione atmosferica ambiente.

Vuoto nominale: livello di vuoto di riferimento, specificato dal costruttore, per la misura delle prestazioni di componenti. Di solito il valore del vuoto nominale è fissato in 50 kPa.

Vuoto di lavoro o vuoto operativo: livello di vuoto medio, misurato in un punto dell'impianto in specificate condizioni di prova.

Vuoto medio: media aritmetica di tutti i valori registrati da sistemi automatici di acquisizione dei dati..

Caduta di vuoto: differenza di livello di vuoto misurata tra due punti qualsiasi di un impianto nelle stesse condizioni di prova.

Livello di vuoto nella guaina: livello di vuoto al di sotto del capezzolo in specificate condizioni di prova.

A.8.2 - Aria libera: aria a pressione e temperatura atmosferiche ambiente.

A.8.3 - Aria espansa: aria a temperatura atmosferica ambiente e ad un dato livello di vuoto.

A.8.4 - Portata della pompa per vuoto: capacità della pompa per vuoto di spostare aria, quando ha raggiunto la temperatura di lavoro, ad una specifica velocità di rotazione della pompa, a un certo livello di vuoto all'ingresso e di contropressione allo scarico, espressa in litri di aria libera al minuto.

A.8.5 - Riserva utile: portata d'aria misurata, con tutti i gruppi tappati, che deve essere immessa nel, o nei pressi, del vaso terminale nelle macchine mungitrici a lattodotto, nel, o nei pressi, del separatore igienico nelle macchine mungitrici a vaso misuratore, o nella condotta dell'aria negli impianti a secchio o in quelli a scarico diretto nel bidone, per indurre una caduta del vuoto di lavoro di 2 kPa.

A.8.6 - Portata di lavaggio: la portata d'aria che deve essere immessa nel, o nei pressi, del vaso terminale nelle macchine mungitrici a lattodotto, nel, o nei pressi, del separatore igienico nelle macchine mungitrici a vaso misuratore, in modo che la conseguente caduta di vuoto rimanga all'interno di limiti prefissati.

A.8.11 - Tappo del prendicapezzolo: tappo o tampone che simula il capezzolo dell'animale e che serve a chiudere l'imboccatura di un prendicapezzolo per eseguire le prove.

A.8.12 - Pulsazione: apertura e chiusura ciclica della guaina di un prendicapezzolo.

Ciclo di pulsazione: sequenza completa del movimento di una guaina.

Frequenza di pulsazione: numero di cicli di pulsazione al minuto.

Rapporto di pulsazione: rapporto tra il tempo in cui la guaina è aperta per oltre metà e il tempo in cui è aperta per meno di metà (espresso in percentuale del ciclo di pulsazione durante il quale la guaina è aperta per oltre metà).

Rapporto mungitura/massaggio: rapporto fra il tempo durante il quale il latte può fluire dal capezzolo (fase di mungitura) e il tempo durante il quale il flusso di latte viene bloccato dalla forza di compressione applicata dalla guaina (fase di massaggio o di riposo) all'interno di un ciclo di pulsazione. Generalmente, questo rapporto è espresso con due numeri la cui somma è 100 (es. 65:35).

A.8.13 - Rapporto del pulsatore: la somma dei tempi di durata della fase di incremento del vuoto e della fase di massimo vuoto divisa per il tempo di durata del ciclo completo di variazione del vuoto nella camera di pulsazione. Questo rapporto viene espresso in percentuale con la formula:

$$\frac{(a+b) \times 100}{(a+b+c+d)} \times 100$$

Dove:

fase a è la durata della **fase di incremento del vuoto** (o fase di apertura) quando il vuoto della camera di pulsazione del prendicapezzoli aumenta da un valore di vuoto di 4 kPa fino a 4 kPa al di sotto del livello di vuoto massimo nella camera di pulsazione.

fase b è la durata della **fase di vuoto massimo** (o fase aperta) quando il livello di vuoto nella camera di pulsazione è superiore a 4 kPa al di sotto del livello di vuoto massimo nella camera di pulsazione.

fase c è la durata della **fase di decremento del vuoto** (o fase di chiusura) quando il livello di vuoto diminuisce da 4 kPa sotto il livello di vuoto massimo nella camera di pulsazione fino a 4 kPa al di sotto della pressione atmosferica.

fase d è la durata della **fase di vuoto minimo** (o fase chiusa) quando il livello di vuoto nella camera di pulsazione si trova ad un livello di 4 kPa al di sotto della pressione atmosferica.

A.8.14 - Volume effettivo: quantità misurata di acqua trattenuta all'interno di un componente come per esempio l'intercettore e il separatore igienico, quando la valvola automatica di interruzione del vuoto si chiude durante la prova di funzionalità nelle specifiche condizioni del componente.

Oppure, volume interno di un componente come un secchio, un bidone o un vaso, misurato, in posizione normale di lavoro, bloccando l'uscita/e del latte e riempiendo il componente di acqua fino al livello più basso degli ingressi inferiori del latte o dell'aria.

A.8.15 - Lunghezza reale delle guaine: distanza dalla superficie superiore dell'imboccatura fino al punto più basso di contatto tra le opposte pareti del labbro della guaina quando questa è montata nel suo portaguaina e trattenuta in posizione chiusa da una specificata differenza di pressione.

Appendice B

B. PROVE MECCANICHE IN SALA DI MUNGITURA

Al fine di verificare la conformità di un impianto, nel suo insieme e nei singoli componenti, alle normative vigenti è necessario effettuare delle prove meccaniche, in laboratorio e in sala di mungitura, secondo un procedimento standard illustrato nella norma ISO/DIS 6690.

Le prove in sala di mungitura prevedono l'esecuzione di misure e di controlli sia con animali in mungitura (prove dinamiche), sia in assenza di animali (prove statiche o a secco). Le prove dinamiche, pur consentendo una valutazione complessiva della reale funzionalità dell'impianto di mungitura, vengono effettuate soprattutto per verificare le fluttuazioni medie di vuoto, il corretto dimensionamento del collettore e del lattodotto.

Le principali prove statiche in sala di mungitura riguardano essenzialmente la verifica di: riserva utile, portata della pompa per vuoto, perdite nelle condutture dell'aria e del latte, consumo del regolatore, ingressi d'aria e perdite nel gruppo prendicapezzoli, andamento della curva di pulsazione.

Gli schemi degli impianti con i relativi punti di connessione degli strumenti di misura sono riportati nelle figure 81, 82, 83.

B.1 Strumenti di misura

Per effettuare il rilievo delle prestazioni degli impianti di mungitura, oltre a normali attrezzi da officina, sono richiesti specifici strumenti che devono possedere un elevato livello di precisione. Periodicamente è necessario verificare la taratura dell'intera strumentazione.

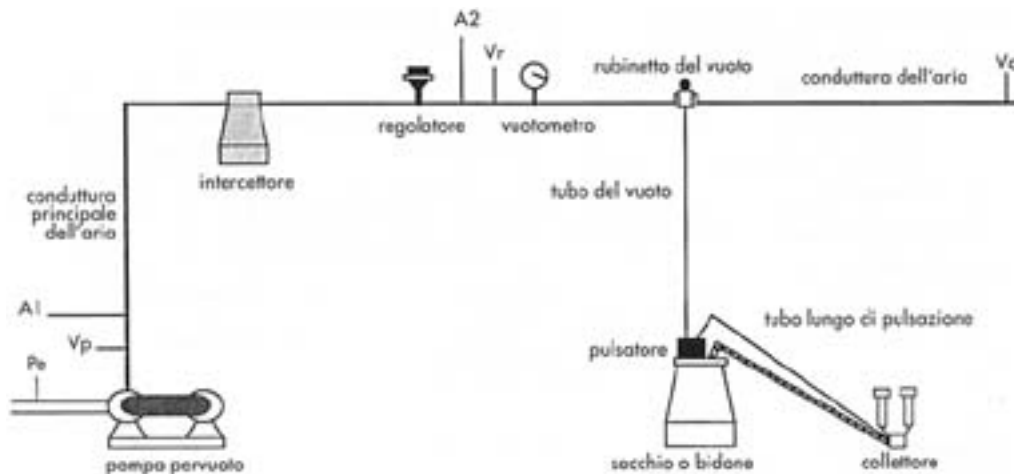


Fig. 82. Macchina mungitrice a secchio o a scarico diretto nel bidone (esempio). **A1, A2:** punti di connessione per il flussometro; **Vp, Vr, Vc:** punti di connessione per la misurazione del vuoto; **Pe:** punto di connessione per la misurazione della pressione allo scarico.

Per la corretta esecuzione delle misure di portata d'aria risulta di grande importanza collegare lo strumento col componente da misurare (pompa per vuoto, condutture, ecc.) mediante una connessione a pieno diametro. In tal modo si evitano errori di misura dovuti alla presenza di strozzature.

Misurazione del livello di vuoto

Lo strumento utilizzato (vuotometro) deve possedere un'accuratezza di almeno $\pm 0,6$ kPa al vuoto misurato e con una ripetibilità di almeno $\pm 0,3$ kPa (fig. 84).

Misurazione della portata d'aria

Lo strumento adoperato (flussometro) deve misurare le portate d'aria con un errore massimo del 5% e una ripetibilità dell'1% o di 1.0 l/min (fig. 84). Per misurare l'immissione e le perdite d'aria nel gruppo prendicapezzoli si deve impiegare un flussometro ad aria variabile (asometro) che può essere inserito nel tubo lungo del latte (fig. 85).

Misurazione dell'andamento ciclico del vuoto nella camera di pulsazione

Lo strumento usato (pulsografo), compresi i tubi di collegamento, avrà un'accuratezza di ± 1 ciclo/min per misurare la frequenza di pulsazione e un'accuratezza di ± 1 unità percentuale per misurare le fasi di pulsazione e il rapporto del pulsatore (fig. 86).

Misurazione della velocità di rotazione della pompa

Lo strumento impiegato (contagiri) deve misurare il regime di rotazione con un errore massimo del 2% rispetto al valore misurato.

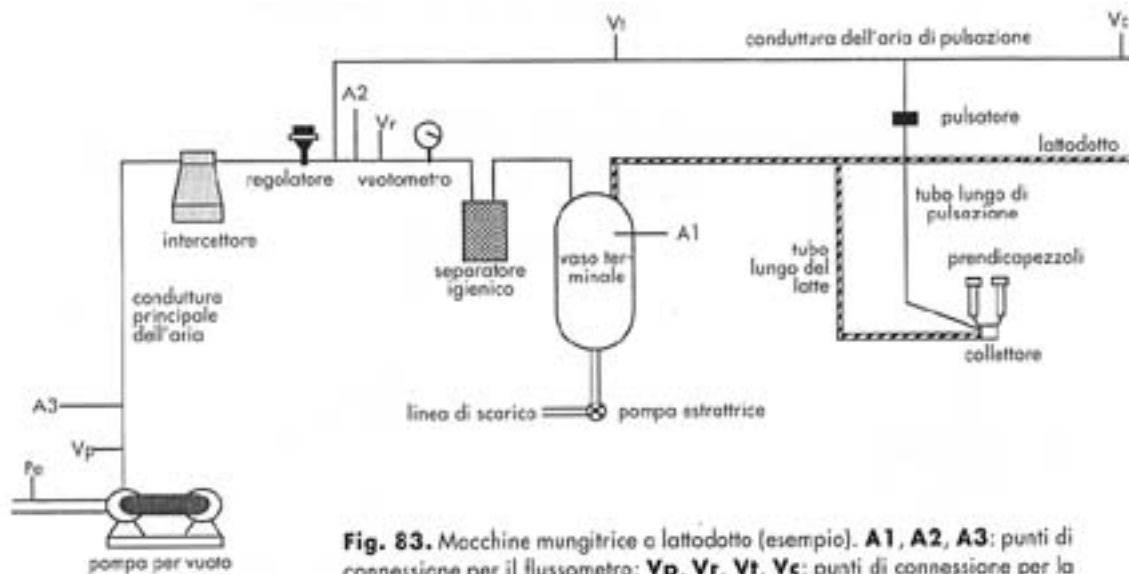


Fig. 83. Macchine mungitrice a lattodotto (esempio). **A1, A2, A3:** punti di connessione per il flussometro; **Vp, Vr, Vt, Vc:** punti di connessione per la misurazione del vuoto; **Pc:** punto di connessione per la misurazione della pressione allo scarico.

Tappi prendicapezzoli

Nelle prove a statiche, ovvero nella mungitura simulata, nei gruppi prendicapezzoli si inseriscono appositi tappi che devono risultare resistenti alle soluzioni di lavaggio. I materiali utilizzati per i tappi devono possedere i requisiti richiesti dalle vigenti norme per i materiali che entrano in contatto col latte.

B.2 Portata della pompa per vuoto

Per la misura della portata della pompa per vuoto si procede nel modo seguente:

1) mettere la macchina in posizione di mungitura simulata (prendicapezzoli tappati e valvola del collettore aperta) e lasciarla funzionare per almeno 15 min;

- 2) isolare la pompa dal resto dell'impianto agendo sulla valvola di esclusione posta sopra la pompa stessa (fig. 87);
- 3) collegare il flussometro, tramite opportuno raccordo in gomma, nella presa di diagnosi posta in prossimità della pompa. La ghiera del flussometro deve essere ruotata in modo da posizionare il suo indice sulla portata nominale della pompa (fig. 87). Controllare che non ci siano perdite o strozzature nella connessione fra pompa e flussometro;
- 4) registrare la portata d'aria della pompa al livello di vuoto nominale (50 kPa);
- 5) registrare la portata d'aria della pompa al livello del vuoto di lavoro per quell'impianto;
- 6) registrare la portata d'aria della pompa a 2 kPa al di sotto del vuoto di lavoro.

In tal modo si determina la portata della pompa ai diversi livelli di vuoto e i valori ottenuti si confrontano con quelli forniti dai costruttori o ricavati dalle prove di certificazione condotte in laboratorio.

Le letture delle velocità di rotazione della pompa e del motore devono essere fatte al livello di vuoto di 50 kPa.

B.3 Cadute di vuoto nel circuito dell'aria e del latte

Per la misura delle cadute di vuoto imputabili ai circuiti dell'aria e del latte si utilizza un vuotometro, o un pulsografo, e si procede nel modo seguente:

- 1) mantenere la macchina in posizione di mungitura simulata;
- 2) registrare il valore del vuoto di lavoro in prossimità della pompa;
- 3) registrare il vuoto di lavoro sul vaso terminale o in prossimità di esso;
- 4) registrare il vuoto di lavoro sul lattodotto lontano dal terminale (fig. 89).

La differenza tra le prime due registrazioni fornisce la caduta di vuoto fra pompa e terminale, mentre dalla differenza fra le ultime due misure si ottiene la caduta di vuoto fra terminale e lattodotto. Il diametro interno della condotta principale dell'aria deve risultare sufficiente a contenere in 2 kPa la caduta di vuoto fra pompa e terminale; allo stesso modo il diametro interno del lattodotto deve essere tale che la caduta di vuoto fra terminale e qualsiasi punto del lattodotto non sia maggiore di 2 kPa.

B.4 Consumi e perdite delle condutture dell'aria

Questa misura viene effettuata per verificare i consumi -ovvero le perdite di carico- e le perdite -vale a dire le infiltrazioni d'aria- della condotta principale dell'aria e di quella dell'aria di pulsazione e si opera come di seguito indicato:

- 1) arrestare la pompa mantenendo l'impianto in posizione di mungitura simulata;
- 2) isolare il circuito del latte agendo sulla valvola di esclusione posta sopra il separatore igienico;



Fig. 85. Strumentazione utilizzata per il controllo in azienda degli impianti di mungitura: flussometro (a sinistra) e vuotometro (a destra). (Fonte Bonsaglia Macchine).

- 3) sconnettere il sistema di pulsazione avendo cura di tappare le connessioni d'innesto alla condotta dell'aria di pulsazione;
- 4) disinserire il regolatore del vuoto (smontandolo o sconnettendolo dal sensore);
- 5) inserire il flussometro nella presa di diagnosi posta sopra il separatore igienico;
- 6) collegare il vuotometro in prossimità del vaso terminale o direttamente al flussometro;

7) riavviare la pompa e ridurre la portata dell'aria del flussometro fino a che il livello di vuoto risale al valore nominale; registrare la portata d'aria corrispondente a questa condizione.

I consumi e le perdite delle condutture dell'aria si ottengono come differenza tra il valore di portata nominale della pompa per vuoto (misurato al punto B.2) e quello registrato con il circuito dell'aria collegato alla pompa stessa. Se i consumi superano il 5% della portata nominale della pompa significa che nella condotta: il diametro interno è insufficiente rispetto alla portata dell'aria; vi sono strozzature, risalite o infiltrazioni d'aria attraverso i rubinetti del vuoto o i raccordi..



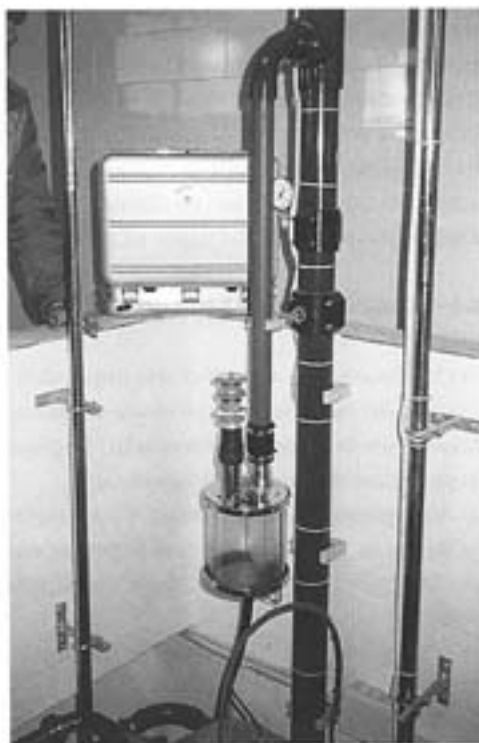
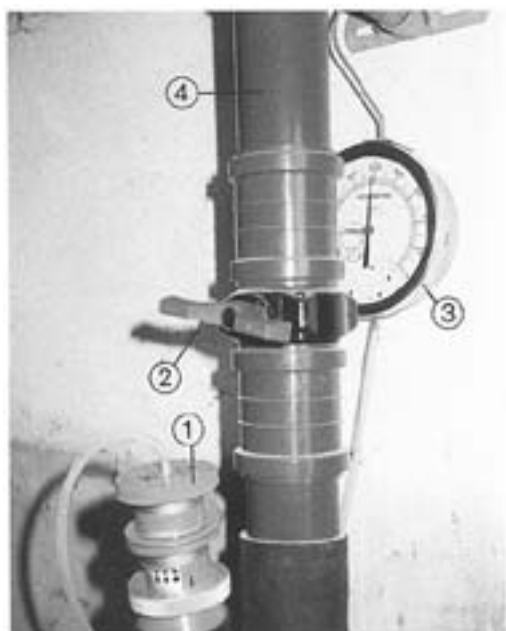
In alto: **fig. 86.** L'asometro viene utilizzato per misurare l'immissione o le perdite d'aria nel gruppo prendicapezzoli.
Sotto: **fig. 87.** Pulsografo elettronico a due canali (Fonte MIBO).

B.5 Consumi e perdite della condotta del latte

Per la misura dei consumi d'aria imputabili al circuito del latte si opera nel modo seguente:

- 1) arrestare la pompa mantenendo l'impianto in posizione di mungitura simulata;
- 2) mantenere il flussometro ed il vuotometro nella stessa posizione indicata in precedenza per la misura dei consumi della condotta dell'aria;
- 3) mantenere disinseriti il regolatore e il sistema di pulsazione
- 4) riaprire la valvola di esclusione posta sopra il separatore igienico ripristinando il vuoto nel lattodotto;
- 5) sconnettere il collettore dal tubo lungo del latte e tappare quest'ultimo con gli appositi tappi;
- 6) riavviare la pompa e ridurre la portata d'aria del flussometro fino a che il livello di vuoto risale al valore nominale; registrare la portata d'aria corrispondente a questa condizione. I consumi e le perdite del lattodotto si ottengono come differenza tra il valore di portata registrato con il lattodotto disinserito e quello ottenuto con la condotta del latte collegata. I consumi non devono risultare superiori a 10 l/min, più un'addizionale di 2 l/min per ogni gruppo prendicapezzoli. Se i valori sono

superiori significa che il diametro interno del lattodotto è insufficiente, oppure che vi sono delle infiltrazioni d'aria nei rubinetti del latte o nei raccordi.



Sopra a sinistra: **fig. 88**. Per misurare la portata della pompa per vuoto è necessario inserire il flussometro nell'apposito raccordo a T situato in prossimità della pompa stessa: 1) flussometro; 2) valvola di esclusione della pompa dal resto dell'impianto; 3) vuotometro; 4) condotta principale dell'aria.

Qui sopra: **fig. 89**. Per misurare i consumi di alcuni componenti dell'impianto si deve posizionare il flussometro nell'apposito raccordo a T sopra il separatore igienico.

A sinistra: **fig. 90**. Misura del livello di vuoto nel lattodotto attraverso la guaina di mungitura.

B.6 Ingresso d'aria nei gruppi prendicapezzoli

La misura dell'immisione d'aria nei gruppi prendicapezzoli, attraverso il foro calibrato del collettore, e delle infiltrazioni d'aria attraverso la valvola di chiusura del vuoto del collettore si può effettuare nel modo seguente:

- 1) arrestare la pompa mantenendo l'impianto in posizione di mungitura simulata;
- 2) mantenere il flussometro ed il vuotometro nella stessa posizione indicata in precedenza per la misura dei consumi della condotta del latte;
- 3) mantenere disinseriti il regolatore e il sistema di pulsazione
- 4) ricollegare il tubo lungo del latte al collettore e mantenere la valvola di chiusura in posizione di mungitura;
- 6) riavviare la pompa e ridurre la portata d'aria del flussometro fino a che il livello di vuoto risale al valore nominale; registrare la portata d'aria corrispondente a questa condizione.

Gli ingressi d'aria e le perdite imputabili ai prendicapezzoli si ottengono come differenza tra il valore di portata registrato coi prendicapezzoli disinseriti e quello ottenuto con i prendicapezzoli collegati. L'immissione totale d'aria non deve superare 12 l/min per singolo gruppo prendicapezzoli.

Nel caso si voglia misurare l'immissione d'aria nel singolo prendicapezzoli si opera come di seguito:

- 1) arrestare la pompa mantenendo l'impianto in posizione di mungitura simulata;
- 2) collegare l'asometro, mantenendolo in posizione verticale, fra il collettore e il tubo lungo del latte (fig. 85);
- 3) registrare la portata d'aria indicata dall'asometro. Il valore rilevato rappresenta l'insieme degli ingressi d'aria attraverso il gruppo prendicapezzoli.

Per effettuare questa misura senza l'ausilio dell'asometro si può utilizzare un bidone di circa 20 l a tenuta d'aria e un cronometro come descritto nella norma ISO/DIS 6690.

B.7 Consumi del sistema di pulsazione

Per la misura dei consumi d'aria imputabili al sistema di pulsazione si procede nel modo seguente:

- 1) arrestare la pompa mantenendo l'impianto in posizione di mungitura simulata;
- 2) mantenere il flussometro ed il vuotometro nella stessa posizione indicata in precedenza per la misura degli ingressi d'aria nei gruppi prendicapezzoli;
- 3) rimontare il sistema di pulsazione;
- 4) riavviare la pompa e ridurre la portata d'aria del flussometro fino a che il livello di vuoto risale al valore nominale; registrare la portata d'aria corrispondente a questa condizione.

Il consumo del sistema di pulsazione o dei pulsatori è dato dalla differenza tra il valore di portata registrato in precedenza con la pulsazione disinserita e quello misurato con la pulsazione funzionante. Il consumo d'aria per la pulsazione di ciascuna coppia di gruppi non dovrebbe essere in media superiore a 25 l/min.

B.8 Riserva utile del vuoto

Per determinare la riserva utile del vuoto, che come si è detto rappresenta la portata della pompa ancora disponibile al netto dei consumi e delle perdite dei diversi componenti la macchina mungitrice, si opera nel modo seguente:

- 1) arrestare la pompa mantenendo l'impianto in posizione di mungitura simulata;
- 2) mantenere il flussometro ed il vuotometro nella stessa posizione indicata in precedenza per la misura dei consumi del sistema di pulsazione;
- 3) rimontare la valvola di regolazione del vuoto;
- 4) riavviare la pompa e aumentare la portata d'aria del flussometro fino a che il livello di vuoto non scende di 2 kPa rispetto al vuoto di lavoro; la portata d'aria registrata in questa condizione costituisce la riserva utile del vuoto.

La riserva utile può essere misurata in assenza o in presenza degli animali.

B.9 Curva di pulsazione

La registrazione del grafico di pulsazione può essere effettuata sia nell'ambito delle prove a secco sia nel corso della mungitura e si opera come di seguito indicato:

- 1) arrestare la pompa mantenendo l'impianto in posizione di mungitura simulata nel caso di prove a secco;
- 2) collegare il pulsografo col tubo corto dell'aria di pulsazione ed il portaguaina;
- 3) registrare almeno 5 cicli completi di pulsazione;
- 4) ripetere la prova su tutti i pulsatori dell'impianto.

Come si è visto in precedenza la frequenza di pulsazione non dovrà deviare di oltre 5 cicli/min dal valore dato dall'installatore, mentre il rapporto del pulsatore non dovrà differire di ± 5 unità percentuali dal valore indicato dall'installatore.

Appendice C

C. IMPIANTI DI REFRIGERAZIONE: TERMINOLOGIA TECNICA

C.1 Tipologie impiantistiche

Sistema diretto di raffreddamento: l'evaporatore dell'impianto frigorifero è in contatto termico diretto con la massa del latte o con la vasca.

Sistema indiretto di raffreddamento: il calore è trasferito dal latte al refrigerante attraverso un agente intermedio di trasmissione.

Serbatoio refrigerante ad accumulo di ghiaccio: si tratta di un sistema indiretto di refrigerazione in cui l'agente intermedio è l'acqua che ghiaccia a contatto con l'evaporatore.

Serbatoio refrigerante atmosferico: la vasca del latte è progettata per operare a pressione atmosferica.

Serbatoio refrigerante sottovuoto: la vasca del latte è progettata per operare ad una pressione inferiore a quella atmosferica.

Serbatoio refrigerante per due mungiture: tank progettato per raffreddare e conservare ogni 24 ore una quantità di latte pari al suo volume nominale ed essere quindi svuotato, per la raccolta del latte, ogni giorno.

Serbatoio refrigerante per quattro mungiture: tank progettato per raffreddare e conservare ogni 48 ore una quantità di latte pari al suo volume nominale ed essere quindi svuotato, per la raccolta del latte, ogni due giorni.

Serbatoio refrigerante per sei mungiture: tank progettato per raffreddare e conservare ogni 72 ore una quantità di latte pari al suo volume nominale ed essere quindi svuotato, per la raccolta del latte, ogni tre giorni.

C.2 Prestazioni

Mungitura: quantità di latte che viene introdotta nel tank ad ogni operazione di mungitura.

Volume massimo: volume (in litri) al quale la vasca può essere riempita, nella sua posizione di riferimento e in assenza agitazione, senza tracimare.

Volume nominale: volume (in litri) di riempimento massimo ammissibile della vasca, alle condizioni operative dichiarate dal costruttore.

Temperatura ambiente (T_a): temperatura media dell'ambiente circostante la vasca.

Temperatura di prestazione (T_p): temperatura media dell'ambiente (circostante la vasca e il condensatore ad aria dell'impianto frigorifero) cui si fa riferimento durante la misura dei tempi di raffreddamento del latte.

Temperatura di sicurezza (T_s): limite superiore del campo di temperature ambientali entro il quale l'impianto deve funzionare in maniera efficiente.

Temperatura iniziale: temperatura media del latte da refrigerare al momento del suo ingresso nella vasca.

Temperatura di conservazione: temperatura media alla quale viene raffreddato il latte per la conservazione.

Tempo di refrigerazione: tempo richiesto per refrigerare una mungitura dalla temperatura iniziale alla temperatura di conservazione, compreso il periodo di ingresso nel tank.

Ciclo di refrigerazione: periodo compreso tra due successive raccolte del latte. La durata del ciclo di refrigerazione è di 24 ore nei serbatoi per due mungiture; di 48 ore in quelli per 4 mungiture, di 72 ore in quelli per 6 mungiture.

Consumo specifico di energia: consumo di energia in Wattora per litro di latte refrigerato, misurato come consumo medio di tutti i componenti (escluso il sistema di lavaggio) durante un ciclo di raffreddamento nelle condizioni di prova appropriate alla classe di prestazione.

Appendice D

D. CALCOLO DEI COSTI DIRETTI DI REFRIGERAZIONE

Si riporta lo schema di calcolo dei costi diretti relativi a materiali ed energia impiegati nella refrigerazione del latte, esclusi i costi fissi e la manodopera.

Il costo giornaliero unitario per la refrigerazione di un litro di latte risulta dalla:

$$KR = \frac{KE + KD + KV + KM}{Ql} \quad (\text{£/1 * giorno})$$

1) Energia elettrica: $KE = ke * Et$ (£/giorno)

$$Et = Er + Ec + Ea + Ev + El \quad (\text{Wh/giorno})$$

$$Er = \frac{Vl * (tli-tlf) * csl}{3600 * cop} * 1,15$$

$$Ec = \frac{\frac{Vl}{2} * \frac{Tc}{4} * csl}{3600 * cop} \quad (\text{tank 2 m}) ;$$

$$Ec = \frac{1,5 * Vl * \frac{Tc}{4} * csl}{3600 * cop} \quad (\text{tank 4 m}) .$$

$$Ea = 0,01 * Er$$

$$Ev = 0,12 * Er$$

$$El = \frac{Va * (tai-taf) * cs}{3600 * 0,9} \quad (\text{tank 2 m}) ;$$

$$El = \frac{Va * (tai-taf) * cs}{3600 * 0,9 * 2} \quad (\text{tank 4 m}) .$$

2) Detergenti: $KD = kd * c * Va$ (tank 2 m); $KD = \frac{kd * c * Va}{2}$ (tank 4 m).
(£/giorno)

3) Contrazione volume: $KV = kl * Ql * d$ (£/giorno)

4) Manutenzione: $KM = \frac{0,03 * kt}{Sp}$ (£/giorno)

Legenda

Et energia elettrica totale (Wh/giorno)

Er en.el. per il raffreddamento del latte (Wh/giorno)

Ec en.el. spesa durante la conservazione del latte (Wh/giorno)

Ea en.el. per il funzionamento dell'agitatore, pari all'1% Er (Wh/giorno)

Ev en.el. per l'azionamento del ventilatore, pari al 12% Er (Wh/giorno)

El en.el. per il riscaldamento dell'acqua di lavaggio (Wh/giorno)

ke prezzo unitario dell'energia elettrica (£/Wh)

Vl quantità giornaliera di latte (l); nei tank per 2 mungiture $Vl = Vn \cdot CU$; nei tank per 4 mungiture $Vl = (Vn \cdot CU)/2$, dove Vn è il volume nominale della vasca e CU il coefficiente medio annuo di utilizzazione del tank

tli temperatura iniziale del latte (in genere inferiore a 30°C)

| | |
|------------------|--|
| tlf | temperatura finale del latte (4°C) |
| csl | calore specifico del latte (3,9 kJ/l); |
| $\frac{1}{3600}$ | fattore conversione da J a Wh |
| 1,15 | fattore di correzione che tiene conto del raffreddamento della vasca (+5%) e della perdita di efficienza del sistema nel tempo (+10%) |
| cop | coefficiente di prestazione del frigo, ossia il rapporto fra potenza frigorifera e potenza installata; nei tank di media capacità il valore del cop è pari a 3 |
| Tc | tempo di conservazione fra due mungiture successive (h) |
| 1/4 | risalita max di temperatura durante la conservazione: 3°C in 12 ore |
| 1,5 | fattore di moltiplicazione per il calcolo della quantità di latte mediamente presente al giorno durante la conservazione |
| Va | volume dell'acqua di lavaggio (l) |
| tai | temperatura iniziale dell'acqua (°C) |
| taf | temperatura dell'acqua di lavaggio (°C) |
| csa | calore specifico dell'acqua (4,18 kJ/l) |
| 0,9 | rendimento dello scaldacqua elettrico |
| kd | prezzo unitario del detergente (£/kg) |
| c | concentrazione del detergente: 0,5-1% Va |
| kl | prezzo del latte (£/l) |
| d | contrazione volumetrica a basse temperature (%) |
| kt | prezzo dell'impianto (£) |
| Sp | stagione produttiva del latte ovino (giorni) |