

# Acque reflue dei caseifici

*Laura Ercoli, Enrico Bonari, Francesca Barresi*

## 1. LA FILIERA PRODUTTIVA

L'industria lattiero-casearia è articolata nella produzione di latte pastorizzato e sterile, burro, crema, latti fermentati, condensati e concentrati e formaggi (freschi, stagionati, cotti, ecc.). Circa il 60% del latte prodotto in Italia viene destinato alla trasformazione in prodotti caseari. Questo comparto produttivo è chiaramente differenziato tra media e grande industria da un lato e caseifici cooperativi a dimensione artigianale e residue piccole unità annesse alle aziende agrarie dall'altro. La maggior parte delle medie e grandi industrie operano nel comparto del latte alimentare e in quello della produzione dei formaggi freschi di largo consumo, mentre le imprese di piccole dimensioni e le aziende cooperative sono prevalentemente dedite alla produzione di formaggi duri o semiduri di tipici e di qualità (come parmigiano reggiano, grana, provolone) (ENEA, 1999).

La produzione casearia nazionale, a differenza di quella dei Paesi del nord Europa, è caratterizzata da un elevato numero di impianti di trasformazione. Dai dati ISTAT (2000) risulta infatti che l'Italia nel 1999 contava circa 2000 caseifici, che trasformavano oltre 9 milioni di tonnellate di latte.

Nel 1997, Veneto, Campania, Lombardia e Emilia-Romagna sono state le regioni italiane con il maggior numero di unità produttive (tabella 4.1). Nell'area meridionale il maggior numero di impianti è concentrato in Campania ed in Puglia; in queste due regioni, infatti, sono localizzati circa il 64% degli impianti complessivamente presenti nel Mezzogiorno e sempre queste due regioni fanno registrare la prima e la terza presenza a livello nazionale di caseifici e di centrali del latte, con 214 e 137 stabilimenti rispettivamente (elaborazioni A.I.A. su dati ISTAT).

Le principali produzioni nazionali di formaggi, ripartite in base al periodo di stagionatura, sono schematizzate in tabella 4.2. Appare evidente come nella pro-

Tabella 4.1. Numero di unità produttive locali nel settore lattiero-caseario (1997), per tipo e regione in Italia (elaborazioni A.I.A. su dati ISTAT).

Regioni	Caseifici e centrali del latte	Stabilimenti di aziende agricole	Stabilimenti di enti cooperativi agricoli*	Centri di raccolta	Totale
Piemonte	74	3	19	3	99
Valle d'Aosta	4	1	13	-	18
Lombardia	148	12	142	5	307
Trentino-Alto Adige	10	-	30	1	41
Bolzano	5	-	8	1	14
Trento	5	-	22	-	27
Veneto	91	5	85	7	188
Friuli-Venezia Giulia	26	1	73	14	114
Liguria	7	1	3	1	12
Emilia-Romagna	108	11	403	2	524
Toscana	35	3	12	2	52
Umbria	13	-	3	-	16
Marche	8	-	1	-	9
Lazio	64	3	1	1	69
Abruzzo	37	-	1	-	38
Molise	24	-	1	-	25
Campania	214	5	1	4	224
Puglia	137	3	14	3	157
Basilicata	32	4	9	1	46
Calabria	26	4	1	1	32
Sicilia	14	3	1	-	18
Sardegna	30	2	18	2	52
Italia	1102	61	831	47	2041

\* comprese le latterie turnarie e di prestanza.

duzione italiana abbiano particolare rilievo soprattutto i formaggi a pasta dura (e fra questi il parmigiano ed i vari tipi di grana), seguiti da quelli freschi (fra tutti la mozzarella), che complessivamente costituiscono oltre il 70% dell'intera produzione casearia.

## 2. IL PROCESSO TECNOLOGICO

Le latterie sono stabilimenti in cui vengono svolte quasi esclusivamente operazioni finalizzate ad evitare alterazioni delle proprietà e della composizione del latte in modo che questo possa essere conservato il più possibile integro e stabile nel tempo.

Tabella 4.2. Produzione nazionale annua (1999) delle diverse tipologie di formaggio classificate in base al periodo di stagionatura (ISTAT, 2000).

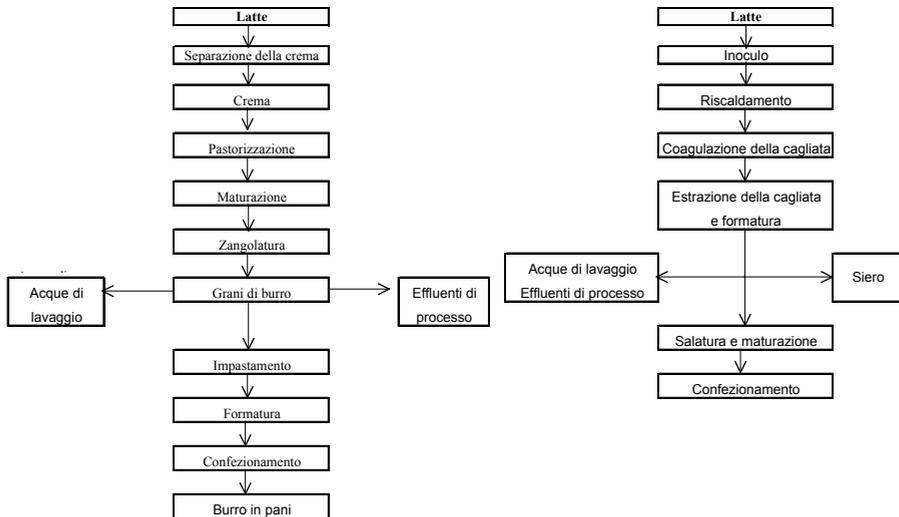
Categorie di formaggi	Tipologie di formaggi	Quantità (t)	Incidenza sul totale (%)
Formaggi a pasta dura	Parmigiano reggiano	110901	10,8
	Grana padano	141377	13,8
	Altri grana	6706	0,7
	Pecorino	32234	3,1
	Altri	90152	8,8
Formaggi a pasta semidura	Provolone e similari	43397	4,2
	Caciocavallo	6952	0,7
	Fontina	3871	0,4
	Altri	23722	2,3
Formaggi a pasta molle	Italico	9323	0,9
	Taleggio	11140	1,1
	Gorgonzola e similari	52708	5,1
	Crescenza e stracchino	47329	4,6
	Altri	44878	4,4
Formaggi freschi	Mozzarella	204761	20,0
	Altri	194400	19,0
Totale		1023811	

I processi che vengono adottati consistono essenzialmente nella pastorizzazione, sterilizzazione e confezionamento asettico del prodotto ottenuto. In questi stabilimenti, oltre al prodotto principale (latte per consumo diretto), si hanno quasi sempre altri prodotti, come burro e panna.

*Burrificazione.* Viene riportato nella figura 4.1 lo schema generale del processo di produzione del burro in relazione alle fasi fondamentali della lavorazione. Nei caseifici di modeste capacità lavorative viene applicato lo schema di lavorazione tradizionale che prevede una linea di lavorazione discontinua e lenta; in questi caseifici le attrezzature per la burrificazione sono rappresentate essenzialmente da una zangola in acciaio inossidabile e da una impastatrice/formatrice.

Su grande scala, invece, il processo di burrificazione viene realizzato con impianti computerizzati attraverso un procedimento continuo, che ripropone le stesse operazioni della lavorazione discontinua, ma con risparmio di tempo e di manodopera e maggiori garanzie igieniche. Tra i processi in continuo il più diffuso, spe-

Figura 4.1. Schema sintetico del processo di trasformazione del latte per la produzione di burro e formaggio.



cialmente nei Paesi della UE è il processo Fritz. Altri metodi in uso sono il processo Alfa e il processo Senn, mentre il processo Golden-Flow è quello più diffuso negli USA. La differenza in termini di caratteristiche del prodotto finale riguarda la percentuale di grasso contenuta nel burro e quindi di quella persa nel latticello (nel processo Senn la perdita di grasso nel latticello è di appena lo 0,15-0,20%).

Con la formazione dei grani di burro, si procede nella stessa zangola ad allontanare il latticello, il cui titolo di grasso è normalmente inferiore allo 0,5%; segue la fase di lavaggio con acqua che permette l'allontanamento del sottoprodotto residuo. Questa operazione di lavaggio viene normalmente ripetuta 2-3 volte.

Relativamente ai volumi di acqua utilizzati in questi stabilimenti, i dati riportati in letteratura mostrano una notevole variabilità, evidenziando l'esistenza di differenze tutt'altro che trascurabili. Tale eterogeneità dipende in primo luogo dai diversi tipi di impianto e quindi dal recupero più o meno spinto delle acque e delle soluzioni di lavaggio, e secondariamente dalla maggiore o minore disponibilità di acqua e dalle abitudini del personale.

La variabilità dei consumi idrici risulta evidente analizzando i dati riportati nelle tabelle 4.3 e 4.4 nelle quali vengono stimati i consumi di acqua in relazione a diversi prodotti ottenuti (Sanna, 1982). Secondo lo stesso Autore, comunque, il rapporto tra consumi idrici e latte lavorato nei diversi stabilimenti varia tra 4:1 e

Tabella 4.3. Stima dei consumi di acqua in relazione alla quantità di latte lavorato per differenti utilizzazioni (Sanna, 1982).

Operazione e prodotti	Consumo di acqua (L kg <sup>-1</sup> latte lavorato)		
	minimo	massimo	medio
Burro e formaggio	3,0	31,2	10,7
Imbottigliamento	7,5	35,0	17,3
Polvere e condensato	-	25,0	11,0
Burro	3,7	17,1	8,7

2:1, con i valori più bassi in quelli più piccoli.

*Caseificazione.* Per quanto riguarda lo schema di produzione del formaggio, è noto come questo sia molto variabile a seconda del tipo di prodotto finito, ovvero delle sue peculiari caratteristiche organolettiche e merceologiche.

Riguardo alla resa del latte in formaggio è altresì noto come questa sia correlata soprattutto alla quantità di azoto proteico e di caseina presente nel latte in ingresso. Le tecnologie adottate in diversi Paesi esteri (USA, Inghilterra, ecc.) presentano comunque il vantaggio di aumentare la resa in formaggio, riducendo così le perdite di grasso e delle proteine solubili nel siero. In Italia, però, questi sistemi di caseificazione non si sono particolarmente affermati, soprattutto a causa del deterioramento delle caratteristiche organolettiche del prodotto che sembrano determinare.

Uno schema sintetico del processo di caseificazione tradizionale è riportato in

Tabella 4.4. Stima delle quantità di effluenti prodotte e loro caratteristiche in relazione alla quantità di latte lavorato e per differenti utilizzazioni (Sanna, 1982).

Operazione e prodotti	Carico volumetrico			BOD <sub>5</sub> mq L <sup>-1</sup>	COD mq L <sup>-1</sup>	pH
	m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> latte lavorato					
	minimo	massimo	medio			
Imbottigliamento latte	0,1	5,4	3,3	1300	-	-
Formaggi <sup>1</sup>	0,8	1,7	1,3	2000	4450	-
	0,8	12,4	6,0	5700	-	-
Gelati	0,8	5,6	2,8	2100	-	-
Caseina/polvere <sup>2</sup>	1,8	1,8	1,8	15000	-	5,0
Burro	0,8	6,5	1,9	300	460	-
Polvere	-	-	2,8	3200	-	-
Miscelatore (polvere, burro, ecc.)	0,8	6,8	2,2	910	2400	7,8

<sup>1</sup> effluente contenente siero

<sup>2</sup> effluente non contenente siero

figura 4.1.

Prendendo in esame le categorie dei principali formaggi tipici italiani, si rileva che le rese in peso del processo (formaggio maturo/latte impiegato) equivalgono mediamente al 7-8% per il parmigiano reggiano e i formaggi grana, al 12-13% per i provoloni, al 5-6% per i formaggi tipo pecorino, al 10% per l'Asiago e il gorgonzola e all'8% per i formaggi a pasta filata.

Nella tabella 4.5 viene proposta una stima del bilancio di massa del processo di caseificazione per alcune tipologie di formaggi e per dimensioni aziendali diverse, espresse in termini di quantità di latte trasformato giornalmente. Nella tabella 4.6 si riporta altresì una stima del bilancio di massa dei principali prodotti in ingresso e dei corrispondenti prodotti, sottoprodotti, rifiuti ed effluenti in uscita nel processo di trasformazione del latte. Secondo questo bilancio, la quantità di siero prodotto rappresenta l'88,7% del peso del latte lavorato e, quindi, per ogni chilogrammo di formaggio prodotto residuano 7,8 kg di siero.

Gli effluenti liquidi che più frequentemente si producono nel corso del processo di burrificazione sono i seguenti:

- acque di lavaggio dei recipienti in cui avviene lo stoccaggio e la pastorizzazione del latte e della crema;
- acque di lavaggio dei recipienti in cui avviene l'impastamento del burro;
- acque impiegate nei degassatori, nel raffreddamento delle celle e nel condizionamento dei magazzini;
- acque impiegate a fine giornata lavorativa per la pulizia degli ambienti e delle parti esterne dei macchinari.

Per quanto riguarda invece il processo di caseificazione si originano sostanzialmente i seguenti tipi di refluo:

- acque di lavaggio dei recipienti in cui avviene la coagulazione del latte;

Tabella 4.5. Stima dei materiali in ingresso ed in uscita nel processo di caseificazione in relazione a diverse tipologie di formaggio e di dimensioni aziendali.

Prodotto	Entrate (L d <sup>-1</sup> )			Uscite (L d <sup>-1</sup> )	
	Latte	Panna	Siero	Latticello	Effluenti
Formaggio di monte a media-lunga stagionatura da latte intero	500	-	450	-	1.000
Formaggio di monte da latte parzialmente scremato e di burro	450	50	410	40	1.500
Parmigiano reggiano e burro	4.500	500	4.200	400	15.000
Parmigiano reggiano	15.000	-	14.000	-	30.000
Formaggio di pasta filata di bufala	500	-	390	-	1.750

- spurgo della cagliata, le cui caratteristiche quantitative e qualitative variano in rapporto al tipo di formaggio prodotto;
- salamoie esauste dei locali di salatura;
- acque impiegate nel raffreddamento delle celle e nel condizionamento dei magazzini;
- acque impiegate a fine giornata lavorativa per la pulizia degli ambienti e delle parti esterne dei macchinari.

Uno studio condotto in uno stabilimento che produce Parmigiano-reggiano ha permesso di stimare un consumo

idrico compreso tra 0,12-0,19 m<sup>3</sup> per 100 kg di latte lavorato, gli effluenti prodotti presentavano un COD di 1000-1400 mg L<sup>-1</sup> e un BOD di 600-850 mg L<sup>-1</sup> (Paris, 1998). Un'indagine condotta su 281 caseifici medio-piccoli nella provincia di Reggio-Emilia ha evidenziato i risultati riportati in tabella 4.7.

Come in precedenza accennato, la quantità di siero e degli altri effluenti prodotta nel processo di caseificazione può essere stimata a partire dalla quantità di latte trasformato e dal consumo di acqua, oppure riferendosi complessivamente alla quantità di formaggio prodotto. Il primo criterio di stima fornisce risultati di più facile interpretazione, ma non è di agevole impiego, poiché normalmente si conosce con sufficiente precisione, per ogni caseificio, più la quantità di formaggio prodotto (prodotto principale) che non quella del latte a questo corrispondente.

Tabella 4.6. Bilancio di massa del processo di caseificazione (ANPA, 1999).

Tipologia del materiale	Quantità (kg)
In entrata	
Latte per formaggio	100,0
Latte per altri prodotti	3,6
Acqua	135,8
Additivi	2,1
In uscita	
Formaggio	11,4
Burro, yogurt e altro	4,1
Siero	88,7
Effluenti	137,1
Resi e scarti	0,2

Tabella 4.7. Produzione di effluenti e loro caratteristiche (da Ferrari e Piccinini, 1989).

	Minimo	Massimo	Medio
Consumi idrici (m <sup>3</sup> q <sup>-1</sup> latte lavorato)	0,12	0,25	0,18
COD (mg L <sup>-1</sup> )	650	3.000	1.500
BOD (mg L <sup>-1</sup> )	300	1.400	700

Nel proseguo del presente lavoro, si è quindi preferito correlare la previsione della quantità dei diversi effluenti alle quantità di prodotto finale realizzato.

Del resto, anche nel rapporto ANPA “I rifiuti del comparto agroalimentare” (2001) la quantità di residui disponibili a livello nazionale è stata stimata applicando una metodologia di indagine basata sulla determinazione dei rapporti esistenti tra produzioni principali, per le quali sono note le quantità commerciate, e le quantità di residui ottenuti per unità di prodotto (rapporto sottoprodotto/prodotto). Questo parametro rappresenta comunque il punto critico di tutta la stima, poiché in realtà i valori che il rapporto assume nelle diverse realtà operative variano in relazione a molti fattori, quali tipologia di impianto, tipo di formaggio, dimensioni dell’azienda, ecc.

Nella tabella 4.8 è riportata una stima della produzione annua di siero a livello nazionale (ANPA, 2001). Il quantitativo totale di siero ottenuto, considerando una quantità di prodotto principale pari a 1.023.811 t per anno, è stato stimato in circa 6.092.000 t per anno. L’ISTAT valuta in 362.000 t per anno la quantità di questo sottoprodotto inviata alla lavorazione della ricotta, da cui vengono generate, con un fattore di produzione scotta/ricotta pari a 19,06 kg t<sup>-1</sup>, circa 345.000 t anno<sup>-1</sup> di scotta, stimando in poco meno di 18100 t i quantitativi di ricotta annualmente prodotti (tabella 4.9).

Nello stesso rapporto (ANPA, 2001) è stato quantificato in circa 2 milioni t per anno il siero destinato alla produzione di lattosio e siero in polvere. Conseguentemente, i quantitativi di questo sottoprodotto destinati alla zootecnia ed allo smaltimento ammontano a circa 3.730.000 t per anno che salgono a circa 4.075.000 t per anno se si include la scotta. La stima della ripartizione di questa quantità tra zootecnia e smaltimento è molto difficile; secondo l’ISTAT vengono avviate alla zootecnia circa 1.708.000 t per anno di siero (1999) e, conseguentemente, la quantità smaltita potrebbe essere stimata in circa 2.367.000 t per anno, scotta inclusa.

Per il latticello il fattore di produzione, in relazione alla quantità di formaggio

Tabella 4.8. Stima della produzione nazionale annua di siero (ANPA, 2001).

Tipologia	Fattore di produzione kg t <sup>-1</sup>	Quantità t anno <sup>-1</sup>
Siero trasformato		2.000.000
Siero allo smaltimento		2.022.000
Siero alla zootecnia		1.708.000
Siero destinato alla produzione di scotta		362.000
Siero totale	5.950	6.092.000

Tabella 4.9. Stima dei principali rifiuti del settore caseario (ANPA, 2001).

Tipologia	Fattore di produzione kg t <sup>-1</sup>	Quantità t anno <sup>-1</sup>
Siero allo smaltimento	-	2.022.000
Scotta	19.070	345.000
Latticello	1.300	331.000
Fanghi	-	171.400
Resi	11	5.700
Effluenti totali	18.820	19.270.000

a pasta filata prodotto, è mediamente pari a 1.300 kg t<sup>-1</sup>, per cui, facendo riferimento ad una produzione di formaggio pari a 255.200 t per anno, si ottiene un quantitativo di sottoprodotto di circa 331.800 t per anno. Prendendo in esame la produzione di burro, invece, il fattore di produzione del latticello è pari a circa 80 kg t<sup>-1</sup>, per cui considerando una produzione nazionale di burro pari a 145.000 t (Previsioni Ismea anno 2000) la stima della produzione di latticello ammonta a 11.600 t per anno. Dato che non sono disponibili dati quantitativi sul reimpiego del latticello per l'alimentazione dei suini, per l'estrazione della caseina e di una serie di sostanze pregiate per l'industria farmaceutica, non è possibile stimare la quantità destinata allo smaltimento.

Infine nel rapporto ANPA "I rifiuti del comparto agroalimentare" è stata tentata la determinazione di una correlazione tra massa complessiva di effluenti (siero, latticello, ecc.) e produzione di formaggio. Applicando un fattore di produzione pari a 18,82 kg t<sup>-1</sup>, si ottiene una produzione di circa 19.270.000 t per anno.

### 3. LE CARATTERISTICHE DEI REFLUI

Come sopra ricordato, i materiali in uscita che in aggiunta alla produzione principale si originano dall'industria della caseificazione sono gli effluenti ed i sottoprodotti dei processi di lavorazione; fra questi ultimi i principali sono il siero ed il latticello. Le loro caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche sono estremamente variabili, in rapporto soprattutto alla tipologia di prodotto e alle dimensioni dell'industria.

*Siero.* Il siero è un liquido giallo-verdastro e torbido, che resta nella caldaia dopo la separazione della cagliata e si distingue, in relazione all'origine del latte, in sie-

ro ovino, bufalino o vaccino. Esso contiene tutti gli elementi solubili del latte che non hanno partecipato direttamente alla coagulazione, che sono principalmente il lattosio, le sieroproteine ed i sali solubili, unitamente al grasso in misura tanto maggiore quanto più pronunciata è stata la lavorazione della cagliata.

Relativamente alla composizione del siero, essa varia in funzione di fattori

Tabella 4.10. Caratteristiche chimiche del siero di latte vaccino intero non scremato secondo diversi Autori.

Componente	Fonte bibliografica					
	1	2	3	4	5	6
Residuo secco (%)	6-7	6,3-6,5	6,83-7,82	8,0	5,87	-
Grassi (%)	0,2-10,0	0,4-0,5	0,15-0,7	-	-	-
Azoto totale (mg kg <sup>-1</sup> )	1065-1460	7000-8000	-	900-2200	1400	1200-1500
Azoto proteico (mg kg <sup>-1</sup> )	6800-9300	-	8200-9000	-	-	-
di cui:		-	-	-	-	-
Sieroproteine	5000-7000	-	-	-	-	-
Azoto non proteico (Nx6,38)	1800-2300	-	-	-	-	-
Lattosio (g kg <sup>-1</sup> )	38,2-46,6	42-48	43-55,3	-	39,4	-
Acido lattico (mg kg <sup>-1</sup> )	100-12000	1000-4000	-	-	-	-
Sali minerali (mg kg <sup>-1</sup> )	4500-7500	7000-8000	-	-	-	-
Fosforo (mg kg <sup>-1</sup> )	600-950		400-700	300-600	390	400-500
Sodio (mg kg <sup>-1</sup> )	600-700	-	-	360-1900	560	280-800
Cloruri (mg kg <sup>-1</sup> )	1100-1300	-	-	-	-	-
Calcio (mg kg <sup>-1</sup> )	480-1.400		400-900	430-1100	470	300-350
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	0,05-0,09	-	-	-	-	-
Piombo (mg kg <sup>-1</sup> )	0,08-0,12	-	-	-	-	-
Rame (mg kg <sup>-1</sup> )	0,17-0,33	-	-	-	-	-
Iodio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,4-0,5	-	-	-	-	-
Potassio (mg kg <sup>-1</sup> )	-	-	-	1000-1400	1480	1600-1800
Magnesio (mg kg <sup>-1</sup> )	-	-	-	90-120	90	50-60
Ceneri (mg kg <sup>-1</sup> )			5000-19600		8100	

1 Mucchetti, 2001; 2 Sciancalepore, 1998; 3 Corradini, 1995; 4 Robbins et al., 1996; 5 Radford et al., 1986; 6 Sharratt et al., 1959.

diversi, quali la specie allevata, l'alimentazione di questa, la razza, la stagione di produzione del latte, la fase di lattazione, il tipo di formaggio nonché la tipologia di lavorazione utilizzata per produrlo. A seconda della tecnologia adottata, il siero prodotto può risultare dolce (cioè a bassa acidità) con  $\text{pH} > 5,6$ , oppure acido con  $\text{pH} < 5,1$ ; nel nostro Paese la stragrande maggioranza di siero prodotto è di tipo dolce, ma questo va spontaneamente incontro ad una rapida acidificazione per azione dei batteri lattici e raggiunge in ogni caso, nel giro di poche ore, valori  $\text{pH}$  inferiori a 4 (Battistotti, 1997 citato da Paris, 1977). Il peso specifico del siero è di circa 1,025-1,030 a 15°C.

Nella tabella 4.10 sono riportate alcune delle principali caratteristiche chimiche del siero di latte intero non scremato.

E' da evidenziare come la composizione del siero presenti ampie variazioni in conseguenza della tecnologia di caseificazione impiegata, in particolare le variazioni sono da imputare al sistema impiegato per la coagulazione della caseina e dal livello raggiunto dalla fermentazione del lattosio. Il tenore di calcio e fosforo nel siero dipende, ad esempio, dal tipo di coagulazione del latte. Il processo di caseificazione influenza anche il tenore di grasso e di acido lattico; inoltre il siero sarà più ricco di questi elementi se proveniente da lavorazioni da latte intero, specialmente se a cottura molto spinta.

Un confronto tra la composizione del siero in relazione al tipo di formaggio prodotto è riportato in tabella 4.11.

A puro titolo informativo si riportano anche i risultati di un'attività di monitoraggio da noi effettuata allo scopo di caratterizzare la composizione del siero, della scotta e degli effluenti, effettuata sui sottoprodotti di un caseificio situato in provincia di Pisa e classificabile come una Piccola Unità locale (PU), avendo una produzione di formaggio annua dell'ordine delle 50 t.

L'attività di tale azienda di trasformazione si caratterizza principalmente per la

Tabella 4.11. Composizione percentuale del siero proveniente da processi diversi di caseificazione (Corradini, 1995).

Tipo di formaggio	materia secca	ceneri	fosforo	calcio	materia grassa	lattosio	proteine (Nx6,38)
Parmigiano reggiano	6,88	0,54	-	-	0,33	-	0,83
Grana padano	7,11	0,53	0,04	0,055	0,35	5,53	0,86
Provolone	7,55	0,54	0,05	0,05	0,70	5,32	0,88
Gorgonzola	6,83	0,57	0,04	0,04	0,20	4,45	0,90
Mozzarella	7,10	0,50	0,05	0,05	0,65	5,10	0,82
Caprino	7,82	1,96	0,07	0,09	0,15	4,30	0,86

preparazione del formaggio pecorino, ma si produce anche ricotta, formaggi a pasta molle (stracchino) e a pasta filata (mozzarella) e burro. La produzione viene effettuata quasi totalmente a partire da latte di pecora; soltanto nei mesi di settembre, ottobre e novembre, a causa della carenza di materia prima, viene anche utilizzato latte di mucca oltre al latte ovino, che rappresenta solo una piccola percentuale del latte lavorato (15-16%).

Nella tabella 4.12 sono riportati i risultati della campagna di analisi sui sottoprodotti dell'industria casearia.

*Latticello.* Il latticello è il sottoprodotto che si origina dal processo di produzione dei formaggi a pasta filata e del burro nella fase di zangolatura della crema. La composizione media del latticello è riportata nella tabella 4.13.

*Effluenti.* Relativamente alla composizione degli effluenti, da quanto detto in precedenza risulta evidente che gli inquinanti contenuti negli scarichi delle industrie lattiero-casearie sono rappresentati dai residui del latte e dei suoi sottoprodotti e da eventuali sostanze impiegate nelle lavorazioni; a questi si dovranno aggiungere i prodotti utilizzati nel lavaggio e nella disinfezione degli ambienti, delle attrezzature e nei servizi complementari.

Nella tabella 4.14 sono riportati i risultati della campagna di analisi sui reflui dell'industria casearia.

#### 4. L'IMPIEGO DEI REFLUI IN AGRICOLTURA

Dall'indagine effettuata è emerso che le caratteristiche quanti-qualitative del siero ed in generale dei reflui dei caseifici non sono sempre di facile determinazione, variando non poco in rapporto alla tipologia di lavorazione adottata, in relazione alla dimensione degli impianti di lavorazione, ecc.

Facendo riferimento alla composizione media in precedenza sintetizzata, il siero ed i reflui sembrano essere materiali sostanzialmente privi di sostanze pericolose (agenti patogeni, metalli pesanti, virus, ecc.) e dotati di un elevato carico organico. Ove se ne potesse prevedere una corretta somministrazione al terreno agrario sarebbe senz'altro da considerare come una fonte di sostanza organica di un certo interesse agronomico, contenente differenti composti organici (zuccheri, grassi, acidi organici, ecc.) e diversi elementi minerali (potassio, fosforo, calcio, ecc.).

Dall'analisi della letteratura relativamente alla sperimentazione agronomica sull'utilizzo del siero e degli effluenti si osserva che sono stati ampiamente documentati effetti di incrementi produttivi su numerose colture erbacee di pieno campo, quali cereali autunno-vernini, mais e colture da foraggio, grazie al significativo

Tabella 4.12. Composizione chimica dei sottoprodotti del processo di caseificazione.

Parametro	Unità di misura	Sottoprodotto	
		Siero	Scotta
Azoto organico	mg L <sup>-1</sup> N	946,6	590,7
BOD <sub>5</sub>	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	20500	40500
COD tal quale	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	52360	66080
Potassio	mg L <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O	1710	2040
Sodio	mg L <sup>-1</sup> Na	392	1435
Fosforo	mg L <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	842,7	769,4
Solidi Sospesi Totali	mg L <sup>-1</sup>	4985	6170
Cloruri	mg L <sup>-1</sup> Cl	20380	13290
Tensioattivi anionici	mg L <sup>-1</sup> MBAS	n.d.*	n.d.
Tensioattivi non ionici	mg L <sup>-1</sup> PPAS	n.d.	n.d.
Solidi disciolti	mg L <sup>-1</sup>	50720	66030
Alcalinità M	mg L <sup>-1</sup> CO <sub>3</sub>	0	0
pH	Unità pH	4,74	6,18
Solfati	mg L <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub>	n.d.	n.d.
Calcio	mg L <sup>-1</sup> Ca	375,0	310,0
Magnesio	mg L <sup>-1</sup> Mg	72,9	262,6
Ammoniaca	mg L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub>	117,4	25,3
Nitrati	mg L <sup>-1</sup> NO <sub>3</sub>	n.d.	n.d.
Alcalinità	mg L <sup>-1</sup> HCO <sub>3</sub>	1.464	1464
Carica batterica a 22° C	UFC ml <sup>-1</sup>	40000000	1500
Carica batterica a 36° C	UFC ml <sup>-1</sup>	22900000	2800
SAR	unità	6,9	20,5
SAR corretto	unità	9,3	22,0

\* n.d. parametro non determinabile analiticamente a causa di interferenze di composti grassi.

apporto di elementi nutritivi che la distribuzione dei reflui comporta (Sharratt et al., 1959; Sharratt et al., 1962; Di Menna, 1966; Peterson et al., 1979; Young et al., 1980; Kelling e Peterson, 1981; Radford et al., 1986; Robbins e Lehrsch, 1992; Jones et al., 1993; Harris et al. 1994; Lehrsch et al., 1994; Robbins et al., 1996;

Tabella 4.13. Composizione del latticello (Sciancalepore, 1998).

Componente	%
Acqua	90-91
Grassi	0,3-0,6
Lattosio	4-4,5
Sostanze azotate	3-3,6
Sostanze minerali	0,7-0,8

Roygard et al., 2001; Woodard et al., 2007). E' da osservare, tuttavia, che le dosi applicate erano sempre piuttosto elevate, variando da 250 ad oltre 8000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Relativamente al valore fertilizzante dei reflui caseari, è possibile stimare la quantità di elementi apportabili supponendo di utilizzare siero, scotta ed effluenti con le concentrazioni di N, P e K rilevate nel corso della campagna analitica da noi condotta (tabella 4.15). Le quantità apportabili al ter-

reno, ovviamente dipendenti dalla dose distribuita, sono risultate molto elevate ipotizzando di distribuire una dose di acque consistente (300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), mentre sono risultate più modeste con la dose più contenuta (50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). E' da osservare comunque che le elevate quantità attese nel secondo caso non debbano destare eccessive preoccupazioni in merito ai rischi di dispersione ambientale poiché gli elementi nutritivi sono per la maggior parte presenti in forma organica e quindi poco soggetti ai fenomeni di dispersione.

Sotto il profilo agroambientale, però, alcuni parametri qualitativi possono porre alcuni limiti alla "compatibilità ambientale" dello spargimento diretto sul terreno agrario dei reflui dei caseifici. Questi fattori sono rappresentati dal pH, dalla salinità e dalla concentrazione di alcuni elementi, che, pur non raggiungendo valori tali da impedirne l'utilizzo diretto sul terreno agrario, sicuramente suggeriscono l'adozione di alcune precauzioni in relazione alle condizioni pedoclimatiche ed alle colture interessate (Woodard et al., 2002; Johnson et al., 2004).

In particolare si è già ricordato come il siero presenti un pH decisamente acido, che indipendentemente dai valori originari, nel giro di poche ore raggiunge valori attorno a 4; la scotta fa registrare invece un pH leggermente superiore (6,0-6,2) mentre per gli effluenti i valori osservati risultano molto simili a quelli misurati per il siero. Pur mancando precisi riscontri sperimentali risulta prevedibile, sulla scorta delle esperienze condotte per le acque di vegetazione (vedi cap. 3), che l'effetto di acidificazione risulti solo temporaneo e che nel giro di un breve intervallo di tempo (da 2-3 settimane a 2 mesi) il pH del suolo ritorni ad assumere i valori originari.

Grande attenzione inoltre deve essere posta alla concentrazione salina dei reflui. Il SAR dei reflui caseari calcolato con i valori riportati in letteratura, risulta compreso tra 9 e 14 (Radford et al., 1986; Robbins et al., 1996). Anche questo parametro dunque potrebbe imporre dei vincoli di utilizzabilità, considerando che secondo l'USDA un valore di SAR inferiore a 10 corrisponde ad acque utilizzabili

Tabella 4.14. Composizione chimica dei reflui prodotti durante il processo di caseificazione in relazione alla durata dello stoccaggio.

Parametro	Unità di misura	Durata stoccaggio		
		0	30 giorni	
			tal quale	sub-natante
Azoto organico	mg L <sup>-1</sup> N	110,8	160	60,9
BOD5	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	5.158	1539	1340
COD tal quale	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	9.280	6770	3472
Potassio	mg L <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O	420	290	
Sodio	mg L <sup>-1</sup> Na	875	844	802
Fosforo	mg L <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	343,5	345	480
Solidi Sospesi Totali	mg L <sup>-1</sup>	542	1086	25
Cloruri	mg L <sup>-1</sup> Cl	2.830	3.010	3.010
Tensioattivi anionici	mg L <sup>-1</sup> MBAS	3,4	2,4	2,5
Tensioattivi non ionici	mg L <sup>-1</sup> PPAS	1,1	n.d.*	n.d.
Solidi disciolti	mg L <sup>-1</sup>	8.060	6.100	4.470
Alcalinità M	mg L <sup>-1</sup> CO <sub>3</sub>	0	0	
pH	unità pH	4,92	4,78	6,66
Solfati	mg L <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub>	20	20	
Calcio	mg L <sup>-1</sup> Ca	282	220	104,2
Magnesio	mg L <sup>-1</sup> Mg	53,5	63,2	48,6
Ammoniaca	mg L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub>	18	29	79,5
Nitrati	mg L <sup>-1</sup> NO <sub>3</sub>	61,6	<1	
Alcalinità	mg L <sup>-1</sup> HCO <sub>3</sub>	457	823	1.525
Carica batterica a 22° C	UFC ml <sup>-1</sup>	370.000.000	1.300.000.000	-
Carica batterica a 36° C	UFC ml <sup>-1</sup>	35.000.000	200.000.000	-
SAR	unità	17,7	18,3	-
SAR corretto	unità	24,7	26,5	-

\* non determinabile per interferenze dovute alla matrice del campione.

senza danno, mentre un valore compreso tra 10 e 18 è indice della possibile insorgenza di problemi nel terreno.

A questo proposito, secondo i risultati della campagna analitica da noi specificamente condotta il siero presenta un valore di SAR di poco inferiore a 10 e po-

Tabella 4.15. Concentrazione dei principali elementi fertilizzanti nel siero, nella scotta e nelle acque reflue di caseificio registrati nella nostra campagna di analisi e calcolo delle quantità apportate al terreno ipotizzando di distribuire una dose di 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Parametro	Concentrazione mg L <sup>-1</sup>	Quantità apportata kg ha <sup>-1</sup>	
		50 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	300 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Siero			
N organico	946,6	47,3	284,0
N-NH <sub>4</sub>	91,3	4,6	27,4
N-NO <sub>3</sub>	-	-	-
N totale	1037,9	51,9	311,4
Fosforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	842,7	42,1	252,8
Potassio K <sub>2</sub> O	1710,0	85,5	513,0
Scotta			
N organico	590,7	29,5	177,2
N-NH <sub>4</sub>	19,7	1,0	5,9
N-NO <sub>3</sub>	-	-	-
N totale	610,4	30,5	183,1
Fosforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	769,4	38,5	230,8
Potassio K <sub>2</sub> O	2040,0	102,0	612,0
Acque reflue			
N organico	110,8	5,5	33,2
N-NH <sub>4</sub>	14,0	0,7	4,2
N-NO <sub>3</sub>	13,9	0,7	4,2
N totale	138,7	6,9	41,6
Fosforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	343,5	17,2	103,1
Potassio K <sub>2</sub> O	420,0	21,0	126,0

trebbe quindi essere utilizzato senza particolari restrizioni; la scotta e gli effluenti liquidi presentano invece, valori compresi tra 22 e 27 che impediscono il loro impiego facendo riferimento ai limiti legislativi discussi nel capitolo 1.

In ogni modo volendo impiegare reflui caratterizzati da un elevato contenuto di sodio, si deve considerare che la resistenza delle piante è minore nella fase di germinazione e nelle prime fasi di sviluppo; è quindi preferibile procedere alla distribuzione nelle epoche precedenti (presemina) o successive (copertura), evitando però la bagnatura diretta delle foglie (infiltrazione o a solchi), visto che il

sodio può esercitare effetti tossici diretti sulle piante.

Utilizzando l'abaco per la classificazione delle acque per usi irrigui, il siero, la scotta e gli effluenti sono tutti classificabili, riguardo alla conduttività nella colonna EC4; se però si analizzano anche i valori relativi al SAR si osserva che il siero risulta ricadere nella classe EC4S3, a cui corrisponde un'alta pericolosità da sodio, mentre la scotta ed i reflui sono attribuibili alla classe EC4S4, che indica un'altissima pericolosità da sodio.

Da non sottovalutare inoltre è la presenza di disinfettanti e detergenti nei reflui, che possono raggiungere, soprattutto nel latticello, concentrazioni comprese tra 0,35 e 1,20 kg t<sup>-1</sup> e, sebbene biodegradabili, molti di questi composti potrebbero creare problemi se entrassero direttamente in contatto con le falde. Nella campagna analitica da noi condotta la concentrazione di tensioattivi negli effluenti è risultata piuttosto elevata (3,4 mg L<sup>-1</sup>), mentre non è stato possibile determinare tale parametro nel siero e nella scotta a causa di interferenze dovute alla presenza di lipidi.

La presenza specifica di alcuni elementi minerali, quali il sodio, il cloro ed il rame, è un altro aspetto da prendere in considerazione ai fini dell'utilizzabilità agronomica dei reflui in questione e/o in relazione agli eventuali limiti quantitativi da prevedere. Il sodio ed il cloro infatti possono provocare un aumento della pressione osmotica della soluzione circolante del terreno, esercitare effetti fitotossici diretti sulle piante, nonché indurre conseguenze negative su alcune fondamentali caratteristiche chimico-fisiche del terreno (vedi capitolo 2).

Relativamente al rame, la cui concentrazione è compresa tra 0,17 e 0,33 mg L<sup>-1</sup> (tabella 4.10), si ricorda che, secondo la tabella 3 dell'allegato 5 del D. Lgs. 152, il relativo valore non deve superare i 0,1 mg L<sup>-1</sup>. Anche secondo le norme FAO il limite di concentrazione nelle acque di irrigazione utilizzabili in maniera continuativa è pari a 0,20 mg L<sup>-1</sup>, mentre sale a 5 mg L<sup>-1</sup> per le acque utilizzabili in maniera sporadica.

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'impiego dei reflui caseari in agricoltura, anche se poco diffuso e conosciuto, sembra poter schiudere interessanti prospettive. L'elevato contenuto di elementi fertilizzanti e di carico organico delle acque di risulta infatti costituiscono caratteristiche preziose da un punto di vista agronomico. La contemporanea presenza di elementi indesiderati deve però suggerire cautela rispetto a comportamenti troppo disinvolti od improvvisati. Tra i parametri analitici che possono risultare critici e che quindi richiedono particolare attenzione citiamo la salinità, il SAR e la concentrazione di tensioattivi, di sodio, di cloro e di rame.

Dalla caratterizzazione dei sottoprodotti e degli effluenti caseari sopra effettua-

ta è risultata anche chiaramente evidente la notevole variabilità di composizione in rapporto a vari fattori, tra cui le dimensioni aziendali, l'organizzazione produttiva (tipologia di prodotti, tecniche applicate ed eventuale reimpiego dei sottoprodotti) e le abitudini del personale.

La elevata variabilità dei prodotti e delle relative composizioni rende molto difficile la precisa definizione di criteri e norme tecniche di generale applicabilità. È dunque necessario provvedere ad una accurata caratterizzazione degli effluenti in modo da poter valutare caso per caso la possibilità di applicazione, escludendo i prodotti che non assicurano il rispetto dei vincoli legislativi, e le possibili conseguenze che la loro distribuzione in campo può comportare, determinando nel contempo la dose più corretta di utilizzo.

Occorre comunque tenere presente che l'utilizzazione combinata sia dei sottoprodotti, siero e latticello, che degli effluenti potrebbe consentire di ridurre il carico organico e minerale dei componenti più ricchi; in questo modo quindi i rischi di inquinamento delle falde ipodermiche e di salinizzazione dei terreni si farebbero meno pressanti. I criteri che potrebbero guidare la miscelazione dei materiali sono ancora una volta da individuare caso per caso, dopo l'analisi delle caratteristiche dei singoli sottoprodotti e reflui.

In estrema sintesi, il comportamento che suggeriamo all'operatore prima della utilizzazione agronomica consiste nella caratterizzazione analitica del refluo, una volta evidenziati i vincoli considerare la possibilità di miscelare sottoprodotti e reflui anche durante lo svolgimento del ciclo produttivo, in modo da poter superare gli eventuali vincoli e ridurre gli attesi effetti negativi sulle colture e sul terreno.

Successivamente nella fase di scelta del sito (in relazione alle caratteristiche del terreno e del clima) e dell'epoca di distribuzione, come già discusso anche per gli altri reflui, sono necessarie valutazioni approfondite e ponderate. Il loro impiego richiede infatti particolare attenzione nel calcolo del volume di adacquamento e nella determinazione del fabbisogno di lisciviazione necessario per evitare un indesiderato accumulo di sali, oltre che l'adozione di particolari accorgimenti per assicurare un adeguato drenaggio al terreno. Al momento attuale, fatti salvi condizioni di particolari incompatibilità del terreno a ricevere i reflui caseari (quali elevata salinità, elevata drenabilità, ecc.) non si consigliano comunque somministrazioni superiori alle 40 t ha<sup>-1</sup>.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- ANPA, 1999. Primo rapporto sui Rifiuti Speciali. In: Stima della produzione di rifiuti speciali di alcuni comparti industriali attraverso studi di settore, 88-111.
- ANPA, 2001. I rifiuti del comparto agroalimentare.
- Corradini C., 1995. Chimica e tecnologia del latte, Tecniche Nuove, Milano.

- Di Menna M.E., 1966. Yeasts in soils spray-irrigated with dairy factory wastes. *New Zealand J. Agric. Res.*, 9:576-89.
- ENEA, 1999. Osservatorio di normativa ambientale. Documentazione complementare-rifiuti. In: Scheda tecnica recupero: Agroalimentari. Il riutilizzo dei sottoprodotti e degli scarti delle industrie agroalimentari.
- Harris W.G., Wang H.D., Reddy K.R., 1994. Dairy manure influence on soil and sediment composition: implications for phosphorus retention. *J. Environ. Qual.*, 23:1071-1081
- Jones S.B., Robbins C.W., Hansen C.L., 1993. Sodic soil reclamation using cottage cheese (acid) whey. *Arid Soil Res. Rehab.*, 7: 51-61.
- Johnson A.F., Vietor, D.M., Rouquette F.M. Jr., Haby V.A., 2004. Fate of phosphorus in dairy wastewater and poultry litter applied on grassland. *J. Environ. Qual.*, 33:735-739.
- Kelling K.A., Peterson A.E., 1981. Using whey on agricultural land-a disposal alternative. College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Madison.
- Lehrsch G.A., Robbins C.W., Hansen C.L., 1994. Cottage cheese (acid) whey effects on sodic soil aggregate stability. *Acid Soil Res. Rehab.*, 8:19-31.
- Mucchetti G., 2001. Comunicazione personale.
- Paris P., 1998. Aspetti agronomici dell'impiego dei reflui dell'industria agro-alimentare. *Riv. Agron.*, 32:196-220.
- Paris, P., 1998. Aspetti agronomici dell'impiego dei reflui dell'industria agro-alimentare. *Riv. Agron.*, 32:196-220.
- Peterson A.E., Walker W.G., and Watson K.S., 1979. Effect of whey applications on chemical properties of soils and crops. *J. Agric. Food Chem.*, 27:654:658.
- Radford J. B., et al., 1986. Utilization of whey as a fertilizer replacement for dairy pasture. *New Zealand J. Dairy Sci. Technol.*, 21:65-72.
- Roygard J.K.F., Clothier B.E., Green S.R., Bolan N.S., 2001. Tree Species for Recovering Nitrogen from Dairy-Farm Effluent in New Zealand. *J. Environ. Qual.*, 30:1064-1070.
- Robbins C.W., Hansen C.L., Roginske M.F., and Sorensen D.L., 1996. Extractable potassium and soluble calcium, magnesium, sodium, and potassium in two whey-treated calcareous soils. *J. Environ. Qual.*, 25:791:795.
- Robbins C.W., Lehrsch G.A., 1992. Cottage cheese whey effects on sodic soils. *Arid Soil Res. Rehab.*, 6:127-134.
- Sanna M., 1982. Antinquinamento delle industrie alimentari. Ed. Luigi Scialpi, Roma, 565 pp.
- Sciancalepore V., 1998. Industrie Agrarie:olearia, enologica, lattiero-casearia. Ed. UTET.
- Sharratt W.J., Peterson A.E., Calbert H.E., 1959. Whey as a source of plant nutrients and its effect on the soil. *J. Dairy Sci.*, 42:1126-1131.

- Sharratt W.J., Peterson A.E., Calbert H.E., 1962. Effect of whey on soil and plant growth. *Agron. J.*, 54:359-361.
- Woodard K.R., French E.C., Sweat L.A., Graetz D.A., Sollenberger L.E., Macoon B., Portier K.M., Wade B.L., Rymph S.J., Prine G.M., Van Horn H.H., 2002. Nitrogen removal and nitrate leaching for forage systems receiving dairy effluent. *J. Environ. Qual.*, 36:1980-1992.
- Woodard K.R., Sollenberger L.E., Sweat L.A., Graetz D.A., Nair V.D., Rymph S.J., Walker L., Joo Y., 2007. Phosphorus and other soil components in a dairy effluent sprayfield within the Central Florida Ridge. *J. Environ. Qual.*, 36:1042-1049.
- Yang S.-Y., Jones J.K., Olsen F.J., Paterson J.J., 1980. Soil as a medium for dairy liquid waste disposal. *J. Environ. Qual.*, 9:370-372.