

MUSEO DI STORIA DELL'AGRICOLTURA



FONDAZIONE MORANDO BOLOGNINI



SOCIETÀ AGRARIA DI LOMBARDIA

Atti del seminario

11 ottobre 2024

Castello Morando Bolognini - Sant'Angelo Lodigiano

I RUMINANTI

**domesticazione, evoluzione e
coevoluzione con le popolazioni umane**

a cura di

Anna Sandrucci e Osvaldo Failla

CON IL PATROCINIO DI



ASSOCIAZIONE MILANESE LAUREATI IN
SCIENZE AGRARIE E IN SCIENZE FORESTALI



CON IL CONTRIBUTO DI



Carla Zanardi
(1956 - 2024)

Questo volume è dedicato alla dottoressa Carla Zanardi, appassionata socia e benefattrice del Museo di Storia dell'Agricoltura. Laureata in Scienze e Tecnologie Agrarie, Carla è stata un'assidua presenza alle iniziative del Museo, della Società Agraria di Lombardia e dell'Associazione milanese laureati in Scienze agrarie e forestali, partecipando alle attività sociali e culturali sempre con vivacità e interesse, anche quando le sue condizioni di salute, sempre più precarie, le rendevano la vita impegnativa e dolorosa.

I CURATORI

Anna Sandrucci

Consigliera del Museo di Storia dell'Agricoltura

Professoressa ordinaria di Zootecnia speciale - Università degli Studi di Milano

Oswaldo Failla

Presidente del Museo di Storia dell'Agricoltura

Professore ordinario di Arboricoltura generale e Coltivazioni arboree - Università degli Studi di Milano

14 febbraio 2025

© Museo di Storia dell'Agricoltura

www.mulsa.it

ISBN 978-88-947927-7-5

LA PRODUZIONE DEL LATTE: EVOLUZIONE DEI RUMINANTI DA LATTE E DELLE POPOLAZIONI UMANE

Anna Sandrucci¹

*Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Università degli Studi di Milano
Museo di Storia dell'Agricoltura*



Riassunto

La domesticazione dei ruminanti ha portato cambiamenti significativi nella morfologia, fisiologia e comportamento degli animali, influenzando al contempo anche l'evoluzione culturale e genetica umana in un processo di coevoluzione. Circa 10.000 anni fa, la domesticazione di bovini, ovini e caprini, segnò un punto di svolta nella storia, trasformando profondamente la struttura sociale, economica e culturale delle comunità umane. Offrendo carne, latte, pelli e, nel caso dei bovini, anche lavoro, i ruminanti sono stati fondamentali per il sostentamento umano; il loro ruolo nei rituali e nelle rappresentazioni mitologiche e simboliche testimonia la loro centralità nelle culture passate e presenti. La "rivoluzione dei prodotti secondari", che introdusse l'uso di latte, lana e forza lavoro, rappresentò una svolta importante, modificando la relazione uomo-animale in una modalità che preservava la vita degli animali. La capacità di digerire il lattosio diventò gradualmente più comune tra le popolazioni che interagivano strettamente con i ruminanti, dimostrando un'evoluzione culturale e genetica. L'intensificazione delle relazioni uomo-animale favorì anche la diffusione di malattie zoonotiche, portando a una "transizione epidemiologica" e allo sviluppo di adattamenti immunitari. Negli ultimi decenni, la mungitura manuale è stata gradualmente sostituita dalla mungitura meccanica e, più recentemente, dalla mungitura automatizzata, con implicazioni sul comportamento, sulla fisiologia e sulla morfologia degli animali, oltreché sulla relazione uomo-animale. La domesticazione dei ruminanti è stata tra gli eventi più significativi della storia umana, contribuendo allo sviluppo delle società moderne e influenzando l'evoluzione biologica e culturale delle popolazioni umane e animali.

Abstract

Milk production: the evolution of dairy ruminants and human populations

The domestication of ruminants has led to significant changes in the morphology, physiology, and behavior of these animals, while simultaneously influencing human cultural and genetic evolution in a process of coevolution. Approximately 10,000 years ago, the domestication of cattle, sheep, and goats marked a turning point in history, profoundly transforming the social, economic, and cultural structures of human communities. By providing meat, milk, hides, and, in the case of cattle, labor, ruminants became essential for human sustenance. Their role in rituals and symbolic or mythological representations attests their centrality in past and present cultures. The

¹ Professoressa ordinaria di Zootecnia speciale

"secondary products revolution," which introduced the use of milk, wool, and animal labor, was a pivotal development, redefining the human-animal relationship in a way that preserved animal life. The ability to digest lactose gradually became more common among populations closely interacting with ruminants, demonstrating both cultural and genetic evolution. The intensification of human-animal interactions also facilitated the spread of zoonotic diseases, leading to an "epidemiological transition" and the development of immune adaptations. In recent decades, manual milking has been progressively replaced by mechanical and, more recently, automated milking systems, with implications for animal behavior, physiology, and morphology, as well as for human-animal relationships. The domestication of ruminants stands among the most significant events in human history, contributing to the development of modern societies and shaping the biological and cultural evolution of both human and animal populations.

PREMESSA

La relazione millenaria tra ruminanti ed esseri umani ha profondamente plasmato l'evoluzione di entrambi coinvolgendo aspetti fisiologici, morfologici, comportamentali, genetici e culturali. Sebbene caratterizzato da un rapporto di potere asimmetrico, il processo di domesticazione non ha visto gli animali come meri soggetti passivi: essi hanno contribuito attivamente a modellare l'interazione uomo-animale e, in molti casi, anche l'evoluzione umana. La domesticazione ha trasformato la morfologia, la fisiologia e il comportamento dei ruminanti, influenzando parallelamente sugli esseri umani in termini fisiologici, culturali e relazionali. Come osserva Diamond (2002), la domesticazione è stata probabilmente il principale fattore di cambiamento nelle frequenze geniche umane negli ultimi 10.000 anni. Non si tratta di un processo unidirezionale, ma di una coevoluzione mutualistica, in cui le specie si influenzano a vicenda, evolvendo tratti che favoriscono una relazione stabile e reciprocamente vantaggiosa (Purugganan, 2022).

Fin dall'alba della civiltà, i ruminanti hanno accompagnato gli esseri umani, diventando parte integrante delle comunità e dell'identità culturale di molti popoli. Offrendo risorse essenziali come latte, carne, pelli, lana e, nel caso dei bovini, anche forza lavoro, sono stati tra le specie domestiche più importanti per il sostentamento umano. Il loro ruolo nei rituali, nelle religioni e nelle rappresentazioni mitologiche e simboliche testimonia l'importanza culturale dei ruminanti nelle tradizioni di molte società. I bovini, in particolare, sono stati anche tra le prime forme di capitale e, in diverse culture, continuano a simboleggiare ricchezza e prestigio sociale.

La domesticazione dei bovini taurini, delle capre e delle pecore risale a circa 10-11 mila anni fa, con origine nella Mezzaluna Fertile. Da questa regione, queste specie si diffusero in Europa, Africa e Asia grazie alle migrazioni umane. In Europa, i ruminanti domestici arrivarono nel 7°-6° millennio a.C. seguendo due rotte principali: la costa mediterranea e il corridoio danubiano (fig. 1). La colonizzazione interessò inizialmente il sud Europa, mentre nell'Europa centrale e settentrionale le prime tracce risalgono a circa un millennio più tardi (Ajmone-Marsan et al., 2010; Stock e Wells, 2023).

COME I RUMINANTI DOMESTICI HANNO MODIFICATO LE POPOLAZIONI UMANE

Le basi ormonali del processo di domesticazione

La domesticazione animale differisce da quella delle piante, poiché allevare un animale è più simile a instaurare una collaborazione che a fornire cure. In questo processo, ormoni come l'ossitocina e la vasopressina, coinvolti nella modulazione del comportamento sociale e affiliativo, nella cura parentale, nel rilascio del latte, nonché nel controllo dell'aggressività e nella gestione dello stress, potrebbero aver svolto un ruolo cruciale. Alcuni geni che controllano i recettori di questi ormoni negli animali domestici e nei loro progenitori selvatici mostrano segni di selezione positiva, suggerendo che mutazioni favorevoli abbiano facilitato l'adattamento alla vita domestica, riducendo stress e

aggressività e favorendo la convivenza con l'uomo (Fam et al., 2018). L'ossitocina, in particolare, gioca un ruolo essenziale nel favorire la formazione di legami sia intra- che interspecifici. È stato dimostrato, ad esempio, che gli agnelli sono in grado di sviluppare un attaccamento verso gli esseri umani che li accudiscono simile a quello per la madre, con un aumento dei livelli di ossitocina nel sangue sia durante l'allattamento materno sia durante il contatto con l'uomo (Nowak e Boivin, 2015). L'ossitocina e gli altri neuropeptidi potrebbero aver facilitato le interazioni uomo-animale, rendendo gli umani più empatici e attenuando negli animali lo stress associato al contatto umano. L'empatia verso gli animali avrebbe offerto agli esseri umani vantaggi iniziali nella caccia, grazie alla capacità di interpretare i comportamenti animali, e successivamente nella domesticazione (Bradshaw e Paul, 2010).

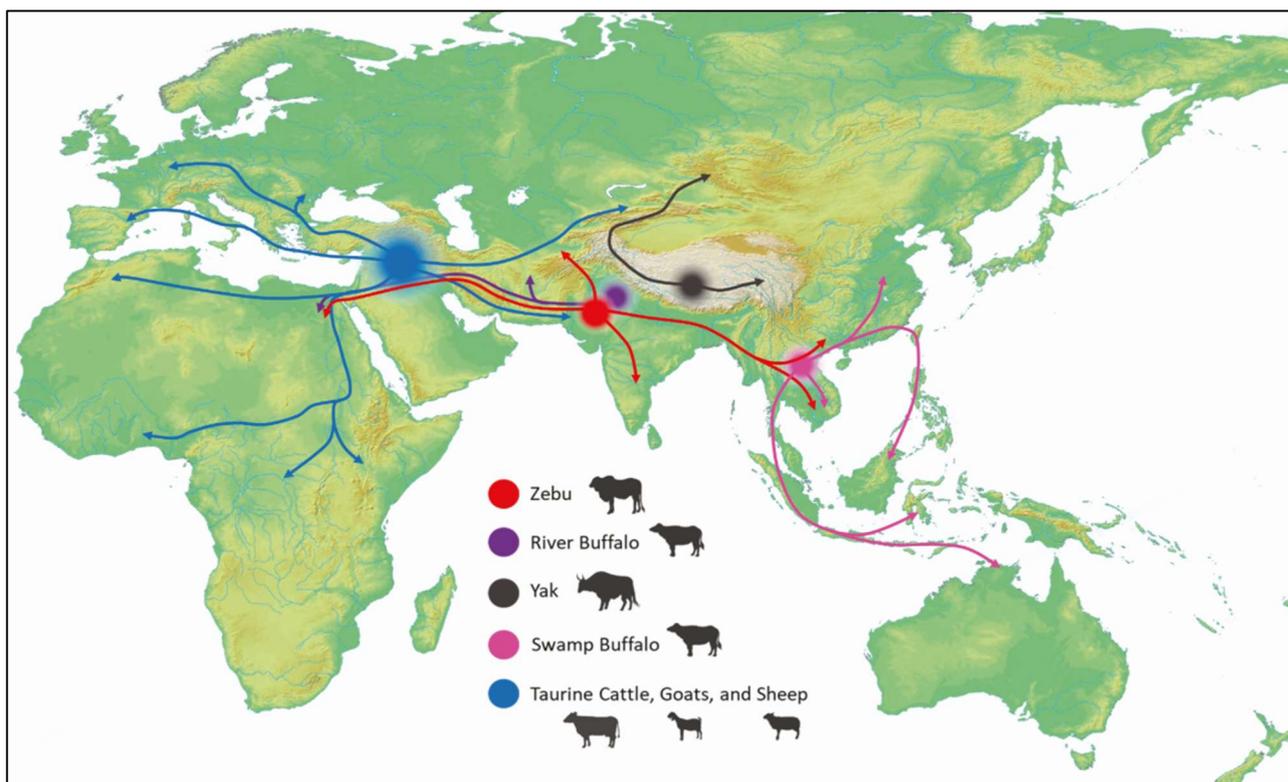


Figura 1 - Centri primari di domesticazione dei ruminanti durante il primo Olocene e rotte di diffusione (da Stock e Wells, 2023)

Si ipotizza che individui dotati di maggiore empatia e capacità nel controllo degli animali abbiano acquisito prestigio sociale e vantaggi nutrizionali, riuscendo a trasmettere i propri geni con maggiore efficacia alle generazioni successive. Il controllo degli animali, inoltre, risultava cruciale in attività fondamentali come l'aratura e il trasporto, offrendo ulteriori benefici selettivi agli individui in grado di gestire queste risorse. Tali vantaggi avrebbero incrementato la sopravvivenza e la riproduzione di questi individui, influenzando così il pool genetico umano complessivo. La domesticazione non è stata un processo unidirezionale: anche gli animali hanno esercitato un'influenza sull'evoluzione umana, contribuendo alla selezione di tratti specifici, come una maggiore capacità di comunicazione interspecifica, fondamentale per una convivenza efficace e stabile (Shipman, 2010).

Un ulteriore aspetto interessante è il legame tra i meccanismi neuro-ormonali coinvolti nella domesticazione degli animali e l'ipotesi dell'autodomesticazione umana. Questo concetto evolutivo suggerisce che gli esseri umani abbiano attraversato un processo autoindotto analogo alla domesticazione, selezionando tratti che favoriscono la

cooperazione, la socialità e la riduzione dell'aggressività (Summers e Summers, 2023). Secondo questa ipotesi, l'evoluzione della nostra specie nel tardo Pleistocene sarebbe coerente con la "sindrome da domesticazione", che include caratteristiche come maggiore socialità, riduzione della massa corporea, accorciamento del viso e dei denti e ridotto dimorfismo sessuale (Wrangham, 2019).

I prodotti secondari

La teoria della "Rivoluzione dei prodotti secondari", formulata da Sherratt più di quarant'anni fa (1981), sosteneva che l'impiego dei ruminanti domestici, inizialmente limitato allo sfruttamento della carne, si sia ampliato solo diversi millenni più tardi a includere prodotti che non implicavano la macellazione, come latte, lana e forza lavoro. Questo cambiamento, secondo Sherratt, rappresentò una svolta fondamentale nella storia della domesticazione. Si passò dall'uso del bestiame come semplice fornitore di prodotti primari a una nuova concezione in cui gli animali diventavano fonti di risorse rinnovabili. Tale trasformazione avrebbe avuto un impatto profondo e repentino sulle economie e sulle società del tempo. L'utilizzo del latte, in particolare, segnò un notevole miglioramento nell'efficienza della produzione alimentare. Infatti, l'energia e le proteine degli alimenti per il bestiame vengono trasformate in latte con un'efficienza significativamente superiore rispetto a quella necessaria per produrre carne (Alexander et al., 2016; fig. 2).

Anche l'introduzione del lavoro animale rivoluzionò l'agricoltura, aumentando le rese e rendendo possibile coltivare terreni più estesi e meno vocati. Sherratt colloca questi cambiamenti tra 6000 e 5000 anni fa, tra il Calcolitico e l'età del bronzo, evidenziandone le implicazioni culturali e sociali: maggiore disponibilità e diversificazione alimentare, nuove opportunità di mobilità e incremento degli scambi a livello locale e interregionale.

La teoria di Sherratt trovò largo consenso e fu supportata da diverse evidenze zooarcheologiche. Ad esempio, i profili di raccolta, relativi all'età alla morte, di reperti di bovini, ovini e caprini nel Calcolitico mostrano un aumento della macellazione di animali molto giovani (neonati e giovanissimi) e la conservazione di esemplari più anziani (adulti). Questi dati sono stati interpretati come indicativi di un cambiamento nelle pratiche di sfruttamento, orientate più verso la riproduzione e la produzione di latte rispetto al Neolitico. Tuttavia, alcuni aspetti critici sono emersi nel tempo, tra cui la rilevante variabilità regionale nella tempistica di introduzione dei prodotti secondari e l'assenza di una comparsa simultanea di tutti i prodotti come un unico "pacchetto" (Greenfield, 2010). In alcune aree, ad esempio, il consumo di latte iniziò molto prima, già nel Neolitico. Di conseguenza, oggi si tendono a considerare le trasformazioni ipotizzate da Sherratt come processi più lenti e gradualmente distribuiti su millenni, piuttosto che concentrati in un'unica, rapida "rivoluzione".

Lo sfruttamento dei prodotti secondari degli animali, come latte, lana e forza lavoro, segnò una svolta significativa nelle relazioni uomo-animale, aprendo una nuova fase caratterizzata da legami duraturi e profondi tra le persone e il loro bestiame (Allentuck, 2015). L'accudimento degli animali da latte rappresenta un esempio emblematico: attività quotidiane, come mungitura e alimentazione, non solo creavano una vicinanza fisica costante, ma favorivano anche lo sviluppo di familiarità e fiducia reciproca tra uomini e animali. La mungitura, in particolare, richiede un ritmo regolare e armonico, oltre a un ambiente calmo per consentire agli animali di emettere il latte (Armstrong-Oma, 2010). Anche la condivisione di spazi di vita comuni o adiacenti, necessaria per agevolare attività fondamentali come la mungitura e l'assistenza nei momenti critici, come i parti, contribuiva a rafforzare ulteriormente queste interazioni.

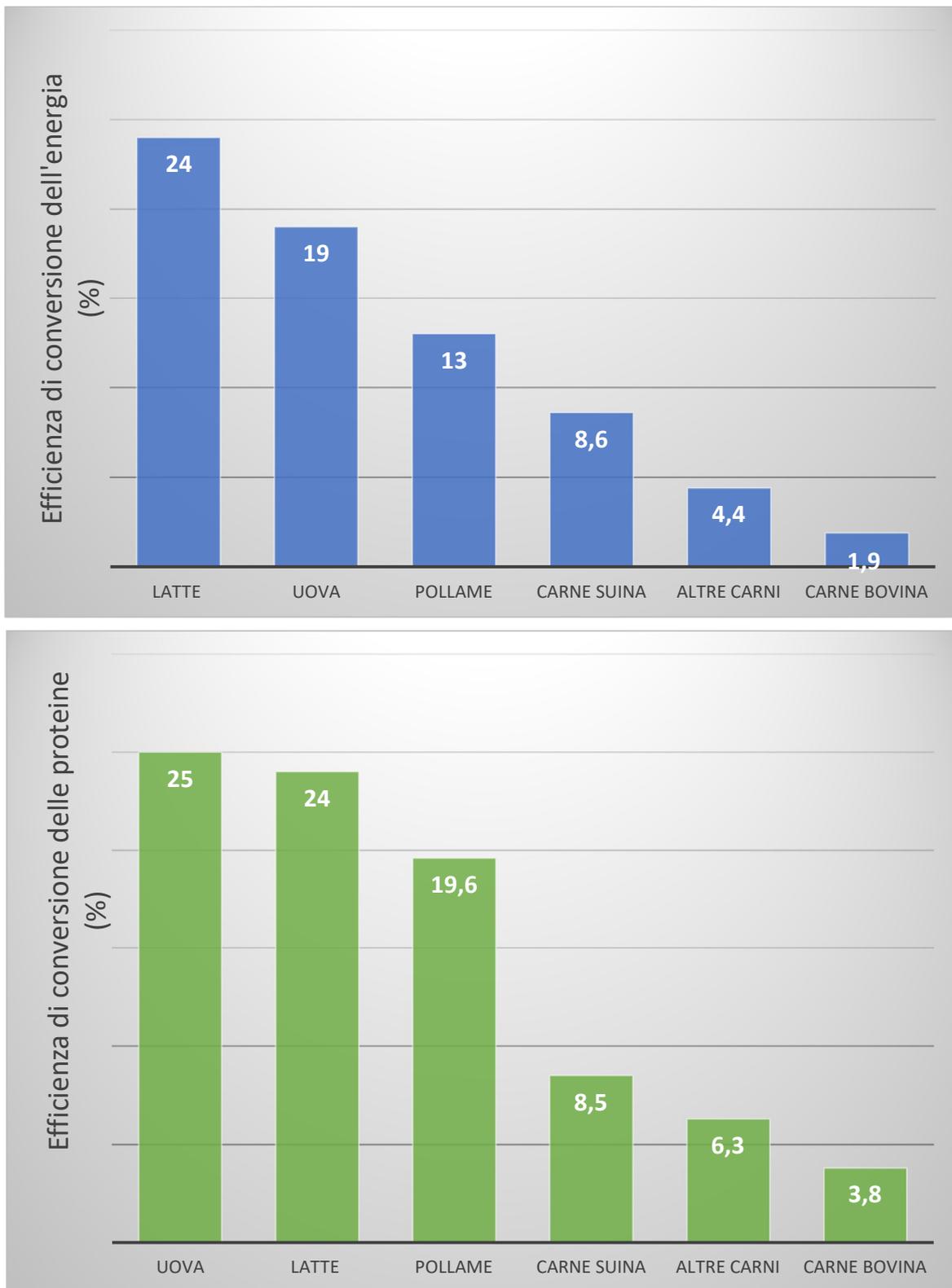


Figura 2 - Efficienza (%) di conversione dell'energia, sopra, e delle proteine, sotto, degli alimenti per il bestiame ai fini della produzione di latte, carne e uova (da Alexander et al., 2016)

Il consumo di latte e la persistenza della lattasi

Le più antiche rappresentazioni della mungitura risalgono al Neolitico (9000-6000 anni fa) e si trovano nelle pitture rupestri del Sahara (fig. 3; Le Quellec, 2011).

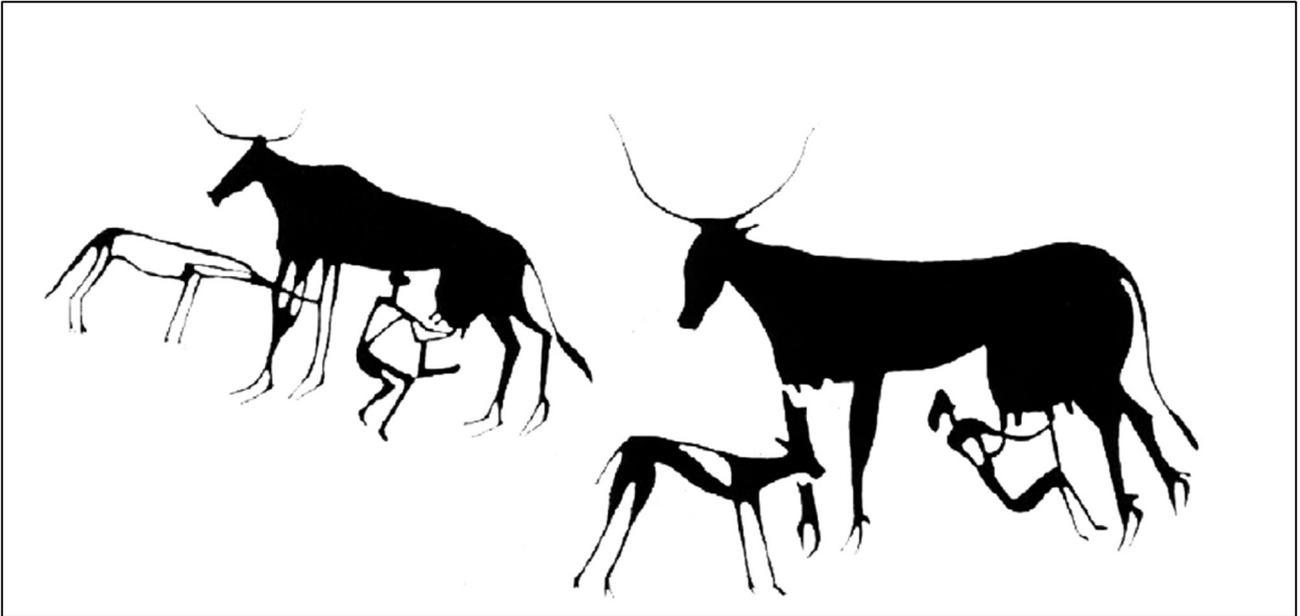


Figura 3 - Dettagli di pitture rupestri rappresentanti la mungitura di vacche, Tassili-n-Ajjer, Algeria (da Le Quellec, 2011)

Le prime tracce dell'uso del latte sono state individuate attraverso residui lipidici trovati su ceramiche che testimoniano lo sfruttamento del latte nel Mediterraneo settentrionale tra 9000 e 7000 anni fa, poco dopo l'introduzione degli animali domestici (Debono Spiteri et al., 2016). Uno studio su oltre 2.200 vasi di ceramica provenienti dal Vicino Oriente e dall'Europa sudorientale, ha confermato l'uso del latte già 9000 anni fa, durante le prime fasi di domesticazione dei ruminanti (Evershed et al., 2008). L'analisi di residui organici conservati nella ceramica archeologica ha fornito prove dirette dell'uso del latte nel quarto millennio in Gran Bretagna e nel sesto millennio nell'Europa orientale. Queste analisi si sono basate su marcatori chimici specifici, come i rapporti isotopici del carbonio, che permettono di distinguere i grassi del latte da altri tipi di grassi. Infine, le prime evidenze dirette del consumo di latte da parte dell'uomo provengono dal rilevamento di tracce di B-lattoglobulina nel tartaro dentale, in reperti risalenti all'età del Bronzo (~5000 anni fa) in Europa e Asia (Warinner et al., 2014).

L'inizio dello sfruttamento del latte ha favorito la diffusione delle mutazioni che permettono la persistenza della lattasi nell'uomo, ossia il mantenimento dell'espressione del gene della beta-galattosidasi in età adulta. Circa il 65% degli adulti umani, come la maggior parte dei mammiferi, riduce la produzione di lattasi con l'età, e ciò può rendere difficoltoso il consumo di latte dopo i 3 anni di vita. La lattasi è necessaria per la digestione del lattosio, il principale carboidrato del latte, e la sua carenza può portare a gonfiore, flatulenza, crampi e nausea in seguito al consumo di latte. Tuttavia, in molte popolazioni europee, africane e arabe, la persistenza della lattasi in età adulta ha raggiunto frequenze elevate (50-100%), grazie all'evoluzione genetica, consentendo di trarre beneficio dal consumo di latte fresco. Al contrario, questa capacità è quasi assente in regioni dove il latte non è stato tradizionalmente consumato, come le Americhe, l'Oceania e l'Asia orientale e sud-orientale (fig. 4; Itan et al., 2010).

Le prime evidenze di persistenza della lattasi nell'adulto risalgono all'Età del Rame (~6.000 anni fa), da resti umani rinvenuti in Ucraina. Da lì, il tratto si diffuse rapidamente in Eurasia, soprattutto in Europa, a partire da 3.000 anni fa (Segurel et al., 2020). In Asia centrale, dove le popolazioni pastorali dipendono fortemente dai prodotti lattiero-caseari, la frequenza di persistenza della lattasi è bassa. Tuttavia, in questi contesti il latte di norma non viene consumato crudo ma trasformato in latticini (bevande alcoliche

fermentate, yogurt, cagliata, panna, burro). La fermentazione e la trasformazione del latte rappresentano adattamenti culturali al consumo di questo prodotto, che permettono di sfruttare i micronutrienti, i lipidi e le proteine del latte senza i sintomi legati al lattosio.

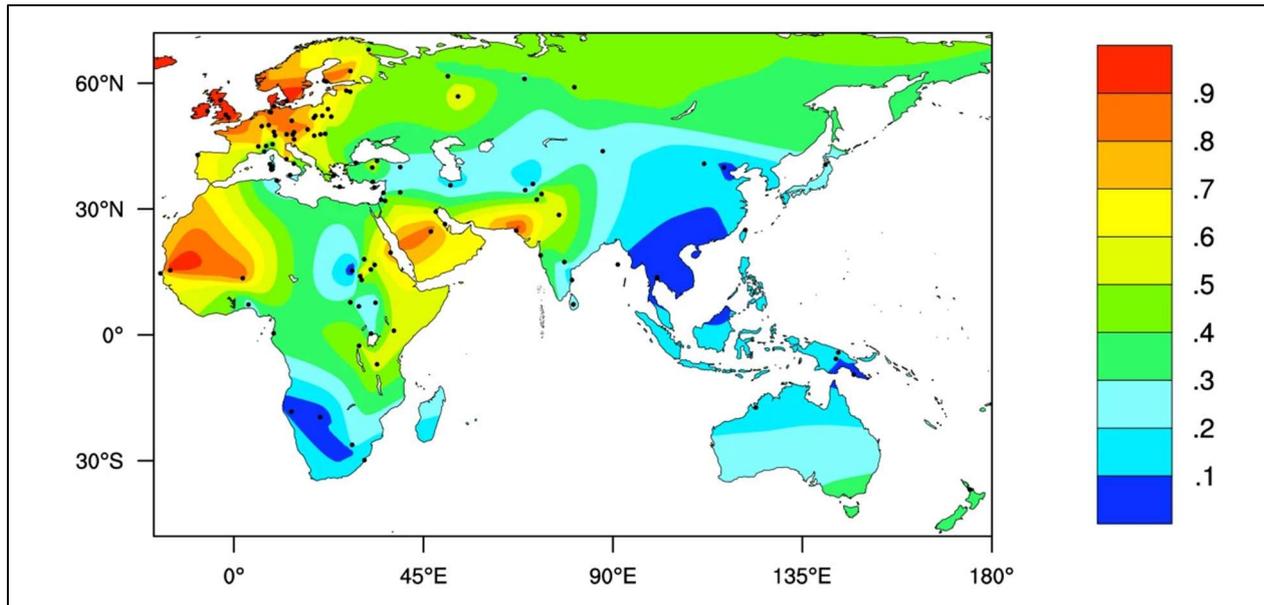


Figura 4 - Mappa interpolata delle frequenze del fenotipo della persistenza della lattasi nell'adulto del Vecchio Mondo. I punti rappresentano le posizioni di raccolta, i colori le frequenze del fenotipo da 0 a 0.9 (Itan et al., 2010)

I primi setacci di ceramica perforati con residui di grassi del latte, probabilmente usati per la caseificazione, sono stati rinvenuti nell'Europa centrale e datati tra 7200 e 6800 anni fa (fig. 5; Salque et al., 2013).

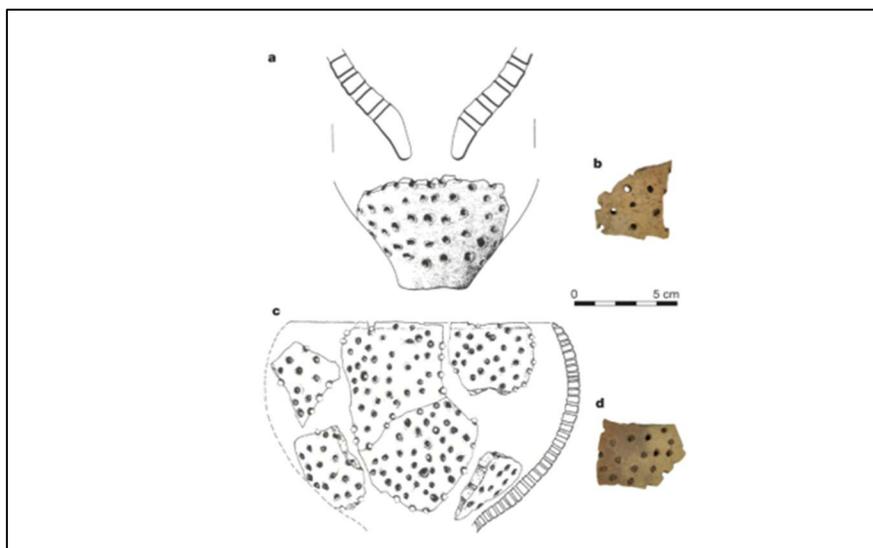


Figura 5 - Disegni di setacci in ceramica e di specifici frammenti provenienti dalla regione di Kuyavia risalenti al 6° millennio (Salque et al., 2013)

La capacità di digerire il lattosio in età adulta è associata ad almeno cinque mutazioni indipendenti in una regione regolatoria del gene della lattasi (Liebert et al., 2017). Questa evoluzione recente e convergente in contesti diversi è indicativa di un significativo

vantaggio selettivo legato al consumo di latte, che ha modificato il pool genetico umano. Per uno degli alleli della persistenza della lattasi diffuso in Europa si stima un coefficiente di selezione pari al 6% negli ultimi 3.000 anni (Burger et al., 2020), con altre stime comprese tra lo 0,8 e il 19% (Liebert et al., 2017). Questi valori, estremamente alti, risultano sorprendenti considerando che la fermentazione dei prodotti lattiero-caseari permette anche ai soggetti privi di lattasi di utilizzare il latte come fonte alimentare, aggirandone gli effetti negativi. La forte selezione per la persistenza della lattasi potrebbe derivare dai vantaggi evolutivi legati al consumo di latte, come il maggior apporto di calorie (anche quelle fornite dal lattosio) di proteine di alto valore biologico, di vitamina D ma anche dalla possibilità di avvalersi, in situazioni di carenza idrica, di un liquido privo o quasi di patogeni (Gerbault et al., 2011). L'evoluzione del tratto è stata probabilmente favorita in situazioni di carestia, deprivazione nutrizionale e in ambienti marginali, dove coltivare piante domestiche era difficile e soggetto al clima. Questo spiegherebbe la maggiore diffusione della persistenza della lattasi nel centro e nord Europa, dove il latte rappresentava una riserva alimentare cruciale (Stock e Wells, 2023).

Fabre et al. (2023) suggeriscono che la selezione per la persistenza della lattasi sia legata ai vantaggi di sopravvivenza e crescita nella prima infanzia, a un'età in cui i formaggi non vengono ancora consumati. In Baviera, piccoli recipienti con beccuccio, trovati in tombe di bambini risalenti a 3200-2500 anni fa, contenevano residui di grassi del latte di ruminanti, indicando che venivano usati per nutrire i bambini con latte animale, compensando l'assenza di latte materno o integrando lo svezzamento (Dunne et al., 2019). Secondo la "Lactate Growth Hypothesis" (Wells et al., 2021), il consumo di latte avrebbe favorito la crescita scheletrica negli umani preistorici grazie a sostanze come il fattore di crescita insulino-simile 1 (IGF-1), presente nel latte, e al miglior assorbimento del calcio. Questi effetti avrebbero contribuito a ridurre la mortalità materna e neonatale migliorando le dimensioni del bacino materno, aumentando così la sopravvivenza e il successo riproduttivo nelle popolazioni con alta frequenza di persistenza della lattasi. In Europa centrale e settentrionale, l'aumento della statura coincide con la diffusione della persistenza della lattasi, suggerendo un legame tra una dieta ricca di latte e la crescita fisica (Stock et al., 2023). Un'analisi di 3.507 scheletri provenienti da 366 siti archeologici, datati da 34.000 anni fa a oggi, ha mostrato variazioni significative nella statura umana nel tempo, con cali che in alcune aree precedettero la transizione all'agricoltura e all'allevamento invece che seguirla, come generalmente indicato. L'aumento di statura successivo alla domesticazione degli animali potrebbe essere attribuito proprio al consumo di latte.

Domesticazione e malattie

La domesticazione degli animali non ha portato solo benefici ma anche un carico di malattie. Circa il 60% dei patogeni che colpiscono l'uomo ha origine zoonotica, ossia è causato da batteri che possono colpire gli animali e l'uomo, e il 30% di questi proviene da animali domestici (Rahman et al., 2020). Il numero di patogeni condivisi con le diverse specie di animali domestici è direttamente correlato al tempo trascorso dalla domesticazione (Morand et al., 2014).

La prima transizione epidemiologica avvenne nel Neolitico (~10.000 anni fa) quando l'aumento della densità di popolazioni umane e animali e i contatti più stretti tra uomo e animale favorirono la diffusione di malattie zoonotiche e non (Larsen, 2018). La diffusione dei patogeni si intensificò circa 5000 anni fa con le migrazioni dei pastori dalle steppe eurasiatiche (Sikora et al., 2023) e il diffondersi del consumo di latte crudo (Fournié et al., 2017). Lo studio delle malattie antiche si è basato inizialmente sulle lesioni scheletriche, osservabili però solo in poche zoonosi, come tubercolosi e brucellosi, e solo in stadi avanzati. Inoltre, le lesioni ossee causate da tubercolosi bovina sono indistinguibili

da quelle della tubercolosi umana (Murphy et al., 2009). La tubercolosi bovina (*Mycobacterium bovis*) è stata identificata per la prima volta con metodi biomolecolari in resti umani dell'Età del Ferro in Siberia (Murphy et al., 2009). I primi casi di brucellosi nell'uomo, basati su resti ossei, risalgono invece all'antica Età del Bronzo (~5000 anni fa) a Gerico e in Giordania (D'Anastasio et al., 2011).

Studi genetici indicano che la tubercolosi potrebbe essere in realtà un'antropozoonosi, trasmessa inizialmente dall'uomo agli animali domestici, evolvendosi in *M. bovis* e *M. caprae* (Hershkovitz et al., 2015). Infatti, *M. tuberculosis*, specifico dell'uomo, è apparso molto tempo prima, circa 40.000 anni fa (Wirth et al., 2008). Successivamente, i micobatteri avrebbero nuovamente infettato l'uomo attraverso gli animali. Un fenomeno simile si sarebbe verificato con altri patogeni, come *Taenia* spp., le cui specie emerse nei bovini e nei suini sarebbero derivate dagli esseri umani durante la domesticazione (Reperant et al., 2013). Anche per *Salmonella enterica paratyphi C*, inizialmente considerata trasmessa dai maiali all'uomo 4000 anni fa, è stata ipotizzata un'origine opposta (umano-maiale), da ceppi umani risalenti a 5500 anni fa (Key et al., 2020).

L'esposizione ai patogeni non ha avuto solo effetti negativi. Secondo Patin e Quintana-Murci (2024), il contatto con agenti zoonotici durante il Neolitico e l'Età del Bronzo ha favorito la selezione di tratti genetici legati all'immunità umana. Un'analisi genomica su quasi 1300 individui vissuti tra il Neolitico ed epoche storiche ha identificato 25 loci genetici soggetti a rapidi cambiamenti di frequenza, inclusi loci associati a fenotipi immunitari, che conferiscono immunità contro *Salmonella* indicando una co-evoluzione uomo-patogeno (Le et al., 2022). Le malattie da assembramento divennero agenti di conquista, poiché gli individui esposti fin dall'infanzia acquisivano resistenza immunitaria. Come osserva Diamond (2002) *"Because diseases have been the biggest killers of people, they have also been decisive shapers of history. Until World War II, more victims of war died of war-borne microbes than of battle wounds"*¹.

COME L'UOMO HA CAMBIATO I RUMINANTI DOMESTICI

La domesticazione ha indotto profondi cambiamenti nella morfologia e nella fisiologia dei ruminanti. I bovini del Neolitico erano più piccoli rispetto agli uri e continuarono a ridursi di dimensioni fino al Medioevo (fig. 6; Ajmone-Marsan et al., 2010). Tra i tratti distintivi della cosiddetta "sindrome della domesticazione" spiccano la riduzione di taglia, confermata dai ritrovamenti archeologici (Manning et al., 2015), modifiche nella colorazione del mantello, nella forma di orecchie, corna, coda e cranio, perdita della stagionalità riproduttiva (Lord et al., 2020). Dmitri Belyaev, noto per i suoi esperimenti sulla domesticazione delle volpi (Trut, 1999), attribuì questi cambiamenti a effetti collaterali della selezione per la docilità.

Il concetto di "sindrome della domesticazione" è stato oggetto di dibattito scientifico. Alcuni studi, come quello di Wilkins et al. (2020), collegano questi tratti a modifiche delle cellule della cresta neurale durante lo sviluppo embrionale, supportando l'ipotesi di Belyaev. Altri, invece, mettono in discussione l'universalità della teoria e i suoi meccanismi. Lord et al. (2020) hanno criticato l'eccessivo affidamento sugli esperimenti di Belyaev, sostenendo che il concetto sia stato sopravvalutato e invitando a un approccio più ampio per comprendere i complessi processi alla base di questi cambiamenti.

Negli ultimi secoli, la selezione genetica nei bovini da latte ha portato a un aumento delle dimensioni corporee, anche se i tori moderni rimangono più piccoli rispetto agli uri.

¹ "Poiché le malattie sono state i più grandi killer dell'umanità, hanno anche plasmato in modo decisivo la storia. Fino alla Seconda Guerra Mondiale, in guerra morivano più persone a causa dei microbi trasmessi nei conflitti che per ferite in battaglia".

Parallelamente, sono emerse centinaia di razze specializzate, accompagnate da significative trasformazioni morfologiche.

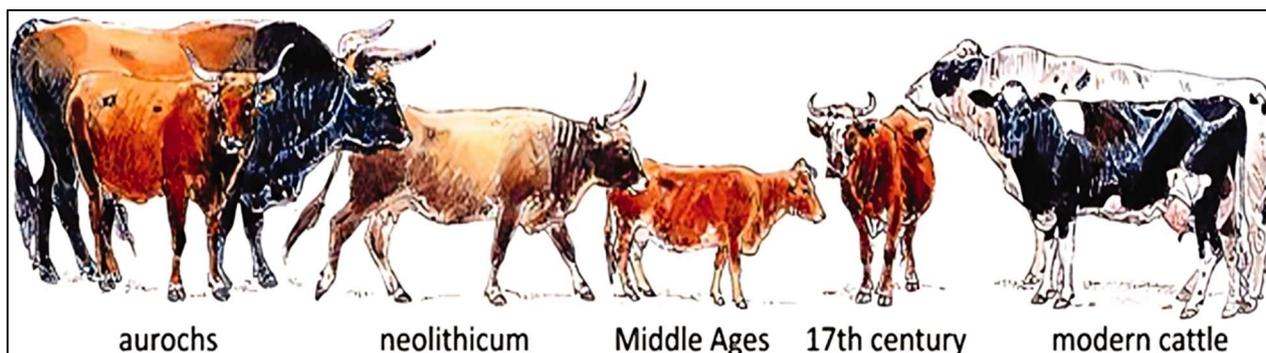


Figura 6 - Evoluzione della taglia dagli uri ai bovini moderni (Ajmone-Marsan et al., 2010)

L'interesse per la conformazione dei bovini risale agli albori della selezione zootecnica. Gli archetipi di bellezza e funzionalità sono stati tramandati dagli allevatori nel corso dei secoli. Si riteneva che la conformazione di un animale fosse indicativa della sua potenziale produttività e che tale caratteristica fosse trasmessa ai discendenti. L'espressione "A beautiful cow is a good cow" sintetizza l'idea di un legame tra le caratteristiche di salute e benessere della bovina e la sua produttività, ma anche l'importanza del rapporto tra allevatore e animale. La bellezza dell'animale è stata a lungo simbolo di successo nella selezione e nella gestione, con una forte valenza simbolica e identitaria, ancora oggi celebrata in fiere e competizioni.

Nel corso del tempo, e in particolare nell'ultimo secolo, la selezione genetica dei bovini da latte ha compiuto enormi progressi. Le prime registrazioni sistematiche della produzione di latte per capo, iniziate negli Stati Uniti nei primi anni del Novecento, hanno gettato le basi per una selezione più mirata ed efficace (Miglior et al., 2017). Tecniche come l'inseminazione artificiale e i test sulla progenie hanno accelerato il miglioramento genetico, mentre la selezione genomica, negli ultimi anni, ha rappresentato una vera rivoluzione. Il futuro punta sull'integrazione di dati genomici e fenotipici, raccolti tramite sensori aziendali, per una selezione di precisione (Weigel et al., 2017).

Dagli anni '30 agli anni '70, l'obiettivo principale della selezione è stato l'aumento della produzione di latte. Tuttavia, nel tempo, l'approccio è diventato più bilanciato, includendo nuovamente tratti morfologici, non più per motivi estetici, ma per migliorare la produttività e la longevità (Miglior et al., 2017). Ad esempio, la conformazione della mammella e dei capezzoli è stata adattata alle moderne tecnologie di mungitura meccanica: mammelle più compatte e bilanciate, con sospensioni forti e capezzoli uniformi, centrati sui quarti e più corti, per ridurre i tempi di mungitura e aumentare il flusso di latte.

Come si è detto, inizialmente la selezione si concentrava sulla produzione quantitativa del latte (Miglior et al., 2017). Per avere un termine di paragone con le possibili produzioni delle bovine preistoriche, si può considerare che le attuali razze da carne producono circa 6 kg di latte al giorno, pari a 1.260 kg in 210 giorni (Sapkota et al., 2020). Oggi, le bovine da latte nei Paesi occidentali raggiungono una produzione media annua di 10 tonnellate (figura 7). Questo straordinario aumento della produttività non è dovuto soltanto al miglioramento genetico, ma anche ai progressi nell'alimentazione e nella gestione.

Nel corso del tempo, agli obiettivi di selezione tradizionali della vacca da latte si sono aggiunti nuovi tratti, come la qualità del latte (grasso e proteine), la longevità, la fertilità, la facilità al parto, la resistenza alle malattie (soprattutto mastiti), la velocità di

mungitura e il temperamento. Più recentemente, l'attenzione si è spostata su caratteri innovativi, come la riduzione delle emissioni di metano, l'efficienza alimentare e la resistenza allo stress da caldo.

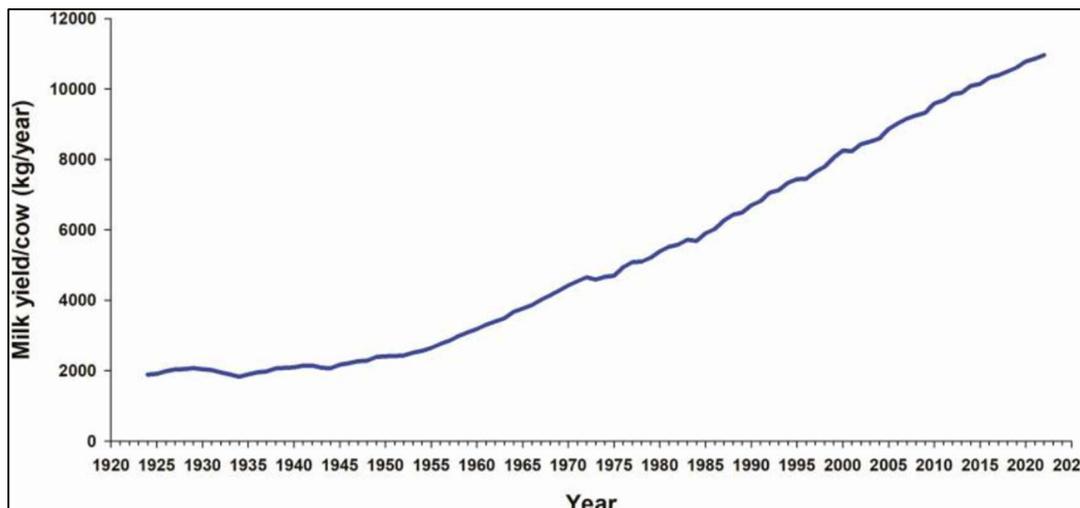


Figura 7 - Evoluzione delle produzioni medie di latte all'anno per capo negli Stati Uniti (Gross, 2023)

Parallelamente, le tecniche di mungitura sono evolute, trasformando i ruoli di bovini e allevatori. L'avanzamento tecnologico, in particolare con l'introduzione della mungitura robotizzata, ha ridefinito la relazione tra uomo e animale, influenzando anche gli obiettivi di selezione. Oggi, si considerano tratti specifici per l'efficienza nelle stalle automatizzate, come la resa di latte per minuto nello stallo del robot, l'intervallo tra le mungiture, il tempo di adattamento delle manze al robot e la salute degli arti, indispensabile per garantire un accesso regolare al sistema di mungitura. La mungitura automatizzata richiede bovine con caratteristiche specifiche della mammella e dei capezzoli per assicurare una mungitura efficiente e priva di problemi.

FISIOLOGIA DELL'EMMISSIONE DEL LATTE E MUNGITURA

L'ossitocina è fondamentale per l'eiezione del latte alveolare. Bovine con alti livelli di ossitocina durante la mungitura presentano meno cortisolo ematico, maggiori interazioni sociali e attività ruminativa più intensa e prolungata (Johansson et al., 1999). La stimolazione tattile del capezzolo induce il rilascio di ossitocina e la conseguente eiezione del latte, ma la risposta varia a seconda dello stimolo: la suzione da parte del vitello e la mungitura manuale inducono un rilascio maggiore di ossitocina rispetto alla mungitura meccanica (Bruckmaier e Wellnitz, 2008). L'emissione del latte può essere facilitata anche dalla presenza del vitello attraverso stimoli visivi, uditivi e olfattivi, dall'alimentazione o dalla stimolazione vulvare.

L'importanza della stimolazione di diversi sensi durante la mungitura era già nota 4000 anni fa, come illustrato in un dipinto egizio rinvenuto in una tomba (figura 8; Le Quellec, 2011). Di solito, si lasciava il vitello accanto alla madre, si utilizzava un vitello finto o si ricorreva alla stimolazione vulvare. Con la selezione genetica, questa necessità è venuta meno nella maggior parte delle razze attuali di bovini, ovini e caprini, dove la stimolazione indotta dal neonato è stata sostituita con successo da quella manuale o meccanica dei soli capezzoli, rendendo la mungitura più rapida ed efficiente (Costa e Reinemann, 2004). Tuttavia, in passato, e spesso ancora adesso nelle specie e razze meno selezionate, i mungitori ricorrono a stimoli accessori oppure alla somministrazione di ossitocina esogena.

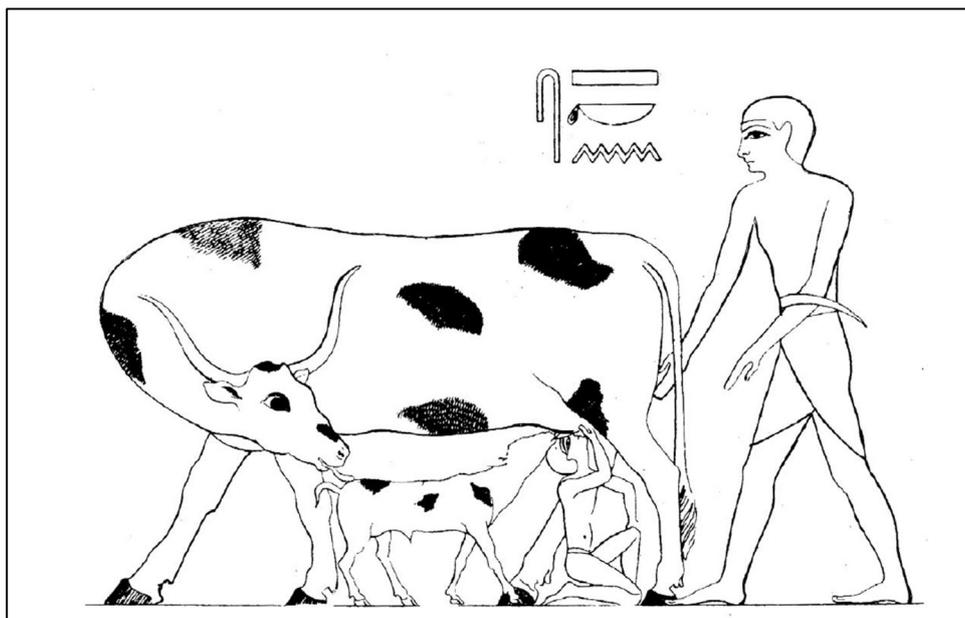


Figura 8 - Affresco da una tomba egizia della V dinastia (2500 a.C. - 2350 a.C.) raffigurante un bambino che beve direttamente il latte dalla mammella di una bovina insieme al vitello mentre l'uomo alle spalle dell'animale pratica una stimolazione vulvare (da Le Quellec, 2011)

Dagli albori dell'allevamento fino al dopoguerra, la mungitura è sempre stata manuale. Le prime mungitrici meccaniche comparvero tra fine '800 e inizio '900, ma in Italia si diffusero solo dopo la Seconda Guerra mondiale.

La storia delle mungitrici meccaniche inizia con i primi tentativi di superare la mungitura manuale attraverso tre principi: il catetere, la pressione e il vuoto. Nel 1836 fu brevettato in Inghilterra un dispositivo a catetere, ma l'uso di questa tecnica venne presto abbandonato per i danni che causava ai capezzoli e il rischio di infezioni. Anche il principio della pressione, che imitava la mungitura manuale con piastre e rulli, si rivelò poco pratico e inefficace, oltre a provocare lesioni. Il vero progresso avvenne con il principio del vuoto, che sfruttava la pressione negativa per estrarre il latte. Tra i primi modelli, quello brevettato da Anna Baldwin nel 1878 utilizzava una pompa manuale. La svolta arrivò con l'introduzione del vuoto pulsante, che alternava pressione e rilassamento per ridurre lo stress sui capezzoli. Questo approccio portò alla creazione della Lawrence-Kennedy nel 1897, la prima mungitrice meccanica commerciale di successo. Nel 1902 vennero introdotte tettarelle flessibili, ponendo le basi per le moderne mungitrici. Da quel momento, la tecnologia ha continuato a evolversi, migliorando efficienza e benessere animale (Spencer, 2011).

Storicamente, la mungitura manuale così come quella attuata con le prime mungitrici meccaniche avveniva alla posta fissa in stalla, con un contatto diretto e regolare tra uomo e animale, nonché tra gli animali stessi. Con l'avvento delle sale di mungitura a partire dagli anni '30, la gestione è diventata più organizzata, permettendo di mungere più vacche contemporaneamente. In Italia, queste strutture si sono diffuse tra gli anni '60 e '70 e sono tuttora i sistemi più diffusi di mungitura: l'intera mandria, suddivisa in gruppi, viene avviata due o tre volte al giorno dai ricoveri, che ormai sono a stabulazione libera, alla sala di mungitura.

Dagli anni 2000 ha cominciato a diffondersi la mungitura automatica con robot, una tecnologia che offre alle vacche maggiore autonomia, permettendo loro di scegliere quando farsi mungere. Questo approccio, definito dall'azienda produttrice di impianti di mungitura DeLaval come "Voluntary Milking", si avvicina maggiormente al comportamento

naturale dell'allattamento del vitello rispetto alla mungitura in sala. Studi hanno evidenziato che le vacche munte con robot mostrano livelli più bassi di cortisolo e maggiore tranquillità, soprattutto con sistemi a traffico libero (Lexer et al., 2023). Inoltre, l'alimentazione offerta nel robot favorisce il rilascio di ossitocina, migliorando l'efficienza della mungitura in termini di flusso e quantità di latte (Driessen e Heutinck, 2014).

Tuttavia, questa apparente libertà richiede un equilibrio con la natura sociale delle bovine, per cui il legame con la mandria è fondamentale. Come evidenziano Jacobs e Siegfurd (2012), per motivare le vacche a utilizzare il robot è essenziale che possano mantenere il contatto visivo con il gruppo. Non tutte, però, si recano spontaneamente al robot, rendendo necessarie strategie come il traffico forzato o l'uso di mangime come incentivo.

Questa tecnologia non si limita a ottimizzare la produttività, ma ridefinisce le dinamiche tra uomo e animale. La mungitura a mano creava un contatto fisico stretto e regolare tra uomo e animale, mentre la mungitura meccanica ha ridotto il contatto fisico, richiedendo comunque la presenza umana. Con il robot, gli uomini non sono più presenti durante la mungitura e le occasioni di contatto diretto diminuiscono. L'allevatore diventa un manager (non di dipendenti, ma di animali) piuttosto che un artigiano e assume il ruolo di sovrintendente del sistema, cercando di non interferire con i processi naturali della mandria (Driessen e Heutinck, 2014). In questo senso, il robot di mungitura rappresenta un'evoluzione tecnologica che porta con sé anche un cambiamento culturale nel mondo dell'allevamento.

CONCLUSIONI

La domesticazione dei ruminanti ha profondamente plasmato l'evoluzione sia degli animali che dell'uomo, creando un legame unico e duraturo che continua a modellare il corso della civiltà umana. Questo processo è un esempio di coevoluzione, in cui le specie coinvolte hanno adattato il proprio comportamento e i propri geni per convivere e prosperare insieme. Per l'uomo, l'adattamento ha assunto anche una dimensione culturale, trasformando il suo rapporto con l'ambiente naturale e aprendo la strada a nuove pratiche agricole, tecnologie innovative e ad un'organizzazione sociale che ha inciso profondamente sullo sviluppo economico e culturale.

Questo legame, tuttavia, non appartiene solo al passato. Ancora oggi, i ruminanti sono centrali nella produzione alimentare e hanno un ruolo cruciale nell'economia globale. Essi rappresentano una connessione viva tra l'eredità delle civiltà che li hanno addomesticati e le sfide del futuro.

BIBLIOGRAFIA

- Ajmone-Marsan, P., Garcia, J. F., & Lenstra, J. A. (2010). On the origin of cattle: How aurochs became domestic and colonized the world. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 19(4), 148-157.
- Alexander, P., Brown, C., Arneith, A., Finnigan, J., & Rounsevell, M. D. (2016). Human appropriation of land for food: The role of diet. *Global Environmental Change*, 41, 88-98.
- Allentuck, A. (2015). Temporalities of human-livestock relationships in the late prehistory of the southern Levant. *Journal of Social Archaeology*, 15(1), 94-115.
- Armstrong-Olson, K. (2010). Between trust and domination: social contracts between humans and animals. *World Archaeology*, 42(2), 175-187.
- Bradshaw, J. W., & Paul, E. S. (2010). Could empathy for animals have been an adaptation in the evolution of *Homo sapiens*? *Animal Welfare*, 19(S1), 107-112.
- Bruckmaier, R. M., & Wellnitz, O. (2008). Induction of milk ejection and milk removal in different production systems. *Journal of Animal Science*, 86(suppl_13), 15-20.

- Burger, J., Link, V., Blöcher, J., Schulz, A., Sell, C., Pochon, Z., ... & Wegmann, D. (2020). Low prevalence of lactase persistence in Bronze Age Europe indicates ongoing strong selection over the last 3,000 years. *Current Biology*, 30(21), 4307-4315.
- Costa, D. A., & Reinemann, D. J. (2004). The need for stimulation in various bovine breeds and other species. *Bulletin-International Dairy Federation*, 22-27.
- D'Anastasio, R., Staniscia, T., Milia, M. L., Manzoli, L., & Capasso, L. (2011). Origin, evolution and paleoepidemiology of brucellosis. *Epidemiology & Infection*, 139(1), 149-156.
- Debono Spiteri, C., Gillis, R. E., Roffet-Salque, M., Castells Navarro, L., Guilaine, J., Manen, C., ... & Evershed, R. P. (2016). Regional asynchronicity in dairy production and processing in early farming communities of the northern Mediterranean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(48), 13594-13599.
- Diamond, J. (2002). Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature*, 418(6898), 700-707.
- Driessen, C., Heutinck, L. F. (2015). Cows desiring to be milked? Milking robots and the co-evolution of ethics and technology on Dutch dairy farms. *Agriculture and Human Values*, 32, 3-20.
- Dunne, J., Rebay-Salisbury, K., Salisbury, R. B., Frisch, A., Walton-Doyle, C., & Evershed, R. P. (2019). Milk of ruminants in ceramic baby bottles from prehistoric child graves. *Nature*, 574(7777), 246-248.
- Evershed, R. P., Payne, S., Sherratt, A. G., Copley, M. S., Coolidge, J., Urem-Kotsu, D., ... & Burton, M. M. (2008). Earliest date for milk use in the Near East and southeastern Europe linked to cattle herding. *Nature*, 455(7212), 528-531.
- Fabre, A., Fabre, A., Bon, C., Guerry, P., & Ségurel, L. (2023). Proposed mechanism for the selection of lactase persistence in childhood. *BioEssays*, 45. <https://doi.org/10.1002/bies.202200243>.
- Fam, B. S., Paré, P., Felkl, A. B., Vargas-Pinilla, P., Paixão-Côrtés, V. R., Viscardi, L. H., & Bortolini, M. C. (2018). Oxytocin and arginine vasopressin systems in the domestication process. *Genetics and Molecular Biology*, 41, 235-242.
- Fournié, G., Pfeiffer, D. U., & Bendrey, R. (2017). Early animal farming and zoonotic disease dynamics: modelling brucellosis transmission in Neolithic goat populations. *Royal Society open science*, 4(2), 160943.
- Gerbault, P., Liebert, A., Itan, Y., Powell, A., Currat, M., Burger, J., ... & Thomas, M. G. (2011). Evolution of lactase persistence: an example of human niche construction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1566), 863-877.
- Greenfield, H. J. (2010). The Secondary Products Revolution: the past, the present and the future. *World Archaeology*, 42(1), 29-54.
- Gross, J. J. (2023). Dairy cow physiology and production limits. *Animal Frontiers: The Review Magazine of Animal Agriculture*, 13(3), 44.
- Herbeck, Y. E., & Gulevich, R. G. (2019). Neuropeptides as facilitators of domestication. *Cell and tissue research*, 375(1), 295-307.
- Hershkovitz, I., Donoghue, H. D., Minnikin, D. E., May, H., Lee, O. Y. C., Feldman, M., ... & Bargal, G. K. (2015). Tuberculosis origin: the Neolithic scenario. *Tuberculosis*, 95, S122-S126.
- Itan, Y., Jones, B. L., Ingram, C. J., Swallow, D. M., & Thomas, M. G. (2010). A worldwide correlation of lactase persistence phenotype and genotypes. *BMC evolutionary biology*, 10, 1-11.
- Jacobs, J. A., & Siegford, J. M. (2012). Lactating dairy cows adapt quickly to being milked by an automatic milking system. *Journal of dairy science*, 95(3), 1575-1584.
- Johansson, B., Uvnäs-Moberg, K., Knight, C. H., & Svennersten-Sjaunja, K. (1999). Effect of feeding before, during and after milking on milk production and the hormones oxytocin, prolactin, gastrin and somatostatin. *Journal of Dairy Research*, 66(2), 151-163.
- Key, F. M., Posth, C., Esquivel-Gomez, L. R., Hübler, R., Spyrou, M. A., Neumann, G. U., ... & Krause, J. (2020). Emergence of human-adapted *Salmonella enterica* is linked to the Neolithization process. *Nature ecology & evolution*, 4(3), 324-333.

- Larsen, C. S. (2018). The bioarchaeology of health crisis: Infectious disease in the past. *Annual Review of Anthropology*, 47(1), 295-313.
- Le, M. K., Smith, O. S., Akbari, A., Harpak, A., Reich, D., & Narasimhan, V. M. (2022). 1,000 ancient genomes uncover 10,000 years of natural selection in Europe. *bioRxiv*.
- Le Quellec, J. L. (2011). Provoking lactation by the insufflation technique as documented by the rock images of the Sahara. *Anthropozoologica*, 46(1), 65-125.
- Lexer, D., Hagen, K., Palme, R., Troxler, J., & Waiblinger, S. (2004). Relationships between time budgets, cortisol metabolite concentrations and dominance values of cows milked in a robotic system and a herringbone parlour. In *Automatic milking, a better understanding* (pp. 389-393). Wageningen Academic.
- Liebert, A., López, S., Jones, B. L., Montalva, N., Gerbault, P., Lau, W., ... & Swallow, D. M. (2017). World-wide distributions of lactase persistence alleles and the complex effects of recombination and selection. *Human genetics*, 136, 1445-1453.
- Lord, K. A., Larson, G., Coppinger, R. P., & Karlsson, E. K. (2020). The history of farm foxes undermines the animal domestication syndrome. *Trends in ecology & evolution*, 35(2), 125-136.
- Manning, K., Timpson, A., Shennan, S., & Crema, E. (2015). Size reduction in early European domestic cattle relates to intensification of Neolithic herding strategies. *PloS one*, 10(12), e0141873.
- Miglior, F., Fleming, A., Malchiodi, F., Brito, L. F., Martin, P., & Baes, C. F. (2017). A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 100(12), 10251-10271.
- Morand, S., McIntyre, K. M., Baylis, M. (2014). Domesticated animals and human infectious diseases of zoonotic origins: domestication time matters. *Infection, Genetics and Evolution*, 24, 76-81.
- Murphy, E. M., Chistov, Y. K., Hopkins, R., Rutland, P., & Taylor, G. M. (2009). Tuberculosis among Iron Age individuals from Tyva, South Siberia: palaeopathological and biomolecular findings. *Journal of Archaeological Science*, 36(9), 2029-2038.
- Nowak, R., & Boivin, X. (2015). Filial attachment in sheep: Similarities and differences between ewe-lamb and human-lamb relationships. *Applied Animal Behaviour Science*, 164, 12-28.
- Patin, E., & Quintana-Murci, L. (2024). Tracing the Evolution of Human Immunity Through Ancient DNA. *Annual Review of Immunology*, 43.
- Purugganan, M. D. (2022). What is domestication?. *Trends in ecology & evolution*, 37(8), 663-671.
- Rahman, M. T., Sobur, M. A., Islam, M. S., Levy, S., Hossain, M. J., El Zowalaty, M. E., ... & Ashour, H. M. (2020). Zoonotic diseases: etiology, impact, and control. *Microorganisms*, 8(9), 1405.
- Reperant, L. A., Cornaglia, G., & Osterhaus, A. D. (2013). The importance of understanding the human-animal interface: from early hominins to global citizens. *One Health: The Human-Animal-Environment Interfaces in Emerging Infectious Diseases: The Concept and Examples of a One Health Approach*, 49-81.
- Salque, M., Bogucki, P. I., Pyzel, J., Sobkowiak-Tabaka, I., Grygiel, R., Szmyt, M., & Evershed, R. P. (2013). Earliest evidence for cheese making in the sixth millennium BC in northern Europe. *Nature*, 493(7433), 522-525.
- Sapkota, D., Kelly, A. K., Crosson, P., White, R. R., & McGee, M. (2020). Quantification of cow milk yield and pre-weaning calf growth response in temperate pasture-based beef suckler systems: A meta-analysis. *Livestock Science*, 241, 104222.
- Segurel, L., Guarino-Vignon, P., Marchi, N., Lafosse, S., Laurent, R., Bon, C., ... & Heyer, E. (2020). Why and when was lactase persistence selected for? Insights from Central Asian herders and ancient DNA. *PLoS biology*, 18(6), e3000742.
- Sherratt, A. (1981). Plough and pastoralism: Aspects of the secondary products revolution. In I. Hodder, G. Isaac, & N. Hammond (Eds.), *Pattern of the past* (pp. 261-306). Cambridge: Cambridge University Press.
- Shipman, P. (2010). The animal connection and human evolution. *Current Anthropology*, 51(4), 519-538.

- Sikora, M., Canteri, E., Fernandez-Guerra, A., Oskolkov, N., Ågren, R., Hansson, L., & Willerslev, E. (2023). The landscape of ancient human pathogens in Eurasia from the Stone Age to historical times. *bioRxiv*, 2023-10.
- Spencer, S.B. (2011). Milking Machines - Principles and Design. In: Fuquay, J. W., McSweeney, P. L., & Fox, P. F. (eds.). *Encyclopedia of dairy sciences*. Academic Press, 941-951.
- Stock, J. T., & Wells, J. C. (2023). Dairying and the evolution and consequences of lactase persistence in humans. *Animal Frontiers*, 13(3), 7-13
- Stock, J. T., Pomeroy, E., Ruff, C. B., Brown, M., Gasperetti, M. A., Li, F. J., ... & Wells, J. C. (2023). Long-term trends in human body size track regional variation in subsistence transitions and growth acceleration linked to dairying. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(4), e2209482119.
- Summers, K., & Summers, V. (2023). Concordant evidence for positive selection on genes related to self-domestication in bonobos and early humans. *Evolutionary Behavioral Sciences*, 17, 322.
- Trut, L. (1999) Early canid domestication: the FarmFox Experiment foxes bred for tamability in a 40-year experiment exhibit remarkable transformations that suggest an interplay between behavioral genetics and development. *Am. Sci.* 87, 160-169
- Warinner, C., Hendy, J., Speller, C., Cappellini, E., Fischer, R., Trachsel, C., ... & Collins, M. J. (2014). Direct evidence of milk consumption from ancient human dental calculus. *Scientific reports*, 4(1), 7104.
- Weigel, K. A., VanRaden, P. M., Norman, H. D., & Grosu, H. (2017). A 100-Year Review: Methods and impact of genetic selection in dairy cattle—From daughter-dam comparisons to deep learning algorithms. *Journal of dairy science*, 100(12), 10234-10250.
- Wells, J. C., Pomeroy, E., & Stock, J. T. (2021). Evolution of lactase persistence: turbo-charging adaptation in growth under the selective pressure of maternal mortality? *Frontiers in Physiology*, 12, 696516.
- Wilkins, A. S. (2020). A striking example of developmental bias in an evolutionary process: the “domestication syndrome”. *Evolution & development*, 22(1-2), 143-153.
- Wirth, T., Hildebrand, F., Allix-Béguec, C., Wölbeling, F., Kubica, T., Kremer, K., ... & Niemann, S. (2008). Origin, spread and demography of the *Mycobacterium tuberculosis* complex. *PLoS pathogens*, 4(9), e1000160.
- Wrangham, R. W. (2019). Hypotheses for the evolution of reduced reactive aggression in the context of human self-domestication. *Frontiers in Psychology*, 10, 1914.