



APAT

Agenzia per la protezione
dell'ambiente e per i servizi tecnici

Linee guida per l'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e delle acque reflue da aziende agroalimentari

Informazioni legali

L'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

APAT - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma

Via Curtatone, 3 - 00144 Roma

www.apat.it

© APAT

ISBN 978-88-448-0301-8

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

APAT

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina: Paolo Orlandi

Coordinamento tipografico e distribuzione

Olimpia Girolamo - Michela Porcarelli - Simonetta Turco

APAT - Servizio Stampa ed Editoria

Ufficio Pubblicazioni

Impaginazione e stampa

I.G.E.R. srl - Viale C. T. Odiscalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TCF

Finito di stampare maggio 2007

AUTORI

L'importazione e la stesura finale sono a cura di **Rosanna LARAIA**, Responsabile del Servizio Siganet - Gestione Dati del Dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale dell'APAT

La redazione è stata curata dal Gruppo di lavoro coordinato dal **Prof. Enrico BONARI**

Capitolo 1 – Aspetti ambientali ed agronomici dell'impiego delle acque reflue

Enrico BONARI, Laura ERCOLI, Nicola SILVESTRI (Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento)

Capitolo 2 – Parametri qualitativi dei reflui

Enrico BONARI, Laura ERCOLI (Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento), Andrea M. LANZ (APAT)

Capitolo 3 – Il contesto normativo

Giovanna CARCEA (Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento), Andrea M. LANZ (APAT)

Capitolo 4 – Acque di vegetazione dei frantoi oleari

Enrico BONARI, Laura ERCOLI, Nicola SILVESTRI (Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento), Costanza MARIOTTA (collaboratore APAT)

Capitolo 5 – Acque reflue dei caseifici

Enrico BONARI, Laura ERCOLI, Francesca BARRESI (Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento), Andrea M. LANZ (APAT)

Capitolo 6 – Acque reflue derivanti da attività di vinificazione

Enrico BONARI, Laura ERCOLI, Nicola SILVESTRI (Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento), Costanza MARIOTTA (collaboratore APAT)

Capitolo 7 - La valutazione dell'attitudine dei terreni agrari allo sversamento delle acque di vegetazione: un esempio di approccio territoriale di tipo modulare

Enrico Bonari, Tiziana sabbatici, Nicola Silvestri, Merj Tonini (Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento)

Capitolo 8 - La valutazione della fattibilità tecnico-economica dell'utilizzo di acque reflue in agricoltura

Francesca BARRESI, Luigi PETARCA, Leonardo TOGNOTTI (Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento)

PREMESSA

L'adozione di sistemi colturali e di allevamento sempre più intensivi, uniti a tecniche di trasformazione delle produzioni agrarie progressivamente più sofisticate ed industrializzate, ha portato, nel corso degli anni, ad un crescente sfruttamento delle risorse naturali e, nel contempo, al manifestarsi di alcuni problemi non trascurabili a livello di compatibilità ambientale dell'intero modello produttivo. Il manuale è finalizzato ad individuare gli elementi conoscitivi per un corretto utilizzo agronomico degli effluenti generati dall'industria agro-alimentare, comprese le acque di vegetazione dell'industria olearia.

Esso affronta gli aspetti normativi ed effettua una caratterizzazione quali-quantitativa dei reflui individuando, per ciascuno di essi, i diversi parametri rilevanti quali salinità, contenuto in metalli, acidità, COD, contenuto in azoto ecc., nonché le migliori modalità e tecniche di utilizzo.

Per ogni refluo vengono, infatti, valutate le tecniche di distribuzione ritenute più idonee al fine di ottimizzare l'utilizzazione e limitare eventuali effetti negativi ed evidenziati gli eventuali trattamenti richiesti preliminarmente all'utilizzo agronomico. È stata, inoltre, condotta un'analisi delle possibili epoche di somministrazione, in funzione delle caratteristiche peculiari dei diversi reflui ed una valutazione delle eventuali modifiche del piano di concimazione in relazione all'apporto di nutrienti effettuato con gli effluenti.

Nel manuale viene riportato un esempio su un possibile approccio di valutazione dell'attitudine dei terreni agrari allo sversamento di acque reflue, analizzando, nello specifico le caratteristiche agro-pedo-morfologiche e climatiche di un terreno interessato all'utilizzo agronomico di acque di vegetazione dei frantoi oleari. Si è scelto di ricorrere ad un approccio "modulare" ovvero ad un approccio sviluppato secondo livelli di dettaglio di indagine e di restituzione cartografica crescente: Regione, Provincia, Comune. Per la realizzazione dello studio, ai tre livelli di dettaglio sopra accennati, si è fatto ricorso allo strumento analitico e cognitivo denominato SIT (Sistema Informativo Territoriale), basato sul sistema GIS (Geographical Information System).

Il manuale si completa con una analisi della fattibilità tecnico-economica dell'utilizzo di acque reflue in agricoltura. Tale analisi, nel suo insieme, si configura come una applicazione GIS volta all'individuazione delle aree agricole suscettibili all'irrigazione con reflui dell'industria agro-alimentare e con effluenti urbani depurati. In particolare si è proceduto alla:

- individuazione e delimitazione delle aree idonee all'irrigazione con reflui; tale determinazione si ottiene escludendo dalla mappatura del territorio le zone non agricole, le aree inondabili e con falda superficiale;
- determinazione dei volumi irrigui necessari a soddisfare il fabbisogno idrico delle aree precedentemente individuate;
- determinazione dei volumi di acque reflue prodotte durante la stagione irrigua; dal confronto quantitativo dei volumi idrici necessari e di quelli potenzialmente disponibili, si è proceduto ad una analisi tecnico-economica delle possibili azioni da intraprendere.

INDICE

Capitolo 1		
ASPETTI AMBIENTALI ED AGRONOMICI DELL'IMPIEGO DELLE ACQUE REFLUE		9
Capitolo 2		
PARAMETRI QUALITATIVI DEI REFLUI		25
Capitolo 3		
IL CONTESTO NORMATIVO		55
Capitolo 4		
ACQUE DI VEGETAZIONE DEI FRANTOI OLEARI		77
Capitolo 5		
ACQUE REFLUE DEI CASEIFICI		91
Capitolo 6		
ACQUE REFLUE DERIVANTI DA ATTIVITÀ DI VINIFICAZIONE		111
Capitolo 7		
LA VALUTAZIONE DELL'ATTITUDINE DEI TERRENI AGRARI ALLO SVERSAMENTO DELLE ACQUE DI VEGETAZIONE: UN ESEMPIO DI APPROCCIO TERRITORIALE DI TIPO MODULARE		133
Capitolo 8		
LA VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DELL'UTILIZZO DI ACQUE		153
	BIBLIOGRAFIA	170

Capitolo 1.

ASPETTI AMBIENTALI ED AGRONOMICI DELL'IMPIEGO DELLE ACQUE REFLUE

1.1. Considerazioni generali

Una valutazione delle eventuali conseguenze ambientali del comportamento umano, qualunque sia il settore di applicazione considerato, comporta la definizione e l'analisi delle singole componenti che ne caratterizzano il meccanismo di diffusione e cioè la *sorgente*, la *via critica* ed il *bersaglio* (Bacci et al., 1989).

La sorgente va identificata nella fonte di emissione dell'impatto (puntiforme o diffusa), sia questo costituito da un agente inquinante piuttosto che da un disturbo arrecato all'armonia del paesaggio, e risulta definita dal tipo e dall'intensità che ne caratterizza l'azione.

La via critica è costituita invece dall'insieme dei meccanismi di trasferimento o di diffusione che permettono all'inquinante di raggiungere il bersaglio; la sua criticità dipende, dunque, dalla capacità di effettuare il trasporto o di trasmettere il disturbo e/o dal verificarsi, durante il percorso, di eventuali processi di trasformazione (detossificazione, alterazioni chimiche, temporaneità delle conseguenze, ecc.) che di fatto possono determinare un'attenuazione degli effetti indesiderati.

Il bersaglio, infine, è rappresentato dal comparto ambientale che costituisce il ricettore (ultimo od intermedio) dell'impatto stesso e che si dimostra vulnerabile al disturbo arrecato, subendo una degradazione più o meno sensibile del proprio stato ed una conseguente limitazione e/o scadimento delle potenzialità d'uso.

Un'accurata definizione delle tre componenti appena descritte rappresenta dunque un presupposto indispensabile per impostare correttamente il problema dell'analisi di impatto ambientale; risulterebbe, infatti, poco significativo tentare di procedere attraverso un approccio generalista ed onnicomprensivo, in quanto la molteplicità delle variabili in gioco non permette, in genere, di giungere a nessuna conclusione di utilità pratica ai fini della gestione e della programmazione territoriale di un determinato comprensorio.

L'analisi dei rischi ambientali derivanti dall'impiego delle acque reflue in agricoltura comporta, rispetto ad altri studi rivolti all'analisi di fonti di inquinamento puntiforme, considerevoli difficoltà di tipo analitico e metodologico. Innanzitutto risulta molto difficile, come verrà discusso più in dettaglio nei capitoli successivi, determinare con precisione la natura e spesso anche la consistenza delle acque prodotte, sia perché le fonti risultano largamente diffuse sul territorio, sia perché ogni singolo impianto in grado di produrre reflui può compiere, relativamente ai processi tecnologici coinvolti, scelte anche molto diverse riguardo all'impiego di macchinari, cicli di produzione, quantità e qualità dei materiali di partenza, ecc. Inoltre, in alcuni casi i fenomeni di interesse (come ad esempio l'arricchimento in nutrienti di un corpo idrico o l'incremento della salinità di un terreno) avrebbero semplicemente l'effetto di accentuare l'intensità di fenomeni naturali, costringendo a considerare la sola quota aggiuntiva imputabile all'impiego dei reflui.

A ciò si devono poi aggiungere due ulteriori importanti considerazioni di ordine generale; per prima cosa, gli eventuali episodi di inquinamento ambientale legati al riuso di acque reflue, una volta definitone l'impiego in termini di dose, epoca e modalità di distribuzione, risultano sostanzialmente modulati dalle caratteristiche ambientali di uno specifico comprensorio (regime pluviometrico, ca-

ratteristiche pedologiche, altezza della falda sotterranea, ecc.), che spesso sfuggono ai tentativi di controllo e/o mitigazione da parte dell'uomo. In secondo luogo, nella maggior parte dei casi, la responsabilità dei processi di alterazione ambientale va ripartita fra una pluralità di soggetti, ciascuno dei quali contribuisce in maniera trascurabile a determinare la consistenza finale assunta dal fenomeno, rendendo arduo ogni tentativo di controllo e/o di regolamentazione.

Per quanto sopra, accade spesso che, qualunque valutazione si intenda proporre a tale riguardo, questa debba essere intesa in senso "relativo" piuttosto che assoluto. Relativo innanzitutto rispetto alle "condizioni al contorno" cioè alle caratteristiche agro-pedo-climatiche del comprensorio considerato che, dimostrandosi in grado di influenzare la dinamica e l'entità dei fenomeni considerati, definiscono il livello di "vulnerabilità" attribuibile ad un particolare comprensorio; secondariamente, in senso "relativo" nei confronti dei possibili vantaggi agronomici derivanti dall'utilizzo degli effluenti in agricoltura rispetto ad altre strategie di reimpiego o smaltimento.

In ogni caso, i principali problemi di compatibilità ambientale ed agronomica connessi con l'utilizzo di reflui possono essere fondamentalmente ricondotti alla possibile dispersione ambientale di macro e micronutrienti, all'accumulo di metalli pesanti o di altri elementi estranei al metabolismo vegetale, alla contaminazione dovuta al veicolamento di batteri patogeni o comunque di microrganismi non facenti parte della microfauna e microflora "normale" di un terreno agrario e quindi, più in generale, a qualunque disturbo in grado di provocare un'alterazione ed un deterioramento delle funzionalità del comparto suolo traducibili direttamente o indirettamente in un decremento della sua fertilità.

Su questi presupposti è stato condotto lo studio delle conseguenze agronomiche ed ambientali legate all'impiego delle acque reflue in agricoltura. Tale studio non ha la pretesa di trattare in maniera esaustiva e sistematica l'intero argomento, data l'impossibilità di poter considerare in assoluto ogni possibile fonte di impatto ed ogni effetto, vero o presunto, sullo stato dell'agroecosistema, ma si propone, in primo luogo, di circoscrivere la natura e l'entità dei carichi distribuiti e, quindi, di stabilire le condizioni naturali ed agronomiche in grado di accentuare i rischi o viceversa di attenuare le preoccupazioni riguardanti la riutilizzazione delle acque nei campi coltivati. Ciò significa, per rimanere fedeli all'approccio metodologico proposto in precedenza, caratterizzare le "sorgenti" d'impatto (cioè i carichi e la composizione delle acque reflue), definire le condizioni che possono rendere più critica l'azione dei vettori ed, infine, individuare i possibili "bersagli" loro associabili.

D'altra parte non si deve dimenticare che l'utilizzazione agronomica dei reflui depurati o non depurati, provenienti dall'industria agroalimentare, su terreno coltivato costituisce la sola possibile e ragionevole alternativa per il recupero ed il riciclo degli elementi in esse contenuti. Il terreno costituisce, infatti, l'unico vero filtro dell'intero pianeta proprio in relazione all'intensa attività fisico-chimica e microbica che vi si svolge e che il corretto svolgimento di un'adeguata attività agricola può contribuire non poco ad esaltare.

Lo sfruttamento delle sostanze utili ancora presenti nelle acque reflue, come i nutrienti ed il carico di sostanza organica, oltre all'apporto idrico, che in alcune circostanze può risultare tutt'altro che trascurabile, costituiscono infatti una ricchezza sfruttabile in senso agronomico. L'utilizzo in agricoltura degli effluenti agro-industriali e civili può consentire, dunque, un'effettiva valorizzazione di sottoprodotti altrimenti smaltibili con difficoltà, contribuendo ad evitarne usi "selvaggi" che possono risultare estremamente pericolosi da un punto di vista ambientale.

Sono al riguardo indispensabili, però, criteri chiari per ottenere dal loro reimpiego il maggior vantaggio agronomico ed il minor rischio possibile di alterazione dell'agroecosistema, lasciando come sempre agli agricoltori il compito di adattare alle specifiche condizioni della propria azienda quegli orienta-

menti tecnici validi in senso generale ed utili ad ispirarne il comportamento. L'impiego di acque reflue in quantità eccessive e secondo modalità scorrette (su terreni, in epoche e con tecniche non idonee) può causare, infatti, una serie di inconvenienti, quali la degradazione della struttura del terreno, l'aumento della salinità, la modifica della biocenosi tellurica, ecc., tali da ribaltare il giudizio positivo sull'adozione di tali pratiche.

L'utilizzazione agronomica degli effluenti richiede quindi una adeguata conoscenza delle condizioni climatiche, pedologiche e colturali del territorio, oltre che, naturalmente, delle caratteristiche stesse del refluo. Fattori come la piovosità e la temperatura, la tessitura e la porosità del terreno, gli avvicendamenti e le tecniche di lavorazione adottate, costituiscono, infatti, elementi fondamentali per poter definire razionalmente le corrette modalità di utilizzazione degli effluenti e per poter segnalare le eventuali "controindicazioni" necessarie, in relazione alla particolare composizione del refluo.

1.2. Il clima

Il clima può esercitare la sua influenza sulla utilizzazione agronomica dei reflui attraverso numerosi fattori, essendo in grado di condizionare sia il comportamento delle piante che l'evoluzione di svariate caratteristiche chimiche, fisiche biologiche del terreno. Volendo, però, limitare l'analisi agli aspetti più direttamente connessi con l'impiego agronomico degli effluenti agro-industriali e civili, si possono, essenzialmente, individuare due fattori fondamentali: il regime termico e l'andamento delle precipitazioni.

I valori di temperatura modulano, infatti, la velocità di tutte le reazioni chimiche nel terreno e possono, quindi, accelerare o rallentare i ritmi di degradazione dei composti organici apportati, determinando i tempi di permanenza, e di successiva utilizzazione da parte delle colture, dei prodotti della mineralizzazione della frazione organica. A questo riguardo, dunque, valori termici più elevati assicurano un più rapido ripristino delle condizioni presenti prima dell'apporto delle acque reflue ed una più pronta trasformazione dei composti di partenza.

Molto più ridotta è, invece, l'influenza che la temperatura può esercitare sulla dinamica degli elementi minerali eventualmente apportati attraverso la somministrazione degli effluenti sui campi coltivati. In molti casi, infatti, l'inerzia biologica di tali materiali fa sì che il loro destino sia legato soprattutto a processi fisici di movimento o di lento assorbimento da parte delle colture. In questo modo il regime termico è in grado di influenzare solo in maniera indiretta la dinamica di questi fenomeni, la cui evoluzione appare condizionata da fattori più complessi e numerosi.

Per quanto riguarda, invece, l'andamento delle precipitazioni è necessario premettere che il regime delle piogge, inducendo condizioni di deficit o di surplus idrico nel terreno, può determinare la prevalente direzione di spostamento dei reflui distribuiti: rispettivamente verticale (percolazione) od orizzontale (ruscellamento). Naturalmente altri fattori sono in grado di interagire significativamente sul movimento dell'acqua, come l'intensità di pioggia, la velocità di infiltrazione nel terreno, il sistema dei pori del suolo (inteso sia come consistenza complessiva che come forma, dimensioni, orientamento e interconnessione), i valori delle costanti idrologiche, ecc., ma la quantità e la distribuzione delle precipitazioni costituiscono senz'altro, a livello macroscopico, il primo fattore da tenere in considerazione per la previsione del destino ambientale delle acque reflue e delle sostanze in esse contenute.

Nell'attraversare il suolo l'acqua di percolazione provoca, infatti, la lisciviazione ed il trasporto dei

sali solubili, come ad esempio i nitrati. La lisciviazione dei nitrati rappresenta una perdita sia dal punto di vista nutrizionale, sia da quello economico, per il costo che deriva dall'impiego di una maggiore quantità di fertilizzanti azotati. Il dilavamento dell'azoto dal terreno, inoltre, può causare inquinamento delle acque di falda superficiali e profonde e, conseguentemente, dei pozzi di acque potabili con effetti negativi sulla salute dell'uomo e degli animali (ad esempio la metaemoglobinemia, che riduce la capacità del sangue di trasportare ossigeno o la formazione di nitrosammine cancerogene).

Oltre allo ione nitrico, tutte le basi di scambio e anche molti composti organici di piccole dimensioni sono solubili in acqua e possono, quindi, andare incontro agli stessi fenomeni di dispersione ambientale.

I maggiori rischi di lisciviazione si verificano nei periodi in cui le precipitazioni sono massime e l'evapotraspirazione e l'assorbimento di nutrienti da parte delle piante sono minimi, e cioè in primavera (quando le colture a ciclo primaverile-estivo si trovano ai primi stadi di sviluppo) e in autunno-inverno (quando le temperature sono basse e le piante entrano in stasi vegetativa). Problemi minori si verificano, invece, in corrispondenza di climi meno piovosi e più caldi a causa della minore quantità di acqua di infiltrazione prodotta e delle condizioni termiche più miti che permettono l'accrescimento delle piante anche durante il periodo autunno-invernale.

Quando, invece, l'intensità di pioggia supera la velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno, oppure quando le precipitazioni cadono su un terreno che si trovi in condizioni di saturazione idrica, si origina un deflusso superficiale dell'acqua che si muove orizzontalmente rispetto al piano di campagna. Anche in questo caso si verificano fenomeni di solubilizzazione e di trasporto delle sostanze idrofile, ma lo spostamento può interessare pure le particelle terrose più piccole e le molecole adsorbite, a causa del trascinarsi meccanico che si genera. I bersagli più probabili dell'impatto sono, in questo caso, i corpi d'acqua superficiali che finiscono per raccogliere la maggior parte dei deflussi originatisi sui terreni agrari.

Infine, l'andamento pluviometrico, condizionando il regime di umidità dei suoli, può influenzare la velocità di mineralizzazione della sostanza organica nel terreno e quindi determinare un tempo di permanenza maggiore o minore delle sostanze apportate sul campo attraverso la distribuzione dei reflui.

1.3. Il terreno

Il tipo di terreno può influire sul destino ambientale delle acque reflue soprattutto in relazione al tasso di mineralizzazione della sostanza organica che lo contraddistingue ed alla sua drenabilità, cioè alla facilità con cui si lascia attraversare dalle acque di infiltrazione, a sua volta dipendente dalla porosità e dalla capacità idrica.

Le caratteristiche del terreno che più delle altre possono modulare le proprietà sopra ricordate sono senz'altro la tessitura e la struttura. La prima rappresenta la composizione della fase solida del terreno espressa in funzione del suo contenuto percentuale in peso delle particelle elementari suddivise per classi dimensionali (sabbia, limo e argilla), mentre la seconda descrive la conformazione spaziale e la modalità con cui tali particelle elementari risultano associate fra loro.

Ad esempio, un terreno argilloso ben strutturato e senza crepacciature risulta più compatibile con la distribuzione di reflui di un terreno sabbioso poiché in quest'ultimo la velocità di infiltrazione è maggiore e la capacità di ritenzione idrica è minore; in presenza di scheletro, invece, si creano per-

corsi preferenziali per la percolazione dell'acqua, per cui i terreni che ne abbondano sono tra i meno adatti alla distribuzione degli effluenti. In un terreno limoso o argilloso mal strutturato, infine, si può ridurre l'efficienza di utilizzazione del refluo a causa della maggiore suscettibilità al ruscellamento, dovuta sia alla facilità di formare strati compatti superficiali (crosta), che di andare incontro alla completa saturazione idrica dei primi strati di suolo.

In maggior dettaglio, le caratteristiche essenziali del terreno da prendere attentamente in considerazione al fine di valutarne la maggiore o minore idoneità allo spargimento degli effluenti sono:

- la situazione topografica (pendenza, omogeneità del pendio, ecc.);
- il profilo (spessore, permeabilità e profondità che influenzano la velocità di infiltrazione e la conducibilità idrica, ecc.);
- la tessitura, la struttura e le proprietà idrologiche: velocità di infiltrazione, capacità di campo, punto di appassimento che condizionano la capacità di trattenuta idrica, la dinamica dell'acqua nel terreno e la disponibilità di questa per le colture;
- il pH e l'rH;
- il contenuto di sali e la loro composizione, la percentuale di sodio scambiabile (ESP);
- la capacità di scambio cationico ed anionico ed il contenuto di sostanza organica, che condizionano il comportamento degli elementi e dei composti chimici nel terreno (es. immobilizzazione, lisciviazione).

Tra le caratteristiche sicuramente sfavorevoli del terreno che impongono pesanti vincoli all'ipotesi di spargimento si citano:

- la pendenza eccessiva;
- la permeabilità troppo debole o troppo accentuata;
- la reazione anomala (soprattutto per eccesso di carbonato di sodio);
- la debole capacità di adsorbimento ionico;
- l'insufficiente profondità.

In corrispondenza di una o più di queste caratteristiche dovranno, pertanto, essere adottate limitazioni più restrittive rispetto a quelle generali, oltre ad accorgimenti specifici e ad un monitoraggio particolarmente attento dei fenomeni di interesse, che può anche condurre al divieto assoluto di procedere alla distribuzione degli effluenti.

A puro titolo esemplificativo si riportano, in tabella 1.1., le prescrizioni dell'Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste (ERSAF), che ha prodotto specifiche carte tematiche.

Una classificazione territoriale di carattere più agronomico è quella proposta da Giardini et al. (1997) denominata CAT II, che è stata utilizzata per definire la capacità recettiva del terreno nei riguardi dei liquami zootecnici, individuando i limiti per le concimazioni organiche e minerali (Giardini et al., 1993). Questa metodologia prevede una zonizzazione ed una successiva classificazione del comprensorio, basata sulle caratteristiche chimico-fisiche del terreno (profondità, presenza di rocce o scheletro, granulometria, contenuto in sostanza organica, pH, ESP, salinità, ecc.) in modo da determinare la dose di liquame distribuibile in funzione di una dose massima potenzialmente applicabile in condizioni ottimali.

Tabella 1.1. Modello interpretativo per la valutazione dell'attitudine dei suoli allo spandimento dei liquami zootecnici (Fonte: ERSAF)

Fattori limitanti	Classe di attitudine dei suoli			
	Adatti	Moderatamente adatti	Poco adatti	Non adatti
Rischio di inondabilità	Assente	Da lieve a moderato	Alto	Molto alto
Rocciosità (%)	Assente	0-2	2-10	>10
Pietrosità (%)	0-15	15-20	15-20	>50
Pendenza (%)	0-5	5-10	10-20	>20
Drenaggio	Buono Mediocre Lento	m. lento (con falda >150 cm) mod. rapido (con falda >150 cm)	m. lento (con falda <150 cm) mod. rapido (con falda <150 cm) rapido (con falda >150 cm)	Impedito Rapido (con falda <150 cm)
Profondità della falda (cm)	>150	100-150	75-150	<75
Scheletro (%)*	<35	35-70	36-70>70	
Caratteristiche e verifiche	Fessurazioni assenti o presenti (con orizz. Fino a 100 cm a tess. Media, fine o mod. fine)	Fessurazioni presenti (con orizz. A tess. Mod. grossolana entro 100 cm)	Fessurazioni presenti (con orizz. A tess. Grossolana entro 100 cm)	Fessurazioni presenti (con orizzonti a tessitura grossolana entro 100 cm e con falda)
Strato permeabile (cm)	>80	50-80	30-50	30-50 (con falda <150 cm)
Tessitura (primo metro)	F AS FSA FA FL L FLA A AL	FS	SF (con falda >150 cm)	S SF (con falda <150 cm)
Orizzonti organici	Assenti	Presenti tra 100 e 150 cm	Presenti tra 50 e 100 cm	Presenti entro 50 cm

* valore medio ponderato dei primi 100 cm di suolo

1.4. L'attività agricola

Oltre alle già discusse caratteristiche ambientali (clima e terreno), anche le forme e le modalità con cui la pratica agricola viene realizzata in un determinato comprensorio rappresentano condizioni in grado di influenzare significativamente le possibilità di utilizzazione agronomica delle acque reflue e soprattutto il successo del loro impiego. I sistemi colturali adottati, intesi come la combinazione fra la successione delle specie vegetali e le tecniche impiegate per la loro conduzione, possono, infatti, dimostrarsi più o meno idonei all'utilizzazione degli effluenti e differentemente capaci di valorizzarne lo specifico apporto di nutrienti, di acqua e di sostanza organica che li caratterizza.

Tutte le scelte operate dall'agricoltore possono quindi risultare importanti se in grado di influenzare direttamente e/o indirettamente il movimento del refluo o la sua utilizzazione da parte delle piante. È anche vero, però, che la definizione di alcuni comportamenti agronomici (avvicendamento, sistemazioni idraulico agrarie, lavorazioni del terreno, ecc.) sembra rivelarsi particolarmente delicata in considerazione della loro pesante interazione con i fenomeni che modulano il destino ambientale degli effluenti.

Anche in questo caso la convenienza nell'adottare un comportamento agronomico piuttosto che un altro deve essere attentamente valutata in relazione alla tipologia di refluo che si intende utilizzare (composizione, stagionalità di produzione, ecc.); la scelta tecnica adottata dovrà, in ogni caso, essere coerente con l'organizzazione del sistema aziendale.

L'avvicendamento. La scelta della lunghezza e della composizione dell'avvicendamento colturale riveste primaria importanza nel definire l'attitudine del sistema colturale all'impiego di acque reflue. La presenza di specie sensibili ad una qualsiasi sostanza, tipicamente contenuta nell'effluente, può determinare, infatti, l'automatica esclusione, dalla superficie da trattare, dell'appezzamento in cui tali specie sono coltivate. Anche nei casi in cui non esiste una incompatibilità assoluta fra le colture adottate ed il tipo di refluo utilizzato, si potrà, comunque, rilevare un diverso grado di adattamento delle specie in rotazione, alle particolari caratteristiche dell'effluente (contenuto in sodio, cloro, ecc.) e si dovrà, dunque, definire un ordinamento che tenga conto del livello di attitudine dimostrata.

Inoltre, la diversa incidenza nell'avvicendamento di specie a ciclo primaverile/estivo rispetto a quelle a ciclo autunno-invernale e anche il rapporto fra colture irrigue e colture asciutte, che determina la richiesta di acqua del sistema colturale, può indirettamente influenzare l'utilità dell'impiego dei reflui, soprattutto in condizioni di limitate disponibilità idriche. Allo stesso modo i fabbisogni nutritivi delle colture e la loro particolare capacità di assorbire i nutrienti apportati al terreno, sottraendoli alla lisciviazione o ad altri fenomeni di dispersione ambientale, possono costituire altri importanti elementi di valutazione. Rilevante, a questo riguardo, può risultare la concomitanza delle fasi di più elevata intensità di assorbimento di elementi nutritivi da parte della coltura (periodo di attivo accrescimento) con la più probabile epoca di distribuzione delle acque.

Anche il bilancio umico del sistema colturale, cioè la differenza fra gli apporti di sostanza organica al terreno (residui colturali, concimazioni organiche, ecc.) e le sue perdite (mineralizzazione dell'humus, erosione, ecc.) può costituire un fattore non trascurabile nel consigliare il ricorso a fonti non tradizionali di sostanza organica quali possono essere considerate le acque reflue.

A parità di specie coltivata, inoltre, si deve considerare che una coltura in buone condizioni vegetative garantisce il conseguimento di maggiori produzioni e quindi l'espressione di più elevati fabbisogni idrici e trofici.

La tecnica colturale. In generale l'utilizzo irriguo o fertirriguo di acque reflue deve prevedere l'utilizzo di particolari accorgimenti agronomici che garantiscano la migliore utilizzazione possibile dei reflui da parte delle piante. I sistemi colturali che già fanno ricorso all'irrigazione, o per i quali se ne può prevedere l'adozione senza apportare eccessive modifiche alla struttura aziendale od all'organizzazione produttiva, sono da considerare potenzialmente più idonei alla somministrazione degli effluenti.

E' necessario, innanzitutto, effettuare una rotazione degli appezzamenti da trattare e disporre, pertanto, di una area minima su cui effettuare lo spandimento. Occorre poi regolarizzarne la superficie in modo da rendere più uniforme la distribuzione dei reflui, evitando l'insorgenza di ristagni localizzati.

Il terreno deve essere ben drenato in modo da evitare problemi di asfissia radicale, soprattutto quando è necessario distribuire elevati volumi d'acqua (è il caso dei reflui salini) o quando i reflui risultano ricchi di solidi sospesi, che tendono ad intasare gli strati più superficiali del suolo. Massima attenzione deve essere, pertanto, posta alla manutenzione delle sistemazioni idraulico-agrarie, od alla loro realizzazione qualora non fossero già esistenti; nel caso in cui sia presente uno strato imper-

meabile lungo il profilo del terreno, si dovrebbe ricorrere al drenaggio artificiale che può assicurare un migliore sgrondo delle acque rispetto all'affossatura superficiale.

A questo proposito può risultare importante anche il ruolo giocato dalle lavorazioni del terreno in relazione al tipo di attrezzo prescelto per la loro esecuzione, ma anche alla profondità ed all'epoca in cui si effettua l'intervento meccanico. In generale si può affermare che il ricorso alla discissura è da preferire all'aratura in considerazione dei rischi di formazione di uno strato impermeabile più o meno profondo (suola d'aratura) che la ripetizione di quest'ultima può formare nel suolo. Da evitare, invece, sembrerebbero le tecniche di lavorazione minima o di non lavorazione del terreno soprattutto se eseguite per la preparazione di una coltura a ciclo autunno-invernale. Può essere utile, invece, variare periodicamente la profondità di lavorazione, anche in relazione al tipo di colture previste, onde evitare la formazione nel terreno di strati con diversa densità apparente. Per quanto riguarda, infine, le epoche di esecuzione degli interventi meccanici queste devono soprattutto rispondere alle classiche esigenze agronomiche dettate dalla natura dei substrati (granulometria e capacità autostrutturanti) e dal calendario delle colture, in modo da assicurare alle specie coltivate le migliori condizioni di abitabilità. Si tratterà, quindi, di evitare la distribuzione degli effluenti in prossimità dell'esecuzione delle lavorazioni per evitare l'infiltrazione profonda dei reflui a causa dei flussi preferenziali creatisi temporaneamente nel terreno a seguito dell'intervento meccanico.

È da evitare la somministrazione dei reflui nei giorni seguenti la semina in quanto, durante le fasi di germinazione, la sensibilità dei vegetali nei confronti degli effluenti è massima e possono verificarsi pericolosi fenomeni di fitotossicità diretta, piuttosto rari, invece, nelle fasi successive del ciclo fenologico della coltura.

Nei casi in cui l'utilizzazione agronomica interessi effluenti con elevate concentrazioni di sali solubili occorre scegliere colture resistenti alla salinità, aumentare i volumi impiegati in modo da soddisfare il fabbisogno di lisciviazione, oppure dilavare i sali solubili accumulati in seguito alla distribuzione dell'effluente con interventi irrigui "dilavanti". Anche la scelta dei concimi deve essere effettuata tenendo presente che i fertilizzanti sono costituiti da sali, per cui la loro distribuzione comporta, comunque, un aumento della concentrazione di tali elementi nel terreno.

In alcuni casi può essere previsto l'utilizzo di correttivi per contrastare la salinità, da distribuire sull'appezzamento piuttosto che da disciogliere nell'acqua, a causa della limitata solubilità idrica e del rischio di occlusione degli irrigatori. Come correttivi possono essere utilizzati lo zolfo (zolfo in polvere) nel caso di terreni ricchi di calcare od il gesso (gesso agricolo) nel caso di terreni alcalini.

A questo proposito, nella tabella 1.2, si riporta l'indice di salinità dei concimi chimici più frequentemente utilizzati. L'indice di salinità è ottenuto sulla base della variazione di potenziale osmotico del concime in soluzione rispetto al potenziale osmotico di una soluzione contenente lo stesso peso di nitrato di sodio ($\text{NaNO}_3 = 100$). La capacità di salinizzazione dipende dal tipo di sali che i concimi contengono e risulta tanto maggiore quanto più elevato è il contenuto di cloro, sodio e nitrati.

Nella tabella 1.3 è riportata, invece, una stima della utilizzabilità dei concimi organici, azotati, fosfatici e potassici in condizioni di rischio di salinizzazione. Al riguardo, i concimi organici sono i migliori, poiché oltre a non indurre alcun incremento della salinità, sono in grado di migliorare molte caratteristiche chimico-fisiche del terreno.

In ogni caso nel calcolo della quantità di concimi da distribuire, si dovrà sempre considerare l'apporto, seppure minimo, di elementi nutritivi distribuiti con i reflui, tenendo presente, tuttavia, che i nutrienti si rendono spesso disponibili solo a partire dall'anno successivo alla loro somministrazione, a causa della lentezza nella mineralizzazione della frazione organica.

Tabella 1.2. Indice di salinità di alcuni concimi

Concime	Indice di salinità
Cloruro di potassio	116
Nitrato di ammonio	105
Nitrato di sodio	100
Urea	75
Nitrato di potassio	74
Solfato di ammonio	69
Nitrato di calcio	65
Solfato di potassio	46
Fosfato diammonico	34
Fosfato monoammonico	30
Perfosfato (0-46-0)	10
Fosfato monopotassico	8

Tabella 1.3. Grado di utilizzabilità dei concimi in condizioni di rischio di salinizzazione.

Concimi	Utilizzabili	Mediamente utilizzabili	Non utilizzabili
Organici	Tutti		
Azotati	Azoto organico	Solfato ammonico Nitrato di calcio Calciocianammide	Nitrato di sodio Nitrato ammonico Urea
Fosfatici	Perfosfato semplice Fosfato monopotassico Perfosfato triplo	Fosfato biammonico Fosfato monoammonico	
Potassici	Fosfato monopotassico Solfato monopotassico	Solfato potassico Solfato di potassio e magnesio	Cloruro di potassio Nitrato potassico
Vari	Gesso agricolo	Solfato di magnesio	

Può, infine, rivelarsi utile un monitoraggio in continuo dei rischi di contaminazione ambientale attraverso il ricorso ad opportune piante-spia, ovvero a specie particolarmente sensibili alle sostanze di interesse. Anche per quanto riguarda il pericolo dell'ingresso di sostanze dannose all'interno della catena alimentare, possono essere individuate specie vegetali in grado di accumulare selettivamente le molecole "a rischio" e mettere, quindi, in evidenza i pericoli di contaminazione a carico del comparto biotico.

1.5. La distribuzione dei reflui

A prescindere dalle condizioni ambientali (difficilmente modificabili, almeno nel breve periodo) e delle caratteristiche del sistema colturale adottato (più facilmente mutabili da parte dell'agricoltore), sono le modalità di distribuzione del refluo (dose, epoca, tecnica di distribuzione e stoccaggio) a giocare però un ruolo determinante sulla efficacia e sulla correttezza dell'impiego degli effluenti in agricoltura.

La dose di impiego. La scelta della dose più opportuna da somministrare per ciascuna tipologia di refluo costituisce un passaggio cruciale nella stesura di un programma per la distribuzione degli effluenti sui campi coltivati.

Dal punto di vista agronomico, quando si intenda somministrare alle colture acque reflue di varia origine è possibile scegliere fra tre distinte modalità di intervento.

La prima consiste nella irrigazione *intensiva* (o ad alto carico), nella quale si distribuiscono carichi idraulici (volume di liquido apportato nell'unità di superficie e di tempo) ed organici (quantità di sostanza organica apportata nell'unità di superficie e di tempo) più elevati rispetto a quelli strettamente indispensabili alle colture, i cui fabbisogni idrici e nutrizionali passano, quindi, in secondo ordine, essendo questo tipo di somministrazione più assimilabile allo smaltimento che alla irrigazione e/o alla fertilizzazione delle piante. In questo caso non tutte le colture possono sopportare un tale trattamento (ad esempio dimostrano una buona "adattabilità" i prati stabili ed altre coltivazioni a basso reddito) ed è spesso inevitabile che queste pratiche provochino fenomeni negativi sulle piante e sul terreno per gli elevati carichi somministrati.

La seconda tipologia di intervento è l'irrigazione *estensiva* (o a basso carico) che è finalizzata principalmente a soddisfare le esigenze delle colture che non devono subire riduzioni quanti-qualitative delle produzioni. E' necessario, quindi, calcolare le dosi di impiego considerando gli effettivi fabbisogni trofici e idrici delle piante, ma valutando, allo stesso tempo, anche il rischio di apportare al terreno eccessive quantità di elementi minerali o composti organici indesiderati, prevedibilmente in grado di interferire con le normali funzionalità del suolo e/o con la fisiologia delle diverse colture.

La terza tipologia di intervento prevede una ulteriore, e cospicua, riduzione della dose somministrata, che può rivelarsi necessaria a causa dell'elevato contenuto di uno o più elementi o composti nelle acque. Ovviamente gli elementi che devono essere presi in considerazione, per la determinazione del quantitativo da distribuire, sono da ricercarsi tra le caratteristiche chimiche dei reflui e del terreno, nel parametro più limitante, cioè in quello che si ritiene responsabile dell'effetto maggiormente dannoso.

Dal punto di vista normativo, con l'emanazione del testo unico in materia ambientale (decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152) vengono, in generale, riconfermate, all'articolo 112, le disposizioni già previste, per quanto riguarda l'utilizzazione agronomica dei reflui, dall'articolo 38 del previgente decreto legislativo 152/99.

Come sarà illustrato nel capitolo 3, a cui si rimanda per una analisi più approfondita della normativa, la pratica della utilizzazione agronomica dei reflui provenienti da attività agricole ha, infatti, una disciplina separata e distinta dallo scarico e può essere realizzata solo nei casi e secondo le procedure descritte nel citato articolo 112 del D.lgs. 152/2006.

Una diversa disciplina regola, invece, il riutilizzo delle acque reflue depurate, secondo quanto previsto dall'articolo 99 dello stesso decreto legislativo.

Quando il refluo non presenta un eccessivo contenuto di sostanze indesiderate e soddisfa, quindi, i vin-

coli legislativi, le limitazioni al suo impiego potrebbero venire dall'eccessivo apporto di elementi minerali al terreno che possono dare origine ai già ricordati fenomeni di contaminazione ambientale.

Per quanto riguarda i nutrienti, ad esempio, secondo Giardini e Borin (1988), nella somministrazione dei liquami zootecnici è preferibile non superare i 300-350 kg/ha di N totale, anche in condizioni di scarsa vulnerabilità ambientale. Tali limiti si avvicinano molto a quanto prescritto dal D.Lgs 152/2006 per i liquami zootecnici, la cui dose massima di distribuzione è fissata in 340 kg/ha di N al netto delle perdite di stoccaggio e di distribuzione, ad eccezione delle zone vulnerabili dove la quantità massima tollerabile risulta dimezzata (170 kg/ha di N, allegato 7 alla parte terza del decreto). Tali aree sono individuate sulla base di parametri oggettivi che fanno riferimento essenzialmente al superamento della concentrazione di 50 mg/l di nitrati nelle acque dolci superficiali e/o sotterranee e all'individuazione di condizioni eutrofiche negli eventuali corpi d'acqua superficiali (laghi, fiumi, acque costiere, ecc.) presenti nel comprensorio. Queste disposizioni, codificate nelle "Norme di buona pratica agricola", sono frutto del recepimento a livello nazionale della direttiva 91/676/CE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole (meglio conosciuta come "direttiva nitrati").

Il basso contenuto in azoto rende, in realtà, improbabile il raggiungimento, mediante l'applicazione al suolo di reflui agro-industriali, di elevati carichi di N per unità di superficie trattata, se non altro perché alle dosi necessarie diverrebbe limitante qualche altro fattore (salinità, metalli pesanti, superamento dei fabbisogni delle colture, ecc.). Tuttavia, nel caso in cui la concentrazione dell'elemento dovesse risultare insolitamente elevata e, soprattutto, l'area di distribuzione dovesse ricadere all'interno delle zone sensibili, si ritiene, comunque, opportuno garantire il non superamento dei dosaggi massimi previsti per i liquami zootecnici, onde evitare rischi di pericolose contaminazioni. In queste particolari condizioni un criterio per la determinazione delle dosi massime somministrabili dovrebbe, dunque, essere quello basato sul quantitativo di azoto apportato, calcolato come prodotto tra la concentrazione dell'elemento e la quantità unitaria somministrata.

Nel caso, invece, in cui l'effluente presenti concentrazioni rilevanti di metalli pesanti, anche se inferiori ai limiti legislativi, sarebbe opportuno tenere conto del loro contenuto nel terreno, in analogia a quanto previsto per il razionale impiego dei fanghi o dei compost. Pertanto, se da un lato la distribuzione sul terreno può essere effettuata solo nel caso in cui la concentrazione degli elementi chimici sia inferiore ai valori soglia previsti dalla normativa, dall'altro per evitare l'accumulo dei metalli pesanti nel terreno occorrerebbe che la quantità di elementi distribuita non superi il quantitativo massimo apportabile annualmente, cioè la cosiddetta "caricabilità" del terreno.

Un esempio di calcolo di tali valori, effettuato da Giardini et al. (1993) sulla base della normativa inerente l'utilizzo agronomico dei fanghi di depurazione (D.Lgs 99/92), viene riportato in tabella 1.4. Mediante il ricorso a tale tabella è possibile calcolare il volume stagionale massimo di acqua irrigua inquinata utilizzabile, a partire dai valori di concentrazione e di apporto massimo annuo accettabile per i diversi metalli. Nel caso in cui i suddetti elementi derivino anche da altre pratiche agronomiche, quali ad esempio lo spargimento di fanghi o di compost, tali apporti dovranno essere conteggiati ed il volume di refluo distribuito dovrà essere diminuito di conseguenza.

Tabella 1.4. Concentrazioni massime nel terreno di alcuni elementi traccia per l'ammissibilità all'uso di acque irrigue inquinate e limiti massimi di "caricabilità" annua (Giardini et al., 1993).

Elemento	Concentrazione massima nel terreno	Apporto massimo**
	mg/kg s.s.	g/ha anno
As	10	90
B*	15	600-2.500
Cd	3	15
Co		250
Cr ^{III}	50	500-2.000
Cr ^{VI}	3	15
Cu	100	1.000-3.000
Hg	2	15
Mo		50-100
Ni	50	100-1.000
Pb	100	5.000
Se*	3	10
Zn	300	10.000

* I valori sono espressi come concentrazione in forma assimilabile

** Il primo valore si riferisce a terreni sciolti, il secondo a terreni ricchi di sostanza organica.

Un altro parametro da tenere in debita considerazione, per stabilire il volume di acque reflue da distribuire, è rappresentato dalla conducibilità idrica del terreno. In terreni caratterizzati da bassi valori di conducibilità (minore di 5 mm/h) è fondamentale procedere con somministrazioni di volumi contenuti, altrimenti si perderebbe, per ruscellamento superficiale, buona parte delle acque reflue rilasciate. Non solo, ma dosi eccessive distribuite in questi suoli, potrebbero provocare una ulteriore diminuzione, anche se temporanea, delle capacità di infiltrazione nel caso in cui gli effluenti risultino caratterizzati da un elevato carico di solidi sospesi (reflui dei macelli) o da un'abbondante frazione lipidica (acque di vegetazione dei frantoi).

I volumi da somministrare devono essere calcolati con oculatezza anche per i terreni caratterizzati da alta conducibilità idrica (oltre 150 mm/h), in quanto l'eccessiva percolazione potrebbe trascinare in profondità parte della frazione organica dei reflui fino a contaminare le acque di falda.

L'epoca di somministrazione. La scelta dell'epoca più idonea per la somministrazione dei reflui è condizionata da fattori diversi ed in parte interagenti, quali la trafficabilità del terreno, la presenza ed il grado di sviluppo della coltura, il sistema di distribuzione adottato.

Il periodo in cui la distribuzione risulta più facile è quello della preparazione del terreno prima della semina della coltura, che nella prassi agronomica, per le colture erbacee arative, si traduce nell'epoca primaverile, estivo-autunnale od invernale. Dal punto di vista dell'efficienza di utilizzazione dei nutrienti da parte delle colture sarebbe importante, invece, che il periodo di distribuzione dei reflui coincidesse con quello di massimo assorbimento da parte delle piante. In pratica, la distribuzione eseguita in prossimità dell'impianto, o ancora di più, della fase di massimo accrescimento delle colture

permette di conseguire un'elevata efficienza di utilizzazione, mentre trattamenti eseguiti con molto anticipo comportano generalmente risultati peggiori.

La determinazione dell'epoca di somministrazione è influenzata, naturalmente, anche dalla dinamica di produzione degli effluenti e dalla necessità di svuotamento dei serbatoi di stoccaggio oltre che, in alcuni casi, dai vincoli legislativi. E' questo il caso, ad esempio, delle acque di vegetazione per le quali il periodo di conservazione non può superare i 90 giorni.

Dal punto di vista agronomico, le diverse epoche di somministrazione dei reflui comportano elevate differenze, in termini probabilistici, di lisciviazione o di assorbimento radicale. Così la distribuzione nel periodo estivo, dopo la raccolta dei cereali autunno-vernini, con temperature elevate, può comportare elevate perdite nel successivo periodo autunnale caratterizzato da intense precipitazioni che favoriscono la percolazione dei nitrati appena originatisi dalla mineralizzazione della sostanza organica. Per contrastare questi fenomeni è possibile procedere all'impianto di una coltura intercalare a ciclo breve (lojessa, colza, ecc.) seminata subito dopo la somministrazione dei reflui, allo scopo di intercettare i sali solubili presenti nei reflui (*catch crop*), evitando la loro lisciviazione.

Per quanto riguarda i terreni argillosi, su cui è necessario intervenire prima della impraticabilità a causa delle piogge invernali, lo spandimento dei reflui può essere effettuato in ottobre-novembre, dopo la raccolta delle colture a ciclo primaverile-estivo (mais, girasole, barbabietola da zucchero, ecc.) e dopo la successiva lavorazione del terreno. I reflui, in questo caso, hanno a disposizione per la mineralizzazione un periodo di tempo inferiore rispetto a quello che avrebbero qualora la somministrazione fosse effettuata dopo la raccolta dei cereali autunno-vernini; le temperature più basse, tipiche di questo periodo, limitano, inoltre, la produzione di forme solubili.

Lo spandimento dei reflui durante il periodo invernale, invece, comporta ritmi più lenti di mineralizzazione della sostanza organica e può essere fonte di inquinamento solo se le acque distribuite presentano un significativo contenuto in nitrati. In questo periodo, d'altro canto, possono diventare elevatissimi i rischi di ruscellamento superficiale soprattutto nel caso di spandimenti effettuati su terreni in pendio, gelati o saturi di acqua.

Infine la somministrazione dei reflui all'inizio della primavera, prima delle semine delle colture da rinnovo, costituisce la tecnica normalmente adottata sui terreni di medio impasto o tendenti al sabbioso, mentre risulta difficoltosa in terreni mal drenati ed argillosi che dopo le piogge invernali risultano più difficilmente trafficabili. La mineralizzazione della sostanza organica contenuta negli effluenti, inoltre, mette a disposizione delle colture i nutrienti quando queste si trovano nelle fasi di rapido accrescimento, consentendo una più elevata efficienza di utilizzazione ed una conseguente riduzione dei rischi di contaminazione dei corpi idrici.

In sintesi, si può affermare che l'efficienza di utilizzazione dei nutrienti contenuti nei reflui da parte delle colture risulta tanto minore quanto maggiore è il tempo che intercorre tra il periodo di distribuzione e quello di massimo assorbimento, sempreché le dosi distribuite non risultino superiori a quelle agronomicamente consigliabili. Con dosi più elevate l'efficienza si mantiene sempre molto bassa e solo il frazionamento dei quantitativi da somministrare può consentire di accrescerne il valore.

In aggiunta ai criteri generali sopra espressi la scelta dell'epoca di somministrazione e, di conseguenza, delle colture eventualmente interessate, deve tenere conto anche di alcuni accorgimenti specifici, diversi a seconda della provenienza del refluo.

Per i reflui ricchi di materiale organico in sospensione (ad es. reflui di caseifici) occorre evitare l'impiego su colture orticole, fruttifere e foraggere, poiché si potrebbero verificare imbrattamenti dei prodotti da destinare al consumo umano o zootecnico.

Per gli effluenti che hanno dimostrato di provocare forti riduzioni della permeabilità dei suoli (come

le acque di vegetazione dei frantoi oleari) è necessario che le applicazioni siano distanziate tra loro di almeno tre settimane, se in estate, e di un periodo due-tre volte più lungo in inverno, in modo tale che si possano ristabilire le condizioni iniziali di permeabilità. Questo intervallo di tempo è necessario per l'assestamento della popolazione microbica e per la degradazione del film polisaccaridico che si forma sulle pareti dei pori.

Nei casi in cui sono state dimostrate proprietà antigerminative degli effluenti o rallentamenti della fase iniziale di crescita delle colture (ad esempio per il siero dei caseifici e per le acque di vegetazione dei frantoi oleari) è consigliabile effettuare la distribuzione in una fase di presemina o, se possibile, di copertura, evitando ogni contatto durante il delicato momento della germinazione.

Infine, per quanto riguarda i reflui che presentano una spiccata stagionalità di produzione, quali i reflui di cantina e le acque di vegetazione dei frantoi oleari, bisogna porre particolare attenzione ai problemi posti dal ruscellamento superficiale in quanto le possibilità di spargimento, in assenza di stoccaggio, sono ridotte al periodo autunno-invernale, nel quale si verificano i maggiori rischi di saturazione idrica dei terreni.

La tecnica di distribuzione. Anche la scelta della tecnica di distribuzione delle acque reflue deve tenere conto di numerosi fattori quali la natura e la morfologia del suolo, le caratteristiche climatiche, le colture praticate ed il loro stadio di accrescimento.

Le modalità di distribuzione devono, in ogni caso, assicurare un'elevata efficienza di utilizzazione degli elementi nutritivi, una buona uniformità di applicazione ed il contenimento della diffusione verso aree contigue.

In particolare sarà necessario, con qualsiasi tipologia di reflu, assicurare una ripartizione omogenea dell'effluente nel corso dell'irrigazione, evitando ristagni, ruscellamento ed eccessiva percolazione dell'acqua; è, inoltre, essenziale evitare lo spandimento durante periodi caratterizzati da frequenti precipitazioni, o su suoli sommersi o gelati e non ricorrere agli irrigatori a nebbia.

Nel caso in cui gli effluenti siano ricchi di solidi sospesi (ad esempio, reflui dei caseifici) possono verificarsi problemi nella meccanica distributiva dell'acqua durante le operazioni di adacquamento; si può, infatti, riscontrare l'intasamento degli erogatori qualora vengano applicati metodi di asperzione o microirrigazione. Appaiono, quindi, preferibili metodi irrigui quali l'infiltrazione laterale da solchi, lo scorrimento e la sommersione. In questi casi potrebbero rendersi necessari trattamenti preliminari di filtrazione che, tuttavia, comportano una ingente perdita di acqua con il materiale scaricato. La sedimentazione costituirebbe invece un metodo più semplice per la rimozione della torbida, ma richiede tempi relativamente lunghi per la ritenzione dell'acqua nei bacini di "lagunaggio".

Nel caso di reflui ricchi di sali disciolti il metodo irriguo più idoneo è, invece, quello della microirrigazione, che permette di effettuare un'erogazione prolungata nel tempo, limitando le perdite per evaporazione e, quindi, riducendo il fenomeno della concentrazione dei sali. Nelle colture di pieno campo, dove il costo risulterebbe eccessivo, converrà, invece, adottare altri metodi irrigui, con l'accortezza però di impiegare abbondanti volumi, affinché l'acqua in eccesso possa dilavare i sali accumulati con l'intervento irriguo precedente.

Vincoli all'utilizzo agronomico dei reflui sono posti, anche, dalla presenza di cloro, poiché questo elemento tende ad accumularsi nelle foglie delle piante provocandone la bruciatura del lembo e la precoce abscissione e risulta, pertanto, sconsigliabile l'utilizzazione soprachioma di acque contenenti più di 100 mg/l di cloro. Anche in questo caso sarebbe, dunque, consigliabile un'irrigazione "a solchi". Per quanto riguarda i turni di irrigazione, per tutti i reflui che presentano una elevata concentrazione di sali solubili, è consigliabile adottare intervalli brevi (4-5 giorni) in modo da irrigare molto prima

del raggiungimento del punto di appassimento e da mantenere basso il valore del potenziale idrico.

Lo stoccaggio. Il problema dello stoccaggio dei reflui si pone ogni qualvolta la distribuzione degli effluenti è dilazionata nel tempo rispetto al momento della loro produzione. Spesso questa fase dura solo pochi giorni, ovvero il tempo necessario affinché le acque raggiungano una quantità tale da giustificare le operazioni di smaltimento; in altri casi, invece, la durata dello stoccaggio può essere più lunga (ad esempio protrarsi per tutta la durata della campagna olearia) richiedendo, pertanto, la presenza di attrezzature e spazi idonei alla conservazione del refluo. I ritmi di accumulo (stagionalità o costanza dei cicli produttivi) e di rimozione (consistenza e frequenza delle distribuzioni) determinano, in sostanza, la durata dello stoccaggio, nel corso del quale la composizione dei reflui può subire modifiche qualitative tutt'altro che trascurabili anche ai fini di una loro utilizzazione agronomica.

Per quanto riguarda le acque di vegetazione dei frantoi oleari lo stoccaggio è regolato dalla legge 574/96 e dal DM 6 luglio 2005, mentre per gli effluenti zootecnici e per le acque reflue provenienti da piccole aziende agroalimentari, di cui all'articolo 101 del D.Lgs 152/2006, i criteri e le norme tecniche sono contenuti nel DM 7 aprile 2006. La legge 574/96, in particolare, impone lo sversamento degli effluenti sul terreno agrario entro 30 giorni dalla loro produzione. Questo limite impedisce, di fatto, l'utilizzazione dei reflui oleari oltre l'inverno, restringendo il tempo utile per la loro distribuzione in campo al periodo ottobre-marzo, considerando che l'attività di trasformazione è concentrata nel trimestre novembre-gennaio. Come già ricordato, però, in questo intervallo di tempo il clima del nostro Paese risulta caratterizzato da consistenti precipitazioni che, oltre a determinare nei terreni condizioni di saturazione sfavorevoli alle operazioni di distribuzione dei reflui (non trafficabilità, pericoli di ruscellamento superficiale soprattutto nelle zone declivi), rendono anche poco idonea la somministrazione di questi ultimi al fine di soddisfare la nutrizione idrica delle colture.

E' stato invece dimostrato che l'allungamento dei tempi di permanenza all'interno delle vasche di stoccaggio, consente un sensibile abbattimento del carico inquinante posseduto dalle acque di vegetazione, senza che si proceda ad alcun intervento di depurazione, ma lasciando semplicemente riposare il refluo all'interno delle casse di stoccaggio (inferno) e, quindi, senza costi aggiuntivi. Per gli altri reflui non esistono, al momento, vincoli legislativi che limitino la durata dello stoccaggio; di conseguenza le norme comportamentali al riguardo si devono basare su presupposti tecnici finalizzati a massimizzare l'efficienza di utilizzazione agronomica dell'acqua e dei nutrienti contenuti nei reflui, riducendo, per quanto possibile, gli eventuali rischi di contaminazione ambientale.

Così per i reflui derivanti dalle attività enologiche, per i quali valgono sostanzialmente le stesse dinamiche di produzione degli effluenti oleari (vendemmia e travasi) lo stoccaggio degli effluenti permetterebbe di ridurre sensibilmente il carico organico, nonché la concentrazione degli eventuali tensioattivi presenti.

Per quanto riguarda, invece, i reflui che presentano una produzione sostanzialmente regolare nell'arco dell'anno (come i reflui caseari) si può rendere necessario lo stoccaggio nei periodi interessati da piogge e, più in generale, caratterizzati da elevati valori di umidità nel terreno.

La conservazione si renderà necessaria anche per le aziende che non hanno una superficie sufficiente alla distribuzione o che non hanno in campo le colture idonee a ricevere i reflui.

1.6. Considerazioni conclusive

Sulla base delle osservazioni sopra riportate, l'impiego delle acque reflue in agricoltura appare un'operazione fattibile, sia dal punto di vista tecnico-agronomico che da quello ambientale. Si tratta,

tuttavia, di una pratica che implica rischi e difficoltà; particolare attenzione deve essere dunque posta alla scelta dei luoghi, delle dosi, dei tempi e delle modalità di distribuzione dei reflui.

Ma oltre alla conoscenza scientifica dei fenomeni coinvolti e, quindi, dei comportamenti tecnici che possono portare ad una minimizzazione dei rischi e ad un accrescimento dei vantaggi, il successo dell'impiego delle acque reflue in agricoltura sarà decretato, come accade per qualunque altro comportamento all'interno di un processo produttivo, anche dalla convenienza economica della sua adozione.

I costi che devono essere sostenuti per la distribuzione dei reflui sui campi coltivati sono facilmente stimabili e possono essere suddivisi in costi di costruzione e costi di manutenzione ed esercizio.

I primi comprendono la costruzione dell'impianto di stoccaggio, per la conservazione dei reflui durante il periodo di tempo in cui non ne è consentito l'utilizzo agronomico, e la costruzione delle condotte di adduzione fino ai terreni, compresi gli eventuali impianti di sollevamento o, in alternativa, il trasporto su ruote tramite autobotte. I secondi comprendono, oltre alla sorveglianza degli impianti e alla distribuzione delle acque, anche il controllo della loro qualità. Solo nel caso del siero prodotto nei caseifici, trattandosi di un materiale che viene generalmente utilizzato per l'alimentazione del bestiame suino, ai suddetti costi deve essere aggiunto il costo del mangime sostitutivo.

La valutazione dei benefici ottenibili, invece, risulta più ardua in quanto la stima economica dei vantaggi, avendo questi una valenza principalmente ecologico-ambientale, viene sistematicamente sottratta alla pur possibile valutazione monetaria dalla comune abitudine diffusa nel governo del territorio. Per questo motivo la stima dei benefici è affidata spesso al metodo del "costo alternativo per lo smaltimento"; in altre parole, il beneficio della utilizzazione agronomica viene calcolato in base al costo del trattamento di depurazione risparmiato. È evidente che in questo modo si sottostimano i vantaggi in quanto non si conteggiano gli effetti positivi esercitati dall'effluente nei confronti del terreno e della pianta (apporto di sostanza organica e di elementi fertilizzanti).

Appare chiaro che la creazione di un sistema di incentivi e disincentivi economici potrebbe giocare un ruolo decisivo nel favorire la diffusione di una pratica che, se razionalmente condotta, potrebbe consentire il conseguimento di innegabili vantaggi agronomici ed ambientali.

Capitolo 2. PARAMETRI QUALITATIVI DEI REFLUI

2.1. Generalità

La possibilità di utilizzazione agronomica dei reflui è strettamente legata alla problematica più generale della qualità delle acque irrigue. Trattandosi, infatti, di reflui diluiti, a basso contenuto di elementi fertilizzanti, la pratica dell'utilizzazione agronomica, più che allo spandimento di fanghi o di altri tipi di reflui solidi, può essere, essenzialmente, assimilata all'irrigazione o alla fertirrigazione.

La qualità delle acque utilizzate per l'irrigazione, che può più o meno influenzare la corretta crescita delle colture nel terreno, dipende direttamente dalla composizione delle acque stesse, sia per la presenza di sostanze fitotossiche, sia per il contenuto e la qualità di sali solubili.

Le sostanze che possono trovarsi all'interno dei reflui, nei confronti delle quali le piante agrarie hanno i più bassi livelli di tolleranza, sono: cloruri, metalli pesanti (contenuti soprattutto nei reflui civili), residui di alcune categorie di fitofarmaci, boro e sodio. Quest'ultimo, in particolare, oltre ad effetti diretti sulle singole colture come gli altri elementi, può avere anche un effetto negativo sulla struttura del terreno, andandosi a sostituire, per scambio ionico, al calcio presente nei terreni argillosi.

Oltre a quelle sopra riportate, nei reflui agroalimentari sono presenti anche altre categorie di sostanze che, pur non essendo causa diretta di fitotossicità, possono comunque esplicare effetti negativi sul terreno o essere causa indiretta di inquinamento delle falde; queste sono rappresentate, in particolare, dai composti dell'azoto, del fosforo e dello zolfo (solfiti e solfuri), dai fenoli e dai fitofarmaci.

In sintesi, i principali parametri che devono essere analizzati per stabilire se una qualsiasi acqua è idonea all'uso irriguo sono:

- presenza di sostanze fitotossiche.
- contenuto di sali solubili e loro qualità;
- quantità relativa di ioni presenti (concentrazione di Na^+ in relazione a quella di altri cationi o sodicità; composizione anionica e specialmente di carbonati e bicarbonati);
- pH;
- materiale solido in sospensione;
- caratteristiche microbiologiche.

E' da osservare, comunque, che i soli parametri analitici di un refluo (concentrazione totale di elementi e/o composti) non sono sufficienti per la stima del suo valore agronomico poichè non sempre sono in grado di esprimere i reali effetti, negativi o positivi, che la somministrazione al terreno può provocare. Gli elementi ed i composti chimici sono, infatti, di norma presenti sottoforma di diverse "speciazioni chimico-fisiche" (ioni in soluzione o adsorbiti su particelle colloidali, composti inorganici semplici e composti organici a basso peso molecolare in soluzione, precipitati o immobilizzati in organismi viventi, ecc.) con mobilità e disponibilità biologica estremamente variabili. Tra le diverse forme, inoltre, si instaurano equilibri dinamici, dipendenti dai rapporti di solubilità dei composti, dal pH del terreno, dai processi di adsorbimento e complessazione, da reazioni di ossidoriduzione o di metilazione e da fenomeni di assorbimento biologico. E' anche da aggiungere che i vari limiti di tolleranza, proposti in letteratura e di seguito riportati, sono stati determinati quando la sostanza o l'elemento in questione rappresentava l'unico agente inquinante; tuttavia questa situazione è molto rara e nella maggioranza dei casi si assiste alla presenza contemporanea di più contaminanti.

2.2. Contenuto di sali solubili e loro qualità

Oltre alla presenza di sostanze potenzialmente tossiche per le piante, dannose per il terreno o inquinanti per l'acqua di falda, un elemento da tener sempre presente quando si pratica irrigazione con acque di qualità non eccellente è sicuramente la salinità.

Dal punto di vista quantitativo per salinità si intende la concentrazione di sali solubili, che esprime la quantità dei composti chimici presenti in forma ionica.

I sali più frequentemente presenti nelle acque (ai quali si possono ascrivere i problemi legati alla salinità) sono: nitrati, cloruri, solfati, carbonati alcalino-terrosi di sodio, potassio, magnesio e calcio e alcuni singoli elementi come il boro, il cloro e il sodio. Alcuni di questi sali, come si vedrà in seguito, sono comunemente presenti nei reflui agroalimentari, in concentrazioni più o meno elevate.

La salinità, cioè la concentrazione totale di sali solubili, può essere misurata direttamente in stufa (mg L^{-1} o ppm) misurando i solidi totali disciolti (TDS, questo metodo è applicabile in assenza di carbonati), oppure attraverso la misura della conducibilità elettrica della soluzione (EC, mS cm^{-1} a 25°C). Per concentrazioni saline non molto elevate, inferiori al 3‰, è possibile utilizzare la relazione empirica:

$$\text{TDS (ppm)} = 640 \text{ EC (mS cm}^{-1}\text{)}$$

La concentrazione di sali solubili può vincolare, anche pesantemente, l'utilizzabilità delle acque per scopi irrigui. A questo proposito si riporta la classificazione delle acque, in base alla salinità, riportata dal decreto ministeriale 23 marzo 2000 recante *Approvazione dei metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico* che riprende la classificazione elaborata dallo United States Department of Agriculture (USDA, tabella 2.1).

Tabella 2.1. Classificazione delle acque di irrigazione sulla base della loro salinità (DM 23 marzo 2000).

Classe	Salinità	Concentrazione salina	
		EC	TDS
		μS	ppm
idonea per l'irrigazione di tutti i terreni e per tutte le colture; occorre un certo drenaggio	bassa	< 250	165
idonea solo se si realizza un moderato drenaggio, le piante moderatamente tolleranti la salinità possono crescere senza speciali pratiche di controllo della salinità.	media	250-750	165-500
non può essere usata in terreni con limitazione di drenaggio; anche con un drenaggio medio possono essere richieste speciali pratiche per il controllo della salinità e comunque le piante coltivate debbono presentare una buona tolleranza alla salinità.	alta	750-2250	500-1500
non idonea in linea generale all'irrigazione; può tuttavia essere usata occasionalmente ed in particolari situazioni e per terreni molto permeabili; il drenaggio deve essere efficiente e in quantità di acqua elevata per assicurare una notevole lisciviazione dei sali; possono essere coltivate solo piante molto tolleranti la salinità.	molto alta	2250-5000	1500-3200

Nel terreno i sali solubili più comuni sono i cationi calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) e sodio (Na^+) e gli anioni cloro (Cl^-), solfato (SO_4^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-). A questi si accompagnano, in molti terreni, quantità più ridotte di potassio (K^+), ammonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}).

Gli effetti dei sali sulle piante dipendono dall'aumento della pressione osmotica della soluzione circolante nel terreno, oltre che da fenomeni di fitotossicità. L'aggiunta di un sale ad una soluzione ne aumenta infatti la pressione interna; la dissoluzione di sali nella soluzione circolante del terreno comporta quindi che l'acqua si venga a trovare ad una pressione globale (potenziale idrico del terreno) superiore a quella che si aveva in precedenza o che si sarebbe avuta in assenza di sali. Quando il potenziale idrico del terreno raggiunge valori superiori alla forza di suzione, cioè alla forza con cui le piante possono assorbire, l'assunzione di acqua da parte delle piante non è più possibile, e quanto maggiore sarà il potenziale idrico del terreno, ovvero la tensione che agisce sulla soluzione circolante, tanto più difficile sarà per le piante la nutrizione idrica. In altre parole quanto più salina sarà la soluzione, tanto minore sarà l'acqua a disposizione delle piante, pur a parità di umidità del terreno. Tra le diverse specie esistono forti differenze relativamente alla tensione massima di suzione (tabella 2.2). Per questo motivo, le diverse specie sono diversamente resistenti a gradi diversi di salinità: quanto maggiore è il loro potere di suzione (tensione di suzione) tanto meglio esse riusciranno a far fronte all'aumento di pressione osmotica della soluzione.

Tabella 2.2. Tensione massima di assorbimento di alcune specie vegetali.

Coltura	Tensione massima di assorbimento
	atm
Barbabietola	16,0
Cotone	15,6
Erba medica	27,0
Girasole	14,3
Frumento	11,1
Mais	27,0
Tabacco	11,1
Trifoglio	16,0

La coltivazione in presenza di elevate quantità di sali solubili provoca una diminuzione della produzione potenziale delle diverse colture. Nelle tabelle 2.3 e 2.4 è riportata una stima delle riduzioni di resa delle più importanti colture erbacee ed arboree che sono da attendersi in conseguenza dell'impiego irriguo di acque saline (Ayres e Westcot, 1976).

Nella tabella 2.5 è illustrata una classificazione delle piante sulla base della loro resistenza alla salinità del terreno, determinata attraverso la conducibilità elettrica dell'estratto di saturazione (mS cm^{-1}) e corrispondente a decrementi delle rese del 50%.

La salinità non ha effetti solo sulle piante, ma anche sulle caratteristiche chimico-fisiche dei terreni. L'impiego di acque anomale può provocare l'acidificazione o l'alcalinizzazione di un terreno. L'acidificazione può derivare dalla presenza nelle acque di agenti chimici, che possono essere anioni (solfati, borati, clorati) o composti dello zolfo, oppure può essere determinata dal dilavamento progressivo dal terreno dei cationi Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . L'alcalinizzazione, invece, deriva dall'impiego di acque saline (es. ricche di sali di sodio, cloruri, carbonati e bicarbonati). Sono più suscettibili alla sali-

nità i terreni argillosi, soprattutto se ricchi di montmorillonite; i terreni più sciolti, infatti, sentono meno l'azione negativa dello ione sodio e vengono più facilmente dilavati nei periodi piovosi, trattando meno i sali (Giardini e Borin, 1988).

Generalmente nell'uso di acque salse in irrigazione si raccomanda di rispettare alcuni principi di fondo:

- limitare l'irrigazione in terreni sciolti;
- garantire permeabilità e ottimo drenaggio;
- ridurre l'evaporazione mediante ombreggiamento o coperture;
- irrigare frequentemente con alti volumi in modo da favorire il dilavamento.

Tabella 2.3. Riduzione percentuale della resa potenziale di colture erbacee di pieno campo in relazione alla salinità dell'acqua di irrigazione, espressa come conducibilità elettrica (mS cm^{-1}).

Coltura	Produzione potenziale			
	100%	90%	75%	50%
	mS cm^{-1}			
Orzo	5,0	6,7	8,7	12,0
Fagiolo	0,7	1,0	1,5	2,4
Fava	1,1	1,8	2,0	4,5
Mais	1,1	1,7	2,5	3,9
Pisello da foraggio	0,9	1,3	2,1	3,2
Lino	1,1	1,7	2,5	3,9
Arachide	2,1	2,4	2,7	3,3
Riso	2,0	2,6	3,4	4,8
Sorgo	2,7	3,4	4,8	7,2
Soia	3,3	3,7	4,2	5,0
Barbabietola da zucchero	4,7	5,8	7,5	10,0
Frumento	4,0	4,9	6,4	8,7
Erba medica	1,3	2,2	3,6	5,9
Orzo da foraggio	4,0	4,9	6,3	8,7
Trifoglio	1,0	2,1	3,9	6,8

Tabella 2.4. Riduzione percentuale della resa potenziale di ortive e arboree in relazione alla salinità dell'acqua di irrigazione, espressa come conducibilità elettrica (mS cm^{-1}).

Coltura	Produzione potenziale			
	100%	90%	75%	50%
	mS cm^{-1}			
Fagiolo	0,7	1,0	1,5	2,4
Bietola	2,7	3,4	4,5	6,4
Broccoli	1,9	2,6	3,7	5,5
Cavolo	1,2	1,9	2,9	4,6
Carota	0,7	1,1	1,9	3,1
Cetriolo	1,7	2,2	2,9	4,2
Lattuga	0,9	1,4	2,1	3,4
Cipolla	0,8	1,2	1,8	2,9
Peperone	1,0	1,5	2,2	3,4
Patata	1,1	1,7	2,5	3,9
Ravanello	0,8	1,3	2,1	3,4
Spinacio	1,3	2,2	3,5	5,7
Fragola	0,7	0,9	1,2	1,7
Pomodoro	1,7	2,3	3,4	5,0
Mandorlo	1,0	1,4	1,9	2,7
Melo e pero	1,0	1,6	2,2	3,2
Albicocco	1,1	1,3	1,8	2,5
Avocado	0,9	1,2	1,7	2,4
Palma da datteri	2,7	4,5	7,3	12,0
Vite	1,0	1,7	2,7	4,5
Pompelmo	1,2	1,6	2,2	3,3
Limone	1,1	1,6	2,2	3,2
Arancio	1,1	1,6	2,2	3,2
Pesco	1,1	1,4	1,9	2,7
Susino	1,0	1,4	1,9	2,8
Noce	1,1	1,6	2,2	3,2

Tabella 2.5. Classificazione di alcune specie vegetali coltivate sulla base della loro resistenza alla salinità del terreno. La salinità è determinata attraverso la conducibilità elettrica dell'estratto di saturazione, espressa in mS cm⁻¹ e corrispondente a decrementi delle rese del 50%.

Coltura	Resistenza		
	Alta	Media	Bassa
Ortive	ECe 10-12 barbabietola da orto; cavolo verza; asparago; spinacio.	ECe 4-10 pomodoro; broccolo; peperone; lattuga; patata; carota; cipolla; pisello; melone	ECe 3-4 radicchio; sedano; fagiolo; cipolla; cocomero; carota; fragola; lattuga; pisello
Pieno campo	ECe 10-16 orzo; barbabietola da zucchero; ravizzone; cotone	ECe 6-10 segale; frumento; riso; mais; lino; girasole; avena	ECe 4 fagiolo
Foraggiere	ECe 12-18 gramigna; orzo da foraggio; ginestrino	ECe 4-12 trifoglio da miele; sorgo selvatico; erba medica; segale da foraggio; avena altissima	ECe 2-4 trifoglio bianco; coda di volpe; trifoglio ibrido; trifoglio incarnato; trifoglio ladino; salvastrella maggiore
Arboree da frutto	ECe 12 palma da dattero	ECe 4 melograno; fico; olivo; vite	Ece 2 pero; melo; arancio; ananas; susino; prugno; mandorlo; albicocco; pesco; fragola; limone

In caso di irrigazione con acque saline è consigliabile utilizzare quantitativi di acqua superiori al fabbisogno irriguo; a tal fine si può ricorrere al calcolo del coefficiente di lisciviazione (Leaching Ratio) che indica la frazione di acqua irrigua da aggiungere al normale volume di adacquamento, affinché si possa avere la percolazione attraverso la zona interessata dalle radici e, di conseguenza, l'eliminazione dei sali apportati con l'irrigazione. Il coefficiente di lisciviazione è dato dalla seguente relazione:

$$LR = V_d/V_i = EC_i/EC_d$$

dove EC_i è la conducibilità elettrica dell'acqua irrigua, EC_d è la salinità massima tollerata nell'acqua di drenaggio, compatibilmente con le esigenze colturali, e V_d è il volume di acqua irrigua che si intende disperdere per drenaggio.

Il volume irriguo totale, che viene distribuito tenendo conto del fabbisogno di lisciviazione, sarà quindi dato dalla somma di V_i (volume stagionale di irrigazione necessario per soddisfare la richiesta irrigua della coltura) e di V_d .

Il metodo irriguo più idoneo per la distribuzione di acqua salina è quello dell'irrigazione a goccia, che permette di effettuare un'erogazione prolungata nel tempo, riducendo le perdite per evaporazione e prevenendo, di conseguenza, il concentrarsi dei sali. Per le colture di pieno campo e in terreni ben drenati, dove non si può effettuare la microirrigazione, è consigliabile adottare alti volumi di adacquamento, in modo da dilavare con l'acqua in eccesso i sali accumulati con l'intervento precedente.

Con metodi irrigui dotati di minore efficienza (ad es. lo scorrimento laterale da solchi o l'infiltrazione) si hanno in realtà perdite per percolazione profonda, che nel caso di acque saline sono da rite-

nersi fattori positivi. Se invece si effettua un'irrigazione a pioggia, che presenta maggiori perdite per evaporazione, sarà necessario accrescere ulteriormente il volume di irrigazione.

Sono, inoltre, consigliabili alcuni accorgimenti per prevenire l'accumulo di sali nel terreno:

- migliorare e regolarizzare la superficie del terreno per rendere più uniforme la distribuzione dell'acqua;
- modificare il profilo per migliorare la percolazione dell'acqua in profondità;
- adottare sistemi di smaltimento efficienti delle acque che percolano in profondità, per il controllo di eventuali falde salmastre,
- adottare sistemazioni idraulico-agrarie e lavorazioni del terreno finalizzate ad un efficiente e veloce allontanamento dell'acqua in eccesso,
- effettuare concimazioni organiche.

Nell'irrigazione con reflui provenienti da industrie alimentari, si dovrà tenere conto che si sta irrigando quasi sempre con acque saline, di classe di salinità elevata o elevatissima; pertanto dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti comunemente utilizzati nell'uso di acque salse.

2.3. Quantità relativa di ioni presenti

Il catione Na^+ , che è l'elemento più pericoloso in quanto dotato di una elevata tossicità diretta verso le piante e in grado di determinare una reazione fortemente alcalina nel terreno, satura le cariche presenti sulla superficie dei colloidi argillosi, provocandone la dispersione con danni alla struttura del terreno. Il sodio nel terreno è in competizione per i siti colloidal di assorbimento con gli altri cationi, in particolare Ca^{2+} e Mg^{2+} , ed è influenzato dalla concentrazione di quegli anioni che possono provocare la sua precipitazione (carbonati e bicarbonati). Per questi motivi non è possibile valutare gli effetti del sodio basandosi solo sulla sua concentrazione, ma occorre prendere in esame anche la concentrazione degli altri ioni che interagiscono con esso.

L'indice SAR (Sodium Adsorption Ratio), mettendo in relazione il contenuto di sodio con quello di calcio e magnesio, fornisce indicazioni sul rischio di sostituzione dei cationi bivalenti da parte del sodio e cioè del rischio di sodicizzazione di un terreno. Il SAR non tiene conto del potassio, elemento sempre presente in misura trascurabile nelle acque.

La sostituzione di ioni bivalenti (ad esempio Ca^{2+} o Mg^{2+}) con il Na^+ provoca una destrutturazione delle argille che hanno bisogno di questi elementi per mantenere la propria struttura. Il SAR può quindi incidere sullo scambio cationico e sull'interazione tra suolo e radici, provocando effetti simili a quelli indotti da un'eccessiva salinità, con significative cadute di produttività. Le acque alcaline sono ricche di carbonato di sodio mentre quelle salmastre sono ricche di cloruro di sodio. A parità di concentrazione di sodio, pertanto, le prime sono più dannose, a causa della presenza dei carbonati.

L'indice SAR è dato dalla seguente relazione:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}{2}}}$$

dove le concentrazioni ioniche sono espresse in meq L^{-1} .

Una scala di accettabilità dell'acqua irrigua in funzione del relativo valore di SAR è riportata in tabella 2.6.

Tabella 2.6. Utilizzabilità dell'acqua in funzione dell'indice SAR (DM 23 marzo 2000).

SAR	Alcalinità	Utilizzabilità
0-10	Bassa	Senza danno in quasi tutti i terreni
10-18	Media	Presenta un apprezzabile pericolo di sodicizzazione in terreni di fine tessitura e con alta capacità di scambio, specialmente in condizioni di scarso drenaggio e se il gesso non è presente; acqua da usare in terreni di tessitura grossolana o sensibilmente organici con buona permeabilità.
18-26	Alta	può produrre livelli nocivi di sodio scambiabile nella maggior parte dei terreni ed il suo uso richiede speciali trattamenti che inducano un ottimo drenaggio ed elevata lisciviazione, oltre a somministrazioni di sostanza organica umificata; i terreni gessiferi non sviluppano in genere livelli nocivi di sodio scambiabile se irrigati con tale acqua; possono essere richiesti ammendanti chimici per la sostituzione del sodio di scambio, eccetto che non si tratti già di acqua di elevata salinità.
>26	Molto Alta	generalmente non idonea per fini irrigui, eccettuato il caso di acqua di bassa e anche media salinità, nel quale la dissoluzione di calcio del terreno o l'uso di gesso (o altri ammendanti) può rendere possibile l'uso di tali acque.

Relativamente ai limiti di accettabilità per l'uso irriguo, il DM 185/2003 fissa, ai fini del riutilizzo delle acque reflue depurate, un valore limite per l'indice SAR pari a 10.

Sul dinamismo tra sodio e calcio e magnesio possono influire, come precedentemente accennato, i carbonati ed i bicarbonati. Il carbonato, poco solubile, tende a precipitare i cationi della soluzione, in particolare i bivalenti (Ca^{2+} e Mg^{2+}). Molto più solubile è invece il bicarbonato, ma anch'esso fa precipitare il Ca^{2+} e il Mg^{2+} , seppure in misura minore.

Acque ricche di carbonato o di bicarbonato alterano quindi il rapporto SAR, facendolo aumentare. Ugualmente, terreni ricchi di carbonati o di bicarbonati possono fare precipitare il calcio ed il magnesio presenti nell'acqua distribuita con l'irrigazione. Carbonati e bicarbonati non reagiscono solo con calcio e magnesio; con l'esaurimento di questi cationi, essi spostano, infatti, la loro azione sul sodio; nel caso in cui i carbonati ed i bicarbonati siano stechiometricamente esuberanti rispetto a Ca^{2+} e Mg^{2+} , si può avere, quindi, la formazione di carbonato di sodio con conseguente alcalinizzazione del terreno. Per la valutazione degli effetti dell'acqua nei confronti del terreno si ricorre, di solito, al calcolo del RSC (Residual Sodium Carbonate, ovvero Carbonato di Sodio Residuale) riferito all'acqua:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

dove le concentrazioni ioniche sono espresse in meq L^{-1} .

Se il valore risultante è negativo, significa che non tutta la dotazione iniziale di calcio e magnesio sarà precipitata, ma parte resterà, per così dire, «attiva» nella competizione con il sodio. Se la diffe-

renza risulta invece positiva si avrà formazione di bicarbonato di sodio e alcalinizzazione del terreno; il sodio che esubera dalla reazione stechiometrica avrà campo libero per i siti di adsorbimento, con possibilità più o meno concrete di peptizzazione delle argille. La possibilità di utilizzo dell'acqua è, pertanto, condizionata dalla quantità di carbonato di sodio residuo che si forma. Sono considerate utilizzabili, così come riportato dal DM 23 marzo 2000 relativo ai *Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico*, le acque con un contenuto di carbonato di sodio residuo inferiore a $1,25 \text{ meq L}^{-1}$, parzialmente utilizzabili quelle con un contenuto compreso tra $1,25 \text{ meq L}^{-1}$ e $2,50 \text{ meq L}^{-1}$ e non idonee quelle con un valore maggiore di $2,50 \text{ meq L}^{-1}$.

L'indice SAR, pur consentendo di valutare l'effetto della sodicizzazione sulla permeabilità e sul drenaggio, non tiene, tuttavia, conto delle possibili variazioni di concentrazione che possono verificarsi nella fase liquida in seguito a fenomeni di precipitazione del carbonato di calcio e di magnesio. Infatti, mentre il sodio presente nella fase liquida rimane comunque solubile ed in equilibrio con il sodio di scambio, per quanto riguarda il calcio ed il magnesio, i fenomeni di dissoluzione sono chiaramente favoriti dalla diluizione e dalla presenza di CO_2 mentre i fenomeni di precipitazione si verificano tutte le volte in cui la concentrazione di ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} e di ioni CO_3^{2-} , HCO_3^- e SO_4^{2-} è sufficiente a determinare il superamento del valore del prodotto di solubilità del CaCO_3 o del CaSO_4 . La precipitazione e la dissoluzione possono, pertanto, aver luogo subito dopo l'intervento irriguo ed essere influenzate dalla concentrazione della fase liquida del terreno piuttosto che dalla concentrazione del calcio in soluzione. L'indice SAR, non tiene conto di tali possibili eventi e per tale ragione, esso è stato considerato non del tutto idoneo nella valutazione della qualità delle acque ricche in bicarbonato; è stato, quindi, introdotto, per l'analisi di tali acque, un indice SAR corretto (SARc):

$$\text{SARc} = \text{SAR} \times [1 + (8,4 - \text{pHc})]$$

dove il pHc rappresenta il pH dell'acqua irrigua in equilibrio con la CO_2 del terreno ed in contatto con carbonato di calcio. Esso viene così calcolato:

$$\text{pHc} = x + y + z$$

dove x, y e z possono essere ricavati da una apposito abaco (tabella 2.7) dopo aver determinato in laboratorio le concentrazioni nell'acqua irrigua degli ioni: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- . Il valore di x viene trovato nella tabella in corrispondenza del valore della somma delle concentrazioni di Na^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} , y in corrispondenza della somma di Mg^{2+} e Ca^{2+} e z in corrispondenza della somma di CO_3^{2-} e HCO_3^- . Valori di pHc superiori ad 8,4 indicano una tendenza dell'acqua irrigua a sciogliere il calcare del suolo, mentre valori inferiori ad 8,4 indicano una tendenza dell'acqua a lasciar precipitare il calcare nel suolo.

Tabella 2.7. Parametri per il calcolo di pHc, per differenti valori della concentrazione ionica (DM 23 marzo 2000).

Somma delle concentrazioni (meq L ⁻¹)	x	y	Z
0,05	2,0	4,6	4,3
0,10	2,0	4,3	4,0
0,15	2,0	4,1	3,8
0,20	2,0	4,0	3,7
0,25	2,0	3,9	3,6
0,30	2,0	3,8	3,5
0,40	2,0	3,7	3,4
0,50	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1,00	2,1	3,3	3,0
2,00	2,1	3,2	2,9
1,50	2,1	3,1	2,8
2,00	2,2	3,0	2,7
2,50	2,2	2,9	2,6
3,00	2,2	2,8	2,5
4,00	2,2	2,7	2,4
5,00	2,2	2,6	2,3
6,00	2,2	2,5	2,2
8,00	2,3	2,4	2,1
10,0	2,3	2,3	2,0
12,5	2,3	2,2	1,9
15,0	2,3	2,1	1,8
20,0	2,3	2,0	1,7
30,0	2,4	1,8	1,5
50,0	2,5	1,6	1,3
80,0	2,5	1,4	1,1

Per i terreni calcarei, la correzione del SAR può essere fatta utilizzando il metodo proposto da Suarez e Rhoades nei primi anni 80. Tale metodo prevede una correzione dell'equazione dell'indice SAR che valuta la concentrazione delle specie ioniche dopo l'intervento irriguo e tiene conto dell'effetto della CO₂ di HCO₃⁻ nonché della conducibilità elettrica dell'acqua (ECa) sul calcio che, presente nell'acqua utilizzata per l'irrigazione, entra a far parte del sistema acqua-terreno. Il nuovo parametro prende il nome di "nuovo SAR aggiustato" ed è utilizzato per controllare in maniera migliore eventuali problemi di permeabilità nel terreno. L'equazione per il calcolo è la seguente:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca_x^{2+} + Mg^{2+})}{2}}}$$

dove Ca_x^{2+} è la concentrazione di calcio modificata in relazione alla conducibilità elettrica ECa dell'acqua irrigua, al rapporto HCO_3^- / Ca^{2+} della stessa ed alla pressione parziale dell'anidride carbonica nei primi millimetri della superficie del terreno stimata pari a 0,07 kPa. Il valore di Ca_x^{2+} può essere ricavato dalla tabella 2.8.

Tabella 2.8. Abaco per il calcolo del valore di Ca_x^{2+} secondo Suarez e Rhoades (DM 23 marzo 2000).

HCO_3^-/Ca^{2+}	ECa dell'acqua irrigua (dS m ⁻¹)											
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.15	1.58
2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37
30.00	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28

Il sodio, oltre a determinare una reazione fortemente alcalina nel terreno è anche dotato di elevata tossicità diretta verso le piante.

Un eccesso di sodio rispetto ai cationi calcio e magnesio è tanto più pericoloso quanto maggiore è la salinità dell'acqua. Per giudicare un'acqua ai fini dell'irrigazione è quindi opportuno prendere in esame sia la concentrazione totale di sali solubili sia il SAR, utilizzando, rispettivamente, le classificazioni riportate in Tabella 2.1 ed in Tabella 2.6

Come già precedentemente accennato, il contenuto di sodio, oltre ad essere causa di tossicità diretta verso le piante, può essere molto dannoso per la struttura dei terreni argillosi; valutare i possibili problemi dovuti a questo elemento solo sulla base della sua concentrazione è però limitativo perché si devono considerare molto attentamente anche le implicazioni derivanti dai rapporti con gli altri ioni contenuti nel terreno.

La possibilità di rischio di peptizzazione delle argille, ad esempio, può essere stimata determinando un indice detto di saturazione percentuale in sodio (Sodium Percentage = SP, o anche e più spesso Exchangeable Sodium Percentage=ESP):

$$SP = \frac{Na^+}{(Na^+ + K^+ + Mg^{++} + Ca^{++})} \times 100$$

dove le concentrazioni ioniche sono espresse in meq e sono riferite a 100 g di terreno secco.

Relativamente al sodio presente in un terreno, l'indice ESP (Exchangeable Sodium Percentage) indica, quindi, il rapporto percentuale tra sodio scambiabile e capacità di scambio cationico. Se l'ESP è superiore al 15% sono da temere danni da sodio.

Irrigando un terreno con un'acqua contenente cationi in soluzione si modificheranno i rapporti tra di essi, alterando così l'ESP originario del terreno. L'ESP può servire anche per valutare eventuali rischi di fitotossicità da sodio (tabella 2.9).

Tabella 2.9. Classi di tolleranza di alcune colture agrarie al sodio scambiabile.

Classe	ESP (%)	Coltura
Estremamente sensibili	2-10	Pomacee, drupacee, noce, nocciolo, agrumi, specie legnose forestali
Sensibili	10-20	Fagiolo
Moderatamente sensibili	20-40	Trifoglio, avena, riso
Resistenti	40-60	Erba medica, orzo, pomodoro, frumento, barbabietola

2.4. Cloro libero/cloruri

Il cloro viene impiegato nella pulizia degli impianti e degli ambienti e per questo motivo si può trovare facilmente negli effluenti dell'industria alimentare. Il cloro-residuo libero non porta normalmente a conseguenze per le colture se la sua concentrazione non eccede 1 mg L^{-1} , anche se alcune specie appaiono sensibili già a concentrazioni inferiori a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, mentre è sempre dannoso se supera 5 mg L^{-1} (Marchetti, 1962). I cloruri provocano gli stessi effetti, o molto simili (clorosi fogliare), ma a concentrazioni molto superiori; per confronto si cita la concentrazione massima consigliata per l'irrigazione per aspersione su colture sensibili che è posta pari a 200 mg L^{-1} (Sanna, 1982).

Valori limite per il cloro sono espressamente previsti dal decreto ministeriale 185/2003 sul riutilizzo delle acque reflue depurate. Per quanto concerne il cloro attivo il valore massimo di concentrazione viene fissato a $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ mentre il contenuto massimo ammissibile, per quanto riguarda i cloruri, viene posto a 250 mg Cl L^{-1} .

Alcuni dati di letteratura relativi ai limiti di sicurezza dell'acqua di irrigazione, in relazione al contenuto di cloruri, alla tolleranza delle colture ed alla tessitura del terreno (tabella 2.10), sembrerebbero indicare che acque con un contenuto di 100 mg L^{-1} di cloruri iniziano a dare problemi su colture molto sensibili e terreni sabbiosi solo a dosi superiori a $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Per colture sensibili non sono, però, ammissibili acque con un contenuto di cloruri superiore a 200 mg L^{-1} .

La pericolosità dei cloruri, comunque, dipende anche dal metodo irriguo applicato, poiché la fitotossicità si manifesta prevalentemente con la bagnatura della vegetazione, e dalla sensibilità della specie coltivata (tabella 2.11). Secondo Giardini (2002) i limiti possono essere aumentati del 30% qualora si impieghino metodi irrigui che non bagnano la parte aerea delle piante.

Tabella 2.10. Quantitativi massimi utilizzabili di acqua di irrigazione, in relazione alla loro concentrazione di cloruri, alla tolleranza delle colture ed alla tessitura del terreno (Sanna, 1982).

Tolleranza delle colture	Terreno				
	Cloruri	Sabbioso grossolano	Sabbioso fine o argillo-	Sabbioso finissimo	Torboso
	mg L^{-1}	mm			
Molto sensibili					
Fagiolini, piselli, fragole, more, prugne, aza-lee, fresie, ortensie	100	64	89	108	133
	200	32	44	51	64
	>200	Irrigazione non ammissibile			
Mediamente sensibili					
melo, pero, ribes rosso, lampone, ravanello, sedano, lattuga, cipolla, trifoglio, mais, fava, erba mazzolina, astro, gladiolo, rosa, tulipano, narciso	100	140	190	235	254
	200	70	95	114	140
	300	44	64	76	95
	>300	Irrigazione non ammissibile			
Poco sensibili					
Ribes nero, viti, carote, cavolfiori, broccoli, patate, cavoli, frumento, avena, segale, loglio, erba medica, garofani, crisantemi, violaciocche	100	254	254	254	254
	200	133	184	229	254
	300	89	121	152	184
	400	64	89	114	133
	500	51	70	89	108
	>500	Irrigazione non ammissibile			
Pochissimo sensibili					
Asparagi, spinaci, barbabietole rosse, rape, barbabietole da zucchero, orzo, bietole da foraggio	100	254	254	254	254
	200	235	254	254	254
	300	159	210	254	254
	400	114	159	191	235
	500	85	127	159	191
	600	76	108	127	159
	>600	Irrigazione non ammissibile			

Tabella 2.11. Limiti di utilizzazione delle acque di irrigazione conseguenti alla presenza di cloruri (direttive valide per le colture sensibili) (Ayles e Westcot, 1976).

Metodo irriguo	Limiti di utilizzazione		
	Impiego senza limiti	Limitazioni crescenti	Limitazioni gravi
	meq L ⁻¹		
Superficiale	<4	4-10	>10
Aspersione	<3	>3	-

2.5. Metalli

Molti metalli (ferro, manganese, boro, selenio, zinco, rame, ecc.) sono micronutrienti essenziali per il metabolismo vegetale, mentre possono esercitare effetti tossici, se presenti in elevata concentrazione. Altri, come il mercurio e il piombo, sono altamente tossici e non hanno nessuna funzione riconosciuta utile allo svolgimento naturale dei processi biologici. In natura essi sono soggetti a trasformazioni chimiche, fisiche e biologiche che possono portare alla formazione di composti altamente tossici.

Quando si irriga con acque contenenti metalli pesanti, questi elementi possono essere assorbiti dalle piante o accumularsi nel terreno. Nel primo caso si può arrivare a morte della pianta, quando l'elemento sia stato assorbito in dosi superiori alla soglia di tossicità, oppure alla contaminazione della catena alimentare quando l'elemento sia stato assorbito ed accumulato nei tessuti che costituiscono la parte edule del prodotto agrario (questo caso si può verificare quando si sono avuti anche solo decrementi di resa per fitotossicità del metallo). Nel caso in cui le parti della pianta non eduli vengano interrate, oppure le piante muoiano per fitotossicità, si ha la restituzione e l'accumulo del metallo nel terreno; in questo caso non sono rari gli episodi di contaminazione delle falde acquifere per migrazione degli elementi in profondità.

Le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche del terreno condizionano pesantemente l'evoluzione dei metalli pesanti verso l'immobilizzazione o verso la disponibilità all'assorbimento da parte delle colture. Condizioni favorevoli alla immobilizzazione dei metalli pesanti nel terreno sono: l'elevata presenza di sostanza organica (alla quale è attribuita la capacità di legare tali elementi), la presenza di colloidali minerali ad elevata capacità di scambio cationico, i fenomeni di antagonismo tra ioni (ad esempio il P tende a diminuire l'assorbimento di Zn e Cr, Giardini et al., 1993). Sono invece favorevoli ad una mobilizzazione dei metalli pesanti e quindi ad un loro assorbimento da parte delle piante, una reazione acida del terreno, condizioni di scarsa aerazione e fenomeni di sinergismo tra ioni. Sulla mobilità degli ioni, in termini di immobilizzazione o mobilizzazione, influiscono, infine, la temperatura e l'umidità.

Tra i metalli pesanti, gli elementi più pericolosi sembrano essere il Cd, il Cu e lo Zn, sia perché sono generalmente apportati in quote superiori ad altri metalli, sia perché sono assorbiti o traslocati dai vegetali. Altri elementi, fra cui, ad es. il Cr, si riscontrano più raramente nelle piante, anche se si trovano più frequentemente presenti nel terreno.

Nella tabella 2.12. sono riportati gli effetti tossici espliciti da alcuni elementi presenti nelle acque di irrigazione nei confronti di specie vegetali sensibili.

Tabella 2.12. Effetti esplicati da alcuni elementi chimici nelle acque di irrigazione.

Elemento	Effetti
Alluminio	Nei suoli acidi ($\text{pH} \leq 5,5$) può esplicare effetti fitotossici, con riduzione delle produttività delle colture, mentre nei suoli alcalini ($\text{pH} \geq 7$) lo ione può precipitare, scomparendo così qualsiasi effetto tossico
Arsenico	La sua tossicità nei confronti delle differenti specie vegetali varia sensibilmente ed oscilla da 12 mg L^{-1} per alcune foraggiere sino a $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ per il riso
Berillio	La tossicità varia sensibilmente da specie a specie, tra 5 mg L^{-1} per il cavolo e $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ per il fagiolo nano
Boro	Vedi tabella 2.14.
Cadmio	Tossico per il fagiolo, la barbabietola, e la rapa, a concentrazioni $< 0,1 \text{ mg L}^{-1}$. I limiti di sicurezza raccomandati sono dovuti al fatto che esso può accumularsi nei tessuti vegetali e nei terreni fino a raggiungere concentrazioni pericolose per l'uomo.
Cobalto	Tossico per il pomodoro a livelli $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ nella soluzione nutritiva. Nei suoli neutri ed alcalini tende a divenire inattivo.
Rame	Risulta tossico nei confronti di numerose specie vegetali in concentrazione dell'ordine di $0,1-1,0 \text{ mg L}^{-1}$
Fluoro	Viene inattivato nei suoli neutri o alcalini
Ferro	Non è tossico nei suoli ben areati ma può contribuire ai processi di acidificazione che abbassano la disponibilità di elementi essenziali quali fosforo e molibdeno.
Litio	E' tollerato dalla maggior parte delle specie agrarie fino a concentrazioni dell'ordine di 5 mg L^{-1} . Caratterizzato da notevole mobilità nel suolo, è tossico per gli agrumi anche a concentrazioni inferiori a $0,075 \text{ mg L}^{-1}$. Agisce in modo simile al boro.
Manganese	E' tossico per molte colture anche in concentrazioni di qualche decimo di milligrammo per litro, ma ciò avviene usualmente solo nei suoli acidi
Molibdeno	Non è tossico per i vegetali alle normali concentrazioni naturali nel suolo o nelle acque. Può diventare tossico per il foraggio coltivato in suoli ad elevato contenuto in Mb assimilabile. Per suoli acidi il limite è di $0,05 \text{ mg L}^{-1}$
Nichel	Tossico per un gran numero di piante da $0,5$ a 1 mg L^{-1} . La tossicità diminuisce nei suoli neutri o alcalini.
Piombo	A concentrazioni molto alte può inibire lo sviluppo cellulare
Selenio	Tossico per le piante a concentrazioni inferiori a $0,025 \text{ mg L}^{-1}$, e per il bestiame alimentato con foraggio proveniente da suoli con contenuto in selenio superiore al normale. E' un elemento essenziale per gli animali, ma a concentrazioni molto basse
Vanadio	Tossico per molte piante anche a concentrazioni molto basse
Zinco	Tossico per molte piante a concentrazioni molto diverse. La tossicità diminuisce per valori di pH superiori a 6,0 e nel caso di suoli a tessitura argillosa o ricchi di sostanza organica

L'impiego irriguo continuativo di acque contenenti metalli pesanti è attuabile, secondo Branson et al. (1975), qualora le concentrazioni di tali metalli non superino i limiti riportati in tabella 2.13 (concentrazioni che risultano coerenti con i valori limite riportati per tali composti dal DM 185/2003). In caso contrario è necessario, oltre ad utilizzare le acque in maniera saltuaria, ridurre i volumi di adacquamento, adottare sistemi irrigui più efficienti e avvicendare sullo stesso appezzamento colture asciutte e irrigue in modo tale da diluire nel tempo il quantitativo di sostanze tossiche.

Tabella 2.13. Concentrazioni massime di metalli pesanti nelle acque di irrigazione in relazione all'uso continuo o saltuario.

Elemento	Uso continuo	Uso saltuario
	mg L ⁻¹	
Alluminio	5	20
Arsenico	0,1	2
Berillio	0,1	0,5
Boro	0,75	2-10
Cadmio	0,01	0,05
Cromo	0,1	1,0
Cobalto	0,05	5,0
Rame	0,2	5,0
Fluoro	1	15
Ferro	5	20
Piombo	5	10
Litio	2,5	2,5
Manganese	0,2	10
Molibdeno	0,01	0,05
Nichel	0,2	2
Selenio	0,02	0,02
Vanadio	0,1	1
Zinco	2	10

2.6. Boro

Il boro pur essendo un elemento essenziale per gli organismi vegetali, può risultare tossico già a concentrazioni molto basse. Per molte specie agrarie è in grado di esercitare effetti tossici a concentrazioni dell'ordine di 0,75 mg L⁻¹, mentre la sua tossicità diventa praticamente generalizzata a partire da concentrazioni di 1,5 mg L⁻¹ (tabella 2.14).

Tabella 2.14. Limiti di tolleranza del boro nell'acqua di irrigazione (Sanna, 1982).

Colture sensibili		Colture semi-tolleranti		Colture tolleranti	
1,0 mg L ⁻¹	Prugna	2,0 mg L ⁻¹	Patata	4,0 mg L ⁻¹	Asparagio
	Pero		Pomodori		Bietola
	Melo		Ravanello		Bietola da foraggio
	Ciliegio		Pisello		Erba medica
	Ribes nero		Orzo		Fava
	Fragola		Frumento		Cipolla
0,5 mg L ⁻¹	Lampone	1,0 mg L ⁻¹	Mais	2,0 mg L ⁻¹	Cavolo
			Avena		Lattuga
					Carota

Il boro, contenuto nei detersivi di uso domestico come il perborato di sodio, può essere presente in quantità rilevante nei reflui civili, anche in considerazione del fatto che gli interventi depurativi tradizionali incidono solo marginalmente sulla sua concentrazione.

A questo proposito si segnala che un'indagine svolta su 10 impianti dell'area milanese ha portato a rilevare un valore medio annuo di concentrazione di boro negli effluenti pari a $0,76 \text{ mg L}^{-1}$, con punte fino a $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ (Mezzanotte et al., 1995).

Per quanto concerne il riutilizzo delle acque reflue depurate il limite di concentrazione per il boro viene posto, dal DM 185/2003, ad 1 mg L^{-1} valore che ne consente l'utilizzo irriguo su quasi tutte le colture ad eccezione di quelle particolarmente sensibili.

Benché i suoi composti siano solubili, il boro può accumularsi nel terreno peggiorando ulteriormente la situazione: un controllo effettuato su parcelle di terreno irrigato con acque reflue depurate contenenti fino a $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ di boro ha portato a rilevare incrementi fino al 400% del contenuto in boro del terreno, rispetto ai valori delle parcelle di controllo irrigate con acqua (Barbagallo et al., 1996).

2.7. Tensioattivi sintetici

I tensioattivi sono macromolecole organiche, composte da una catena idrofoba e da un gruppo idrofilo, che tendono ad accumularsi in corrispondenza dell'interfaccia tra le diverse fasi non miscibili modificando le proprietà chimico-fisiche della superficie (diminuzione della tensione superficiale, potere schiumogeno, ecc.) e stabilizzando le emulsioni oleose. La catena idrofoba, infatti, interagisce con la componente oleosa formando micelle o microemulsioni che risultano solubili in acqua per mezzo del gruppo idrofilo. I tensioattivi possono trovarsi facilmente nelle acque di lavaggio, essendo i costituenti principali dei detersivi, e possono essere suddivisi in anionici, cationici, non ionici ed anfolitici, in base al comportamento elettrochimico.

La maggior parte dei detersivi contiene tensioattivi di tipo anionico, costituiti da sali di sodio, la cui ionizzazione porta alla formazione di Na^+ e di una macromolecola organica con carica negativa. I tensioattivi cationici sono, invece, costituiti da sali di ammonio quaternario e possiedono uno o più gruppi funzionali che in acqua si caricano positivamente. Sono scarsamente utilizzati come detersivi ma hanno proprietà disinfettanti e germicide. I tensioattivi non ionici, dal canto loro, sono molecole che non si ionizzano in soluzione acquosa ma la cui solubilità è dovuta alla presenza di gruppi polari con forte affinità per l'acqua. Sono prevalentemente utilizzati nei processi produttivi (farmaceutica, metallurgia, ecc.) e nelle polveri per bucato a basso potere schiumogeno.

In ogni caso, a prescindere dalla tipologia, si tratta di sostanze che necessitano di tempi lunghi per la degradazione microbiologica e quindi potenzialmente tossiche.

La presenza di tensioattivi nelle acque di irrigazione può provocare danni al terreno e alle piante, a causa dell'abbassamento della tensione superficiale dell'acqua ed una alterazione degli scambi gassosi a livello aria-acqua (Mendia, 1970; Albergoni, 1979). A causa dell'effetto negativo sulla disponibilità di ossigeno nel terreno vengono inibite alcune attività microbiologiche, come ad esempio quella della nitrificazione, in relazione all'effetto tossico per alcuni microrganismi del terreno (Goldberg Federico, 1968 e 1969). Sulle piante poi, sono stati rilevati, in alcuni casi, rallentamenti della germinazione e dell'accrescimento (Goldberg Federico, 1968 e 1969; Giardini e Borin, 1988). Un'altra azione negativa dei tensioattivi è quella di ridurre il potere di ritenzione dell'acqua, e di causare quindi un drenaggio più elevato (favorevole nel caso di stagioni piovose, ma sfavorevole nel caso di siccità).

Secondo la classificazione delle acque per usi irrigui elaborata da Giardini et al. (1993), una concentrazione di tensioattivi inferiore a $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ consente di inserire l'acqua nella Classe I, che permette l'esercizio irriguo continuo senza limitazioni considerando un volume irriguo stagionale medio annuo pari a 500 mm. Se la concentrazione di tensioattivi è compresa tra $0,5$ ed 1 mg L^{-1} l'acqua viene inserita nella Classe II, che comprende acque utilizzabili continuativamente per l'irrigazione a patto però di ridurre il volume irriguo stagionale. Quando la concentrazione è compresa tra 1 e 2 mg L^{-1} le acque sono utilizzabili solo in maniera saltuaria (Classe III) e solo per irrigazioni di soccorso su colture tolleranti. Quando infine la concentrazione supera i 2 mg L^{-1} l'acqua diventa non utilizzabile (Classe IV).

Per quanto riguarda i limiti normativi, si segnala che il DM 185/2003 fissa, per quanto attiene le acque reflue depurate destinate al riutilizzo, una concentrazione massima di tensioattivi di $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ che colloca le suddette acque, con riferimento a tale parametro, tra quelle di Classe I in base alla classificazione di Giardini et al.

2.8. Composti dell'azoto

L'azoto può trovarsi nei reflui in diverse forme: come nitrito, nitrato, ammonio, composti organici (proteine e prodotti della loro decomposizione, come amminoacidi, basi organiche ed urea). Esso, come nitrato ed in misura minore come ammoniaca, rappresenta un nutriente essenziale per le piante; tuttavia l'eccessivo apporto di azoto, derivante dall'utilizzo di fertilizzanti, può essere causa di inquinamento delle acque, in seguito a fenomeni di percolazione profonda dei nitrati, e può provocare, in combinazione con i composti fosforici, fenomeni di eutrofizzazione.

Il rischio di lisciviazione dell'azoto è legato, oltre che al carico di azoto nitrico presente nel refluo, al fabbisogno di azoto delle colture ed alle caratteristiche climatiche (altezza, intensità e distribuzione delle piogge) e pedologiche (tessitura, struttura, porosità).

L'apporto al terreno di composti azotati è generalmente di gran lunga inferiore rispetto a quello derivante dalle normali concimazioni. Pertanto gli effetti dell'utilizzo dei reflui, da ritenersi positivi, sono prevalentemente di natura economica, comportando un risparmio nelle concimazioni.

Si segnala, a tal proposito, che il DM 185/2003 fissa, per le acque reflue recuperate destinate al riutilizzo, concentrazioni limite per l'azoto totale e ammoniacale, rispettivamente, pari a 15 mgN L^{-1} e $2 \text{ mgNH}_4 \text{ L}^{-1}$. Fermo restando quanto previsto dal decreto stesso per le zone vulnerabili, ovvero che l'utilizzo delle acque reflue concorre al raggiungimento dei carichi massimi di azoto ammissibili, il valore limite di concentrazione dell'azoto totale può essere innalzato a 35 mgN L^{-1} .

2.9. Composti del fosforo

Il fosforo, come l'azoto, costituisce un elemento essenziale per la crescita delle piante, ma un suo eccessivo apporto, assieme a quello di sali di azoto, può provocare fenomeni di eutrofizzazione, specialmente nei corpi idrici recettori delle acque superficiali.

Il fosforo si trova spesso nei reflui dell'industria agroalimentare, per la sua presenza sia nelle acque di processo che in quelle di lavaggio degli impianti (componente dei detersivi). Esso può essere presente in forma organica ed inorganica, allo stato solubile e colloidale ed allo stato insolubile.

L'ortofosfato, o fosforo solubile reattivo, è la forma biologicamente attiva e spesso rappresenta un fat-

tore nutritivo limitante. Per tale ragione esso si trova nelle comuni formulazioni dei fertilizzanti. Il ciclo del fosforo, non ha una fase gassosa e questo ne comporta, in sistemi naturali, una progressiva perdita, nei sedimenti dei corpi idrici. A ciò contribuisce il fatto che, a differenza dell'azoto, il fosforo nel terreno tende a trasformandosi rapidamente nelle forme insolubili di fosfati di ferro e di alluminio in ambiente acido e di fosfati calcici in ambiente basico, risultando, di conseguenza, poco mobile.

Come per i composti azotati, anche per i composti fosforici l'apporto al terreno con i reflui è generalmente di gran lunga inferiore rispetto a quello derivante dalle normali concimazioni.

Per quanto attiene le acque reflue provenienti dai depuratori il DM 185/2003 fissa, ai fini del riutilizzo delle stesse, un valore limite di concentrazione del fosforo di 2 mg P L^{-1} elevabile a 10 mg P L^{-1} .

2.10. Composti dello zolfo

Lo ione solfato si trova, come elemento naturale, nella maggior parte delle risorse idriche e rappresenta un componente dei reflui, in particolar modo di quelli provenienti dal circuito di depurazione delle acque urbane. I solfati si formano dalla degradazione delle sostanze organiche contenenti zolfo e, in ambiente anaerobico, vengono ridotti a solfuri, caratterizzati da un effetto tossico più forte di quello dei solfati. Il solfuro combinato con l'idrogeno forma l'acido solfidrico (H_2S), la cui reazione di formazione è regolata dal pH. In campo alcalino, ovvero per valori di pH superiori ad 8, quasi tutto lo zolfo si trova nella forma ionica HS^- o S^{2-} e la pressione parziale dell' H_2S risulta essere bassa; già a pH uguale a 7, tuttavia, circa l'80% dello zolfo è presente in forma non ionizzata con rilascio di gas in atmosfera accompagnato dall'insorgenza di cattivi odori.

I solfiti, dal canto loro, sono presenti, in particolar modo, nei reflui dell'industria enologica e negli effluenti derivanti dalla canditura della frutta. Hanno un'azione riducente e batteriostatica e alterano la capacità ossidativa del terreno.

La pericolosità dei composti dello zolfo, comunque, dipende prevalentemente dal metodo irriguo, poiché la fitotossicità si manifesta prevalentemente con la bagnatura della vegetazione, e dalla sensibilità della specie coltivata. Si riporta a questo proposito una stima delle conseguenze sulla vegetazione derivanti dalla presenza di solfati nelle acque irrigue (tabella 2.15).

Tabella 2.15. Valutazione delle influenza sulla vegetazione della concentrazione di solfati (mg L^{-1}) contenuti nelle acque irrigue.

Metodo irriguo	Influenza sulla vegetazione		
	Nessuna	Probabile	Certa
	mg L^{-1}		
Irrigazione sopra chioma	<100	100-150	>150
Irrigazione sotto chioma	<2500	2500-4000	>4000

Il DM 185/2003 fissa per le acque depurate destinate al riutilizzo i seguenti valori limite per i diversi composti dello zolfo: $0,5 \text{ mg H}_2\text{S L}^{-1}$ per i solfuri, $0,5 \text{ mg SO}_3 \text{ L}^{-1}$ per i solfiti e $500 \text{ mg SO}_4 \text{ L}^{-1}$ per i solfati.

2.11. Fenoli

I fenoli sono molecole organiche complesse che, oltre ad inibire la degradazione dei lipidi, si comportano da inibitori enzimatici andando a ridurre la capacità di depurazione della flora batterica. La presenza di fenoli, comunque, non sembra essere un fattore limitante per l'uso dei reflui, essendo essi velocemente degradati dai microorganismi del terreno. Secondo Riolfatti (1983) è possibile utilizzare reflui con concentrazioni di fenoli che non superino 50 mg L^{-1} senza che si verifichi alcun inconveniente.

Rispetto a questo valore soglia, una presenza di fenoli decisamente più consistente è stata accertata nelle acque di vegetazione delle olive (AV, cfr. tab. 4.5); in particolare la questione che maggiormente affligge la "compatibilità ambientale" della utilizzazione delle AV mediante spargimento diretto sul terreno agrario è la loro carica in polifenoli totali, da cui è risultato soprattutto dipendere il chiaro potere antimicrobico, antigerminello e fitotossico. I composti di natura fenolica presenti nelle AV sono più di 50 (Lanzani e Fedeli, 1986), tra cui si citano, ad esempio, l'acido *p*-idrossibenzoico, l'acido sirigico, l'acido 2,6-diidrossibenzoico, l'acido *p*-idrossicaffeico, il tirosolo, l'idrossitirosolo, ecc.

Va rilevato come la maggior parte dei composti fenolici nelle AV sia caratterizzata dalla presenza di un solo gruppo fenolico, situato, in genere, sul carbonio 4 dell'anello benzenico (Maestro Duran et al., 1991).

Con riferimento alle acque reflue provenienti dai depuratori urbani ed industriali il DM 185/2003 fissa, ai fini del loro riutilizzo, valori limite per i fenoli totali e per il pentaclorofenolo. Per i primi la concentrazione massima ammissibile nelle acque è fissata in $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, per i secondi in $0,003 \text{ mg L}^{-1}$.

2.12. Fitofarmaci

I prodotti fitosanitari sono un categoria di sostanze di diversa composizione chimica, di natura organica ed inorganica, ottenute da reazioni di sintesi o di origine naturale, il cui utilizzo, come definito dal D.Lgs 17 marzo 1995, n. 194, è finalizzato a:

- 1) *proteggere i vegetali o i prodotti vegetali da tutti gli organismi nocivi o a prevenirne gli effetti*
- 2) *favorire o regolare i processi vitali dei vegetali, con esclusione dei fertilizzanti*
- 3) *conservare i prodotti vegetali, con esclusione dei conservanti disciplinati da particolari disposizioni*
- 4) *eliminare le piante indesiderate*
- 5) *eliminare parti di vegetali, frenare o evitare un loro indesiderato accrescimento*".

Residui di fitofarmaci, che possono contenere metalli pesanti, oppure avere attività asettica con conseguenze negative per l'equilibrio del terreno, possono essere ritrovati nelle acque di lavaggio della materia prima. Le caratteristiche dei diversi principi attivi che vengono normalmente impiegati nelle pratiche agricole in termini di tossicità e di persistenza, come pure il loro comportamento nella pianta e nel terreno sono ben note. In linea generale, non sono da attendersi gravi problemi per le colture ed i terreni, considerando che le concentrazioni sono generalmente molto basse. Il rischio maggiore, però, è la contaminazione delle acque di falda con prodotti potenzialmente tossici, che possono così entrare nella catena alimentare e alterare l'ecosistema. Al riguardo Giardini et al. (1993) riportano come valore limite, che consente un esercizio irriguo continuo senza limitazioni,

0,05 mg L⁻¹ di fitofarmaci totali, 0,015 mg L⁻¹ di fitofarmaci clorurati e 0,05 mg L⁻¹ di fitofarmaci fosforati. Gli stessi Autori fanno, comunque, presente che questi limiti devono essere considerati come orientativi: considerazioni più approfondite potranno essere fatte solamente individuando la molecola specifica.

2.13. pH

Il pH, cioè il potenziale idrogenionico, può variare notevolmente a seconda della tipologia di effluenti: l'acidità può derivare da fenomeni putrefattivi del materiale organico contenuto (es. siero dei caseifici), mentre l'alcalinità può verificarsi in seguito all'impiego di soluzioni contenenti soda per il lavaggio delle attrezzature.

Nel caso di sversamento dei reflui nei fiumi, occorre considerare che l'intervallo di sicurezza per la vita dei pesci è compreso tra 5 e 9.

Nel caso invece di sversamento su terreno agrario, alcalinità e acidità dell'acqua di irrigazione sono di solito di scarsa conseguenza quando il pH rimane tra 4,5 e 9,0, essendo il terreno un sistema "tamponato", ovvero in grado di fare fronte alle modifiche dei valori di pH, ripristinando i valori precedenti (Stoker e Seager, 1972). Rischi di alterazione consistente del pH sono, pertanto, piuttosto rari e possibili solo a seguito di forti e prolungati impatti ambientali. Tuttavia, l'estendersi di pratiche di smaltimento di rifiuti e scarti di diversa origine, ed il sempre più frequente verificarsi di casi di contaminazione puntuale, rendono sempre più importante la conoscenza della reazione dei suoli. In particolare, con il diminuire del pH del terreno, con poche eccezioni, aumenta la concentrazione dei metalli pesanti in soluzione e, conseguentemente, il rischio di un loro assorbimento da parte degli apparati radicali delle piante (ANPA, 2001).

Gli inconvenienti dell'acidità sono, in sostanza:

- inibizione dell'attività dei microrganismi del terreno, soprattutto dei batteri;
- azione tossica sulle piante;
- carenza di azoto in conseguenza del blocco della mineralizzazione della sostanza organica;
- immobilizzazione degli elementi nutritivi;
- tendenza alla solubilizzazione dei metalli pesanti.

Ovviamente i problemi legati all'acidità devono essere tenuti in considerazione solo se il terreno non riesce a tamponare l'abbassamento di pH. Un terreno presenta reazione acida solo se il pH è inferiore a 6 ed il contenuto di carbonato di calcio inferiore all'1% (Bonciarelli, 1999). Quindi sarà bene evitare l'irrigazione con acque acide (ad esempio provenienti da reflui di caseificio) di terreni con una scarsa dotazione di carbonati di calcio. Questa eventualità è comunque, in Italia, assai improbabile, perché la maggior parte dei terreni ha una formazione calcarea, dolomitica, o di argilla calcarea.

Per l'utilizzo irriguo di acque con pH compreso tra 4,5 e 6 si ritiene opportuno adottare alcuni accorgimenti quali: non bagnare la vegetazione; non impiegare su colture sensibili all'acidità (come la barbabietola, la medica, il frumento, l'orzo, la fava, la lattuga).

Si segnala infine che il riutilizzo irriguo delle acque reflue depurate è consentito, ai sensi del DM 185/2003, nel caso in cui il pH ricada nell'intervallo compreso tra 6 e 9,5.

2.14. Solidi sospesi

Le sostanze solide presenti nei reflui sono per la quasi totalità costituite da composti organici che, in seguito a processi di degradazione, vanno incontro ad una demolizione progressivamente più spinta con formazione di composti finali molto semplici, quali anidride carbonica, nitrati, solfati, fosfati, ecc.

In termini analitici con il termine di solidi totali si intende il materiale che rimane come residuo dopo evaporazione ad una temperatura compresa tra 103° C e 105° C. Questi possono, poi, essere distinti in solidi totali sospesi (o residuo non filtrabile), ovvero quelle sostanze che non sono disciolte nel campione di acqua da esaminare e che vengono trattenute da un filtro, quando il campione stesso viene sottoposto a filtrazione, ed in solidi totali disciolti (o residuo filtrabile), ovvero tutte quelle sostanze che non sono trattenute dal filtro (DM 23 marzo 2000; *Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico*). Ciascuna delle categorie di solidi può essere, inoltre, distinta in base alla volatilità manifestata alla temperatura di (550±50) °C. A questa temperatura la frazione organica (solidi sospesi volatili) va incontro ad ossidazione e viene allontanata come gas mentre la frazione inorganica rimane presente come cenere (solidi sospesi fissi). Alla temperatura di 550 °C, infatti, la decomposizione dei sali inorganici è limitata al carbonato di magnesio (MgCO₃) che, a partire dai 350 °C, inizia a decomporsi in ossido di magnesio (MgO); il CaCO₃ è invece stabile fino a 825 °C. I problemi operativi correlati con la presenza di solidi sospesi sono legati alla possibilità di intasamento degli erogatori e dei pori del terreno e di imbrattamento delle colture, da evitare nel caso di coltivazioni orticole, frutticole e foraggere.

E' stato dimostrato che l'uso di effluenti con un contenuto di solidi sospesi inferiore a 20 mg L⁻¹, non sembra portare a significative variazioni nella permeabilità dei terreni (Adin, 1989).

Per quanto riguarda, nello specifico, le acque reflue provenienti dagli impianti di depurazione, il DM 185/2003 fissa, ai fini del riutilizzo, un valore limite per i solidi sospesi totali di 10 mg L⁻¹.

2.15. BOD

Il BOD (Biochemical Oxygen Demand) esprime la quantità di ossigeno necessaria per l'ossidazione biologica completa dei composti organici presenti e rappresenta, quindi, una stima globale dei processi digestivi a carico di molecole di varia sostanza e natura da parte della flora batterica. E' un parametro utile per la quantificazione della sostanza organica e di altri materiali presenti in un'acqua di scarico, attraverso la determinazione della quantità di ossigeno richiesta per la loro ossidazione.

La richiesta di ossigeno è, generalmente, dovuta a tre classi di sostanze:

- composti organici, degradati dai microrganismi per le varie attività vitali (crescita, respirazione, riproduzione);
- composti ossidabili dell'azoto, utilizzati quali fonti di energia da specifici batteri, come ad esempio, i Nitrosomonas ed i Nitrobacter;
- sostanze inorganiche, quali Fe^{II}, solfiti e solfuri.

Le sostanze inorganiche, generalmente, consumano ossigeno attraverso reazioni chimiche mentre i composti organici e dell'azoto mediante processi biochimici.

Si ritiene che la degradazione e quindi la richiesta di ossigeno venga completamente esaurita entro 20 giorni. Essendo, però, questo un periodo troppo lungo per le comuni determinazioni analitiche, si preferisce fare ricorso al BOD₅ che rappresenta la richiesta di ossigeno biochimico, determinata in ter-

mini di quantità (mg L^{-1}) di ossigeno consumato, a $20\text{ }^\circ\text{C}$ in condizioni di laboratorio, in un periodo di 5 giorni, nel quale si raggiungono circa i $2/3$ della richiesta di ossigeno totale.

Ovviamente se la richiesta di ossigeno supera il contenuto di ossigeno presente nell'ambiente dove i reflui vengono distribuiti, una volta consumato tutto l'ossigeno presente, si vanno ad instaurare processi di tipo putrefattivo, a carico di batteri anaerobi che utilizzano l'ossigeno combinato dei fosfati, dei nitrati, dei solfati, ecc., dando origine alla formazione di prodotti tossici o maleodoranti.

In relazione all'uso tipicamente irriguo non sembrano esserci particolari controindicazioni in grado di pregiudicare l'utilizzazione di acque con BOD elevato. Questa caratteristica, infatti, può anche essere considerata vantaggiosa in quanto comporta una certa concimazione organica nel suolo (Giardini, 1992). Gli inconvenienti che si possono verificare sono gli stessi citati per le sostanze solide e cioè l'imbrattamento delle colture e problemi alla meccanica distributiva dell'acqua.

Secondo Giardini e Borin (1988) il valore limite di BOD_5 al di sotto del quale non dovrebbero essere necessari particolari accorgimenti operativi nelle fasi di distribuzione e di scelta del metodo irriguo è pari a 20 mg L^{-1} .

In merito alla capacità fertilizzante della acque ad elevato BOD, è difficile fare valutazioni di tipo quantitativo. Sembra, comunque, che l'apporto di sostanza organica tramite acque con elevato BOD incida marginalmente sul bilancio umico del terreno. È stato calcolato che acque reflue con valori di BOD_5 pari a $200\text{-}250\text{ mg L}^{-1}$ presentano una concentrazione di carbonio organico totale di circa $125\text{-}350\text{ mg L}^{-1}$; ipotizzando che questo sia tutto di origine biologica, con un intervento irriguo di $500\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$, si apporterebbero circa $110\text{-}300\text{ kg ha}^{-1}$ di sostanza organica. Ripetendo più volte l'intervento, non si modificherebbe in maniera sostanziale il contenuto di sostanza organica del terreno, anche in considerazione del fatto che la sostanza organica somministrata con i reflui nel terreno va incontro prevalentemente a fenomeni degradativi di mineralizzazione (Giardini e Borin, 1988).

Nel caso invece dell'utilizzo di reflui a ben più alto carico organico, si deve definire il limite massimo di BOD_5 da distribuire ed il volume apportabile nell'unità di superficie e di tempo, in relazione al tipo di terreno e di clima, oltre che al tipo di coltura. Nel caso di irrigazione intensiva (ad alto carico), ovvero di irrigazione che supera il fabbisogno di sostanza organica delle colture (pratica applicata comunemente solo con prati stabili), vengono indicati, come valori massimi di carico organico, $15\text{-}30\text{ kg ha}^{-1}\text{ d}^{-1}$ (e quindi $2\text{-}20\text{ mm ha}^{-1}\text{ d}^{-1}$). Tali valori non devono essere superati al fine di evitare rischi di inquinamento delle falde.

Si segnala, con riferimento al riutilizzo della acque reflue urbane ed industriali depurate, che il DM 185/2003 fissa un valore massimo per il BOD_5 di $20\text{ mgO}_2\text{ L}^{-1}$.

2.16. COD

Oltre alle sostanze organiche, ossidate dai microrganismi eterotrofi che utilizzano l'ossigeno per degradare i composti organici del carbonio e dell'azoto, sono presenti, nei reflui, anche sostanze inorganiche che vengono ossidate dall'ossigeno dell'acqua, senza bisogno dell'intervento di microrganismi.

Il COD (Chemical Oxygen Demand) rappresenta la quantità di ossigeno consumato per l'ossidazione della sostanza organica ed inorganica, determinata attraverso l'utilizzo di un forte agente chimico ossidante ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) in ambiente acido (H_2SO_4) ed in presenza di un catalizzatore (Ag_2SO_4). Il COD è un parametro utile per l'analisi di reflui che contengono sostanze inorganiche come: ferro ferroso, solfiti, tiosolfati ecc. o composti organici difficilmente ossidabili. La condizione naturale di

COD delle acque è di 5 mg L⁻¹, mentre secondo alcune osservazioni (Trent River Authority) il livello sotto il quale la fauna ittica può normalmente sopravvivere è di 40 mg L⁻¹.

Va rilevato che il riutilizzo delle acque reflue recuperate è consentito, in base al DM 185/2003, qualora il valore del COD non superi i 100 mgO₂ L⁻¹.

2.17. Germi patogeni

La quasi totalità delle malattie infettive trasmesse attraverso le acque è imputabile a microrganismi responsabili di infezioni del tratto intestinale, della poliomielite e dell'epatite virale (tabella 2.16). Questi microrganismi vengono eliminati con le feci di individui infetti, possono raggiungere l'ambiente idrico e, attraverso diverse modalità, possono infettare e dare origine a patologie in altri soggetti, garantendo, in tal modo, la circolazione dei patogeni.

Contrariamente a quanto sembrerebbe logico, per la valutazione del grado di contaminazione microbica di un reflujo, generalmente, non vengono ricercati i microrganismi patogeni, se non quando esistono particolari premesse epidemiologiche e comunque sempre come completamento all'analisi batteriologica routinaria. Questo perché i microrganismi patogeni sono di difficile rilevazione, in quanto quasi sempre in numero molto inferiore a quello dei germi caratteristici della flora intestinale, presenti, invece, in numero elevatissimo e costante nelle feci e contraddistinti da una maggiore resistenza. I microrganismi di per se non patogeni vengono, in sostanza, utilizzati come microrganismi indicatori di contaminazione fecale, la cui ricerca ha valenza sanitaria nel giudizio di qualità igienica dell'ambiente idrico. La presenza dei microrganismi non patogeni nell'ambiente idrico costituisce un indice indiretto e teorico della eventuale contemporanea presenza dei patogeni, mentre l'assenza di germi intestinali normali, indica l'assenza anche dei germi patogeni. La ricerca diretta dei microrganismi patogeni è complessa e laboriosa e richiede tempi lunghi ed attrezzature adeguate, cosicché la ricerca dei germi appartenenti alla flora intestinale resta ancora la metodologia maggiormente utilizzata per avere informazioni precoci sul grado di pericolosità dell'acqua.

Tabella 2.16. Patogeni riscontrabili nei corpi idrici superficiali e loro effetto sull'uomo (Giardini et al., 1993).

Gruppo	Genere	Effetti sulla salute umana
Batteri	<i>Salmonella</i>	Febbre tifoide e paratifoide, enteriti, salmonellosi, avvelenamento cibi
	<i>Shigella</i>	Dissenteria
	<i>Vibrio</i>	Colera, enteriti, avvelenamento cibi
	<i>Clostridium</i>	Tetano, botulismo, avvelenamento cibi
	<i>Leptospira</i>	Leptosirosi
Virus	Polivirus	Poliomielite
	Echovirus	Diarrea, epatite
	Adenovirus	Enteriti, febbri, infezioni respiratorie, congiuntiviti
	Virus epatite A	Infezioni epatiche
Protozoi	<i>Entamoeba</i>	Dissenteria
Elminti	<i>Schistosoma</i>	Scistosomiasi
Cestodi	<i>Tenia</i>	Verme solitario
Nematodi	<i>Ascaris</i>	Verme rotondo
	<i>Anchylostomum</i>	Verme uncinato

Per la valutazione del grado di contaminazione microbica di un refluo si fa, in genere, riferimento alla presenza, quali organismi indicatori, dei coliformi totali, dei coliformi fecali e degli streptococchi fecali (si veda, ad esempio, il DM 23 marzo 2000 sui *Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico*). I coliformi sono i microrganismi più correntemente considerati come indici di inquinamento fecale, mentre la presenza di *Escherichia coli* è ritenuta incontestabilmente come segno certo di inquinamento fecale recente, data la sua breve resistenza a sopravvivere nel mondo esterno. Gli altri Coliformi, per la loro proprietà di sopravvivere anche a lungo in ambienti di natura non fecale, come il terreno o le acque, indicano un inquinamento che può essersi verificato anche in tempi piuttosto lontani.

L'unità di misura più frequentemente usata è MPN (Most Probable Number)/100 mL che indica la media delle misure eseguite per sette giorni consecutivi; un'altra unità di misura è il numero delle UFC (Unità Formanti Colonie)/100 mL.

La presenza di microrganismi patogeni nelle acque e nei reflui non risulta ovviamente limitante per l'accrescimento delle colture o per la fertilità del terreno, ma pone problemi di ordine sanitario per la possibilità di contagio per l'uomo e per gli animali. L'uomo può essere contagiato sia direttamente, durante le operazioni di distribuzione, sia indirettamente, attraverso il consumo di prodotti contaminati. Gli animali possono essere contagiati quando acque irrigue contaminate sono distribuite su colture foraggere. Esiste anche un rischio di natura ambientale, per la possibilità di contaminazione delle falde sottosuperficiali. E' stato, infatti, dimostrato che i germi patogeni possono raggiungere nel terreno profondità di qualche decina di metri qualora veicolati dalle acque di percolazione. L'entità del rischio dipende quindi, oltre che dal livello della carica microbica, anche dalla capacità di sopravvivenza dei patogeni nell'acqua e da tutti quei fattori che determinano la percolazione idrica.

Per i coliformi e la salmonella, il tempo medio di sopravvivenza nel terreno è di 20 giorni, mentre le uova di *Ascaris* possono sopravvivere anche per alcuni mesi (tabella 2.17).

Tabella 2.17. Tempi di sopravvivenza di alcuni patogeni in diversi ambienti (Giardini et al., 1993).

Patogeno	Tempo di sopravvivenza					
	nel terreno		sulle colture		in acqua dolce	
	medio	massimo	medio	massimo	medio	massimo
	giorni					
Virus enterici	20	100	15	60	50	120
Batteri:						
coliformi fecali	20	70	15	30	30	60
<i>Salmonella</i> spp.	20	70	15	30	30	60
<i>Shigella</i> spp.	-	-	5	10	10	30
<i>Vibrio comma</i>	10	20	2	5	10	30
Protozoi:						
<i>Entamoeba histolitica</i> (cisti)	10	20	2	10	15	30
Elminti:						
<i>Ascaris lumbricoides</i> (uova)	alcuni mesi	alcuni mesi	30	60	alcuni mesi	alcuni mesi

Per quanto concerne, infine, le acque reflue depurate recuperate destinate al riutilizzo, si segnala che il DM 185/2003 fissa valori limite per seguenti i parametri microbiologici: *Escherichia coli* (100 UFC/100mL come valore puntuale e 10 UFC/100mL come valore ottenuto sull'80% dei campioni) e *Salmonella* (assente).

Per le acque reflue depurate recuperate provenienti dal lagunaggio e dalla fitodepurazione il decreto innalza i limiti per l'*Escherichia coli* a 200 UFC/100mL, per quanto attiene il valore puntuale massimo, ed a 50 UFC/100mL, per quanto concerne il valore misurato sull'80% dei campioni

2.18. Valutazione complessiva

Fermo restando quanto stabilito dal decreto ministeriale 185/2003 in materia di riutilizzo delle acque reflue recuperate in attuazione dell'articolo 26, comma 2 del D.Lgs 152/1999, per una valutazione complessiva della qualità delle acque da destinare ad uso irriguo, sono illustrate, in letteratura, numerose proposte di classificazione redatte da diversi Autori ed istituzioni. A titolo di esempio si riporta la classificazione suggerita da Ayres e Westcot (1976, tabella 2.18).

Tabella 2.18. Valutazione della qualità delle acque destinate ad uso irriguo (Ayres e Westcot, 1976).

Natura degli eventuali problemi e relativi parametri qualitativi	Limitazioni		
	nessuna	parziale	totale
<i>Riduzione del livello di disponibilità, per la pianta, dell'acqua presente nel terreno in conseguenza dell'elevata concentrazione in sali</i>			
ECw (dS m ⁻¹) oppure:	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS (mg L ⁻¹)	<450	450-2000	>2000
<i>Riduzione della velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno indotta da sodicizzazione del complesso di scambio</i>			
SAR= 0-3 ed ECw=	>0.7	0.7-0.2	<0.2
SAR=3-6 ed ECw=	>1.2	1.2-0.3	<0.3
SAR=6-12 ed ECw=	>1.9	1.9-0.5	<0.5
SAR=12-20 ed ECw=	>2.9	2.9-1.3	<1.3
SAR=20-40 ed ECw=	>5.0	5.0-2.9	<2.9
<i>Effetti di tossicità da ioni specifici su specie vegetali sensibili</i>			
Sodio Na ⁺ :			
Irrigazione superficiale SAR	<3	3-9	>9
Irrigazione a pioggia meq L ⁻¹	<3	>3	
Cloro Cl ⁻			
Irrigazione superficiale meq L ⁻¹	<4	4-10	>10
Irrigazione a pioggia meq L ⁻¹	<3	>3	
Boro B mg L ⁻¹	<0.7	0.7-3	>3
<i>Effetti diversi</i>			
Azoto nitrico (in termini di N elementare) mg L ⁻¹	5	5-30	30
Ione bicarbonato (HCO ₃ ⁻) meq L ⁻¹	1.5	1.5-8.5	8.5
pH	Compreso tra 6.5 e 8.4		

Una classificazione più esaustiva è quella elaborata da Giardini et al. (1993), che prevede di riunire tutti i parametri di qualità irrigua in tre raggruppamenti in funzione delle loro caratteristiche e della loro pericolosità: parametri chimici fondamentali, parametri microbiologici fondamentali, parametri descrittivi complementari. Nelle tabelle 2.19, 2.20 e 2.21 vengono riportati i limiti proposti da Giardini che identificano quattro classi di qualità irrigua per il primo ed il secondo gruppo, e due per il terzo. Per quanto riguarda i parametri chimici e fisici fondamentali, Giardini et al. (1993) individuano le seguenti quattro classi di qualità irrigua:

- Classe I: acque che permettono l'esercizio irriguo continuativo senza limitazioni, considerando un volume irriguo stagionale medio annuo pari a 500 mm.
- Classe II: acque che permettono l'esercizio irriguo continuativo con eventuali limitazioni dei volumi irrigui stagionali e con accorgimenti nei confronti delle colture irrigabili, del metodo irriguo, delle condizioni pedologiche e della vulnerabilità dell'ambiente nel quale si opera.
- Classe III: acque che permettono un esercizio irriguo saltuario, limitato all'irrigazione di soccorso su colture tolleranti con metodi irrigui ad elevata efficienza ed in condizioni di bassa vulnerabilità ambientale. Si accetta, inoltre, che l'uso irriguo dell'acqua possa comportare leggeri fenomeni di fitotossicità con conseguenti cali di resa.
- Classe IV: acqua da non usare, normalmente, ai fini irrigui.

Tabella 2.19. Limiti di accettabilità relativi a parametri chimici e fisici delle acque (Giardini et al., 1993).

Parametri	Unità di misura	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
pH		6-8,5	5/6-8,5/9	4/5-9/10	<4-10
Conducibilità elettrica (EC)	$\mu\text{S cm}^{-1}$	<750	750-2.500	2.500-4.000	>4.000
SAR		<6	6-20	20-28	>28
Sodio	mg L^{-1}	<50	50-180	180-210	>210
Cloruri	mg L^{-1}	<100	100-250	250-350	>350
Fluoruri	mg L^{-1}	<1	1-15	15-18	>18
Solfati	mg L^{-1}	<100	100-2.500	2.500-3.800	>3.800
Solfiti	mg L^{-1}	<0,5			
Solfuri	mg L^{-1}	<0,5			
Bario	mg L^{-1}	<0,1	0,1-1	1-2	>2
Boro	mg L^{-1}	<0,3	0,3-2	2-4	>4
Cromo totale	mg L^{-1}	<0,01	0,01-1	1-5	>5
Cadmio	mg L^{-1}	<0,01	0,01-0,06	0,06-0,3	>0,3
Rame	mg L^{-1}	<0,2	0,2-5	5-6	>6
Mercurio	mg L^{-1}	<0,0002	0,0002-0,02	0,02-0,1	>0,1
Nichel	mg L^{-1}	<0,2	0,2-2	2-2,4	>2,4
Piombo	mg L^{-1}	<5	5-9	9-12	>12
Selenio	mg L^{-1}	<0,002	0,002-0,02	0,02-0,03	>0,03
Stagno	mg L^{-1}	<5	5-10	10-20	>20

segue

segue: **Tabella 2.19. Limiti di accettabilità relativi a parametri chimici e fisici delle acque (Giardini et al., 1993).**

Parametri	Unità di misura	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Tallio	mg L ⁻¹	<0,001	0,001-0,01	0,01-0,02	>0,02
Zinco	mg L ⁻¹	<2	2-10	10-12	>12
Alluminio	mg L ⁻¹	<5	5-20	20-24	>24
Berillio	mg L ⁻¹	<0,1	0,1-0,35	0,35-0,60	>0,60
Cobalto	mg L ⁻¹	<0,05	0,05-4	4-5	>5
Ferro	mg L ⁻¹	<2	2-5	5-20	>20
Litio	mg L ⁻¹	<1	1-2,5	2,5-5	>5
Manganese	mg L ⁻¹	<0,2	0,2-10	10-12	>12
Molibdeno	mg L ⁻¹	<0,01	0,01-0,02	0,02-0,05	>0,05
Vanadio	mg L ⁻¹	<0,1	0,1-1	1-1,2	>1,2
Arsenico	mg L ⁻¹	<0,02	0,02-0,2	0,2-0,6	>0,6
Tensioattivi	mg L ⁻¹	<0,5	0,5-1	1-2	>2
Oli minerali	mg L ⁻¹	<0,5	0,5-10	10-20	>20
Grassi animali e vegetali	mg L ⁻¹	<20	20-40	40-80	>80
Fenoli	mg L ⁻¹	<0,5	0,5-5	5-50	>50
Aldeidi	mg L ⁻¹	<0,4	0,4-0,8	0,8-1	>1
Solventi organici aromatici	mg L ⁻¹	<0,02	0,02-0,04	0,04-0,2	>0,2
Solventi organici azotati	mg L ⁻¹	<0,02	0,02-0,05	0,05-0,1	>0,1
Solventi clorurati	mg L ⁻¹	<0,02	0,02-0,04	0,04-1	>1
Cianuri	mg L ⁻¹	<0,01	0,01-0,1	0,1-0,2	>0,2
Mercaptani	mg L ⁻¹	<0,15	0,15-0,3	0,3-0,5	>0,5
Policlorodifenili	µg L ⁻¹				>0,01
Cloroformio	mg L ⁻¹	<0,002	0,002-0,02	0,02-0,2	>0,2
Pentaclorofenoli	mg L ⁻¹	<0,003			
Fitofarmaci totali	mg L ⁻¹	<0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	>0,1
Fitofarmaci clorurati	mg L ⁻¹	<0,015	0,015-0,03	0,03-0,05	>0,05
Fitofarmaci fosforati	mg L ⁻¹	<0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	>0,2

Relativamente ai parametri microbiologici fondamentali, Giardini et al. (1993) individuano quattro classi di qualità irrigua:

- Classe A: acque impiegabili senza limitazioni.
- Classe B: acque impiegabili evitando 1) il contatto, nei 15 giorni prima della raccolta, con prodotti destinati ad essere consumati crudi dall'uomo e 2) l'irrigazioni di aree verdi con visitatori presenti.
- Classe C: acque impiegabili evitando 1) il contatto con prodotti destinati ad essere consumati crudi dall'uomo, 2) la distribuzione con metodi pluvioirrigui in zone distanti meno di 200 m da aree di pubblico accesso, allo scopo di costituire una fascia di rispetto per contenere possibili fenomeni di

- deriva. L'irrigazione di tutte le colture va comunque sospesa trenta giorni prima della raccolta.
- Classe D: acque che non possono essere impiegate, oltre che nelle condizioni previste per la classe C, su tutte le rimanenti colture orticole: esse devono inoltre essere sempre distribuite con metodi che evitino il contatto con la vegetazione. L'irrigazione di tutte le colture va comunque sospesa trenta giorni prima della raccolta.

Tabella 2.20. Limiti di accettabilità relativi a parametri microbiologici delle acque (Giardini et al., 1993).

Parametri	Unità di misura	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Coliformi totali	MPN / 100 mL	<50	50-5.000	5.000-12.000	>12.000
Coliformi fecali	MPN / 100 mL	<20	20-1.000	1.000-12.000	>12.000
Streptococchi fecali	MPN / 100 mL	<20	20-1.000	1.000-2.000	>2.000
Uova di elminti	Numero uova L ⁻¹ (media geometrica)	assenti	assenti	0-1	>1
Salmonelle		assenti	assenti	assenti	

Per i parametri descrittivi fondamentali, infine, gli stessi Autori individuano due classi:

- Classe a: acque che non richiedono particolari accorgimenti per l'uso irriguo.
- Classe b: acque che possono richiedere particolari accorgimenti operativi, soprattutto nelle fasi di distribuzione e nella scelta del metodo irriguo.

Per ogni gruppo di parametri, chimici e fisici, microbiologici e descrittivi complementari, la classe di appartenenza di un'acqua irrigua viene individuata dal parametro che presenta la situazione più sfavorevole. La formulazione del giudizio complessivo di qualità di un'acqua per l'irrigazione viene, dunque, espressa attraverso l'indicazione della classe di appartenenza per ciascun gruppo di parametri.

Tabella 2.21. Limiti di accettabilità relativi a parametri chimici e fisici complementari delle acque (Giardini et al., 1993).

Parametri	Unità di misura	Classe a	Classe b
Solidi sospesi inorganici	mg L ⁻¹	<30	>30
BOD ₅	mg L ⁻¹	<20	>20
COD	mg L ⁻¹	<35	>35
Azoto totale	mg L ⁻¹	<40	>40
Fosforo totale	mg L ⁻¹	<10	>10
Bicarbonati	mg L ⁻¹	<250	>250



Capitolo 3. IL CONTESTO NORMATIVO

3.1. Gli scarichi delle aziende agricole

La disciplina generale degli scarichi è contenuta nella parte terza, titolo III, Capo III del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Tale decreto, che riorganizza in un unico testo tutta la normativa in materia ambientale, sostituisce, per quanto riguarda la tutela delle acque e la gestione delle risorse idriche la previgente disciplina rappresentata dal D.Lgs 152/99.

Il D.Lgs 152/2006 definisce lo scarico, all'articolo 74, comma 1, lettera ff), come *“qualsiasi immissione di acque reflue in acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria, indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione. Sono esclusi i rilasci di acque previsti all'articolo 114”*.

Analogamente a quanto già previsto dalle precedenti disposizioni normative anche il D.Lgs 152/2006, pur modificando, in parte, le relative definizioni, classifica gli scarichi in tre categorie, in base alla qualità dei reflui scaricati, al fine di poterne differenziare il relativo regime. In particolare, l'articolo 74, definisce, rispettivamente alle lettere g), h) ed i):

- *“acque reflue domestiche”*: acque reflue provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche;
- *“acque reflue industriali”*: qualsiasi tipo di acque reflue provenienti da edifici od installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, differenti qualitativamente dalle acque reflue domestiche e da quelle meteoriche di dilavamento, intendendosi per tali anche quelle venute in contatto con sostanze o materiali, anche inquinanti, non connessi con le attività esercitate nello stabilimento;
- *“acque reflue urbane”*: il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali, e/o di quelle meteoriche di dilavamento convogliate in reti fognarie, anche separate, e provenienti da agglomerato

Con riferimento alle acque reflue delle imprese agricole, il decreto conserva la tendenziale assimilabilità agli scarichi di acque reflue domestiche, propria del previgente regime, con cui si cerca di riportare ad una disciplina più favorevole (quella appunto degli scarichi domestici) acque reflue di natura diversa. Infatti, l'articolo 101, comma 7, stabilisce che, salvo quanto previsto dall'articolo 112, relativo all'utilizzazione agronomica dei reflui, *“ai fini della disciplina degli scarichi e delle autorizzazioni, sono assimilate alle acque reflue domestiche le acque reflue:*

- a) *provenienti da imprese dedite esclusivamente alla coltivazione del terreno o alla silvicoltura;*
- b) *provenienti da imprese dedite all'allevamento di bestiame che, per quanto riguarda gli effluenti di allevamento, praticano l'utilizzazione agronomica in conformità alla disciplina regionale stabilita sulla base dei criteri e delle norme tecniche generali di cui all'articolo 112, comma 2, e che dispongono di almeno un ettaro di terreno agricolo per ognuna delle quantità indicate nella Tabella 6 dell'Allegato 5 alla parte terza del decreto legislativo;*
- c) *provenienti da imprese dedite alle attività di cui alle lettere a) e b) che esercitano anche attività di trasformazione o di valorizzazione della produzione agricola, inserita con carattere di normalità e complementarietà funzionale nel ciclo produttivo aziendale e con materia prima lavorata proveniente in misura prevalente dall'attività di coltivazione dei terreni di cui si abbia a qualunque*

titolo la disponibilità;

- d) provenienti da impianti di acquacoltura e di piscicoltura che diano luogo a scarico e che si caratterizzino per una densità di allevamento pari o inferiore ad un kg per metro quadrato di specchio di acqua o in cui venga utilizzata una portata d'acqua pari o inferiore a 50 litri al minuto secondo;*
- e) aventi caratteristiche qualitative equivalenti a quelle domestiche e indicate dalla normativa regionale*
- f) provenienti da attività termali, fatte salve le discipline regionali di settore*

Va rilevato che, rispetto alla previgente normativa, viene prevista, dal decreto legislativo 152/2006, una nuova tipologia di reflu, ossia quello proveniente da attività termali, il cui scarico è, espressamente, disciplinato dall'articolo 102 del decreto stesso. Tale reflu, inoltre, sulla base dell'elenco sopra riportato, è essenzialmente assimilato alle acque reflue domestiche.

Con riferimento alla lettera b), comma 7, dell'articolo 101, si evidenzia che i criteri e le norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue da aziende agroalimentari (ad esclusione delle acque di vegetazione regolamentate da una specifica normativa), di cui all'articolo 112, comma 2, sono individuati dal DM 7 aprile 2006, pubblicato sul Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale del 12 maggio 2006, n. 109. In realtà va rilevato che quest'ultimo, sebbene pubblicato successivamente all'emanazione del D.Lgs 152/2006, fa ancora riferimento al D.Lgs 152/99, espressamente abrogato dal nuovo decreto legislativo (articolo 175, comma 1, lettera bb). L'effettiva validità di tale decreto è, pertanto, attualmente soggetta a valutazione da parte degli esperti in materia giurisprudenziale.

Di seguito si riporta quanto indicato dalla tabella 6 dell'allegato 5 *alla parte terza* del D.Lgs 152/2006, in merito alla calcolo del peso vivo medio annuo in tonnellate, per le varie specie allevate, corrispondente ad una produzione di 340 kg di azoto, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione.

Tabella 3.1: Tabella 6, all.5 alla parte terza del D.Lgs 1522006

Specie allevata	Peso vivo medio per anno (t)
Scrofe con suinetti fino a 30 kg	3,4
Suini in accrescimento/ingrasso	3,0
Vacche da latte in produzione	2,5
Rimonta vacche da latte	2,8
Bovini all'ingrasso	4,0
Galline ovaiole	1,5
Polli da carne	1,4
Tacchini	2,0
Cunicoli	2,4
Ovicapriini	3,4
Equini	4,9

3.3. La disciplina degli scarichi

3.3.1 I valori limite di emissione

La disciplina degli scarichi rappresenta un elemento di particolare importanza nell'ambito della normativa generale per la tutela delle acque dall'inquinamento e per la gestione delle risorse idriche, contenuta nella parte terza del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

Tale disciplina si basa essenzialmente sulle seguenti prescrizioni:

- a) divieto generale di scarico sul suolo, negli strati superficiali del sottosuolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee (articoli 103 e 104). Sono, tuttavia, fatti salvi alcuni casi in cui è consentito espressamente di derogare a tale divieto; una di queste deroghe riguarda *“gli scarichi di acque reflue urbane e industriali per i quali sia accertata la impossibilità tecnica o l'eccessiva onerosità, a fronte dei benefici ambientali conseguibili, a recapitare in corpi d'acqua superficiali, purché gli stessi siano conformi ai criteri ed ai valori limite di emissione fissati a tal fine dalle regioni ai sensi dell'articolo 101, comma 2”*. Fino all'emanazione di nuove norme si applicano i valori limite previsti dalla tabella 4, dell'allegato 5 alla parte terza del D.Lgs 152/2006 ai quali tutti gli scarichi devono conformarsi. *“Resta comunque fermo il divieto di scarico sul suolo delle sostanze indicate al punto 2.1 dell'allegato 5 alla parte terza”* (art. 103, comma 3).
- b) divieto generale di diluizione di qualsiasi scarico con acque prelevate esclusivamente allo scopo (articolo 101, comma 5, I capoverso), e divieto di diluizione, con acque di raffreddamento, di lavaggio o prelevate esclusivamente allo scopo, di scarichi parziali contenenti talune sostanze considerate pericolosamente inquinanti (articolo 101, comma 5, II capoverso)¹.
- c) rispetto di specifici valori limite individuati nell'allegato 5 alla parte terza del decreto legislativo; ne restano esclusi gli scarichi di acque reflue domestiche che recapitano in reti fognarie, i quali sono sempre ammessi, purché osservino i regolamenti emanati dal soggetto gestore del servizio idrico integrato e siano approvati dall'Autorità d'ambito competente (articolo 107, comma 2).

Va rilevato che i valori limite di emissione degli scarichi idrici, individuati dal suddetto allegato 5 alla parte terza, sono distinti per tipologia di reflu scaricato e per corpo recettore².

Le Regioni, operando un contemperamento tra i carichi massimi ammissibili e le migliori tecniche disponibili, possono, nell'esercizio della loro autonomia, definire valori-limite di emissione diversi da quelli di cui all'allegato 5 alla parte terza, sia riguardo alla concentrazione massima ammissibile (valutati sulla base degli obiettivi di qualità dei corpi idrici), sia riguardo alla quantità massima per unità di tempo in ordine ad ogni sostanza inquinante e per gruppi o famiglie di sostanze affini; tali limiti devono quindi essere anche di “carico”, cioè espressi *in massa nell'unità di tempo*. Le Regioni possono introdurre sia limiti più restrittivi, se ciò corrisponde ad esigenze di tipo ambientale, sia limiti più permissivi, purché ciò avvenga nel rispetto dei carichi massimi ammissibili nel corpo ricettore e nel rispetto dei valori inderogabili - in senso meno restrittivo - richiamati dall'articolo 101,

¹ Tali sostanze sono: arsenico, cadmio, cromo totale, cromo esavalente, mercurio, nichel, piombo, rame, selenio, zinco, oli minerali persistenti e idrocarburi di origine petrolifera persistenti, composti organici alogenati (compresi i pesticidi clorurati), pesticidi fosforati, composti organici dello stagno e sostanze classificate contemporaneamente “cancerogene” (R45) e “pericolose per l'ambiente acquatico” (R50 e 51/53) ai sensi del decreto legislativo 3 febbraio 1977, n. 52, e successive modifiche.

² Per “valore limite di emissione” si intende (lettera qq), comma 2, articolo 74 del D.Lgs 152/2006): *la massa, espressa in rapporto a determinati parametri specifici, la concentrazione e/o il livello di un'emissione che non devono essere superati in uno o più periodi di tempo. I valori limite di emissione possono essere fissati anche per determinati gruppi, famiglie o categorie di sostanze. I valori limite di emissione delle sostanze si applicano di norma nel punto di fuoriuscita delle emissioni dall'impianto, senza tener conto dell'eventuale diluizione; per gli scarichi indiretti nell'acqua, l'effetto di una stazione di depurazione di acque reflue può essere preso in considerazione nella determinazione dei valori limite di emissione dell'impianto, a condizione di garantire un livello equivalente di protezione dell'ambiente nel suo insieme e di non portare a carichi inquinanti maggiori nell'ambiente.*

comma 2. In particolare, viene stabilito che le Regioni non possano stabilire valori limite meno restrittivi di quelli fissati dall'Allegato 5 alla parte terza nei seguenti casi:

- scarico di acque reflue urbane in corpi idrici superficiali (tabella 1),
- scarico di acque reflue urbane in corpi idrici superficiali, ricadenti in aree sensibili (tabella 2);
- limiti di emissione per unità di prodotto riferiti a specifici cicli produttivi (tabella 3/A);
- limiti di emissione in acque superficiali ed in fognatura (tabella 3) e limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano nel suolo (tabella 4), con riferimento alle sostanze indicate nella tabella 5³.

Rispetto alla previgente normativa in materia di acque, rappresentata dal decreto legislativo 152/99, vengono introdotte alcune novità in materia di disciplina degli scarichi. In particolare, l'articolo 102 individua una nuova tipologia di scarico, rappresentata dalle acque termali. Tali acque, salvo quanto previsto dall'articolo 112, in materia di riutilizzazione agronomica, sono assimilate, ai sensi dell'articolo 101, comma 7, lettera f), alle acque reflue domestiche e devono, pertanto, rispettare, i limiti di emissione previsti per queste ultime.

Gli scarichi termali sono ammessi, fatta salva la disciplina delle autorizzazioni:

- a) in corpi idrici superficiali, purché la loro immissione nel corpo ricettore non comprometta gli usi delle risorse idriche e non causi danni alla salute ed all'ambiente;*
- b) sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, previa verifica delle situazioni geologiche;*
- c) in reti fognarie, purché vengano osservati i regolamenti emanati dal gestore del servizio idrico integrato e vengano autorizzati dalle Autorità di ambito;*
- d) in reti fognarie di tipo separato previste per le acque meteoriche.*

Sempre per quanto concerne le acque termali, possono essere previste alcune deroghe ai valori limite di emissione purché tali acque *siano restituite con caratteristiche qualitative non superiori rispetto a quelle prelevate ovvero le stesse, nell'ambito massimo del 10 per cento, rispettino i parametri batteriologici e non contengano le sostanze pericolose di cui alle Tabelle 3/A e 5 dell'Allegato 5 alla parte terza del D.Lg 152/2006 (articolo 102, comma 1).*

In materia di scarico in acque superficiali (articolo 105), non compaiono più le scadenze temporali di adeguamento previste dalla previgente normativa (articolo 31, comma 3, lettere a), b) e c) del decreto legislativo 152/1999).

Un ulteriore elemento di novità è rappresentato dalla deroga, al divieto di scarico diretto nelle acque sotterranee e nel sottosuolo, per le acque utilizzate per il lavaggio e la lavorazione degli inerti. Ai sensi del comma 4, articolo 104 l'autorità competente, dopo indagine preventiva, finalizzata, tra le altre cose, alla verifica dell'assenza di sostanze estranee, può, infatti, autorizzare gli scarichi nella stessa falda delle suddette acque, purché i relativi fanghi siano costituiti esclusivamente da acqua ed inerti naturali ed il loro scarico non comporti un danneggiamento della falda acquifera. L'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente, competente per territorio, *accerta le caratteristiche quantitative e qualitative dei fanghi e l'assenza di possibili danni per la falda, esprimendosi con parere vincolante sulla richiesta di autorizzazione allo scarico.*

³ Le sostanze per le quali non possono essere adottati limiti meno restrittivi di quelli indicati in tabella 3, allegato 5, per lo scarico in acque superficiali, e in tabella 4, allegato 5 alla parte terza, per lo scarico sul suolo sono: As, Cd, Cr (totale), Cr^{VI}, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, Zn, fenoli, oli minerali persistenti e idrocarburi di origine petrolifera persistenti, solventi organici aromatici, solventi organici azotati, composti organici alogenati (compresi i pesticidi clorurati), pesticidi fosforati, composti organici dello stagno, sostanze classificate contemporaneamente "cancerogene" (R45) e "pericolose per l'ambiente acquatico" (R50 e 51/53) ai sensi del decreto legislativo 3 febbraio 1977, n. 52, e successive modifiche.

3.3.2 Il regime autorizzatorio

Tutti gli scarichi devono essere preventivamente autorizzati, con la sola eccezione, come già precedentemente accennato, degli scarichi di acque reflue domestiche e assimilate che recapitano in reti fognarie, i quali sono sempre ammessi, purché osservino i regolamenti emanati dal gestore del servizio idrico integrato ed approvati dall’Autorità d’Ambito (articolo 124, commi 1 e 4).

Quest’ultima, ai sensi del comma 1, articolo 148, del D.Lgs 152/2006, si configura come una struttura dotata di personalità giuridica, costituita in ciascun ambito territoriale ottimale delimitato dalla competente regione, alla quale gli enti locali partecipano obbligatoriamente ed alla quale è trasferito l’esercizio delle competenze ad essi spettanti in materia di gestione delle risorse idriche, ivi compresa la programmazione delle infrastrutture idriche di cui all’articolo 143, comma 1 (acquedotti, fognature, impianti di depurazione ed altre infrastrutture idriche di proprietà pubblica).

All’Autorità d’ambito è demandata, inoltre, l’organizzazione, l’affidamento ed il controllo della gestione del servizio idrico integrato. Salvo diversa disciplina regionale, l’Autorità d’ambito acquisisce, ai sensi dell’articolo 124, comma 7, le competenze per il rilascio dell’autorizzazione per gli scarichi in pubblica fognatura, e cui deve provvedere entro sessanta giorni dalla ricezione della domanda. Qualora l’autorità risulti inadempiente nei termini sopra indicati, l’autorizzazione si intende temporaneamente concessa per i successivi sessanta giorni, salvo revoca. Per il rilascio delle autorizzazioni relative alle altre tipologie di scarico, l’autorità competente è, invece, la provincia.

Va evidenziato che rispetto alla previgente disciplina, viene ammessa, la possibilità, per più stabilimenti, di effettuare scarichi in comune anche senza essersi costituiti in consorzio (articolo 124, comma 2). In tal caso *l’autorizzazione allo scarico è rilasciata al titolare dello scarico finale, fermo restando che il rilascio del provvedimento di autorizzazione o il relativo rinnovo sono subordinati all’approvazione di idoneo progetto comprovante la possibilità tecnica di parzializzazione dei singoli scarichi.*

Tabella 3.2 Schema riassuntivo delle autorità competenti al rilascio dell’autorizzazione in base alla diversa tipologia di scarico

Scarico di acque reflue	Corpo recettore	Autorità competente
Industriali	Acque superficiali	Provincia
Industriali	Pubblica fognatura	Autorità d’ambito
Industriali	Suolo (in deroga al divieto ex articolo 103)	Provincia
Industriali	Sottosuolo e acque sotterranee (in deroga al divieto ex art. 104)	Provincia
Domestiche o assimilate	Pubblica fognatura	Sempre ammessi, nel rispetto dei regolamenti fissati dal gestore del servizio idrico integrato ed approvati dall’Autorità d’Ambito
Domestiche o assimilate	Acque superficiali	Provincia

Per quanto riguarda, più in dettaglio, gli scarichi di acque reflue industriali, la domanda di autorizzazione deve indicare, oltre alle caratteristiche tecniche dello scarico, del corpo recettore e del processo produttivo, i sistemi di depurazione utilizzati per conseguire il rispetto dei valori limite di emissione (articolo 125, comma 1).

Nel caso di scarichi di sostanze di cui alla tabella 3/A dell'allegato 5 alla parte terza del D.Lgs 152/2006, derivanti dai cicli produttivi indicati nella stessa tabella, la domanda di autorizzazione deve contenere ulteriori indicazioni, quali:

- a) *la capacità di produzione del singolo stabilimento industriale che comporta la produzione o la trasformazione o l'utilizzazione delle sostanze di cui alla medesima tabella, oppure la presenza di tali sostanze nello scarico. La capacità di produzione dev'essere indicata con riferimento alla massima capacità oraria moltiplicata per il numero massimo di ore lavorative giornaliere e per il numero massimo di giorni lavorativi;*
- b) *il fabbisogno orario di acque per ogni specifico processo produttivo.*

Il regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e assimilate e di reti fognarie, servite da impianti di depurazione delle acque reflue urbane, è definito dalle Regioni nell'ambito della disciplina di cui all'articolo 101, commi 1 e 2.

La validità dell'autorizzazione, salvo quanto previsto dal decreto legislativo 59/2005 recante "Attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento", è di quattro anni a partire dal momento del suo rilascio. Il rinnovo deve, poi, essere richiesto un anno prima della scadenza. Lo scarico può essere provvisoriamente mantenuto in funzione, in base a quanto indicato dall'articolo 124, comma 8, nel rispetto delle prescrizioni contenute nella precedente autorizzazione, fino all'adozione di un nuovo provvedimento, se la domanda di rinnovo è stata tempestivamente presentata. Per gli scarichi contenenti sostanze pericolose di cui all'articolo 108, il rinnovo deve essere concesso in modo espresso entro e non oltre sei mesi dalla data di scadenza; trascorso inutilmente tale termine, lo scarico dovrà cessare immediatamente. La disciplina regionale relativa agli scarichi di acque reflue domestiche e assimilate ed alle reti fognarie può, invece, prevedere, per specifiche tipologie di scarichi di acque reflue domestiche, ove soggetti ad autorizzazione, forme di rinnovo tacito della medesima.

In caso di trasferimenti, cambiamenti di destinazione, ampliamenti o ristrutturazioni degli impianti che comportino uno scarico con caratteristiche qualitativamente o quantitativamente diverse da quelle dello scarico preesistente è necessario munirsi di una nuova autorizzazione allo scarico, ove quest'ultimo ne risulti soggetto. Nell'ipotesi in cui, invece, tali attività non comportino variazioni dei relativi scarichi, sarà sufficiente effettuare una comunicazione all'autorità competente, che può decidere di adottare eventuali provvedimenti (articolo 124, comma 12).

Le regioni sono chiamate a definire il regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue termali che, in base a quanto stabilito dall'articolo 124, comma 5, sono ammessi in reti fognarie, nell'osservanza dei regolamenti fissati dal gestore del servizio idrico integrato ed approvati dall'Autorità d'ambito.

Per quanto attiene i fanghi derivanti dai trattamenti di depurazione delle acque reflue ne è espressamente vietato lo smaltimento in acque superficiali, dolci e salmastre (articolo 127, comma 2). Essi, inoltre, fermo restando quanto previsto dal decreto legislativo 99/92 ("Attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura"), ricadono nella disciplina dei rifiuti, ove applicabile (articolo 127, comma 1).

3.4. L'utilizzazione agronomica dei reflui

Con riferimento ai reflui provenienti da attività agricole e di allevamento, la pratica dell'utilizzazione agronomica può essere realizzata solo nei casi e secondo le procedure previste dall'articolo 112 del D.Lgs 152/2006. Vale la pena sottolineare che, essendo questa pratica sottoposta ad una disciplina derogatoria rispetto al regime generale degli scarichi (o dei rifiuti liquidi, a seconda dei casi), non è lasciata alle scelte discrezionali del produttore del refluo, ma viene ricollegata dalla norma all'esistenza di precisi presupposti e ad obblighi preventivi.

Il D.Lgs 152/2006, come già faceva precedentemente il D.Lgs 152/99, ne fornisce, in primo luogo, la definizione, all'articolo 74, comma 1, lettera p), precisando che per utilizzazione agronomica si intende *“la gestione di effluenti di allevamento, acque di vegetazione residue dalla lavorazione delle olive, acque reflue provenienti da aziende agricole e piccole aziende agro-alimentari, dalla loro produzione fino all'applicazione al terreno ovvero al loro utilizzo irriguo o fertirriguo, finalizzate all'utilizzo delle sostanze nutritive e ammendanti nei medesimi contenute”*. Con il termine di applicazione al terreno viene definito (lettera o) del medesimo comma *“l'apporto di materiale al terreno mediante spandimento e/o mescolamento con gli strati superficiali, iniezione, interrimento”*. In coerenza con questa definizione, l'articolo 112 stabilisce che: *“...l'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, delle acque di vegetazione dei frantoi oleari, sulla base di quanto previsto dalla legge 11 novembre 1996, n. 574, nonché delle acque reflue provenienti dalle aziende di cui all'articolo 101, comma 7, lettere a), b) e c) e da altre piccole aziende agroalimentari, così come individuate in base al decreto del Ministero delle politiche agricole e forestali di cui al comma 2, è soggetta a comunicazione all'autorità competente di cui all'articolo 75.*

Sono stati, quindi, espressamente individuati i reflui con i quali può essere effettuata l'utilizzazione agronomica, e cioè:

1. gli effluenti di allevamento;
2. le acque di vegetazione dei frantoi oleari, sulla base di quanto previsto dalla legge 574/96 e dal DM 6 luglio 2005 recante *“Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari, di cui all'articolo 38 del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152”* (ora articolo 112 del D.Lgs 152/2006) .
3. le acque reflue provenienti dalle aziende di cui all'articolo 101, comma 7, lettere a), b) e c);
4. le acque reflue provenienti da piccole aziende agroalimentari

Viene, inoltre, specificato che lo spandimento, l'iniezione, l'interrimento, la mescolatura con gli strati superficiali del terreno costituiscono attività di *“utilizzazione agronomica”*, solo se finalizzati a:

1. fertilizzare;
2. ammendare;
3. irrigare o fertirrigare⁴.

Come precedentemente indicato, nel caso in cui un refluo proveniente da un'azienda agricola, rientrante tra quelle elencate al comma 7 dell'articolo 101, sia immesso in fognatura, tale refluo segue il regime dello scarico domestico; se, invece, il refluo viene destinato all'utilizzazione agronomica esso ricade nell'ambito di applicazione dell'articolo 112. Quest'ultima disposizione assoggetta le

⁴ Non può considerarsi utilizzazione agronomica di liquami il mero deflusso degli stessi sul terreno agricolo. In proposito la Cassazione ha precisato che *“costituisce ruscellamento vietato, ogni scorrimento dei liquami sul fondo in modo simile al deflusso di un ruscello o comunque in maniera da non consentire un normale assorbimento da parte del terreno, dando luogo a depositi, acquitrini o pozze di materiale putrescente, che non assolva alla funzione di rendere i campi prosperi o fecondi, ma adempia all'esclusivo scopo di getto o eliminazione dei reflui* (Cass. Sez. III, 29 maggio 1992, n. 6542, Sambo, in *Diritto e Giurisprudenza Agraria e dell'Ambiente*, 1993, 187).

operazioni di utilizzazione agronomica, come fino ad ora definite, al regime più favorevole della comunicazione, anziché a quello dell'autorizzazione.

I criteri e le norme tecniche per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue provenienti dalle aziende agroalimentari, ad esclusione delle acque di vegetazione regolamentate da una normativa specifica, sono individuati, come già precedentemente accennato, dal decreto ministeriale 7 aprile 2006, la cui effettiva validità è, tuttavia, soggetta a valutazione da parte degli esperti in materia.

L'utilizzo degli effluenti di allevamento è regolamentato, nello specifico, al Titolo II del decreto ministeriale mentre l'utilizzo delle acque reflue provenienti dalle aziende agroalimentari al Titolo III. Il Titolo IV è dedicato alla disciplina delle comunicazioni e del trasporto ed il Titolo V alla regolamentazione dell'utilizzazione agronomica in zone vulnerabili da nitrati.

In generale l'utilizzazione dei letami è vietato nelle seguenti condizioni:

1. sulle superfici non interessate da attività agricola, fatta eccezione per le aree destinate a verde pubblico e privato e per quelle soggette ad attività di recupero e ripristino ambientale;
2. nei boschi;
3. entro cinque metri di distanza dalle sponde dei corsi d'acqua, fatte salve diverse disposizioni regionali in ragione di particolari condizioni locali⁵;
4. entro cinque metri di distanza dall'inizio dell'arenile per le acque marino-costiere e lacuali⁵;
5. su terreni gelati, innevati, con falda acquifera affiorante, con frane in atto e terreni saturi d'acqua ad eccezione dei terreni adibiti a colture che richiedono la sommersione;
6. in tutti quei casi previsti da specifici provvedimenti di divieto o di prescrizione emanati dall'autorità competente.

Le regioni possono, inoltre, prevedere ulteriori divieti o periodi dell'anno in cui è fatto divieto di utilizzo dei letami in relazione a particolari condizioni locali, ad andamenti climatici sfavorevoli, ai ritmi di assorbimento delle colture praticate, nonché ai principi contenuti nel Codice di buona pratica agricola ed agli indirizzi delle autorità di bacino.

L'utilizzo dei liquami e delle acque reflue provenienti da piccole aziende agroalimentari è vietato, oltre che nei casi previsti dai punti 1), 2), 5) e 6) dell'elenco precedentemente riportato anche nelle seguenti situazioni e periodi:

1. su terreni con pendenza media superiore al 10%, salvo deroghe previste dalla disciplina regionale in ragione di particolari condizioni;
2. entro 10 metri dalle sponde dei corsi d'acqua, fatte salve disposizioni diverse che le regioni possono prevedere in ragione di particolari condizioni e nel rispetto di specifiche prescrizioni quali quelle indicate dall'articolo 23, comma 3 del decreto ministeriale;
3. per le acque marino-costiere e quelle lacuali entro 10 metri di distanza dall'inizio dell'arenile;
4. in prossimità di strade e di centri abitati, a distanze definite dalla disciplina regionale, a meno che i liquami siano distribuiti con tecniche atte a limitare l'emissione di odori sgradevoli o vengano immediatamente interrati;
5. nei casi in cui i liquami possano venire a diretto contatto con i prodotti destinati al consumo umano;
6. in orticoltura, a coltura presente, nonché su colture da frutto, a meno che il sistema di distribuzione non consenta di salvaguardare integralmente la parte aerea delle piante;
7. dopo l'impianto della coltura nelle aree adibite a parchi o giardini pubblici, campi da gioco, uti-

⁵ Tali disposizioni non si applicano ai canali artificiali ad esclusivo utilizzo di una o più aziende, purchè non connessi ai corpi idrici naturali ed ai canali arginati (articolo 4, comma 3)

lizzate per ricreazione o destinate in genere ad uso pubblico;

8. su colture foraggere nelle tre settimane precedenti lo sfalcio del foraggio o il pascolamento.

Analogamente a quanto prescritto per i letami, anche per i liquami e per i reflui le regioni possono, inoltre, prevedere ulteriori divieti e prescrizioni.

In ogni caso, lo spandimento al suolo dei reflui zootecnici deve sempre tener conto delle caratteristiche idrogeologiche e geomorfologiche del sito, delle caratteristiche podologiche e delle specifiche condizioni del suolo, della natura dell'effluente e delle colture praticate. Le tecniche di distribuzione adottate, dal canto loro, devono limitare la formazione e la diffusione di aerosol verso le aree non interessate da attività agricola e garantire l'effettiva incorporazione nel suolo dei liquami ed assimilati simultaneamente allo spandimento, o comunque entro un periodo di tempo idoneo a ridurre le perdite di ammoniaca per volatilizzazione, il rischio di ruscellamento, la lisciviazione e la formazione di odori sgradevoli. Devono essere, altresì, garantite una elevata utilizzazione degli elementi nutritivi, l'uniformità di applicazione dell'effluente e la limitazione di fenomeni di percolamento dei nutrienti nei corpi idrici sotterranei.

Per quanto attiene, nello specifico, la tecnica della fertirrigazione il comma 3 dell'articolo 9 del decreto ministeriale 7 aprile 2006 prevede che vengano privilegiati i metodi a maggiore efficienza così come previsto il Codice di buona pratica agricola. In particolare, nei suoli soggetti a forte erosione, nel caso di utilizzazione agronomica degli effluenti al di fuori del periodo di durata della coltura principale, deve essere garantita una copertura dei suoli tramite vegetazione spontanea, colture intercalari o colture di copertura o, in alternativa, altre pratiche colturali atte a ridurre la lisciviazione dei nitrati come previsto dal Codice di buona pratica agricola.

Il decreto riconferma, per le zone non vulnerabili, il limite di 340 kg di azoto totale al campo per ettaro e per anno, da intendersi come quantitativo medio aziendale. Tale quantità, da distribuire e frazionare in base ai fabbisogni delle colture, al loro ritmo di assorbimento, ai precedenti colturali, è calcolata sulla base dei valori della tabella 2 dell'allegato I al decreto ministeriale o, in alternativa, di altri valori determinati secondo le procedure di calcolo o di misura citate nell'allegato stesso, ed è comprensiva degli effluenti depositati dagli animali stessi quando sono tenuti al pascolo. Per le diverse coltivazioni si deve fare riferimento al fabbisogno complessivo di azoto indicato nella Tabella 1 allegata al CBPA, ovvero a disposizioni regionali di maggiore cautela che tengono conto dei progressi tecnico-scientifici (articolo 10, comma 1).

Per le zone vulnerabili l'apporto di azoto non deve, invece, superare i 170 kg per ettaro per anno, da calcolarsi, anche in questo caso, sulla base dei valori riportati nella tabella 2 dell'allegato I al decreto ministeriale o, in alternativa, di altri valori determinati secondo le procedure di calcolo o di misura citate nello stesso allegato. In tali zone sono, ovviamente, previste, anche, condizioni di utilizzo più restrittive in termini di luoghi e tempi di somministrazione. I divieti di utilizzazione relativi ai letami si estendono, inoltre, ai concimi azotati ed agli ammendanti organici mentre quelli inerenti i liquami si applicano anche allo spandimento dei fanghi di depurazione di cui al D.Lgs 99/92.

Più in particolare, nelle zone vulnerabili, l'utilizzo agronomico del letame e dei materiali ad esso assimilati, nonché dei concimi azotati e degli ammendanti organici è vietato, oltre che nei casi previsti dall'articolo 4, comma 1, lettere a), b), e) ed f) anche nelle seguenti condizioni (articolo 22, comma 1):

- 5 m di distanza dalle sponde dei corsi d'acqua superficiali individuati dalle regioni come non significativi;
- 10 m di distanza dalle sponde dei corsi d'acqua superficiali significativi;
- 25 m di distanza dall'inizio dell'arenile per le acque lacuali, marino-costiere e di transizione, nonché dai corpi idrici ricadenti nelle zone umide individuate ai sensi della Convenzione di Ramsar

del 2 febbraio 1971

Per i liquami, i materiali ad essi assimilati ed i fanghi di depurazione, oltre che nei casi di cui all'articolo 4, comma 1, lettere a), b), e) ed f) ed all'articolo 5, comma 1, lettere d), e), f), g) ed h), del decreto l'utilizzo è vietato entro:

- 10 m di distanza dalle sponde dei corsi d'acqua superficiali;
- 30 m di distanza dall'inizio dell'arenile per le acque lacuali, marino-costiere e di transizione, nonché dai corpi idrici ricadenti nelle zone umide individuate ai sensi della Convenzione di Ramsar del 2 febbraio 1971.

Nelle fasce di divieto è, inoltre, obbligatoria, a condizione che sia tecnicamente fattibile, una copertura vegetale permanente anche spontanea ed è raccomandata la costituzione di siepi e/o di altre superfici boscate. In particolari aree caratterizzate da situazioni di aridità tali da determinare la perdita della copertura vegetale permanente, le regioni individuano diverse misure atte a contrastare il trasporto dei nutrienti verso i corpi idrici.

Per quanto attiene l'applicazione su terreni inclinati ricadenti in zone vulnerabili il decreto prescrive il divieto di spandimento dei liquami nel caso in cui la pendenza media, riferita ad un'area aziendale omogenea, superi il 10%, elevabile al 20% in presenza di adeguate sistemazioni idraulico-agrarie e idonee tecniche di distribuzione (articolo 23, comma 4).

Va rilevato che in particolari aree, caratterizzate da condizioni geomorfologiche e pedologiche sfavorevoli, le regioni possono individuare limiti di pendenza più elevati di quelli stabiliti al comma 4 in presenza di sistemazioni idraulico-agrarie, sulla base delle migliori tecniche di spandimento riportate nel CBPA e purchè siano garantiti:

1. il rispetto delle prescrizioni di cui alle lettere a), b), c) e d) del comma 4;
2. il non superamento di un apporto complessivo di azoto di 210 kg per ettaro per anno, inteso come quantitativo medio aziendale ed ottenuto sommando i contributi da effluenti di allevamento, comunque non superiori a 170 kg di azoto, ed i contributi da concimi azotati e ammendanti organici di cui alla legge 748 del 1984 (abrogata e sostituita dal D.Lgs 217/2006).

Nelle zone vulnerabili, come precedentemente accennato, i divieti di utilizzo risultano decisamente più specifici, rispetto a quelli fissati per le zone non vulnerabili, anche per quanto attiene i periodi di somministrazione. Lo spandimento degli effluenti zootecnici e delle acque reflue, nonché dei concimi azotati e degli ammendanti organici è, infatti, vietato nella stagione autunno-invernale, di norma dal 1° novembre fino alla fine di febbraio, ed in particolare sono previsti i seguenti periodi minimi di divieto:

- 90 giorni per i concimi azotati e gli ammendanti organici, per i letami e i materiali ad essi assimilati ad eccezione delle deiezioni degli avicunicoli essiccate con processo rapido a tenori di sostanza secca superiori al 65% per le quali vale il periodo di divieto di 120 giorni. Per le aziende esistenti il divieto di 120 giorni si applica a decorrere dalla data di adeguamento dei contenitori di cui all'art. 24, comma 2;
- per liquami e materiali ad essi assimilati e per le acque reflue, fatta salva la disposizione di cui al comma 5, il divieto ha la durata di: 90 giorni nei terreni con prati, cereali autunno-vernini, colture ortive, arboree con inerbimento permanente; 120 giorni nei terreni destinati ad altre colture.

Le regioni possono, tuttavia, prevedere periodi di divieto diversi, anche non continuativi, in presenza di colture che utilizzano l'azoto in misura significativa anche nella stagione autunno-invernale, come per esempio le colture ortofloricole e vivaistiche protette o in pieno campo.

Il decreto ministeriale stabilisce, inoltre, che sui terreni localizzati nelle zone vulnerabili siano prioritariamente impiegati, come fertilizzanti, gli effluenti zootecnici, ovviamente se disponibili, le cui

quantità di applicazione devono, in ogni caso, tenere conto del reale fabbisogno delle colture, della mineralizzazione netta dei suoli e degli organismi azoto fissatori. Le dosi di effluente zootecnico e l'eventuale integrazione di concimi azotati e ammendanti organici devono essere giustificate da un apposito Piano di Utilizzazione Agronomica, che deve essere redatto secondo le disposizioni di cui all'allegato V del decreto stesso. Per le aziende ricadenti solo in parte in zone vulnerabili il quantitativo medio aziendale di 170 kg di azoto totale al campo per ettaro e per anno deve intendersi riferito esclusivamente alla superficie aziendale ricadente in tali zone.

Va detto che il Piano di Utilizzazione Agronomica, oltre che per tutte le aziende situate in zone vulnerabili, deve essere redatto, in base all'articolo 19 del decreto ministeriale, anche da tutte le aziende, a prescindere dalla loro localizzazione, ricadenti nel campo di applicazione del decreto legislativo 59/2005 recante l'attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento, nonché da tutti gli allevamenti bovini con più di 500 unità di bestiame adulto, determinati conformemente alla tabella 4 dell'allegato I al decreto ministeriale. In tali casi il Piano deve essere predisposto in conformità a quanto disposto dall'allegato V, parte A.

All'articolo 27, comma 1, il decreto ministeriale individua, tra le azioni da intraprendere per il ripristino di un corretto equilibrio agricoltura-ambiente nell'ambito dei Programmi di azione regionali, il ricorso a strategie di gestione integrata degli effluenti zootecnici, da attuarsi conformemente alle modalità di gestione di cui all'allegato III del decreto ministeriale, ovvero ricorrendo a trattamenti di depurazione aziendali o consortili. In particolari contesti territoriali, caratterizzati da corpi idrici ad elevata vulnerabilità da nitrati e/o a rischio di eutrofizzazione, il ricorso ad impianti consortili deve essere reso obbligatorio, se tecnicamente fattibile, nei casi in cui la produzione di azoto ecceda il fabbisogno dei terreni utilizzati per gli spandimenti e qualora si rendano necessarie azioni rafforzative dei Programmi d'azione già adottati.

Per quanto riguarda le acque reflue provenienti dalle aziende agroalimentari i divieti, come già detto in precedenza, sono gli stessi previsti per l'utilizzazione dei liquami così come le tecniche da adottare per lo spandimento. Diversi sono, invece, i criteri relativi alle dosi di applicazione; in base a quanto stabilito dall'articolo 16, comma 1, queste ultime non devono, infatti, essere superiori ad un terzo del fabbisogno irriguo delle colture. In ogni caso deve essere massimizzata l'efficienza dell'acqua e dell'azoto.

Fermo restando quanto previsto dal Codice di buona pratica agricola, i criteri di utilizzazione irrigua e fertirrigua delle acque reflue devono essere definiti a livello regionale, anche attraverso la fissazione di ulteriori limiti o divieti di utilizzo qualora si verificino particolari condizioni di incompatibilità del suolo a ricevere gli stessi (elevata salinità, eccessiva drenabilità, ecc., articolo 16, comma 2).

Un aspetto di particolare rilevanza è, senz'altro, quello relativo alle tipologie di aziende agroalimentari per le quali è ammesso l'utilizzo agronomico delle acque reflue. In particolare, il comma 1, dell'articolo 17 stabilisce che è ammesso lo spandimento al suolo dei reflui provenienti da piccole aziende appartenenti ai settori lattiero-caseario, vitivinicolo e ortofrutticolo che producono acque reflue in quantità non superiore a 4.000 m³ per anno e contenenti un ammontare di azoto, a monte della fase di stoccaggio, non superiore a 1.000 kg per anno.

Va detto, però, che le regioni possono promuovere lo spandimento anche di acque reflue provenienti da altre tipologie di aziende agroalimentari fermo restando il rispetto della normativa in materia di rifiuti e delle norme tecniche di cui al Titolo III, capo I del decreto ministeriale.

In base all'articolo 17, comma 2 l'utilizzazione agronomica delle acque reflue provenienti dalle piccole aziende agroalimentari è soggetta a comunicazione che è disciplinata dalle regioni nel rispetto

dell'articolo 18, comma 1, lettere b) e c) e comma 2 e contiene almeno le informazioni di cui all'Allegato IV, Parte B, lettere a), b) e d). L'utilizzazione agronomica delle medesime acque reflue è, inoltre, soggetta alle disposizioni di cui agli articoli 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 20.

Tra le sostanze utilizzabili a fini agronomici sono, inoltre, comprese le acque di vegetazione dei frantoi oleari, che sono specificamente disciplinate dalla già citata legge 574/96 e dal DM 6 luglio 2005; in particolare la legge 574/96 autorizza l'utilizzo agronomico, che prevede lo spandimento controllato su terreni adibiti ad uso agricolo, delle acque di vegetazione residue dalla lavorazione meccanica delle olive che non hanno subito alcun trattamento né ricevuto alcun additivo, con esclusione delle acque utilizzate per la diluizione delle paste o per il lavaggio degli impianti (articolo 1, comma 1).

Possono essere, altresì, utilizzate come ammendanti le sanse umide provenienti dalla lavorazione delle olive e costituite dalle acque e dalla parte fibrosa del frutto e dai frammenti del nocciolo (articolo 1, comma 2).

Per l'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione è previsto un limite di accettabilità di cinquanta metri cubi per ettaro di superficie interessata nel periodo di un anno, per le acque di vegetazione provenienti da frantoi a ciclo tradizionale, e di ottanta metri cubi per ettaro di superficie interessata nel periodo di un anno, per le acque di vegetazione provenienti da frantoi a ciclo continuo (articolo 2).

Lo spandimento delle acque di vegetazione e delle sanse umide non è ammesso in talune categorie di terreno e cioè:

- nei terreni situati a distanza inferiore a trecento metri dalle aree di salvaguardia delle captazioni di acque destinate al consumo umano;
- nei terreni situati a distanza inferiore a duecento metri dai centri abitati;
- nei terreni investiti da colture orticole in atto;
- nei terreni gelati, innevati, saturi d'acque e inondati;
- nei terreni in cui siano localizzate falde che possono venire a contatto con le acque di percolazione del suolo e comunque nei terreni in cui siano localizzate falde ad una profondità inferiore ai dieci metri (articolo 5).

Ulteriori limitazioni all'utilizzo sono introdotte dal DM 6 luglio 2005 in base al quale non si può procedere allo spandimento delle acque di vegetazione e delle sanse umide, oltre che nei casi sopra elencati, anche nei seguenti luoghi:

- a distanza inferiore a dieci metri dai corsi d'acqua misurati a partire dalle sponde e dagli inghiottitoi e doline, ove non diversamente specificato dagli strumenti di pianificazione;
- a distanza inferiore ai dieci metri dall'inizio dell'arenile per le acque marino-costiere e lacuali;
- in terreni con pendenza superiore al 15% privi di sistemazione idraulico-agraria;
- nei boschi;
- nei giardini e nelle aree di uso pubblico;
- nelle aree di cava.

Gli operatori che intendono avvalersi di tale pratica devono inoltrare, almeno trenta giorni prima della distribuzione, una comunicazione preventiva al Sindaco del Comune in cui sono ubicati i terreni interessati. Tale comunicazione comprende una relazione redatta da un agronomo, da un perito agrario o agrotecnico o geologo iscritto nel rispettivo albo professionale, in cui devono essere indicati: l'assetto pedogeomorfologico, le condizioni idrologiche e le caratteristiche in genere dell'ambiente ricevitore, nonché i tempi di spandimento previsti ed i mezzi meccanici necessari per garantire un'ideale distribuzione. Il Sindaco competente può, con richiesta motivata, disporre ulteriori ac-

certamenti e può provvedere direttamente a controlli e verifiche (articolo 3).

I contenuti della comunicazione devono essere conformi a quanto prescritto dall'allegato 1 del DM 6 luglio 2005 mentre la relazione tecnica, che costituisce parte integrante della comunicazione stessa, deve riportare le informazioni di cui all'allegato 2 del medesimo DM.

Va rilevato che per gli spandimenti successivi al primo possono essere effettuate comunicazioni "semplificate" ovvero contenenti solo: le informazioni relative al legale rappresentante, i dati e le caratteristiche del frantoio e i dati inerenti i siti di spandimento. Le informazioni riguardanti i contenitori di stoccaggio delle acque di vegetazione e delle sanse e quelle contenute nella relazione tecnica devono essere, invece, comunicate solo in caso di una loro variazione (articolo 3 del DM 6 luglio 2005).

In base a quanto individuato dall'articolo 3 comma 5 del decreto ministeriale possono essere, inoltre, previste ulteriori semplificazioni per la comunicazione. Tale comma riporta, infatti che *"le regioni che dispongono del piano di spandimento delle acque di vegetazione di cui all'art. 7 della legge n. 574 del 1996 possono prevedere semplificazioni per la comunicazione, che deve essere effettuata dai frantoi operativi prima dell'entrata in vigore del presente decreto il cui quantitativo medio di olio prodotto nelle ultime quattro campagne olearie sia uguale o inferiore a 20 t; nell'ipotesi in cui il frantoio sia operativo da meno di quattro campagne, la media va riferita a quelle svolte; ovvero per i nuovi frantoi, che entrano in esercizio successivamente all'emanazione del presente decreto, con riferimento per i primi quattro anni ad una capacità di lavorazione effettiva uguale o inferiore a 4 t di olive nelle otto ore. L'esonero, di cui all'art. 38 del decreto legislativo n. 152 del 1999, può essere previsto dalle regioni per frantoi aventi una capacità di lavorazione effettiva uguale o inferiore a 2 t di olive nelle otto ore"*.

Il DM 6 luglio 2005 disciplina, inoltre, tutte le operazioni di stoccaggio e trasporto delle acque di vegetazione e delle sanse umide destinate al riutilizzo agronomico, individua le misure di controllo e definisce le scadenze e le modalità di presentazione delle relazioni periodiche da parte degli Enti competenti. In particolare, i contenuti delle relazioni a carico delle Regioni vengono indicati all'allegato 3.

1.5. Il riutilizzo delle acque reflue a fini irrigui

Al fine di favorire il risparmio delle risorse idriche l'articolo 99 del D.Lgs 152/2006 prevede l'emanazione di apposite norme tecniche relative al riutilizzo delle acque reflue.

In attesa di emanazione di tali norme continua ad applicarsi il DM 185/2003 (attuativo dell'articolo 26 del D.Lgs 152/99). In base a quanto riportato nell'articolo 3 del decreto ministeriale 185/2003, le destinazioni d'uso ammissibili delle acque reflue recuperate, ovvero riqualficate mediante adeguato trattamento depurativo finalizzato a rendere tali acque adatte alla distribuzione per specifici riutilizzi, sono:

- a) *irriguo: per l'irrigazione di colture destinate sia alla produzione di alimenti per il consumo umano ed animale sia a fini non alimentari, nonché per l'irrigazione di aree destinate al verde o ad attività ricreative o sportive;*
- b) *civile: per il lavaggio delle strade nei centri urbani; per l'alimentazione dei sistemi di riscaldamento o raffreddamento; per l'alimentazione di reti duali di adduzione, separate da quelle delle acque potabili, con esclusione dell'utilizzazione diretta di tale acqua negli edifici a uso civile, ad eccezione degli impianti di scarico nei servizi igienici;*

c) industriale: come acqua antincendio, di processo, di lavaggio e per i cicli termici dei processi industriali, con l'esclusione degli usi che comportano un contatto tra le acque reflue recuperate e gli alimenti o i prodotti farmaceutici e cosmetici.

Nell'allegato al decreto vengono riportati i valori limite per i diversi parametri chimico-fisici e microbiologici per le acque recuperate destinate al riutilizzo irriguo o civile. Tali valori sono schematizzati nella tabella 3.3

Tabella 3.3 Valori limite delle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero (DM 185/2003)

	Parametro	Unità di misura	Valore limite	
Parametri chimico fisici	pH		6-9,5	
	SAR		10	
	Materiali grossolani		Assenti	
	Solidi sospesi totali	mg/L	10	
	BOD ₅	mg O ₂ /L	20	
	COD	mg O ₂ /L	100	
	Fosforo totale	mg P/L	2 (fino a 10)	
	Azoto totale	mg N/L	15 (fino a 35)	
	Azoto ammoniacale	mg NH ₄ /L	2	
	Conducibilità elettrica	μS/cm	3000	
	Alluminio	mg/L	1	
	Arsenico	mg/L	0,02	
	Bario	mg/L	10	
	Berillio	mg/L	0,1	
	Boro	mg/L	1,0	
	Cadmio	mg/L	0,005	
	Cobalto	mg/L	0,05	
	Cromo totale	mg/L	0,1	
	Cromo VI	mg/L	0,005	
	Ferro	mg/L	2	
	Manganese	mg/L	0,2	
	Mercurio	mg/L	0,001	
	Nichel	mg/L	0,2	
	Piombo	mg/L	0,1	
	Rame	mg/L	1	

segue: Tabella 3.3 Valori limite delle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero (DM 185/2003)

	Parametro	Unità di misura	Valore limite
Parametri chimico fisici	Selenio	mg/L	0,01
	Stagno	mg/L	3
	Tallio	mg/L	0,001
	Vanadio	mg/L	0,1
	Zinco	mg/L	0,5
	Cianuri totali (come CN)	mg/L	0,05
	Solfuri	mg H ₂ S/L	0,5
	Solfiti	mg SO ₃ /L	0,5
	Solfati	mg SO ₄ /L	500
	Cloro attivo	mg/l	0,2
	Cloruri	Mg Cl/L	250
	Fluoruri	mg F/L	1,5
	Grassi e oli animali/vegetali	Mg/L	10
	Oli minerali (Nota 1)	mg/L	0,05
	Fenoli totali	mg/L	0,1
	Pentaclorofenolo	mg/L	0,003
	Aldeidi totali	mg/L	0,5
	Tetracloretilene, tricloretilene (somma delle concentrazioni dei parametri specifici)	mg/L	0,01
	Solventi clorurati totali	Mg/L	0,04
	Triometani (somma delle concentrazioni)	mg/L	0,03
	Solventi organici aromatici totali	Mg/L	0,01
	Benzene	mg/L	0,001
	Benzo(a)pirene	mg/L	0,00001
	Solventi organici azotati totali	mg/L	0,01
	Tensioattivi totali	mg/L	0,5
	Pesticidi clorurati (ciascuno) (Nota 2)	mg/L	0,0001
	Pesticidi fosforati (ciascuno)	mg/L	0,0001
	Altri pesticidi totali	mg/L	0,05

segue: **Tabella 3.3 Valori limite delle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero (DM 185/2003)**

	Parametro	Unità di misura	Valore limite
Parametri microbiologici	Escherichia coli (Nota 3)	UFC/100mL	10 (80% dei campioni) valore puntuale max
	Salmonella		Assente

Nota 1 Queste sostanze devono essere assenti dalle acque reflue recuperate destinate al riutilizzo, secondo quanto previsto al paragrafo 2.1 tabella 3 dell'allegato 5 alla Parte Terza del D.Lgs 152/99 per gli scarichi sul suolo. Tale prescrizione si intende rispettata quando la sostanza è presente in concentrazioni non superiori ai limiti di rilevabilità delle metodiche analitiche di riferimento, definite e aggiornate con apposito decreto ministeriale. Nelle more di tale definizione, si applicano i limiti di rilevabilità riportati in tabella.

Nota 2 Il valore di parametro si riferisce ad ogni singolo pesticida. Nel caso di Aldrina, Dieldrina, Eptacloro ed Eptacloro epossido, il valore parametrico è pari a 0,030 µg/l.

Nota 3 Per le acque reflue recuperate provenienti da lagunaggio o fitodepurazione valgono i limiti di 50 (80% dei campioni) e 200 valore puntuale massimo.

Sono, in definitiva, individuati i seguenti requisiti minimi di qualità delle acque reflue recuperate all'uscita dell'impianto (Allegato al DM 185/2003):

“ 2. Qualora le regioni abbiano stabilito in ambito locale, per le acque destinate al consumo umano, ai sensi degli articoli 13 e 16 del decreto legislativo 3 febbraio 2001, n. 31, valori limite superiori a quelli riportati in tabella del presente decreto, le autorità competenti possono autorizzare il recupero di acque reflue conformemente ai suddetti limiti. Per le sostanze di cui all'allegato 1 parte C del decreto legislativo n. 31 del 2001, le autorità competenti possono autorizzare il recupero delle acque reflue sulla base dei valori delle acque destinate al consumo umano.

3. Nelle acque all'uscita dell'impianto di recupero, fatto salvo quanto previsto al paragrafo 2, i limiti per pH, azoto ammoniacale, conducibilità elettrica specifica, alluminio, ferro, manganese, cloruri, solfati di cui alla tabella dell'allegato rappresentano valori guida. Per tali parametri le regioni possono autorizzare limiti diversi da quelli di cui alla tabella, previo parere conforme del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, per le specifiche destinazioni d'uso, comunque, non superiori ai limiti per lo scarico in acque superficiali di cui alla tabella 3 dell'allegato 5 del decreto legislativo n. 152 del 1999; per la conducibilità elettrica specifica, non deve essere superato il valore di 4000 mS/cm. Per i restanti parametri chimico-fisici le regioni possono prevedere, sulla base di consolidate conoscenze acquisite per i diversi usi e modalità di riutilizzo a cui le acque reflue sono destinate, limiti diversi da quelli previsti nella tabella del presente allegato, purchè non superiori ai limiti per lo scarico in acque superficiali.

4. Nel caso di riutilizzo irriguo, i limiti per fosforo e azoto totale possono essere elevati rispettivamente a 10 e 35 µg/l, fermo restando quanto previsto all'articolo 10, comma 1, relativamente alle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola.

5. Per tutti i parametri chimico-fisici, i valori limite sono da riferirsi a valori medi su base annua o, nel solo caso del riutilizzo irriguo, della singola campagna irrigua. Il riutilizzo deve comunque essere immediatamente sospeso ove, nel corso dei controlli, il valore puntuale di qualsiasi parametro risulti superiore al 100% del valore limite.

6. Per il parametro Escherichia coli il valore limite indicato in tabella (10 UFC/100 ml) è da riferirsi all'80% dei campioni, con un valore massimo di 100 UFC/100 ml. Il riutilizzo deve comunque essere immediatamente sospeso ove nel corso dei controlli il valore puntuale del parametro in questione risulti superiore a 100 UFC/100 ml.

7. Per il parametro Salmonella il valore limite è da riferirsi al 100% dei campioni. Il riutilizzo deve comunque essere sospeso ove nel corso dei controlli si rilevi presenza di Salmonella.

8. Il riutilizzo può essere riattivato solo dopo che il valore puntuale del parametro o dei parametri per cui è stato sospeso sia rientrato al di sotto del valore limite in almeno tre controlli successivi e consecutivi”.

Per gli usi irrigui, vengono inoltre stabilite, all'articolo 10, alcune prescrizioni relative alle modalità di utilizzo delle acque di depurazione recuperate; quest'ultimo deve essere realizzato in modo da assicurare il risparmio idrico e senza superare il fabbisogno delle colture e delle aree verdi, anche in relazione al metodo di distribuzione impiegato. Il riutilizzo irriguo è comunque subordinato al rispetto delle disposizioni del Codice di buona pratica agricola. Gli apporti di azoto derivanti dal riutilizzo di acque reflue concorrono al raggiungimento dei carichi massimi ammissibili, ove stabiliti dalla vigente normativa nazionale e regionale, ed alla determinazione dell'equilibrio tra il fabbisogno di colture dell'apporto di azoto proveniente dal terreno e dalla fertilizzazione.

Per poter assicurare le garanzie ambientali e igieniche nel riutilizzo delle acque reflue, il decreto ministeriale prevede (articolo 9) che le reti di distribuzione delle acque reflue recuperate siano separate e realizzate in maniera tale da evitare rischi di contaminazione alla rete di adduzione e distribuzione delle acque per uso potabile e adeguatamente contrassegnate.

Spetta alle Regioni pianificare l'attività di recupero delle acque a fini di riutilizzo, attraverso la definizione dell'elenco degli impianti di depurazione, la tipologia delle reti di distribuzione da impiegare per il riutilizzo e le infrastrutture di connessione con le reti di distribuzione.

Nell'ambito dell'autorizzazione allo scarico con finalità di riutilizzo e, nel caso di impianti di recupero di acque reflue urbane, dell'approvazione dei progetti devono essere dettate le prescrizioni atte a garantire che l'impianto autorizzato osservi i valori limite e le norme previste dal decreto ministeriale e dalla normativa regionale di attuazione.

1.2. Linee guida formulate a livello internazionale

Alla base delle normative adottate in alcuni Stati stranieri (ad esempio, Cipro e Francia) vi sono le indicazioni fornite da Organismi internazionali, quali l'Organizzazione mondiale della Sanità (OMS), che ha emanato nel 1989 le *Health Guidelines for the Use of Wastewater for Agriculture and Aquaculture*, in cui sono state riprese le conclusioni di un gruppo di esperti riunitisi a Ginevra nel 1987⁶. La tabella 3.4 contiene la proposta di standard microbiologici per il riutilizzo di acque reflue in ambito agricolo formulata dall'OMS, nel 1989, che fornisce alcune importanti indicazioni.

A sua volta, l'Agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente (EPA), allo scopo di incentivare il riutilizzo delle acque (non solo in ambito agricolo), ha pubblicato nel 1992 le *Guidelines for Water Reuse*, indirizzate soprattutto alle istituzioni e agli enti territoriali operanti nell'ambito delle risorse idriche, di cui si riporta una sintesi nella tabella 3.5.

⁶ Sul punto cfr. INEA, *I principali criteri di classificazione di qualità dei corpi idrici superficiali e delle acque utilizzate in ambito agricolo*, Quaderni Irrigazione, 2000, da cui sono tratte le tabelle 10 e 11.

Tabella 3.4 Proposta di standard microbiologici per il riutilizzo di acque reflue in ambito agricolo formulata dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, 1989

Tipo di irrigazione	Nematodi intestinali: Numero di uova/litro (media geometrica)	Coliformi fecali: MPN/100 ml (media geometrica)
Irrigazione di colture da consumare crude, campi sportivi, parchi pubblici	<1	1000 ⁽¹⁾
Irrigazione di cereali, colture industriali, foraggio, pascoli e giardini con piante ⁽²⁾	<1	Non definito
Irrigazione cereali, colture industriali, foraggio, pascoli e giardini con piante nei casi in cui non vi sia esposizione dei lavoratori o del pubblico	Non applicabili	Non applicabili

(1) Limiti più restrittivi (200 MPN/100 ml) possono prevedersi nel caso di parchi pubblici, quali quelli degli hotel, con cui il pubblico può venire a diretto contatto

(2) Nel caso di piante da frutto, l'irrigazione va interrotta 2 settimane prima del raccolto. I frutti caduti non vanno raccolti. Non va usata l'irrigazione a spruzzo.

Tabella 3.5 Criteri suggeriti dall'EPA per il riutilizzo delle acque reflue

Tipo di Riutilizzo	Trattamenti	Standard di Qualità	Commenti
Riutilizzo urbano: irrigazione di campi di golf, parchi, cimiteri; lavaggio autoveicoli; alimentazione rete antincendio; sistemi di condizionamento dell'aria	Secondario ⁽³⁾ + Filtrazione ⁽⁴⁾ + Disinfezione ⁽⁵⁾	pH = 6 – 9 BOD ₅ ≤ 10 mg/l ⁽⁶⁾ NTU ≤ 2 ⁽⁷⁾ Coli fecali non osservabili ^(8,9) Cloro residuo ≥ 1 mg/l ⁽¹⁰⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Valutare la possibilità di impiego in agricoltura rispetto al limite dei metalli; • Un livello di trattamento meno spinto (secondario + disinfezione), finalizzato a raggiungere un limite massimo di 14 coli/100 ml può essere adottato per l'irrigazione controllata, dove misure progettuali ed operative riducono i rischi del contatto dell'acqua con il pubblico; • Per ottenere gli standard desiderati, a monte della filtrazione potrebbe rendersi necessaria l'aggiunta di coagulanti; L'acqua non deve contenere livelli di patogeni rilevabili ⁽¹⁾; • L'acqua deve presentarsi limpida, priva di odori e di sostanze tossiche; • Per assicurare la distruzione di virus e parassiti, si potrebbero mantenere maggiori concentrazioni di cloro residuo o tempi di contatto più elevati; • Per ridurre gli odori o fenomeni di ricrescita batterica nei sistemi di distribuzione, in rete è opportuno mantenere livelli di cloro residuo superiori a 0.5 mg/l; • Usare sistemi di trattamento affidabili.
Irrigazione di aree ad accesso ridotto	Secondario ⁽³⁾ + Disinfezione ⁽⁵⁾	pH = 6 – 9 BOD ₅ ≤ 30 mg/l ⁽⁶⁾ Solidi Sospesi ≤ 30 mg/l Coli fecali ≤ 200/100 ml ^(8,12,13) Cloro residuo ≤ 1 mg/l ⁽¹⁰⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Valutare la possibilità di impiego in agricoltura rispetto al limite dei metalli; • Nel caso di irrigazione a spruzzo, è opportuno mantenere la concentrazione dei solidi sospesi a livelli inferiori a 30 mg/l, per evitare l'occlusione degli irrigatori; • Usare sistemi di trattamento affidabili.
Riutilizzo in ambito agricolo per colture di cibi non lavorati commercialmente	Secondario ⁽³⁾ + Disinfezione ⁽⁵⁾	pH = 6 – 9 BOD ₅ ≤ 30 mg/l ⁽⁶⁾ NTU ≤ 2 ⁽⁷⁾ Coli fecali non osservabili ^(8,9) Cloro residuo ≥ 1 mg/l ⁽¹⁰⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Valutare la possibilità di impiego in agricoltura rispetto al limite dei metalli; • Per ottenere gli standard desiderati, a monte della filtrazione potrebbe rendersi necessaria l'aggiunta di coagulanti; • L'acqua non deve contenere livelli di patogeni rilevabili ⁽¹⁾; • Per assicurare la distruzione di virus e parassiti, si potrebbero mantenere maggiori concentrazioni di cloro residuo o tempi di contatto più elevati; • Alte concentrazioni di nutrienti possono diversamente influenzare lo sviluppo di alcune colture in alcuni periodi della crescita; • Usare sistemi di trattamento affidabili.
Riutilizzo in ambito agricolo per colture di cibi lavorati commercialmente ⁽¹⁴⁾ ; irrigazione superficiale di frutteti e vigneti	Secondario ⁽³⁾ + Disinfezione ⁽⁵⁾	pH = 6 – 9 BOD ₅ ≤ 30 mg/l ⁽⁶⁾ Solidi Sospesi ≤ 30 mg/l Coli fecali ≤ 200/100 ml ^(8,12,13) Cloro residuo ≤ 1 mg/l ⁽¹⁰⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Valutare la possibilità di impiego in agricoltura rispetto al limite dei metalli; • Nel caso di irrigazione a spruzzo, è opportuno mantenere la concentrazione dei solidi sospesi a livelli inferiori a 30 mg/l, per evitare l'occlusione degli irrigatori; • Alte concentrazioni di nutrienti possono diversamente influenzare lo sviluppo di alcune colture in alcuni periodi della crescita; • Usare sistemi di trattamento affidabili.

segue

segue: Tabella 3.5 Criteri suggeriti dall'EPA per il riutilizzo delle acque reflue

Tipo di Riutilizzo	Trattamenti	Standard di Qualità	Commenti
<p>Riutilizzo in ambito agricolo per colture che non sono di cibi; pascoli per animali da latte, colture di foraggio, fibre, semi</p>	<p>Secondario ⁽³⁾ + Disinfezione ⁽⁵⁾</p>	<p>pH = 6 – 9 BOD₅ ≤ 30 mg/l ⁽⁶⁾ Solidi Sospesi ≤ 30 mg/l Coli fecali ≤ 200/100 ml ^(8,12,13) Cloro residuo ≤ 1 mg/l ⁽¹⁰⁾</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Valutare la possibilità di impiego in agricoltura rispetto al limite dei metalli; • Nel caso di irrigazione a spruzzo, è opportuno mantenere la concentrazione dei solidi sospesi a livelli inferiori a 30 mg/l, per evitare l'occlusione degli irrigatori; • Alte concentrazioni di nutrienti possono diversamente influenzare lo sviluppo di alcune colture in alcuni periodi della crescita; • L'emungimento degli animali da latte dovrebbe essere proibito per i 15 giorni successivi alla sospensione dell'irrigazione; nel caso si voglia provvedere all'emungimento in tale periodo, è necessario spingere la disinfezione fino ad ottenere concentrazioni di Coli fecali inferiori a 14/100 ml; • Usare sistemi di trattamento affidabili.
<p>Uso ricreativo: formazione di bacini idrici in cui è praticabile la pesca e la navigazione con barche</p>	<p>Secondario ⁽³⁾ + Filtrazione ⁽⁴⁾ + Disinfezione ⁽⁵⁾</p>	<p>pH = 6 – 9 BOD₅ ≤ 10 mg/l ⁽⁶⁾ NTU ≤ 2 ⁽⁷⁾ Coli fecali non osservabili ^(8,9) Cloro residuo ≥ 1 mg/l ⁽¹⁰⁾</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potrebbe essere richiesta una de-clorazione per proteggere la flora e la fauna; • L'acqua non deve essere irritante per la pelle e per gli occhi; • Per ottenere gli standard desiderati, a monte della filtrazione potrebbe rendersi necessaria l'aggiunta di coagulanti; • L'acqua non deve contenere livelli di patogeni rilevabili ⁽¹¹⁾; • L'acqua deve presentarsi limpida, priva di odori e di sostanze tossiche; Per assicurare la distruzione di virus e parassiti, si potrebbero mantenere maggiori concentrazioni di cloro residuo o tempi di contatto più elevati; • Potrebbe essere richiesta la rimozione dei nutrienti per evitare lo sviluppo algale nel bacino; • I pesci che crescono nel bacino devono poter essere consumati; • Usare sistemi di trattamento affidabili.
<p>Formazione di bacini idrici nei quali non è consentito il contatto con il pubblico</p>	<p>Secondario ⁽³⁾ + Disinfezione ⁽⁵⁾</p>	<p>pH = 6 – 9 BOD₅ ≤ 30 mg/l ⁽⁶⁾ Solidi Sospesi ≤ 30 mg/l Coli fecali ≤ 200/100 ml ^(12,13,14) Cloro residuo ≤ 1 mg/l ⁽¹⁰⁾</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potrebbe essere richiesta una de-clorazione per proteggere la flora e la fauna; • Potrebbe essere richiesta la rimozione dei nutrienti per evitare lo sviluppo algale nel bacino; • Usare sistemi di trattamento affidabili.

NOTE DI TABELLA:

- 1) A meno che non sia diversamente specificato, i limiti di qualità raccomandati si applicano all'effluente dell'impianto di depurazione;
- 2) Le distanze di sicurezza sono raccomandate al fine di proteggere la risorsa idrica da episodi di contaminazione e per proteggere la popolazione dai rischi dovuti all'uso dell'acqua;
- 3) I trattamenti secondari includono i fanghi attivi, i letti percolatori, i biodischi e molti sistemi di lagunaggio. Essi devono consentire di ottenere effluenti con valori dei solidi sospesi e del BOD₅ inferiori a 30 mg/l;
- 4) Per filtrazione si intende il passaggio dell'acqua attraverso sia il terreno naturale indisturbato che mezzi filtranti quali sabbia o antracite;
- 5) Per disinfezione si intende la distruzione, l'inattivazione o la rimozione di microrganismi patogeni attraverso mezzi chimici, biologici o fisici. Essa può essere ottenuta attraverso la clorazione, l'ozonizzazione, altri composti chimici disinfettanti, radiazioni ultraviolette, processi a membrana, o altri processi ancora;
- 6) Determinato dopo 5 giorni dall'inizio della prova;
- 7) Il limite della torbidità deve essere ottenuto a monte della disinfezione. La torbidità media va misurata nell'arco di 24 ore e comunque il valore istantaneo non deve mai superare i 5 NTU. Nel caso si adotti come sistema di misura la determinazione dei solidi sospesi, questi devono risultare in concentrazione non superiore a 5 mg/l;
- 8) A meno che non sia diversamente specificato, i limiti relativi ai microrganismi sono i valori medi degli ultimi 7 giorni in cui sono state condotte le analisi. Per la misurazione possono essere usati sia i filtri a membrana che i tubi di fermentazione;
- 9) Il numero dei coliformi fecali deve in ogni campione risultare inferiore a 800/100 ml;
- 10) Alcuni sistemi di lagunaggio sono in grado di assicurare questi livelli di coliformi senza prevedere un'ulteriore fase di disinfezione;
- 11) I cibi lavorati commercialmente sono quelli che prima di essere venduti al pubblico vengono sottoposti a processi fisici o chimici per la distruzione dei patogeni;
- 12) I trattamenti avanzati includono la chiariflocculazione, l'adsorbimento, l'osmosi inversa e gli altri sistemi a membrana, lo stripping dell'aria, l'ultrafiltrazione e lo scambio ionico;
- 13) Il monitoraggio include composti organici ed inorganici, o classi di composti, di cui è noto o anche solo sospetto il potere tossico, cancerogeno, teratogeno o mutageno e non sono inclusi negli standard delle acque potabili

Capitolo 4.

ACQUE DI VEGETAZIONE DEI FRANTOI OLEARI

4.1 - La filiera produttiva

Secondo i dati ISTAT, relativi al 5° Censimento Generale dell'Agricoltura, la superficie investita ad olivo nel nostro Paese risulta pari a circa 1,1 milioni di ettari, rappresentando, la terza coltivazione per estensione, a livello nazionale, dopo il frumento duro (1,7 milioni di ettari) e le foraggere avvicendate (1,5 milioni di ettari). Sempre in base ai dati ISTAT (Settore Servizio Agricoltura, anno 1998) la produzione olivicola risulta pari a 3,79 milioni di tonnellate, di cui quasi 1,6 milioni di tonnellate provenienti dalla Puglia ed oltre 0,8 milioni dalla Calabria, con quantitativi di olio prodotto, negli ultimi anni, compresi fra le 500 e le 700 mila tonnellate.

La fluttuazione nella produzione è in gran parte dovuta alle sensibili oscillazioni annue cui risultano affette le rese dell'olivo in dipendenza della tradizionale alternanza dei cicli fisiologici di "carica" e di "scarica", nonché dell'inevitabile alea climatica (decisiva anche nel modulare la virulenza degli attacchi parassitari, primo fra tutti quello della mosca dell'olivo). Nella campagna 2000-2001, ad esempio, l'ISMEA ha stimato una flessione nella produzione del 32% rispetto all'annata 1998-1999. Secondo dati più recenti forniti da Agecontrol, invece, la campagna 2003-2004 ha visto un incremento nella produzione nazionale di olio dell'8% rispetto alla campagna 2002-2003 (Tabella 4.1).

Regione	Produzione di olio (t)				
	Anno 2000	Anno 2001	Anno 2002	Anno 2003	Anno 2004
Abruzzo	29.522	16.534	17.469	19.056	18.638
Basilicata	15.042	7.601	12.123	4.942	16.783
Calabria	223.872	153.157	207.131	213.176	241.534
Campania	45.639	36.376	43.737	46.203	38.584
Emilia Romagna	1.296	905	1.457	810	1.069
Friuli Venezia Giulia	69	61	69	70	60
Lazio	55.110	24.915	33.681	20.811	20.023
Liguria	2.584	5.401	2.267	7.602	2.373
Lombardia	1.214	417	526	412	454
Marche	6.552	4.362	6.310	5.377	5.199
Molise	6.658	5.252	4.965	5.027	5.482
Puglia	336.157	191.793	267.013	224.713	267.393
Sardegna	13.454	15.361	9.346	6.844	10.535

Tabella 4.1 - Produzione nazionale di olio, anni 2000-2004 (Fonte: Elaborazioni AGECONTROL su dati AGEA)

segue

segue: **Tabella 4.1 - Produzione nazionale di olio, anni 2000-2004** (Fonte: Elaborazioni AGECONTROL su dati AGEA)

Regione	Produzione di olio (t)				
	Anno 2000	Anno 2001	Anno 2002	Anno 2003	Anno 2004
Sicilia	66.850	50.095	43.823	58.455	55.507
Toscana	34.483	20.158	18.981	23.166	11.336
Trentino Alto Adige	106	145	231	138	154
Umbria	16.546	11.767	6.525	9.170	3.868
Veneto	1.231	1.041	1.266	1.281	1.277
Italia	856.385	545.341	676.922	647.252	700.268

Riguardo all'organizzazione produttiva, l'analisi dei dati evidenzia con chiarezza la forte frammentazione dell'olivicoltura italiana (Tabella 4.2) che risulta caratterizzata da un'elevata presenza di aziende di piccole dimensioni, generalmente destinate a soddisfare le esigenze di autoconsumo ed una limitata incidenza di grossi olivicoltori ai quali si deve invece buona parte della produzione mercantile. Tale condizione è da ricondurre sia alla particolare situazione orografica delle superfici investite ad ulivo (distribuite per il 67% in collina, per l'11% in montagna e per solo il 9% in pianura), sia alla scarsa mobilità fondiaria che tradizionalmente caratterizza l'agricoltura del nostro Paese.

Tabella 4.2 - Classificazione delle aziende olivicole italiane e loro distribuzione relativa nella campagna 1997/98 (Fonte: ISMEA).

Dotazione di alberi Numero di alberi per azienda	Distribuzione delle aziende Percento sul totale
<100	60,0
<250	26,7
>250	12,0
>1000	1,3

Una stima delle quantità di effluenti prodotti a livello nazionale può essere derivata dall'elaborazione dei risultati raccolti nel corso del censimento sull'attività molitoria effettuato in tutte le regioni italiane (Tabella 4.3). Dall'esame della tabella si può, infatti, osservare come la quantità annuale di acque reflue prodotte nei frantoi considerati ammonti a circa 1 milione di tonnellate. Considerando che gli impianti censiti lavorano circa un terzo della quantità totale di olive avviate all'estrazione nel nostro Paese ed ipotizzando che il rapporto medio tra olive lavorate e reflui prodotti si mantenga costante, si può stimare che la produzione di reflui oleari si attesti attorno ai 3 milioni di tonnellate per anno.

Tabella 4.3 - Censimento dell'attività molitoria effettuato nell'ambito del Progetto Riciclo dei Reflui del Sistema Agricolo-Industriale, Sottoprogetto Reflui Oleari. I dati riportati si riferiscono alla campagna olearia 1997/98.

Regione	Frantoi operanti		Frantoi rilevati		
	Numero	Quantità di olive molite (t)	Numero	Quantità di olive molite (t)	Quantità di acque reflue
Abruzzo	527	146.636,1	303	67.320,9	40.166,3
Basilicata	183	62.837,5	73	22.087,9	15.907,6
Calabria	1303	1.002.249,7	491	279.880,9	243.670,1
Campania	583	227.083,7	291	100.315,6	74.590,7
Emilia Romagna	25	5.268,7	12	2.537,2	1.667,5
Friuli Venezia Giulia	3	318,4			0,0
Lazio	398	167.895,3	220	66.829,6	56.159,4
Liguria	186	11.728,2	96	13.361,5	11.026,7
Lombardia	23	3.131,4	8	976,8	693,3
Marche	154	20.911,2	89	12.907,5	7.784,9
Molise	144	32.654,3	75	14.844,0	8.371,8
Puglia	1234	1.584.624,8	628	435.568,7	371.269,0
Sardegna	128	89.119,5	53	31.462,4	30.939,8
Sicilia	693	304.721,2	360	115.417,8	105.179,6
Toscana	417	98.894,6	225	54.027,6	45.395,7
Trentino Alto Adige	2	613,2			0,0
Umbria	270	36.821,1	157	22.770,4	17.451,5
Veneto	35	5.776,2	26	6.105,0	4.733,0
Totale	6.308	3.801.285,1	3.107	1.246.413,8	1.035.006,9

4.2 - Il processo tecnologico

Le tecnologie estrattive utilizzate influenzano tutti i prodotti dell'industria olivaria, rivestendo particolare importanza sia nella caratterizzazione quantitativa che in quella qualitativa delle acque reflue. In generale si può affermare che dal frantoio si originano, oltre naturalmente all'olio, due tipologie di sottoprodotto, distinguibili in base alla rispettiva fase fisica: le sanse vergini, di consistenza più o meno solida derivanti dalla polpa delle olive, e le acque di vegetazione, di formulazione liquida, costituite essenzialmente dalle acque di lavaggio e da quelle di processo, oltre che dalla frazione acquosa dei succhi della drupa.

Le sanse rappresentano, in un certo senso, un'ulteriore fonte di reddito per i frantoiani, che usualmente le conferiscono con profitto ai sansifici, dove vengono sfruttate per l'estrazione dell'olio di sansa e per l'ottenimento della sansa esausta, impiegata come combustibile. Le acque di vegetazione, secondo la normativa vigente (Legge 574/96 e DM 6 luglio 2005), possono essere, invece, avviate allo spandimento sul terreno agrario (*cf.* capitolo 3).

In estrema sintesi, l'estrazione dell'olio è realizzata attraverso la frantumazione delle drupe fino al-

la loro riduzione in pasta a partire dalla quale, mediante l'adozione di opportune tecnologie di separazione, si giunge all'isolamento dell'olio dai sottoprodotti. Analizzando più in dettaglio il processo appena descritto si possono distinguere le seguenti fasi (Figura 4.1):

Stoccaggio. Le olive poste in olivaio vengono conservate al fresco, ben aerate, possibilmente al riparo dalla luce e da fonti di calore. Questa fase deve essere condotta con particolare cura onde prevenire problemi di deterioramento delle drupe (surriscaldamento, ammaccatura, insorgenza di muffe o di fermentazioni, ecc.).

Defogliazione e lavaggio. Questa operazione, eseguita mediante l'uso di vibro-vagli accoppiati spesso ad aspiratori, è necessaria per evitare l'accumulo di foglie o di altri scarti vegetali, ma anche per allontanare eventuali corpi estranei (terra, pietre, residui legnosi, ecc.) presenti nella massa da lavorare. L'operazione di lavaggio, consigliata per migliorare l'aspetto e la sanità delle drupe raccolte da terra, può risultare dannosa se effettuata su olive in avanzato stato di maturazione a causa del più facile disfacimento della cuticola dei frutti a contatto con l'acqua.

Molitura o frangitura. La molitura è finalizzata all'ottenimento di una pasta omogenea la cui consistenza dipende sostanzialmente dal grado d'umidità posseduto dall'oliva. Viene effettuata utilizzando le classiche molazze in pietra oppure il frangitore. Le prime, operando lo schiacciamento della massa attraverso il movimento rotatorio di una macina, ne facilitano anche il rimescolamento. Con la frangitura, invece, si opera un'istantanea rottura della polpa e del nocciolo mediante una ghiera forata dove l'oliva viene spinta con violenza.

Gramolatura. Questa operazione, che consente un continuo rimescolamento della pasta di olive, ha lo scopo di facilitare l'aggregazione e la fuoriuscita dell'olio. Se associata alla molitura la gramolatura richiede circa 30 minuti di tempo, ma se condotta a seguito della frangitura può protrarsi fino ad oltre 60'. Il maggior tempo di rimescolamento ed il conseguente aumento della temperatura di esercizio, se da un lato determinano un incremento della resa in olio, dall'altro possono comportare uno scadimento qualitativo del prodotto a causa dell'esaltazione dei processi termo-ossidativi responsabili della diminuzione di polifenoli e di vitamina E e dell'incremento dei perossidi.

Estrazione del mosto oleoso e separazione. I sistemi adottati per l'estrazione dell'olio dall'oliva sono, essenzialmente, di due tipi:

- *discontinuo o per pressatura:* è quello più tradizionale, in cui la separazione delle due fasi, solida e liquida, avviene per mezzo di presse verticali che, grazie alla notevole pressione applicata e all'utilizzo di speciali dischi (fiscoli), favoriscono la fuoriuscita del mosto oleoso;
- *continuo o centrifugo:* prevede il ricorso ad una centrifuga orizzontale, il *decanter*, che consente la separazione del mosto oleoso dalla sansa in relazione alla diversa densità dei due materiali.

L'ulteriore lavorazione del mosto oleoso ha lo scopo di consentire la separazione delle acque di vegetazione dall'olio, ma anche quello di allontanare gli eventuali materiali grossolani (residui di pasta o mucillagini) ancora presenti. Nel sistema tradizionale l'estrazione può avvenire per decantazione all'interno di apposite vasche o, più comunemente, per separazione centrifuga. I processi tradizionali di molitura richiedono quantità di acqua variabile tra 40 e 120 litri per quintale di olive molite, da aggiungere in fase di gramolatura, generando una notevole quantità di refluo.

Nel caso di impianti continui, invece, il mosto oleoso in uscita dal *decanter* viene automaticamente avviato ad un separatore centrifugo. Questo sistema di estrazione, oggi conosciuto anche come *sistema "a tre fasi"*, provvede alla separazione iniziale della sansa dalla pasta di olive e, in un secondo momento, all'allontanamento dell'acqua di vegetazione dall'olio. Limitato successo hanno avuto invece, almeno nel nostro Paese, i sistemi di separazione "*a due fasi*" dove, già a livello del *decanter*, la pasta è scissa in olio e sansa umida (una mescolanza di sanse e acque di vegetazione). Il più elevato contenuto in olio che permane nel refluo e l'elevato tasso di umidità che caratterizza le sanse (55-65%), rende infatti tale materiale poco appetito dai sansifici e nello stesso tempo poco adatto allo smaltimento sul terreno agrario per l'eccessivo contenuto in sostanze grasse. Lavorando, invece, a tre fasi, si ottengono sanse con umidità accettabile (48-54%) ma, in ogni caso, elevati quantitativi di acqua di vegetazione. Questi ultimi possono essere, tuttavia, significativamente ridotti ricorrendo ai *decanter* di ultima generazione (a risparmio d'acqua e cono corto).

L'esigenza di migliorare la qualità dell'olio ha spinto a considerare anche l'opportunità di ridurre o eliminare del tutto l'aggiunta di acqua di processo, determinando una drastica contrazione dei quantitativi di acque di vegetazione prodotti (Tabella 4.4). L'importante è che l'umidità, durante il processo di estrazione centrifuga, non scenda mai al disotto del 50%; si procede dunque a limitati apporti liquidi (10÷20 kg per 100 kg di olive) se la pasta olearia ha un'umidità iniziale del 40÷45%, mentre non è prevista alcuna aggiunta d'acqua, se le olive presentano un'umidità del 50% o superiore.

In ogni caso l'evoluzione della tecnologia di estrazione verso sistemi di lavorazione che eseguono il processo in modo automatico, senza il bisogno del diretto intervento dell'uomo, sta determinando progressivamente una sensibile riduzione dell'impiego degli impianti a pressione caratterizzati da un'elevata richiesta di manodopera. La tendenza è dunque quella di affidarsi ad impianti continui che puntino all'utilizzo del sistema centrifugo per la separazione delle fasi, eventualmente associato con altri metodi di estrazione (impianti misti a doppia estrazione).

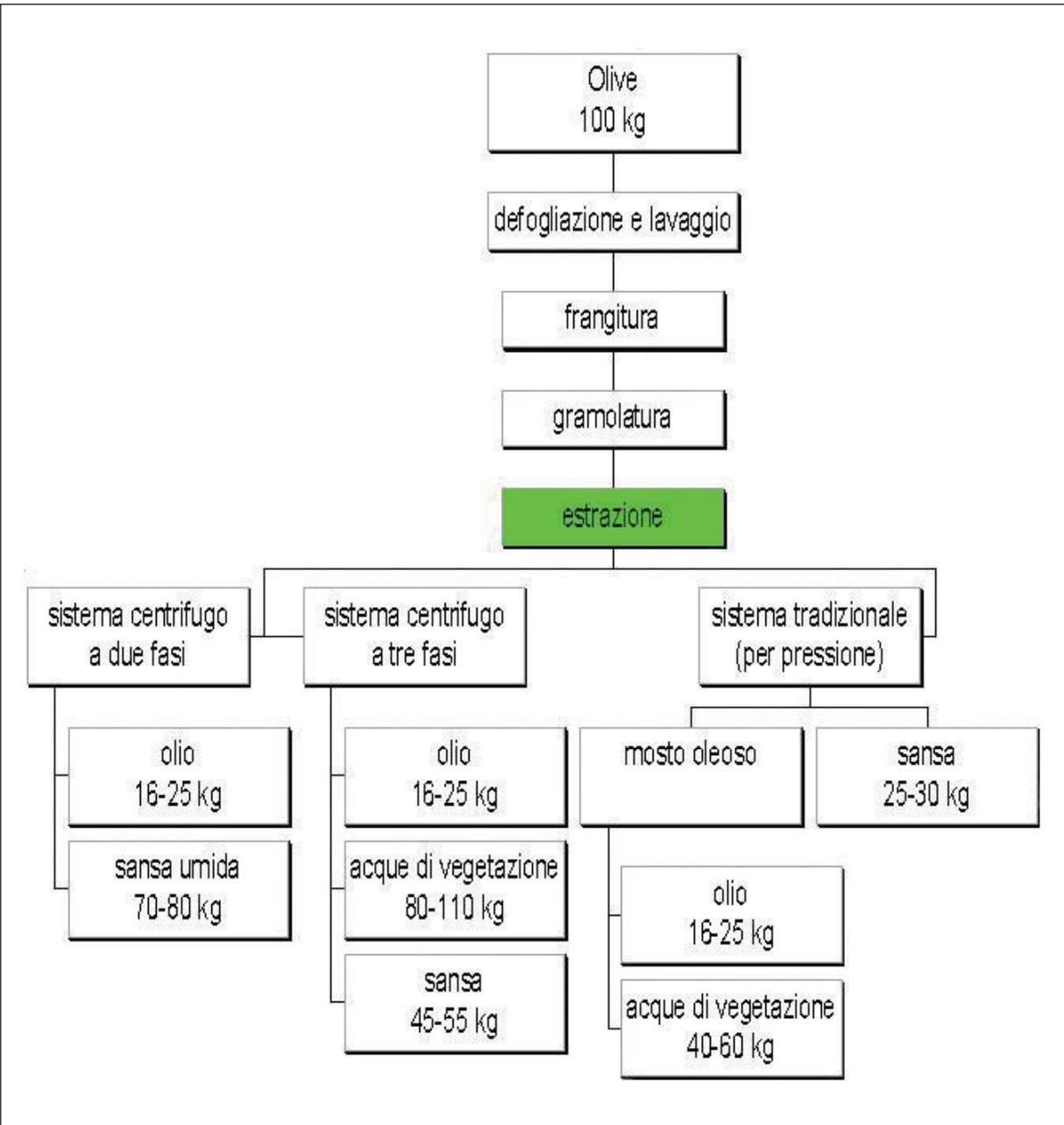


Figura 4.1: diagramma di flusso del ciclo produttivo dell'olio di oliva.

Tabella 4.4 - Produzione di acque reflue con le diverse tecnologie di estrazione (da Amirante, 1999).

Tecnologia di estrazione	Olive	Acqua aggiunta	Sansa	Acque di vegetazione
	kg			
Due fasi tradizionale	100	0-10	75-80	-
Tre fasi tradizionale	100	50	55-57	80-110
Tre fasi a risparmio d'acqua	100	10-20	56-60	33-35

4.3 - Le caratteristiche dei reflui oleari

Le acque di vegetazione (AV) presentano una colorazione scura che può arrivare sino al nero e sono caratterizzate da un odore tipico, piuttosto intenso, che ricorda quello della drupa da cui derivano. Sono costituite sostanzialmente di una soluzione acquosa di sostanze organiche (in particolare di zuccheri riduttori, ma anche acidi organici, polialcoli) e minerali (potassio, fosforo, calcio) che può contenere in sospensione del materiale solido vegetale sfuggito nella fase di separazione del mosto oleoso.

La progressiva sostituzione dei frantoi tradizionali a pressione con i nuovi sistemi a estrazione centrifuga ha determinato delle modifiche nelle caratteristiche dei sottoprodotti, la più macroscopica delle quali riguarda l'incremento dell'umidità delle sanse ed una maggiore diluizione (fino a quattro volte superiore) della componente solida presente nelle acque di vegetazione. Per questo motivo la normativa vigente prevede apporti massimi diversificati a seconda del metodo di estrazione adottato: 50 m³/ha/anno per le acque di vegetazione prodotte da impianti a ciclo tradizionale e 80 m³/ha/anno per le acque di vegetazione originate da impianti a ciclo continuo.

In tabella 4.5 sono riportati i valori dei parametri chimico-fisici caratterizzanti le acque di vegetazione provenienti dai due processi di estrazione dell'olio (Di Giovacchino et al., 1988), che da un'accurata ricerca sono risultati sostanzialmente in linea con gli altri dati ricavabili dal vasto repertorio bibliografico esistente.

Tabella 4.5 - Caratteristiche chimico-fisiche delle acque di vegetazione provenienti dai due processi di estrazione dell'olio (da Di Giovacchino et al., 1988)

Parametri	Sistema di estrazione	Valore medio
pH	Pressione	5,27
	Centrifugazione	5,23
Estratto secco (g/L)	Pressione	129,7
	Centrifugazione	61,1
Peso specifico	Pressione	1,049
	Peso specifico	1,020
Olio (g/L)	Pressione	2,26
	Centrifugazione	5,78

segue

segue: **Tabella 4.5 - Caratteristiche chimico-fisiche delle acque di vegetazione provenienti dai due processi di estrazione dell'olio (da Di Giovacchino et al., 1988)**

Parametri	Sistema di estrazione	Valore medio
Zuccheri riduttori (g/L)	Pressione	35,8
	Centrifugazione	15,9
Polifenoli totali (g/L)	Pressione	6,2
	Centrifugazione	2,7
Ceneri (g/L)	Pressione	20,1
	Centrifugazione	6,4
COD (g O ₂ /L)	Pressione	146
	Centrifugazione	85,7
BOD ₅ (g O ₂ /L) (da Pacifico, 1986)	Pressione	90,2
	Centrifugazione	28,7

pH. Le acque di vegetazione, a causa del contenuto di acidi organici presenti nelle olive (in particolare acido malico e citrico), hanno una reazione da sub-acida ad acida e presentano valori di pH da 4,5 a 5,9. Tali oscillazioni sono da attribuire alla varietà, al periodo di maturazione ed alla durata dello stoccaggio delle olive, mentre in generale il pH risulta scarsamente influenzato dal sistema di estrazione prescelto.

Estratto secco a 105 °C. Come già precedentemente accennato le acque di vegetazione prodotte dai sistemi a centrifugazione possiedono, rispetto a quelle derivanti dai sistemi a pressione, un più basso residuo secco per unità di volume.

Contenuto in olio. Le acque di vegetazione residue dal sistema a centrifugazione presentano, rispetto a quelle per pressatura, un quantitativo di olio maggiore. Ciò è dovuto al fatto che le acque di centrifugazione contengono in sospensione una certa quantità di piccoli frammenti vegetali di polpa di olive che, durante il processo di frangitura, il *decanter* trasferisce dalla sansa al refluo liquido.

Zuccheri riduttori. Si riscontra, a questo riguardo, un'estrema variabilità dei dati riportati in letteratura, dovuta all'influenza esercitata su questo parametro dal grado di maturazione delle olive, dallo stato sanitario, dalle condizioni di stoccaggio e dalla varietà dell'oliva stessa, oltre che, naturalmente, dalla diversa tecnologia estrattiva adottata. Gli zuccheri riduttori presenti sono costituiti essenzialmente da glucosio (90% c.a.) e fruttosio (10% c.a.).

Sostanze fenoliche. Anche il tenore di sostanze fenoliche dipende dalla varietà, dallo stato di maturazione, dalla tipologia di stoccaggio e del degrado che le olive possono aver subito fra la raccolta e la spremitura. Esso risulta influenzato, in particolar modo, dalla tecnologia estrattiva adottata, aggirandosi intorno ai 6 grammi/litro per le acque da ciclo a pressione e intorno ai 3 grammi/litro per quelle da ciclo a centrifugazione. Come già rilevato (cfr Capitolo 2) quella fenolica rappresenta una delle frazioni di maggior interesse delle acque di vegetazione, essendo una delle responsabili della scarsa trattabilità biologica di questo refluo. Una tipica composizione della frazione fenolica delle AV è riportata nella tabella sottostante.

Tabella 4.6 - Composizione tipica della frazione fenolica delle AV (Montedoro et al, 1986)

COMPOSTO FENOLICO	CONCENTRAZIONE (g/L)
Acido diidrossicinnamico (caffeoico)	0,142
Acido cinnamico	0,240
Acido 2,6-diidrossibenzoico	1,060
Acido p-idrossibenzoico	0,590
Acido 3,5-dimetossi-4-idrossibenzoico (siringico)	1,147
Acido 3,4,5-trimetossibenzoico	0,117
Acido 4-idrossi-3-metossibenzoico (vanillico)	0,507
Acido 3,4-dimetossibenzoico (veratrico)	0,717
Acido p-idrossifenilacetico	0,350

Ceneri. Il contenuto medio in ceneri varia, in valore percentuale, dallo 0,6 al 2%, rispettivamente, per le acque di vegetazione derivanti da impianti a centrifugazione e a pressione. Le diverse indagini svolte evidenziano unanimemente che il potassio è l'elemento minerale maggiormente presente, con valori medi di oltre 2.000 mg/L per impianti a pressione e di circa la metà per quelli a centrifugazione, seguito dall'azoto (544-404 mg/L), dal fosforo (485-185 mg/L) e da altri microelementi presenti in concentrazioni più modeste.

COD e BOD₅. I valori del COD (*Chemical Oxygen Demand*), così come quelli del BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*), risultano, per qualunque tipologia di acqua di vegetazione, molto elevati, anche se decisamente maggiori nel caso di AV residue da impianti tradizionali. Queste ultime, infatti, sono caratterizzate da un COD e da un BOD₅, rispettivamente, pari a 150 grammi O₂/litro e 90 grammi O₂/litro contro i 90 grammi O₂/litro e i 30 grammi O₂/litro caratteristici delle acque originate da impianti centrifughi.

Bisogna tenere presente che, durante lo stoccaggio nelle vasche di raccolta, ove il refluo sosta per tempi più o meno lunghi prima dello spandimento, la concentrazione di alcuni componenti organici facilmente fermentescibili può diminuire anche notevolmente, per l'azione di microrganismi aerobi ed anaerobi. Il pH generalmente aumenta, mentre il BOD₅ diminuisce, così come la quantità di solidi sospesi, in seguito a sedimentazione, e dell'estratto etereo, nel caso in cui si provveda al recupero delle sostanze grasse (olio) affioranti.

Poche informazioni sono, invece, reperibili circa la caratterizzazione microbiologica dei reflui oleari. Dalle analisi sinora eseguite su acque di vegetazione di diversa provenienza emerge che la popolazione microbica è prevalentemente costituita da batteri; tra questi, i più numerosi sono i cellulolitici mentre risultano assenti i nitrificanti. Anche se in numero minore, sono presenti lieviti e funghi, molti dei quali pectinolitici, mentre risultano assenti gli actinomiceti.

4.4 L'impiego delle acque di vegetazione in agricoltura

Le acque di vegetazione sono state per lungo tempo considerate un refluo fra i più inquinanti nell'ambito dell'industria agro-alimentare e pertanto la consuetudine di procedere al loro spandimento, tal quale, sul terreno agrario è stata inizialmente ostacolata. Infatti oltre ad un elevato "carico organico", le acque di vegetazione presentano anche una bassa biodegradabilità (il rapporto BOD_5/COD è mediamente uguale a 0,25-0,30) a causa della presenza di polifenoli ad attività antimicrobica.

Tuttavia, dall'esame della letteratura, risulta che questi reflui non sembrano possedere un'effettiva tossicità e tutt'al più possono provocare qualche effetto indesiderato, comunque temporaneo, sulla funzionalità degli agro-ecosistemi interessati al loro sversamento (Cini e Regis, 2000).

La distribuzione diretta sul terreno agrario delle acque di vegetazione rappresenta dunque una strada percorribile per un loro recupero, e ciò sia per motivi di ordine economico che per esigenze di tipo agro-ecologico.

Le indagini sinora condotte hanno infatti messo in risalto l'incremento della frazione umica del terreno ed un arricchimento nella dotazione in elementi nutritivi conseguenti alla somministrazione di dosi crescenti di acque di vegetazione fra 40 e 160 m³/ha (Potenz et al., 1985; Bonari, 1990; Saviozzi et al., 1991; Levi-Minzi et al., 1992), mentre numerosi studi realizzati su diverse colture agrarie con quantitativi di reflui analoghi ai precedenti non hanno quasi mai evidenziato significativi effetti depressivi sulla produttività delle stesse (Catalano, 1989; Di Giovacchino e Seghetti, 1990; Cicolani et al., 1993; Bonari et al., 1993; Bonari e Ceccarini, 1994, Bonari et al., 2001).

In particolare, i risultati reperibili in letteratura, possono essere riassunti secondo tre grandi categorie di colture:

- *colture primaverili-estive* (in particolare mais e girasole): per tali colture lo spandimento delle acque di vegetazione avviene su terreno nudo, ma risulta importante la durata del periodo di tempo intercorrente fra la distribuzione e la successiva semina;
- *cereali autunno-vernini* (frumento e orzo): lo spandimento delle acque di vegetazione avviene sulle colture in atto e l'effetto è fortemente influenzato dallo stadio vegetativo della pianta;
- *colture arboree* (in particolare olivo): l'ostacolo maggiore è rappresentato dalle pendenze che spesso rendono impraticabile o rischiosa (per problemi di erosione, ruscellamento o trafficabilità) la pratica dello spandimento.

Sulle colture erbacee, sia spontanee che coltivate, è stato riscontrato un effetto antigerminello conseguente alla somministrazione dei reflui oleari sul terreno nel caso in cui il periodo intercorrente fra la distribuzione e la semina sia inferiore a 40 giorni (Bonari e Ceccarini, 1994), od ancora più breve (Di Giovacchino e Seghetti, 1990). Per le colture primaverili-estive non si dovrebbero presentare particolari problemi al riguardo, dal momento che la produzione dei reflui oleari si concentra nei mesi invernali e quindi il loro spargimento avviene molto tempo prima dell'impianto della coltura. Per quanto concerne le specie erbacee autunno-vernine, che nel periodo in cui si deve provvedere alla distribuzione si possono trovare già in campo, la situazione invece è più delicata. In generale la somministrazione delle acque di vegetazione su colture in atto può avvenire solo in fase di accestimento o pre-accestimento, e ciò essenzialmente per motivazioni di ordine pratico (deve essere possibile l'ingresso nel campo dei carribotte senza che ciò rechi danni diretti alle piante); cosicché si può registrare una lieve diminuzione delle rese, ma solo per dosi superiori ai 50-80 m³/ha (Bonari e Ceccarini, 1994; Raglione et al., 1997).

I risultati delle prove di spandimento sulle colture arboree, di cui la bibliografia si dimostra piuttosto

povera, non fanno registrare generalmente fenomeni di fitotossicità sulle piante trattate (Raglione e D'Ambrosio, 2001). Le indagini sono state condotte prevalentemente su oliveti, sia su esemplari adulti che su alberi giovani, saggiando i possibili effetti negativi sull'*habitus* vegetativo, su alcuni parametri fisiologici e sulla produttività (Proietti et al., 1988; Catalano, 1989). In taluni casi è stato addirittura riscontrato un effetto positivo sulla capacità di controllo delle infestanti, ma solo a dosi elevate (Bonari e Ceccarini, 1993). Qualora si operi su terreni più o meno declivi, la possibilità di procedere allo spargimento deve essere comunque ben ponderata, in quanto il rischio di innescare processi erosivi potrebbe risultare, come già ricordato, tutt'altro che trascurabile.

Rispetto invece alle possibili conseguenze sulle caratteristiche del terreno, il significativo contenuto in elementi nutritivi (Tabella 4.7) quali il potassio (sotto forma di ossido) ed il fosforo (come anidride fosforica) ha suggerito, già in passato, l'ipotesi di utilizzare i reflui oleari come fertilizzanti. A ciò si deve aggiungere poi il contributo in nutrienti derivante dalla mineralizzazione della frazione organica contenuta negli effluenti, la cui disponibilità è da mettere in relazione all'attività della flora microbica tellurica, anche se non va trascurato il contributo attribuibile ai microrganismi già presenti nel refluo (Ramos-Cormenzana, 1986).

Tabella 4.7 - Concentrazione di elementi nutritivi nei reflui provenienti dai diversi cicli di lavorazione.

Parametro	Ciclo di lavorazione	
	Tradizionale (mg/L)	Continuo (mg/L)
Azoto organico	154-1.106	140-966
Fosforo totale	157-915	42-495
Sodio	38-285	18-124
Calcio	58-408	47-200
Potassio	1.500-5.000	630-2.500

Fonte: Autori vari

Risulta evidente che le concentrazioni degli elementi variano sostanzialmente in relazione al metodo di estrazione adottato: nel caso di impianti continui, infatti, a causa delle maggiori quantità di acqua di processo utilizzate rispetto agli impianti tradizionali, tutte le concentrazioni risultano pressoché dimezzate; tuttavia, anche nel caso di processi produttivi dello stesso tipo, il contenuto in N, P e K dei reflui può risultare estremamente variabile.

In generale comunque, l'apporto di reflui oleari al terreno provoca un aumento del contenuto in azoto totale, fosforo assimilabile e potassio scambiabile, correlato alla dose di applicazione (Potenz et al., 1985; Saviozzi et al., 1991; Levi-Minzi et al., 1992; Pagliai et al., 2001).

Questi risultati mettono in rilievo come l'azoto ed il fosforo, anche se apportati in piccole quantità (la dose di 50 di m³/ha di acque di vegetazione residue da impianti tradizionali apportano circa 25 kg/ha di P₂O₅ e 30 kg/ha di N organico), interagiscano intensamente con i processi biologici che nel suolo influenzano la disponibilità o l'immobilizzazione dei vari elementi.

In particolare, il fosforo presente nei reflui, essendo di natura organica, sembra in grado di determinare un aumento della frazione assimilabile (Papini et al., 2000). L'azoto totale, invece, subisce un incremento che si prolunga nel tempo, dovuto in parte all'immobilizzazione dell'azoto minerale per la sintesi di nuova biomassa da parte dei microrganismi del suolo (Jensen, 1994) ed in parte all'effetto inibitorio sulla mineralizzazione (Bremner e McCarty, 1993).

Per quanto concerne il potassio, un incremento della sua dotazione nel terreno, in considerazione della concentrazione del nutriente nel refluo, si può registrare anche con apporti unitari modesti di acque di vegetazione (la dose di 25 di m³/ha di AV residue da impianti tradizionali apporta circa 80 kg/ha di K₂O); in genere l'incremento dell'elemento interessa la forma solubile che si mantiene più elevata rispetto al testimone per tempi piuttosto lunghi.

Sensibile può risultare anche l'incremento del carbonio organico, soprattutto quando le acque sono somministrate alle dosi massime. A questo proposito si deve precisare che i reflui provenienti da ciclo tradizionale contengono in media il 5,0-5,5% di sostanze organiche, rappresentate essenzialmente da: olio (1,3%), zuccheri (1,5%), polialcoli (1,1%), polifenoli (0,6%), pectine e mucillaggini (0,3%) e composti azotati (0,3%). Tali sostanze sono, tuttavia, in buona parte labili e quindi, una volta distribuite al suolo, vanno incontro a processi di mineralizzazione e polimerizzazione ossidativa piuttosto rapidi, con la sola eccezione della frazione costituita da polifenoli e poliosi che è destinata ad una demolizione più lenta (Pagliai et al., 2001).

È corretto quindi attribuire alle acque di vegetazione un effettivo valore fertilizzante che risulta nettamente superiore al loro costo di distribuzione (Bonari, 1996; Bonari e Ceccarini, 1997).

Trascurabile invece si dimostra la loro utilità quale possibile fonte complementare per l'irrigazione delle colture, sia perché la campagna olearia si svolge in un periodo (ottobre-marzo) usualmente non caratterizzato da condizioni di deficit idrico nella grande maggioranza delle aree agricole del nostro Paese, sia perché deve essere garantita l'incorporazione dei reflui nel terreno, operazione problematica da effettuare con la coltura in atto e sia, infine, perché le dosi massime applicabili (50 e 80 m³/ha) sono comunque troppo basse per fornire un contributo significativo alla nutrizione idrica delle colture.

Per quanto riguarda possibili inconvenienti legati allo sversamento dei reflui oleari nei campi coltivati si deve ricordare, senz'altro, l'abbassamento dei valori di pH del terreno, che risulta in genere proporzionale alla dose somministrata; tali effetti tendono però ad attenuarsi nel tempo fino ad annullarsi pochi mesi dopo lo spandimento (Bonari e Ceccarini, 1991; Riffaldi et al., 1992); una dinamica analoga sembra riscontrarsi per il BOD₅ e soprattutto per il COD, i cui valori tendono a riassetarsi su quelli del testimone non trattato entro breve tempo (Saviozzi et al., 1993, Bonari, 1996).

Preoccupa, anche, la carica in polifenoli totali, di cui è nota l'azione antimicrobica in grado di rallentare i processi di trasformazione e di biodegradazione del refluo. Tali effetti risultano però limitati nel tempo e rilevanti solamente nel caso di trattamenti effettuati con dosi massicce e/o qualora l'intervallo di tempo intercorrente fra lo spandimento e la semina della coltura successiva risulti troppo breve. Si ritiene, infatti, che alle dosi normalmente distribuite nel terreno agrario, i poliofenoli siano demoliti nel giro di pochi mesi (Saviozzi et al., 1990, 1991; Riffaldi et al., 1992, Alianello, 2001). Anche i pericoli di contaminazione delle falde sono sostanzialmente limitati a terreni particolarmente sciolti in condizioni di estrema piovosità stagionale, fattori che possono favorire il percolamento negli strati più profondi del suolo.

Da quanto detto si evince che i problemi connessi con la presenza dei polifenoli nel terreno sono legati solo in minima parte ad un'azione tossica diretta nei confronti delle piante (che sembra comunque esserci, seppur in misura limitata) mentre appaiono principalmente correlati agli effetti antiossidanti e batteriostatici, che possono influenzare i cicli dei nutrienti organici e minerali presenti nel terreno.

Va rilevato come i dati reperibili in letteratura, circa l'effetto della somministrazione delle acque di vegetazione sulle caratteristiche fisiche del terreno, siano poco estesi. Riguardo alla porosità, considerato l'indicatore principale delle qualità strutturali dei suoli, si assiste ad un generale miglora-

mento del sistema dei pori (Belloni et al., 1994) e quindi delle caratteristiche idrologiche del terreno, in conseguenza allo spandimento controllato delle acque di vegetazione, anche grazie all'incremento della frazione organica nel suolo ed all'accresciuta stabilità degli aggregati (Pagliai et al., 2001). Solo in condizioni di saturazione del suolo a seguito di abbondanti precipitazioni è stata osservata un'azione negativa dello spargimento dei reflui per effetto della riduzione della macroporosità determinata dall'occlusione degli spazi vuoti operata dalla frazione lipidica in essi contenuta (Ranalli e Strazzullo, 1995). In questo caso la scelta del tipo di lavorazione e la cautela nella determinazione delle dosi e del periodo di distribuzione dei reflui possono contribuire non poco ad attenuare tale inconveniente.

4.5 - Considerazioni conclusive

Le acque di vegetazione risultano essenzialmente prive di sostanze pericolose (agenti patogeni, metalli pesanti, ecc.) ed il problema di una loro corretta utilizzazione agronomica riguarda quasi esclusivamente alcuni componenti organici caratterizzati da una spiccata azione antimicrobica e/o da una bassa biodegradabilità (polifenoli).

Le prove di spandimento delle acque di vegetazione sui terreni agricoli, per saggiarne le conseguenze sulle colture, hanno dimostrato che, per i dosaggi consentiti dalla legge (50-80 m³/ha come valore massimo), non si riscontrano fenomeni di fitossicità, né si corre il rischio di avvicinare i limiti di "caricabilità" per i metalli pesanti o i quantitativi massimi consigliati per la somministrazione di azoto.

Ciononostante l'impiego delle acque di vegetazione in agricoltura deve rispondere a criteri di razionalità in relazione alle quantità, ai tempi, alle modalità di spandimento nonché (e soprattutto) alle particolari condizioni del sito destinato a riceverle: falda non inferiore ai 10 m di profondità, distanza di rispetto dai centri abitati e dalle aree di captazione delle acque potabili, esclusione dei terreni con colture ortive in atto, gelati, innevati, inondati o saturi d'acqua, adeguata distanza (almeno 10 metri) dai corsi d'acqua e dagli arenili per le acque marino costiere e lacuali, non utilizzo in terreni caratterizzati da eccessiva pendenza (>15%), nei boschi, ecc. (si veda L. 574/96 e DM 6 luglio 2005). Si tratta, pertanto, di valutare con attenzione le quantità complessivamente prodotte nell'areale di riferimento, la maggiore o minore ampiezza del periodo di raccolta delle olive (e quindi della conseguente dinamica di formazione) e le caratteristiche agropedoclimatiche prevalenti del territorio interessato. Le sperimentazioni effettuate hanno, comunque, evidenziato che i problemi agronomici legati all'impiego delle acque di vegetazione sono limitati e possono essere facilmente risolti, purché vengano osservate alcune semplici regole comportamentali relative alle dosi ed alle epoche di distribuzione (tabella 4.8).

Tabella 4.8 – Quadro riassuntivo dell’epoca di trattamento consigliata e volumi ottimale di AV per le principali colture agrarie

COLTURA	FASE TRATTAMENTO	DOSE A.V.
Cereali autunno-vernini	accestimento/rotazione	< 40 m ³ /ha se umidità < 60% limiti di legge se umidità > 60%
Colza	rosetta/rotazione	< 40 m ³ /ha se umidità < 60% limiti di legge se umidità > 60%
Mais	pre-semine	Limiti di legge
Girasole	pre-semine	Limiti di legge
Barbabietola	-	Trattamento sconsigliato
Prati di leguminose	pre-emergenza/ricaccio	Limiti di legge
Prato pascolo	dicembre-gennaio	Limiti di legge
Olivo	Dormienza	Limiti di legge
Vite	Dormienza	Limiti di legge

Capitolo 5. ACQUE REFLUE DEI CASEIFICI

5.1 - La filiera produttiva

L'industria lattiero-casearia è articolata nella produzione di latte pastorizzato e sterile, burro, crema, latticini 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 ed 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).

Nel 2002, Emilia Romagna, Campania, Lombardia, Puglia e Veneto sono state le regioni italiane con il maggior numero di unità produttive (tabella 5.1). Nell'area meridionale il maggior numero di impianti è concentrato in Campania ed in Puglia; in queste due regioni, infatti, sono localizzati più del 65% degli impianti complessivamente presenti nel Mezzogiorno e sempre queste due regioni fanno registrare la prima e la seconda presenza, a livello nazionale, di caseifici e di centrali del latte, con 278 e 197 stabilimenti rispettivamente (dati ISTAT).

Le principali produzioni nazionali di formaggi, riferite agli anni 1999 e 2002 e ripartite in base al periodo di stagionatura, sono schematizzate in tabella 5.2. Appare evidente come nella produzione italiana abbiano particolare rilievo i formaggi a pasta dura (e fra questi il parmigiano ed i vari tipi di grana) ed i formaggi freschi, che costituiscono, nel complesso, oltre il 75% dell'intera produzione casearia.

Tabella 5.1. Numero di unità produttive locali nel settore lattiero-caseario (2002) per tipologia, su scala regionale (Fonte: ISTAT).

Regione	Caseifici e Centrali del latte	Stabilimenti di aziende agricole	Stabilimenti di Enti cooperativi agricoli (a)	Centri di raccolta	Totale
Piemonte	68	6	22	*	99
Valle d'Aosta	7	*	17	-	25
Lombardia	140	11	120	20	291
Trentino-Alto Adige	10	-	31	*	42
Bolzano-Bozen	5	-	7	*	13
Trento	5	-	24	-	29
Veneto	95	*	65	12	174
Friuli-Venezia Giulia	25	*	53	14	93
Liguria	13	*	*	*	17
Emilia-Romagna	139	26	380	6	551
Nord	497	48	690	57	1.292

Segue

Segue: Tabella 5.1. Numero di unità produttive locali nel settore lattiero-caseario (2002) per tipologia, su scala regionale (Fonte: ISTAT)

Regione	Caseifici e Centrali del latte	Stabilimenti di aziende agricole	Stabilimenti di Enti cooperativi agricoli (a)	Centri di raccolta	Totale
Toscana	38	5	8	*	54
Umbria	16	-	5	-	21
Marche	11	-	*	*	15
Lazio	57	*	8	10	76
Centro	122	6	23	15	166
Abruzzo	33	*	5	*	41
Molise	28	*	*	*	34
Campania	278	10	19	12	319
Puglia	197	7	10	6	220
Basilicata	42	*	8	*	54
Calabria	38	*	*	*	41
Sicilia	22	-	*	*	27
Sardegna	47	4	25	*	77
Sud	685	27	72	29	813
Italia	1.304	81	785	101	2.271

(a) Compresa le latterie turnarie e di prestanza.

(*) Dato non pubblicato in quanto tutelato da segreto statistico (art.9 del D.lgs n.322/89).

Tabella 5.2. Produzione nazionale annua (1999 e 2002) delle diverse tipologie di formaggio classificate in base al periodo di stagionatura (elaborazioni APAT su dati ISTAT).

Tipologie di formaggi		1999		2002	
		Quantità (t)	Incidenza sul totale (%)	Quantità (t)	Incidenza sul totale (%)
A pasta dura	Parmigiano reggiano	110.901	10,8	112.348	10,5
	Grana padano	141.377	13,8	146.989	13,7
	Altri grana	6.706	0,7	13.107	1,2
	Pecorino	32.234	3,1	30.653	2,9
	Altri	90.152	8,8	104.710	9,8
A pasta semidura	Provolone e similari	43.397	4,2	49.805	4,6
	Caciocavallo	6.952	0,7	13.407	1,2
	Fontina	3.871	0,4	3.167	0,3
	Altri	23.722	2,3	27.283	2,5

Segue

Segue: Tabella 5.2. Produzione nazionale annua (1999 e 2002) delle diverse tipologie di formaggio classificate in base al periodo di stagionatura (elaborazioni APAT su dati ISTAT).

Tipologie di formaggi		1999		2002	
		Quantità (t)	Incidenza sul totale (%)	Quantità (t)	Incidenza sul totale (%)
A pasta molle	Italico	9.323	0,9	5.763	0,5
	Taleggio	11.140	1,1	8.745	0,8
	Gorgonzola e similari	52.708	5,1	47.708	4,4
	Crescenza e stracchino	47.329	4,6	52.671	4,9
	Altri	44.878	4,4	56.314	5,2
Freschi	Mozzarella	204.761	20	400.085	37,3
	Altri	194.400	19		
Totale		1.023.811		1.072.756	

5.2 - Il processo tecnologico

Le latterie sono gli 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.

I processi che vengono adottati consistono essenzialmente nella pastorizzazione, sterilizzazione e confezionamento aseptico 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. Lo schema generale del processo di produzione del burro, in relazione alle fasi fondamentali della lavorazione, viene riportato nella figura 5.1. Nei caseifici di modeste capacità lavorative viene applicato lo schema 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, specialmente 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%).

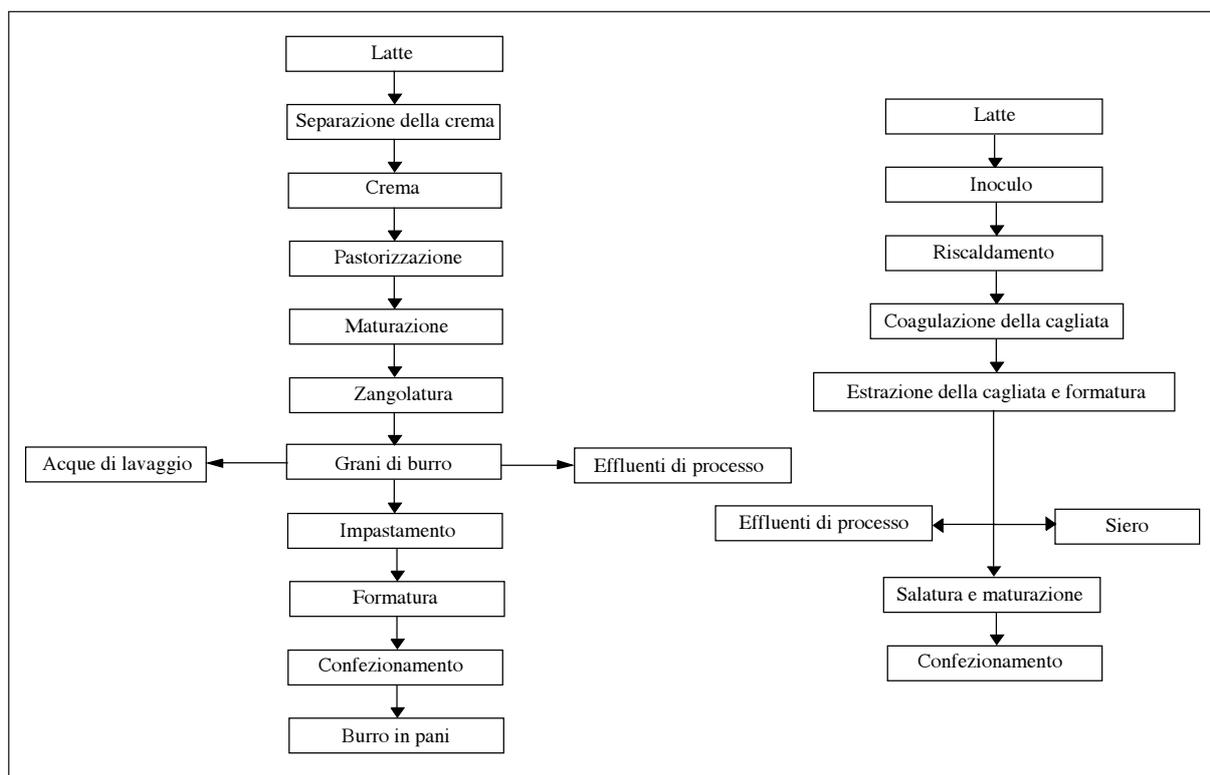


Figura 5.1 - Schema sintetico del processo di trasformazione del latte per la produzione di burro e formaggio.

Con la formazione dei grani di burro, si procede, nella zangola stessa, 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 5.3 e 5.4 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 2:1, con i valori più bassi in quelli più piccoli.

Tabella 5.3. 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 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

Tabella 5.4. 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 m ³ /t latte lavorato			BOD5 mq/l	COD mq/l	pH
	minimo	massimo	medio			
Imbottigliamento latte	0,1	5,4	3,3	1300	-	-
Formaggi ¹	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 ²	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

1 effluente contenente siero

2 effluente non contenente siero

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 stranieri (USA, Inghilterra, ecc.) presentano, spesso, il vantaggio di aumentare la resa in formaggio, riducendo così le perdite, nel siero, di grasso e di proteine solubili. In Italia, tuttavia, questi sistemi di caseificazione non si sono particolarmente affermati, soprattutto a causa degli effetti di deterioramento delle caratteristiche organolettiche del prodotto che sembrano determinare.

Uno schema sintetico del processo di caseificazione tradizionale è riportato in figura 5.1.

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 ed il gorgonzola ed all'8% per i formaggi a pasta filata.

Nella tabella 5.5 viene proposta una stima del bilancio di massa del processo di caseificazione per alcune tipologie di formaggi e per diverse dimensioni aziendali, espresse in termini di quantità di latte trasformato giornalmente. Nella tabella 5.6 si riporta, invece, una stima del bilancio di massa dei principali prodotti in ingresso e dei corrispondenti prodotti, sottoprodotti, rifiuti ed effluenti in uscita dal 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.

Tabella 5.5. 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)			Uscite (l/d)	
	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

Tabella 5.6. Bilancio di massa del processo di caseificazione (ANPA/ONR, 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

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 degasatori, 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;
- 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 m³ per 100 kg di latte lavorato, con effluenti caratterizzati da un COD di 1.000-1.400 mg/L e da un BOD di 600-850 mg/L (Paris, 1998). Un'indagine condotta su 281 caseifici medio-piccoli nella provincia di Reggio-Emilia ha, invece, evidenziato i risultati riportati in tabella 5.7.

Tabella 5.7. Produzione di effluenti e loro caratteristiche (da Ferrari e Piccinini, 1989).

	Minimo	Massimo	Medio
consumi idrici (m ³ /q latte lavorato)	0,12	0,25	0,18
COD (mg/l)	650	3.000	1.500
BOD (mg/l)	300	1.400	700

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 alla quantità di formaggio complessivamente 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 la quantità di formaggio prodotto (prodotto principale) da ogni caseificio piuttosto che quella di latte lavorato. Si è quindi preferito correlare la previsione della quantità dei diversi effluenti alle quantità di prodotto finale ottenuto.

Tale approccio è già stato adottato dall'APAT nella predisposizione del rapporto *I rifiuti del comparto agroalimentare ANPA/ONR* (2001) in cui la quantità di residui disponibili a livello nazionale è stata stimata applicando una metodologia di indagine basata sulla determinazione dei rapporti esistenti tra quantità di residui ottenuti e produzioni principali, per le quali sono note le quantità commercializzate (rapporto sottoprodotto/prodotto).

Sulla base dei fattori di produzione calcolati mediante l'applicazione di tale metodologia può essere effettuata una stima della produzione annua di siero a livello nazionale (Tabella 5.8). Per quanto riguarda il 1999, il quantitativo totale di siero ottenuto, considerando una quantità di prodotto principale pari a 1.023.811 t/anno, è stato stimato in circa 6.092.000 t/anno. L'ISTAT valuta in 362.000 t/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, circa 345.000 t/anno di scotta, stimando in poco meno di 18.100 t i quantitativi di ricotta annualmente prodotti (tabella 5.9).

Nello stesso rapporto il siero destinato alla produzione di lattosio e siero in polvere è stato quantificato in circa 2 milioni di tonnellate annue. Conseguentemente, i quantitativi di questo sottoprodotto destinati alla zootecnia ed allo smaltimento ammontano a circa 3.730.000 t/anno che salgono a circa 4.075.000 t/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/anno di siero e, conseguentemente, la quantità smaltita potrebbe essere stimata in circa 2.367.000 t/anno, scotta inclusa.

Per il latticello il fattore di produzione, in relazione alla quantità di formaggio a pasta filata prodotto, è mediamente pari a 1.300 kg/t, per cui, facendo riferimento ad una produzione di formaggio pari a 255.200 t/anno, si ottiene un quantitativo di sottoprodotto di circa 331.800 t/anno. Prendendo in esame la produzione di burro, invece, il fattore di produzione del latticello è pari a circa 80 kg/t, 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/anno. Non essendo disponibili informazioni

dettagliate sul reimpiego del latticello per l'alimentazione dei suini, per l'estrazione della caseina nonché di una serie di sostanze pregiate per l'industria farmaceutica, non è possibile stimare la quantità destinata allo smaltimento.

Per quanto concerne gli effluenti derivanti dall'utilizzo di acqua per il raffreddamento della cagliata, il lavaggio e la salatura dei formaggi ed il lavaggio di impianti e strutture è stato stimato un fattore di produzione pari a 18.820 kg/t che si traduce in una produzione di refluo, destinato alla depurazione, pari a circa 19.270.000 t/a. I fanghi, prodotti dai depuratori aziendali, vengono, invece, generalmente conferiti ad imprese autorizzate che si occupano del loro smaltimento secondo diverse modalità operative. La produzione dei fanghi non risulta significativamente correlata né alle produzioni di effluenti né a quelle di formaggio. Va del resto rilevato che sia le caratteristiche degli effluenti sia quelle dei fanghi, sono estremamente variabili e dipendenti da molteplici fattori.

Tabella 5.8. Stima della produzione nazionale annua di siero, anno 1999 (Fonte: APAT)

Tipologia	Fattore di produzione	Quantità
	kg/t	t/anno
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 5.9. Stima dei principali rifiuti del settore caseario, anno 1999 (Fonte: APAT).

Tipologia	Fattore di produzione	Quantità
	kg/t	t/anno
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

Sulla base dei fattori di produzione utilizzati per la stima relativa all'anno 1999 e dei dati ISTAT più recenti disponibili è stata, inoltre, condotta una stima dell'ammontare di alcuni sottoprodotti e rifiuti generati dal settore lattiero-caseario nell'anno 2004, i cui risultati sono riportati in Tabella 5.10. Sulla base di tali dati la produzione di siero sembrerebbe attestarsi a valori di poco superiori rispetto ai quelli relativi al 1999, sebbene diversa appaia la ripartizione tra le diverse forme di utilizzo dello stesso. In particolare, nel 2004 risultano maggiori i quantitativi di siero avviati alla produzione della ricotta e, conseguentemente, l'ammontare della scotta derivante dal processo produttivo. La qualità di effluenti totali si attesta, invece, a circa 20,4 milioni di tonnellate annue.

Tabella 5.10 –Stima della produzione nazionale di alcuni sottoprodotti e rifiuti del settore caseario, anno 2004
(Fonte: elaborazioni APAT, ISTAT)

Tipologia	Fattore di produzione kg/t	Quantità 2004 t/anno
Siero in polvere e in forma concentrata ¹		1.093.000
Siero alla produzione di lattosio e allo smaltimento		2.691.000
Siero alla zootecnia ¹		2.410.000
Siero destinato alla produzione di ricotta ¹		582.000
Siero totale	5.950	6.776.000
Scotta	19.070	555.000
Latticello	1.300	374.000
Fanghi		178.000
Resi		6.000
Effluenti totali	18.820	20.430.000

5.3. 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, il latticello e la scotta. 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 torbido giallo-verdastro, che resta nella caldaia dopo la separazione della cagliata e si distingue, in relazione all'origine del latte, in siero ovino, bufalino o vaccino. Esso contiene tutti gli elementi solubili del latte che non hanno partecipato direttamente alla coagulazione, principalmente lattosio, sieroproteine e sali solubili, unitamente al grasso in misura tanto maggiore quanto più pronunciata è stata la lavorazione della cagliata.

La composizione del siero varia in funzione di diversi fattori, quali la specie allevata, l'alimentazione, la stagione di produzione del latte, la fase di lattazione, il tipo di formaggio nonché la tipologia di lavorazione adottata. Quest'ultima influisce sensibilmente sull'acidità del siero che, a seconda del processo produttivo, 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 raggiungendo in ogni caso, nel giro di poche ore, valori pH inferiori a 4 (Battistotti, 1997 citato da Paris, 1977). Il peso specifico del siero è di circa 1,025-1,030 g/mL a 15°C.

Nella tabella 5.11 sono riportate alcune delle principali caratteristiche chimiche del siero di latte vaccino intero non scremato.

Tabella 5.11. Caratteristiche chimiche del siero di latte vaccino intero non scremato secondo diversi Autori.

Fonte bibliografica						
Componente	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 ⁻¹)	1.065-1.460	7.000-8.000	-	900-2.200	1.400	1.200-1.500
Azoto proteico (mg kg ⁻¹) di cui: Sieroproteine	6.800-9.300	-	8.200-9.000	-	-	-
	5.000-7.000	-	-	-	-	-
Azoto non proteico (Nx6,38)	1.800-2.300	-	-	-	-	-
Lattosio (g kg ⁻¹)	38,2-46,6	42-48	43-55,3	-	39,4	-
Acido lattico (mg kg ⁻¹)	100-12.000	1.000-4.000	-	-	-	-
Sali minerali (mg kg ⁻¹)	4.500-7.500	7.000-8.000	-	-	-	-
Fosforo (mg kg ⁻¹)	600-950	-	400-700	300-600	390	400-500
Sodio (mg kg ⁻¹)	600-700	-	-	360-1.900	560	280-800
Cloruri (mg kg ⁻¹)	1.100-1.300	-	-	-	-	-
Calcio (mg kg ⁻¹)	480-1.400	-	400-900	430-1.100	470	300-350
Ferro (mg kg ⁻¹)	0,05-0,09	-	-	-	-	-
Piombo (mg kg ⁻¹)	0,08-0,12	-	-	-	-	-
Rame (mg kg ⁻¹)	0,17-0,33	-	-	-	-	-
Iodio (mg kg ⁻¹)	0,4-0,5	-	-	-	-	-
Potassio (mg kg ⁻¹)	-	-	-	1.000-1.400	1.480	1.600-1.800
Magnesio (mg kg ⁻¹)	-	-	-	90-120	90	50-60
Ceneri (mg kg ⁻¹)	-	-	5.000-19.600	-	8.100	-

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

Va evidenziato come anche altri parametri, oltre al pH, siano influenzati dalla tecnologia di caseificazione impiegata ed in particolar modo dal sistema adottato per la coagulazione della caseina e dal livello di fermentazione del lattosio raggiunto. Dal tipo di coagulazione del latte dipende, ad esempio, il tenore di calcio e fosforo ed il tenore di grasso e di acido lattico; il siero sarà più ricco di questi elementi se proveniente da lavorazioni da latte intero, specialmente se a cottura molto spinta.

Un confronto tra le diverse composizioni del siero, in relazione al tipo di formaggio prodotto, è riportato in tabella 5.12.

Tabella 5.12. Composizione percentuale del siero proveniente dai diversi processi 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

Latticello e scotta. 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 5.13. La scotta è, invece, il residuo di lavorazione della ricotta e presenta, in genere, le stesse problematiche gestionali del latticello.

Tabella 5.13. 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

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 e delle attrezzature e nei servizi complementari.

In tabella 5.14 sono riportati alcuni dati sulla composizione delle acque reflue dei caseifici australiani pubblicati dall’Agenzia per la protezione dell’ambiente dello Stato di Vittoria (Australia).

Tabella 5.14. Range di composizione e composizione media della acque reflue dei caseifici australiani (Fonte: EPA Victoria – Australia, 1997) .

Parametro	Range di concentrazione mg/l	Concentrazione media mg/l
Solidi sospesi	24 – 5.700	-
BOD ₅	450 – 4.790	1.885*
N	15 – 180	76
P	11 – 160	50
Na	60 – 807	-

Segue

Segue: Tabella 5.14. Range di composizione e composizione media della acque reflue dei caseifici australiani (Fonte: EPA Victoria – Australia, 1997) .

Parametro	Range di concentrazione mg/l	Concentrazione media mg/l
Cl	48 – 469	276
Ca	57 – 112	-
Mg	25 – 49	-
K	11 – 160	67
pH	4 – 12	7,1

*perdita media <2%

5.3.1 Analisi del caso di studio

Per una caratterizzazione completa dei parametri relativi ai reflui dell'industria casearia, ai fini di un valutazione dei potenziali effetti di tali reflui sul terreno e per l'individuazione delle variazioni nel tempo della composizione degli stessi, l'APAT ha condotto una specifica campagna analitica che ha previsto il campionamento e l'esecuzione di analisi chimiche dei sottoprodotti di un caseificio, localizzato in provincia di Pisa, classificabile come una Piccola Unità locale (PU), avendo una produzione di formaggio annua dell'ordine delle 50 t.

Va sottolineato che, ai fini dell'utilizzo agronomico, un parametro particolarmente importante è il fattore "tempo", in considerazione del fatto che praticamente tutti i reflui dovranno essere stoccati per un certo periodo prima del loro spandimento, a causa dello sfasamento temporale tra produzione ed utilizzazione degli stessi.

L'attività dell'azienda di trasformazione oggetto di studio si caratterizza principalmente per la preparazione del formaggio pecorino, ma prevede, anche, la produzione di ricotta, formaggi a pasta molle (stracchino), 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 utilizzato latte di mucca conservando solo una piccola percentuale di latte ovino (15-16%).

I due sottoprodotti principali sono il latticello ed il siero di latte. Le loro caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche sono estremamente variabili in rapporto soprattutto alla tipologia di prodotto e alle dimensioni dell'industria. Il latticello, riutilizzato per l'alimentazione dei suini, viene prodotto in quantità bassissime (inferiore al 2%) rispetto al latte di partenza, mentre il siero costituisce circa il 77-87% in peso del latte di partenza a seconda che si tratti, rispettivamente, di latte bovino o latte di pecora.

Gli effluenti derivanti dal processo di caseificazione derivano dallo svolgimento di diverse operazioni. Le vasche di stoccaggio, gli accessori e tutte le linee di trasporto del latte, ad esempio, sono sottoposte a pulizia giornaliera con acqua, soda caustica all'80% ed acido nitrico, secondo un sistema di lavaggio che opera in maniera ciclica e programmata (CIP). Mentre le soluzioni impiegate per la pulizia sono scaricate periodicamente, ovvero quando diventano esauste, l'acqua di risciacquo viene scaricata di continuo durante il lavaggio dei macchinari. I bidoni e le cisterne, dentro i quali il latte perviene al caseificio, sono lavati manualmente con acqua a pressione. Altri scarichi sono quelli rappresentati dalle scrematrici centrifughe che però, in questo caso, vengono utilizzati, insieme alla scotta, per l'alimentazione dei suini.

Un ulteriore impiego di acque si verifica a fine giornata lavorativa per la pulizia dei pavimenti e degli ambienti in genere e delle parti esterne dei macchinari; in questo caso si utilizzano detergenti biodegradabili e volumi d'acqua molto elevati dato l'elevato grado di pulizia richiesto in questo tipo di industrie. Gli scarichi connessi ai servizi, ovvero alla centrale termica ed al circuito frigorifero vengono completamente riciclate, non subendo durante il loro utilizzo nessun tipo di contaminazione. Complessivamente, i volumi di effluenti prodotti settimanalmente ed inviati alla depurazione sono pari a circa 10 m³.

I risultati delle analisi effettuate sui sottoprodotti derivanti dal processo di caseificazione sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 5.15. Composizione chimica dei sottoprodotti del processo di caseificazione determinati nella campagna analitica.

Parametro	Unità di misura	Sottoprodotto	
		Siero	Scotta
Azoto Organico	mg/l N	946,6	590,7
BOD ₅	mg/l O ₂	20.500	40.500
COD tal quale	mg/l O ₂	52.360	66.080
Potassio	mg/l K ₂ O	1.710	2.040
Sodio	mg/l Na	392	1435
Fosforo	mg/l P ₂ O ₅	842,7	769,4
Solidi Sospesi Totali	mg/l	4.985	6.170
Cloruri	mg/l Cl	20.380	13.290
Tensioattivi anionici	mg/l MBAS	n.d.*	n.d.
Tensioattivi non ionici	mg/l PPAS	n.d.	n.d.
Solidi disciolti	mg/l	50.720	66.030
Alcalinità M	mg/l CO ₃	0	0
pH	Unità pH	4,74	6,18
Solfati	mg/l SO ₄	n.d.	n.d.
Calcio	mg/l Ca	375,0	310,0
Magnesio	mg/l Mg	72,9	262,6
Ammoniaca	mg/l NH ₄	117,4	25,3
Nitrati	mg/l NO ₃	n.d.	n.d.
Alcalinità	mg/l HCO ₃	1.464	1.464
Carica batterica a 22° C	UFC/ml	40.000.000	1.500
Carica batterica a 36° C	UFC/ml	22.900.000	2.800
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.

Tabella 5.16. Composizione chimica dei reflui prodotti durante il processo di caseificazione in relazione alla durata dello stoccaggio, determinati nella campagna analitica.

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

Tabella 5.17 – Indice SAR e SAR corretto dei sottoprodotti del processo di caseificazione.

Parametro	Sottoprodotto	
	Siero	Scotta
SAR	6,9	20,5
SAR corretto	9,3	22,0

Tabella 5.18 – Indice SAR e SAR corretto dei reflui prodotti durante il processo di caseificazione in relazione alla durata dello stoccaggio.

Parametro	Durata dello stoccaggio	
	0	30 giorni
SAR	17,7	18,3
SAR corretto	24,7	26,5

5.4. L'impiego dei reflui dei caseifici 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 ed in relazione alla dimensione degli impianti di lavorazione, ecc. Facendo riferimento alla composizione media, 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 in merito 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 apporto di elementi nutritivi che la distribuzione dei reflui comporta (Sharratt et al., 1959; Sharrat et al., 1962; Di Menna, 1966; Peterson et al., 1979; Young et al., 1980; Kelling e Peterson, 1981; Radford et al., 1986; Robbins e Lehrs, 1992; Jones et al., 1993; Harris et al. 1994; Lehrs et al., 1994; Robbins et al., 1996). E' da osservare, tuttavia, che le dosi applicate erano sempre piuttosto elevate, variando da 250 ad oltre 8.000 m³/ha.

Per quanto riguarda il 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 nella campagna analitica condotta (tabella 5.19). Le quantità apportabili al terreno, ovviamente dipendenti dalla dose distribuita, sono risultate molto elevate ipotizzando di distribuire una dose di acque consistente (300 m³/ha), mentre sono risultate più modeste con la dose più contenuta (50 m³/ha). Va comunque rilevato che, anche nel caso di un apporto di refluo pari a 300 m³/ha non si dovrebbero avere fenomeni di dispersione ambientale essendo gli elementi nutritivi presenti, per la maggior parte, in forma organica e quindi poco soggetti ai fenomeni di dispersione.

Sotto il profilo agroambientale, tuttavia, alcuni parametri qualitativi possono porre limiti di "compatibilità" allo spandimento diretto dei reflui dei caseifici sul terreno agrario. 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 in senso assoluto, suggeriscono comunque l'adozione di precauzioni in relazione alle condizioni pedoclimatiche ed alle colture interessate.

In particolare si è già ricordato come il siero presenti un pH decisamente acido che, indipendentemente dai valori originari, raggiunge valori attorno a 4 nel giro di poche ore; 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, l'effetto di acidificazione, sulla scorta delle esperienze condotte per le acque di vegetazione (*cf*r capitolo 4), dovrebbe risultare solo temporaneo ed il suolo dovrebbe riacquisire in un breve intervallo di tempo (da 2-3 settimane a 2 mesi) il pH originario.

Grande attenzione deve essere, inoltre, posta alla concentrazione salina. 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 quanto previsto dal decreto ministeriale 23 marzo 2000 recante *Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico* un valore di SAR inferiore a 10 corrisponde ad acque utilizzabili per tutti i terreni con minimo danno dovuto alla formazione di livelli, mentre un valore compreso tra 10 e 18 è indice della possibile insorgenza di problemi nel terreno. A questo proposito, i risultati della campagna analitica specificamente condotta mostrano che il siero presenta un valore dell'indice SAR di poco inferiore a 10 e potrebbe, quindi, essere utilizzato senza particolari restrizioni mentre la scotta e gli effluenti liquidi presentano valori compresi tra 22 e 27 che ne limitano la possibilità di utilizzo irriguo (*cf*r capitolo 2).

Tabella 5.19. Concentrazione dei principali elementi fertilizzanti nel siero, nella scotta e nelle acque reflue di caseificio determinati nella campagna analitica e calcolo delle quantità apportate al terreno ipotizzando di distribuire differenti dosi.

Parametro	Concentrazione mg/l	Quantità apportata kg/ha	
		Dose 50 m ³ /ha	Dose 300 m ³ /ha
Siero			
N organico	946,6	47,3	284
N-NH ₄	91,3	4,6	27,4
N-NO ₃	-	-	-
N totale	1037,9	51,9	311,4
Fosforo P ₂ O ₅	842,7	42,1	252,8
Potassio K ₂ O	1710	85,5	513
Scotta			
N organico	590,7	29,5	177,2
N-NH ₄	19,7	1	5,9
N-NO ₃	-	-	-
N totale	610,4	30,5	183,1
Fosforo P ₂ O ₅	769,4	38,5	230,8
Potassio K ₂ O	2040	102	612

Segue

Segue: Tabella 5.19. Concentrazione dei principali elementi fertilizzanti nel siero, nella scotta e nelle acque reflue di caseificio determinati nella campagna analitica e calcolo delle quantità apportate al terreno ipotizzando di distribuire differenti dosi.

Parametro	Concentrazione mg/l	Quantità apportata kg/ha	
		Dose 50 m ³ /ha	Dose 300 m ³ /ha
Acque reflue			
N organico	110,8	5,5	33,2
N-NH ₄	14	0,7	4,2
N-NO ₃	13,9	0,7	4,2
N totale	138,7	6,9	41,6
Fosforo P ₂ O ₅	343,5	17,2	103,1
Potassio K ₂ O	420	21	126

Ad 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, in termini di 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 ricadono nella classe EC4S4, che indica un'altissima pericolosità da sodio.

Da non sottovalutare è, inoltre, la presenza nei reflui di disinfettanti e detergenti, che possono raggiungere, soprattutto nel latticello, concentrazioni comprese tra 0,35 e 1,20 kg/t e che, sebbene biodegradabili, potrebbero in molti casi creare problemi qualora entrassero direttamente in contatto con le falde. Nella campagna analitica la concentrazione di tensioattivi misurata negli effluenti è risultata piuttosto elevata (3,4 mg/L), 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 possono, infatti, 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 (*cf* capitolo 2).

Relativamente al rame, la cui concentrazione nel siero è compresa tra 0,17 e 0,33 mg/L (tabella 5.11), si ricorda che, in base a quanto previsto dalla tabella 3, allegato 5 alla parte terza del D.Lgs. 152/06 il relativo valore di emissione in acque superficiali non deve superare 0,1 mg/L. Secondo le norme FAO il limite di concentrazione nelle acque di irrigazione utilizzabili in maniera continuativa è pari a 0,20 mg/L, mentre sale a 5 mg/L per le acque utilizzabili in maniera sporadica. Valori limite per il Cu sono anche previsti nel caso di utilizzazione agronomica dei fanghi di depurazione. Il D.Lgs 99/92 fissa, infatti, all'allegato IB, i valori massimi di concentrazione dei metalli pesanti nei fanghi e tra questi quello relativo al rame che viene posto pari a 1.000 mg/kg SS.

In relazione agli effetti sul refluo derivanti dallo stoccaggio dello stesso, l'indagine analitica con-

dotta ha evidenziato che la concentrazione di azoto organico e di ammoniaca tende ad aumentare, mentre quella dell'azoto nitrico a diminuire in maniera congruente, fino a raggiungere valori piuttosto bassi e non limitanti, probabilmente, neppure per la eventuale utilizzazione in zone vulnerabili ai nitrati ai sensi dell'art. 92 del D.Lgs. 152/2006. Il SAR rimane pressoché invariato durante lo stoccaggio, cosicché rimangono validi gli stessi vincoli indicati per il refluo non stoccato.

Facendo un confronto tra i parametri analitici del refluo stoccato tal quale e quelli della parte subnatante dello stesso si osservano forti diminuzioni a carico dell'azoto organico e dei solidi sospesi totali, e forti aumenti a carico di azoto ammoniacale, pH, COD (*cf*r tabella 5.16). La concentrazione di solidi sospesi totali rilevata nel subnatante del refluo stoccato diminuisce sensibilmente risultando inferiore al limite di utilizzabilità del refluo per usi irrigui (25 mg L⁻¹). Relativamente al pH, il valore registrato nel subnatante ne consente l'uso irriguo senza limitazioni.

5.5. 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 costituiscono, infatti, 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 si citano la salinità, il SAR e la concentrazione di tensioattivi, sodio, cloro e rame.

Dalla caratterizzazione dei sottoprodotti e degli effluenti caseari sopra effettuata è risultata, inoltre, chiaramente evidente la notevole variabilità di composizione in rapporto a diversi 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 tenere, comunque, 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 tal modo rischi di inquinamento delle falde ipodermiche e di salinizzazione dei terreni si farebbero di conseguenza 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.

Anche prevedendo l'utilizzo a scopi irrigui delle sole acque reflue sono, comunque, sempre necessarie valutazioni approfondite e ponderate nella fase di scelta del sito (in relazione alle caratteristiche del terreno e del clima) e dell'epoca di distribuzione. L'impiego dei reflui caseari 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.

Fatte salve condizioni di particolare incompatibilità del terreno a ricevere i reflui caseari (quali ele-

vata salinità, elevata drenabilità, ecc.) e caratteristiche chimico-fisiche di questi ultimi particolarmente severe, negli altri casi sembrano, comunque, consigliabili somministrazioni solo di tipo saltuario ed in dosi non superiori ad 1/5-1/4 del fabbisogno irriguo delle colture. I valori limite di concentrazione di diversi parametri risultano infatti ampiamente superiori rispetto a quelli previsti dal DM 185/2003 per il riutilizzo irriguo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 3 del D.Lgs 152/99.

Un esempio molto semplificato di possibili concentrazioni per alcuni parametri, derivanti dalla miscelazione di reflui dei caseifici con acque idonee ad uso irriguo (pratica giustificabile prevalentemente in un'ottica di risparmio delle risorse idriche), è riportato in tabella 5.20.

Tabella 5.20. Valutazione della concentrazione di alcuni parametri critici ipotizzando la miscelazione dei reflui dei caseifici con acque idonee all'uso irriguo in diversi rapporti e confronto con i limiti previsti dal DM 185/2003.

Parametro	Unità di misura	Concentrazione nel sub-natante	Concentrazione dopo miscelazione con acqua			Valori limite DM 185/2003	valori di concentrazione assunti nell'acqua miscelata con il refluo
			diluizione 1/5	diluizione 1/4	diluizione 1/3		
N totale	mg/L N	122,7	37	42	51	15 (fino a 35)	15
BOD ₅	mg/L O ₂	1.340	284	350	460	20	20 c)
COD	mg/L O ₂	3.472	718	891	1.177	100	30 b)
Sodio	mg/L Na	802	200	237	300	-	49 a)
Fosforo	mg/L P	209	43	54	71	2 (fino a 10)	2
Solidi Sospesi Totali	mg/L	25	13	14	15	10	10
Cloruri	mg/L Cl	3.010	681	827	1.069	250	99 a)
Tensioattivi	mg/L	2,5	0,9	1,0	1,2	0,5	0,49 a)
Ammoniaca	mg/L NH ₄	79,5	18	21	28	2	2 b)

a) acqua destinabile ad uso irriguo senza restrizioni di Classe I in base alla classificazione riportata da Giardini et al.

b) valore limite previsto dal D.Lgs 152/2006 per un'acqua destinata alla produzione di acqua potabile di classe A3

c) dato di letteratura; valore limite indicato anche dal DM 185/2003 per l'utilizzo irriguo di acque reflue recuperate

Va rivelato che il Decreto 7 aprile 2006 prevede la possibilità di utilizzo dei reflui caseari provenienti da piccole aziende agroalimentari in dosi non superiori ad un terzo del fabbisogno irriguo.

Tuttavia pur ammettendo la miscelazione del refluo con acque idonee all'utilizzo irriguo (*cfr* capitolo 2) nei rapporti di diluizione riportati in tabella 5.20, i valori di alcuni parametri rilevati nel refluo analizzato, ed in particolar modo sodio, cloruri, solidi sospesi, tensioattivi, non consentirebbero, comunque, di ottenere un'acqua in grado di rispettare i limiti del DM 185/2003, ovvero perfettamente idonea all'utilizzo irriguo. D'altro canto i dati riportati da altre fonti, ed in particolare dall'EPA australiana (si veda tabella 5.14), sembrerebbero indicare valori di concentrazione per alcuni parametri (cloruri, calcio e, in misura minore, BOD₅), anche sensibilmente inferiori rispetto a quelli derivanti dalla campagna analitica condotta dall'APAT. Decisamente più basse appaiono le concentrazioni riportate dall'EPA australiana, in particolar modo, per quanto attiene il cloro (range compreso tra 48 e 469 mg/L). Va rilevato che qualora per tale parametro siano ottenuti dalle aziende valori di concentrazione almeno dell'ordine dei 400-450 mg/l sarebbero ampiamente rispettati i valori di concentrazione previsti dal DM 185/2003 anche con rapporti di diluizione con acque idonee all'uso irriguo par ad 1:2 -1:1.

I valori dei solidi sospesi totali e del calcio possono essere sensibilmente ridotti ricorrendo ad operazioni di sedimentazione in modo da ottenere un sub-natante, che opportunamente diluito prima del suo utilizzo, possa soddisfare, in parte o totalmente, i requisiti di qualità di un'acqua destinata all'uso irriguo. Il valore di concentrazione del sodio (e quindi il valore dell'indice SAR) potrebbe essere, invece, ridotto sostituendo la soda con la potassa nelle operazioni di pulizia o riducendo la concentrazione della soda stessa nelle acque di lavaggio.

I valori del BOD₅, del fosforo, dell'azoto e dall'ammoniaca appaiono, invece, decisamente elevati, anche sulla base di dati provenienti da altre fonti (si veda EPA Australia), e tali da non rendere effettuabile un utilizzo continuo e senza limitazioni dei reflui, anche qualora gli stessi vengano sedimentati ed il sub-natante diluito con acque idonee all'uso irriguo.

Sulla base delle considerazioni sopra riportate sembrerebbe, pertanto, consigliabile, in diversi casi, una riduzione del quantitativo dei sottoprodotti caseari e dei reflui nell'acqua utilizzata per l'irrigazione a valori anche sensibilmente inferiori rispetto a quelli massimi previsti dal DM 7 aprile 2006.

Capitolo 6. ACQUE REFLUE DERIVANTI DA ATTIVITA' DI VINIFICAZIONE

6.1 - La filiera produttiva

La produzione viticola italiana nel 2003, secondo dati provvisori ISTAT, ammonta a circa 7,5 milioni di tonnellate per una superficie complessivamente investita pari a 868.000 ettari. La produzione di uva da vino rappresenta oltre l'82% del totale (circa 6,2 milioni di tonnellate) con una superficie pari 795.000 ettari. Si denota, pertanto, una leggera crescita della produzione rispetto al 2002, dopo il progressivo calo mostrato negli anni precedenti. In continua contrazione appaiono, invece, le superfici interessate (tabella 6.1).

Tabella 6.1 – Superficie e produzione delle coltivazioni viticole (Annuario statistico italiano 2004, ISTAT)

	2000		2001		2002		2003 ¹	
	Superficie (1.000*ha)	Produzione (1.000*t)	Superficie (1.000*ha)	Produzione (1.000*t)	Superficie (1.000*ha)	Produzione (1.000*t)	Superficie (1.000*ha)	Produzione (1.000*t)
Uva da tavola	72	1.524	74	1.570	74	1.299	73	1.327
Uva da vino	836	7.346	818	7.083	798	6.095	795	6.156
Vite	908	8.870	892	8.653	872	7.394	868	7.483

¹ dati provvisori

Il comparto di produzione del vino occupa una posizione preminente nel panorama dell'industria agro-alimentare italiana rappresentando, senz'altro, il settore più importante all'interno dell'industria delle bevande.

Le aziende produttrici italiane possono essere classificate in tre grandi categorie sulla base della diversa modalità di gestione della filiera produttiva, distinguendosi tra aziende a regime privato che trasformano uva di propria produzione, aziende a regime privato che trasformano uva non di propria produzione e cantine sociali che trasformano l'uva conferita dai propri soci. Nell'anno 2000 il numero totale di aziende con attività viticola in Italia ammontava a 767.763 unità (5° *Censimento generale dell'agricoltura* – ISTAT).

Il comparto del vino si caratterizza per una sostanziale coincidenza tra produzione e prima trasformazione. I produttori di uva, infatti, si occupano solitamente anche della vinificazione, direttamente o attraverso le cantine sociali. L'analisi della struttura del comparto mostra che oltre l'80% della produzione di vino nazionale deriva dall'attività di trasformazione realizzata dai viticoltori o dal mondo cooperativo (tabella 6.2). L'industria vinicola, invece, fornisce solo l'8-16% della produzione complessiva.

Tabella 6.2 – Strutture produttive operanti all'interno del comparto, anno 2000 (Fonte: Elaborazione ISMEA su dati ISTAT).

Struttura produttiva	Produzione % del totale
Produttori che vinificano in proprio	42-46
Cooperative	42-46
Industria vinicola	8-16

La struttura produttiva viticola nazionale è caratterizzata dalla presenza dominante di aziende di piccole dimensioni e da aziende agricole cooperative.

La produzione nazionale di vino nel 2001 è stata di oltre 49,5 milioni di ettolitri. Le regioni maggiormente produttive sono risultate il Veneto, l'Emilia Romagna e la Puglia che hanno fornito rispettivamente il 16,9, il 13,7 ed il 12,9% del totale nazionale. Sempre nello stesso anno, la produzione di vini bianchi ha interessato il 49,8% del totale (24.761.908 hL) e quella di vini rossi e rosati il 50,2% (25.001.821 hL, tabella 6.3).

I dati provvisori relativi all'anno 2004 indicano un aumento nella produzione nazionale di vino; quest'ultima, infatti, è stata di quasi 51 milioni di ettolitri, equamente distribuiti tra vini bianchi (24.629.752 hl) e rossi o rosati (26.332.594 hl). Le regioni maggiormente produttive sono risultate, anche nel 2004, il Veneto, l'Emilia Romagna e la Puglia che hanno fornito rispettivamente il 17,1, il 13,3 ed il 14,3% del vino complessivamente prodotto a livello nazionale.

Tabella 6.3. Produzione vinicola italiana, anni 2001 e 2004 (dati ISTAT).

Regione	Produzione			
	2001		2004*	
	ettolitri	% sul totale	ettolitri	% sul totale
Piemonte	3.324.335	6,7	3.263.162	6,4
Valle d'Aosta	17.500	0,0	22.000	0,0
Lombardia	1.276.692	2,6	1.164.481	2,3
Trentino Alto Adige	1.229.780	2,5	1.268.929	2,5
Veneto	8.386.000	16,9	8.723.725	17,1
Friuli Venezia Giulia	1.111.068	2,2	1.339.920	2,6
Liguria	103.602	0,2	91.130	0,2
Emilia Romagna	6.841.204	13,7	6.781.814	13,3
Toscana	2.219.753	4,5	3.159.971	6,2
Umbria	879.100	1,8	1.077.825	2,1
Marche	1.680.775	3,4	1.247.521	2,4
Lazio	2.949.158	5,9	2.446.017	4,8
Abruzzo	3.240.907	6,5	3.484.255	6,8
Molise	342.000	0,7	328.320	0,6

Segue

Tabella 6.3. Produzione vinicola italiana, anni 2001 e 2004 (dati ISTAT).

Regione	Produzione			
	2001		2004*	
	ettolitri	% sul totale	ettolitri	% sul totale
Molise	342.000	0,7	328.320	0,6
Campania	1.717.271	3,5	1.877.661	3,7
Puglia	6.419.224	12,9	7.311.200	14,3
Basilicata	390.562	0,8	340800	0,7
Calabria	883.921	1,8	484.790	1,0
Sicilia	5.912.359	11,9	5.614.994	11,0
Sardegna	838.518	1,7	933.831	1,8
Italia	49.763.729		50.962.346	

*dati provvisori

6.2 - Il processo tecnologico

La produzione del vino prevede una fase di ammostatura o pigiatura delle uve in cui si attua la rottura degli acini per ottenere la rapida liberazione del “mosto di sgrondo” senza lacerare le bucce e i vinaccioli che costituiscono la vinaccia. Segue la diraspatura per allontanare i raspi e, a seconda che si tratti di vinificazione in bianco, una sgrondatura del macinato, oppure, nel caso di vinificazione in rosso, una svinatura in tino con eventuale presenza di vinacce per un tempo variabile a seconda della varietà delle uve. Dalla fase di pigiatura, le uve sia bianche sia nere seguono, quindi, diverse vie di lavorazione a seconda delle caratteristiche della materia prima e del prodotto finale che si vogliono ottenere.

I sistemi di vinificazione sono essenzialmente di due tipi: in bianco in cui è prevista l'esclusione delle parti solide della vendemmia (vinacce) ed in rosso, in cui la vinificazione è condotta in presenza delle vinacce.

Le materie prime impiegate nei processi enologici sono:

- uva;
- acqua;
- altre materie prime (zucchero, alcol, acqua minerale, ecc.).

I principali prodotti, sottoprodotti, rifiuti ed effluenti in uscita sono:

- vino;
- residui vegetali (vinacce, raspi);
- altri rifiuti (fecce);
- effluenti liquidi di varia natura e relativi fanghi;
- eventuali imballaggi di scarto.

Per una rappresentazione in termini generali del processo di vinificazione si può fare riferimento al diagramma riportato nella figura 6.1. Il bilancio di massa con i principali materiali in ingresso e prodotti, sottoprodotti, ed effluenti in uscita nel processo viene invece riassunto nella tabella 6.4 (ANPA/ONR, 1999).

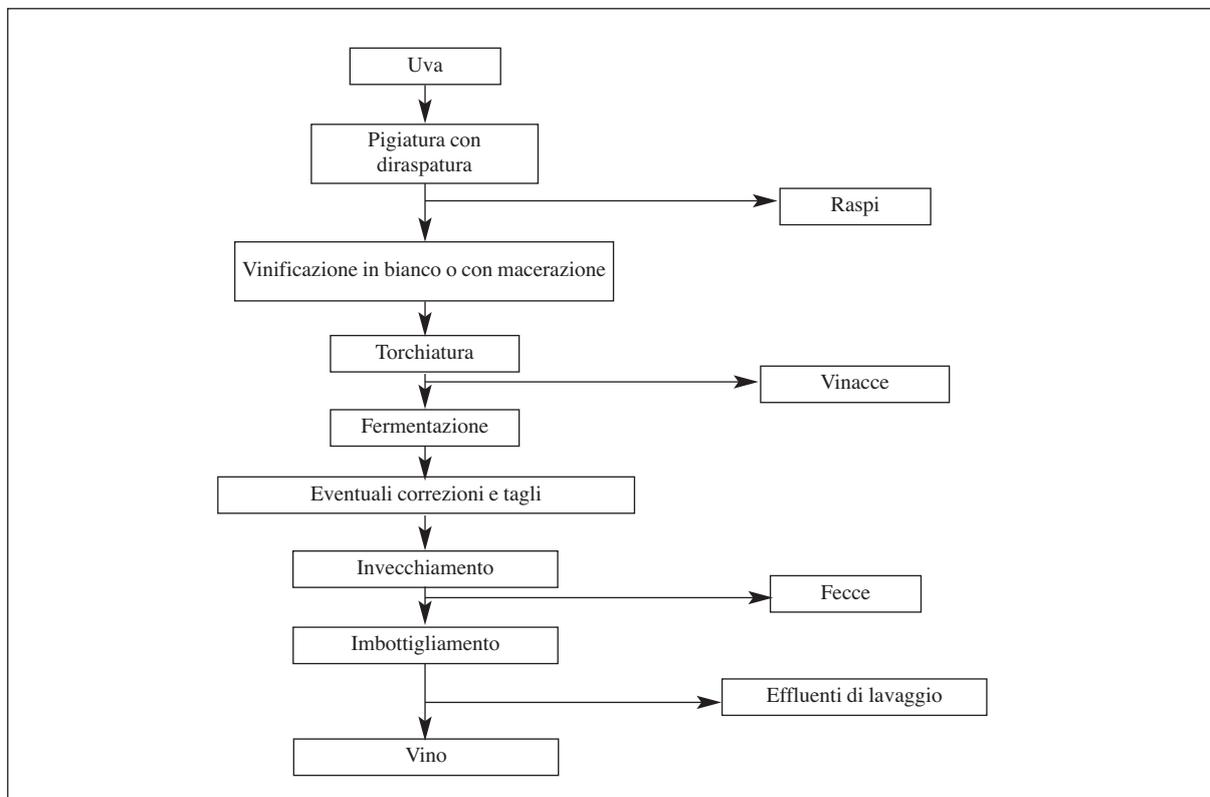


Figura 6.1 – Schema sintetico del processo di produzione del vino.

Tabella 6.4 – Bilancio di massa del processo di vinificazione (ANPA/ONR, 1999).

Tipologia del materiale		Quantità (kg)
In entrata		
	Uva	100,0
	Acqua	141,0
In uscita		
	Acque reflue	143,0
	Vinacce	13,0
	Raspi	2,2
	Vini di torchiatura	5,0
	Fecce e fanghi di filtrazione	3,6
	Vetro	0,2
	Vino	74,0

La trasformazione dell'uva in vino presenta, ovviamente, un forte carattere di stagionalità, con una certa analogia rispetto a quanto accade per l'industria olearia. L'uso di acqua e la conseguente formazione di reflui deriva, infatti, sostanzialmente dalle operazioni di lavaggio delle attrezzature (pigiatrici, diraspatrici, torchi, ecc.), dei contenitori (vasche di raccolta, tini di fermentazione e di riempimento, ecc.) e dei locali (pavimenti, piazzali, ecc.) secondo le seguenti fasi ed epoche:

- vendemmia-ammestatura (settembre-ottobre);
- travasi (maggio-giugno);
- imbottigliamento (febbraio-aprile ed ottobre-dicembre).

La determinazione della consistenza delle acque prodotte non è agevole poiché le operazioni di cantina implicano l'impiego di quantità molto variabili in relazione alla tecnologia adottata, alle dimensioni degli impianti di produzione, ecc. Come regola generale, si può affermare che il volume di acqua utilizzato per quintale di uva lavorata è inversamente proporzionale alla dimensione della cantina e al crescere della capacità lavorativa.

Una stima effettuata da Sangiorgi e Balsari (1996) ha evidenziato che la produzione totale annua di reflui è ascrivibile per il 47% alla vendemmia, per il 22% alla fase dei travasi e per il 31% all'imbottigliamento (figura 6.2).

Forti differenze nei consumi idrici sono evidenziate da Farolfi (1995), che riporta più modesti consumi negli enopoli francesi (1,5-1,6 l/hl di vino nella fase della vendemmia e da 0,5 a 5,1 l/hl di vino nelle operazioni dei travasi) e valori più alti in quelli dell'Emilia Romagna (attorno a 14 e fino a 30 l/hl nella fase dei travasi).

Altre fonti riportano invece valori molto diversi; un esempio della discordanza dei dati reperibili in letteratura è riportato nella tabella 6.5.

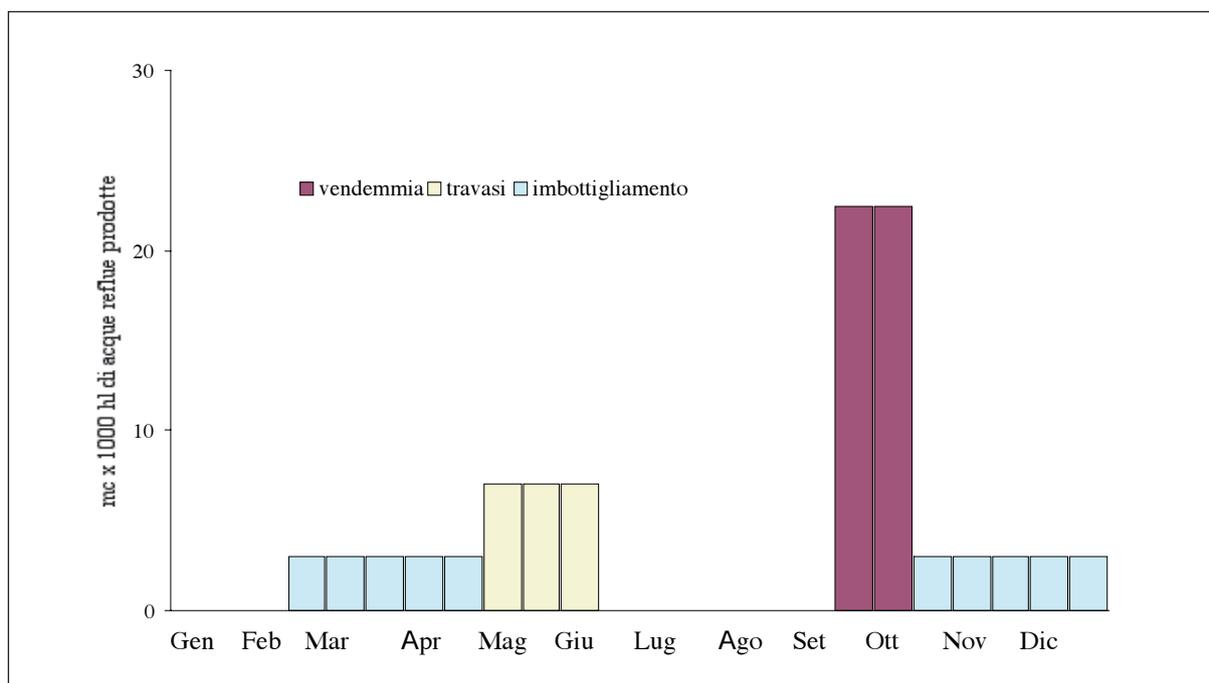


Figura 6.2 – Stima dei volumi di acque reflue prodotte in una cantina in funzione delle diverse operazioni di lavorazione.

Tabella 6.5 – Confronto tra valori di consumi idrici riscontrati da diversi Autori.

Fonte bibliografica	Consumo idrico (l/hl di vino)
Sangiorgi et al., 1996.	92-94
Fumi et al., 1995 a	233
Gasperi e Viglia, 1995	43

In una indagine effettuata su un campione di 350 aziende vitivinicole localizzate nella regione dell'Oltrepò Pavese, di differente realtà e capacità produttiva, è emerso che la quantità di reflui prodotti è estremamente variabile anche in rapporto alla capacità produttiva dell'azienda (tabella 6.6). I consumi di acqua sono risultati molto variabili tra gli impianti di dimensioni piccole e medio-grandi, ma tendono a stabilizzarsi nelle cantine con produzione annua superiore a 10.000 hl di vino (Fumi et al., 1995). Queste ultime, infatti, se da un lato adottano tecnologie che comportano un maggiore consumo di acqua (condizionamento in fase di fermentazione e di stabilizzazione tartarica), dall'altro mettono di norma in atto accorgimenti per razionalizzarne l'uso (riciclaggio delle acque impiegate nei processi di riscaldamento e di raffreddamento, uso di scambiatori termici, impiego di attrezzature di facile pulizia, ecc.). Il valore della media ponderata, calcolato considerando il rapporto tra l'effluente totale ed il vino totale prodotti, è risultato in questo caso pari a 2,33 hl di acqua per hl di vino prodotto.

Tabella 6.6 – Consumo idrico, suddiviso per classe, delle aziende campionate (Fumi et al., 1995 a).

Classe	Produzione di vino	Consumo idrico
	hl per anno	hl acqua per hl vino
1	< 50	1,0
2	50-200	1,3
3	200-500	1,8
4	500-2.000	2,4
5	2.000-5.000	3,3
6	5.000-10.000	2,9
7	> 10.000	2,2

La quantificazione dei volumi di effluenti prodotti dal processo di vinificazione a livello nazionale, viene, in questa sede, stimata applicando la metodologia riportata nel rapporto *I rifiuti del comparto agroalimentare* ANPA/ONR (2001).

Applicando i valori dei fattori di produzione determinati per ciascuna fase produttiva alla produzione di vino nell'anno 2001 (49.763.729 hl) si ottengono i valori riportati nella tabella 6.7. I maggiori volumi di reflui derivano dalla fase di lavorazione immediatamente successiva alla vendemmia con oltre 5 milioni di t/anno (fattore di produzione 116 kg/hl), seguita dalle operazioni di travaso e di lavaggio delle linee di confezionamento con circa 2,7 milioni di t/anno (fattore di produzione 54 kg/hl) e circa 1,5 milioni di t/anno (fattore di produzione 31 kg/hl) rispettivamente. Il lavaggio delle bottiglie, infine, determinerebbe una produzione di circa 900.000 t/anno (fattore di produzione 18 kg/hl). Il totale dei reflui stimati per l'anno 2001 a livello nazionale ammonta dunque ad oltre 10 milioni di tonnellate.

Tabella 6.7 – Stima della produzione nazionale annuale di reflui vinicoli nell’anno 2001 (Fonte: ANPA/ONR).

Tipologia	Fattore di produzione	Quantità
	kg/hl	t/anno
Reflui dalla vendemmia	116	5.772.593
Reflui da travasi	54	2.687.241
Reflui da lavaggio linee di confezionamento	31	1.542.676
Reflui da lavaggio bottiglie	18	895.747
Reflui totali	219	10.898.257

Sulla base dei fattori di produzione utilizzati per la stima relativa all’anno 2001 e dei dati ISTAT più recenti disponibili è stata, inoltre, condotta una stima della produzione nazionale di reflui vinicoli nell’anno 2004, i cui risultati sono riportati in tabella 6.8. Sulla base di tali dati la produzione dei reflui dovrebbe attestarsi a valori leggermente superiori rispetto a quelli relativi al 2001, in relazione all’aumento della produzione vinicola. In particolare, nel 2004 i volumi di reflui derivanti dalla lavorazione successiva alla vendemmia ammonterebbero a oltre 6 milioni di t/anno, quelli relativi alle operazioni di travaso e di lavaggi o delle linee di confezionamento a 2,9 milioni di t/anno e 1,7 milioni di t/anno rispettivamente. Il lavaggio delle bottiglie, infine, determinerebbe una produzione di circa 960.000 t/anno. La quantità di reflui totali stimata in tal modo si attesterebbe a circa 11,7 milioni di tonnellate annue.

Tabella 6.8 – Stima della produzione nazionale annuale di reflui vinicoli nell’anno 2004 (Fonte: elaborazioni APAT su dati ISTAT).

Tipologia	Fattore di produzione	Quantità
	kg/hl	t/anno
Reflui dalla vendemmia	116	6.180.000
Reflui da travasi	54	2.877.000
Reflui da lavaggio linee di confezionamento	31	1.652.000
Reflui da lavaggio bottiglie	18	959.000
Reflui totali	219	11.668.000

6.3 - Le caratteristiche dei reflui

La composizione chimica delle acque reflue rispecchia, ovviamente, quella delle sostanze contenute nell’uva (acini, raspi, semi, polpa) ed i prodotti residui dei vari processi di vinificazione, come lieviti, microrganismi, zuccheri, alcol etilico e metilico, formaldeide e butilaldeide, acetone, acido formico, acetico e tartarico, tartrati di potassio e di calcio. La qualità dello scarico inoltre sarà influenzata da tutte quelle sostanze che intervengono nella lavorazione del vino come il carbone attivo, i coadiuvanti di filtrazione, il ferrocianuro di potassio, l’anidride solforosa ed i suoi sali ed, infine, le soluzioni alcaline ed i tensioattivi cationici impiegati nei lavaggi.

Anche le caratteristiche chimico-fisiche dei reflui di cantina presentano un elevato grado di variabilità, come già osservato per i relativi volumi; ovviamente, una forte variazione dei valori delle concentrazioni degli elementi, o delle sostanze disciolte, è legata al livello di risparmio o di spreco del-

l'acqua utilizzata, nonché al tipo di vino prodotto ed alle modalità di lavorazione adottate. A titolo di esempio si riportano nelle tabelle 6.9, 6.10 e 6.11 i dati reperiti in letteratura riguardanti la diversa composizione degli effluenti.

Tabella 6.9 – Caratteristiche chimico-fisiche dei reflui da cantina (Marchetti, 1994).

Parametro	
pH	5,7
Conducibilità a 20 °C (mS/cm)	3.170
COD (mg/l)	7.500
BOD (mg/l)	4.350
Cl ⁻ (mg/l)	250
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	275

Tabella 6.10 – Caratteristiche chimiche e biochimiche delle acque di scarico in relazione alla fase produttiva secondo diversi Autori.

Fase	pH	Materiali in sospensione (mg/l)	Polifenoli totali (acido gallico) (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	BOD/COD
Farolfi, 1995						
Lavaggio vasche						
I travaso	3.7	17500	0.119	9728	15175	0.6
Vino rosso	3.8			8500	15000	
Vino bianco	4.2			1600	3100	
II travaso	3.7	3461	0.185	9316	16334	0.6
Lavaggio filtri	5.6			4600	11500	0.4
Marchetti, 1994						
Vendemmia					10.000-30.000	
Lavaggio vasche					4.000-15.000	
I travaso					1.000-5.000	
II travaso					500-3.000	
Lavaggio recipienti					500-2.000	
Imbottigliamento						
Clement, 1990						
Vinificazione		844-2300		6000-10000	11800-16800	

Tabella 6.11 – Effluenti provenienti dal lavaggio delle vasche. I valori sono una media ponderata dei dati relativi all'intera fase di lavaggio (modificato da Farolfi, 1995).

Parametro	Vinificazione	
	Bianco	Rosso
Residuo secco (g/l)	1,96	12,21
Ceneri (g/l)	1,03	1,45
pH	4,5	4,7
Acido tartarico (g/l)	1,32	1,37
Acido malico (g/l)	0,15	0,43
Acido lattico (g/l)	0,28	0,6
Polifenoli totali (acido gallico g/l)	0,054	0,15
Cloruri (Cl g/l)	0,037	0,038
Solfati (SO ₄ g/l)	0,028	0,064
Fosfati (P ₂ O ₅ g/l)	0,013	0,13
Azoto org amm (g/l)	0,03	0,134
BOD ₅ (mg/l)	7123	11497
COD (mg/l)	16267	23819
BOD/COD	0,44	0,48

In conseguenza delle oscillazioni nella composizione chimico-fisica degli effluenti, anche il loro possibile effetto inquinante varia sensibilmente.

Secondo Farolfi (1995), ad esempio, il rapporto BOD/COD dei reflui è normalmente compreso fra 0,5 e 0,6. In prove di trattamento depurativo, Fumi et al. (1995 b) hanno trovato un dato medio di COD pari a 4.600 mg/l (fra un minimo di 2.000 e un massimo di 9.000), e un BOD₅ di 2.800 mg/l (compreso tra 1.200-6.000), quindi con un rapporto medio BOD/COD pari a 0,61. Nella tabella 6.12 è proposto un confronto tra i valori reperiti in bibliografia.

Tabella 6.12 – Confronto tra valori di BOD e COD degli effluenti di cantina riscontrati da diversi Autori.

Fonte bibliografica	Parametro		
	BOD ₅	COD	BOD ₅ /COD
	mg/l		
Farolfi,1995	1.000-3.000	1.700-6.000	0,5-0,6
Fumi et al., 1995 b	1.200-6.000 (2.800 ¹)	2.000-9.000 (4.600 ¹)	0,6-0,7
Daffonchio et al., 1995	-	45.000	-
Daffonchio et al., 1995	-	7.000-7.500	-
Fumi et al., 1995 a	-	500-30.000	-

¹ media ponderata.

La tabella 6.13 riporta, invece, il potere inquinante dei reflui enologici di una cantina da 20.000 hl di vino/anno in relazione all'operazione compiuta e la durata in giorni, nell'arco di un anno, di ciascuna delle operazioni.

Relativamente alla presenza di altri composti, solo nei valori tabulati da Farolfi (1995) compaiono anche talune segnalazioni relative alla presenza di polifenoli (espressi come acido gallico) che si attestano su valori compresi fra 24 e 185 mg/l nei diversi tipi di acque.

Tabella 6.13 – Potere inquinante e volumi degli scarichi di una cantina vinicola con una produzione annuale di 20.000 hl di vino (modificato da: Farolfi, 1995).

Operazione	Durata operazioni d	Acque utilizzate		BOD ₅ kg/d	Abitanti equivalenti no.	Epoca
		m ³ /d	m ³ /anno			
Pulizia locali e attrezzature	30	20	600	4,8	99	Autunno
Defecazione del mosto	3	3,6	10,8	104	3600	Autunno
Pulizia vasche di defecazione	2	4,1	8,2	14,7	271	Autunno
I travaso	2	3,6	7,2	296	5466	Inverno
Pulizia vasche dopo il I travaso	3	4,1	12,3	24,9	462	Inverno
II travaso	2	4,1	8,2	46,7	865	Primavera
Pulizia vasche dopo il II travaso	5	2,4	12	6,7	123	Primavera
Lavaggio bottiglie	365	23	8395	0,4	10	Intero anno
Totale acque			9053,7			

L'indagine bibliografica condotta sulla composizione dei reflui vinicoli è stata integrata, così come già visto nel caso del settore lattiero-caseario, attraverso una attività diretta di monitoraggio, prelievo e caratterizzazione analitica. Al fine di dare un quadro quanto più completo possibile, si è scelto di analizzare due diverse tipologie di industrie vinicole, una di grandi dimensioni e l'altra di dimensioni medio-piccole.

6.3.1. Analisi dei casi di studio

Cantina di grandi dimensioni

La cantina di grandi dimensioni su cui è stata condotta la campagna analitica è localizzata nel comune di Cenaia, in provincia di Pisa. Ad essa vengono conferite le uve da parte di circa 200 viticoltori operanti nella zona circostante. Nella cantina vengono prodotti vini bianchi, rossi e rosati, I.G.T, D.O.C, D.O.C.G che sono commercializzati sia sfusi che in bottiglia, per una produzione annua dell'ordine di 15.000 q.

Nell'anno 2000 sono stati lavorati circa 18.000 q di uva con una conseguente produzione di vino di 13.500 q (resa ~ 70%). Il prelievo annuo di acqua necessaria per lo svolgimento di tutte le operazioni di stabilimento è stato nello stesso anno pari a 15.000 m³. Non è stato possibile determinare la quantità reflui prodotti durante la fase di depurazione, tuttavia è plausibile ipotizzare che la quantità sia equivalente al consumo di acqua. Naturalmente tale volume non è equamente distribuito durante l'arco dell'anno ma presenta un andamento stagionale, strettamente connesso alle diverse fasi produttive di seguito riportate:

-
- 1) lavaggio vasche: prima metà di settembre;
 - 2) vendemmia: da metà settembre a metà ottobre;
 - 3) travasi: 1° travaso da metà ottobre a fine dicembre;
 - 4) ultimo travaso da febbraio a marzo;
 - 5) imbottigliamento: 1 settimana al mese (tranne che durante la vendemmia).

Oltre alla quantità, anche la qualità dei reflui prodotti varia con la stagione di produzione. È, ad esempio, ipotizzabile che le acque di lavaggio delle vasche prima della vendemmia e quelle dell'ultimo travaso, nel quale viene effettuata l'operazione di detartarizzazione delle vasche, contengano soda e cloro, mentre quelle dell'imbottigliamento contengano soltanto soda.

Nel settore delle tecnologie di depurazione, esistono diverse possibilità di scelta tra sistemi diversi, dal momento che la concentrazione media di inquinanti dei reflui di cantina non è particolarmente elevata e la loro biodegradabilità è da buona ad ottima. Lo schema di depurazione adottato nello stabilimento in oggetto, così come nella maggior parte dei casi, è quello della digestione aerobica, che presenta i seguenti componenti:

- serbatoio di accumulo,
- pompa di sollevamento delle acque,
- vasca di ossidazione biologica,
- vasca di sedimentazione,
- pompa di estrazione fanghi.

In particolare l'impianto di depurazione connesso alla cantina su cui è stata condotta la campagna analitica è composto da una vasca di equalizzazione movimentata ed ossigenata per mezzo di un flow-jet e da due vasche di ossidazione equipaggiate di due flow-jet cadauna disposti sul fondo delle vasche stesse. Il refluo omogeneizzato e pre-trattato viene inviato alle vasche di ossidazione per mezzo di 2 pompe di sollevamento mentre i fanghi prodotti vengono inviati al digestore ed in parte riciccolati.

Le caratteristiche dimensionali dei componenti dell'impianto sono le seguenti:

- vasca di equalizzazione: 5 x 12 x4 m,
- vasca di ossidazione: 5 x 12 x4 m,
- digestore fanghi: 3 x3 x4 m.

I risultati delle analisi effettuate sui reflui nella cantina sono riportati nelle tabelle 6.14 - 6.15.

Tabella 6.14 – Composizione chimica dei reflui prodotti durante fasi diverse del processo di vinificazione.

Parametro	Unità di misura	Fase di produzione			
		Lavaggi pre-vendemmia	Vendemmia	Primo travaso e imbottigliamento	Ultimo travaso e imbottigliamento
Azoto Organico	mg/l N	44,8	42	47,6	22,4
BOD ₅	mg/l O ₂	496	1120	1040	1458
COD tal quale	mg/l O ₂	1410	3500	2860	2178
Potassio	mg/l K ₂ O	129,6	103,2	138	75,6
Sodio	mg/l Na	81	73	65	105,6
Rame	mg/l Cu	0,43	0,41	<0,1	<0,1
Zinco	mg/l Zn	0,48	0,62	0,36	0,11
Fosforo	mg/l P ₂ O ₅	8,01	5,72	6,87	2,5
Solidi Sospesi Totali	mg/l	615	453	410	311
Cloruri	mg/l Cl	336,7	141,8	115,2	230
Tensioattivi anionici	mg/l MBAS	1,9	1,2	1,5	2,2
Tensioattivi non ionici	mg/l PPAS	10	<0,5	<0,5	<0,5
Solidi disciolti	mg/l	2690	2350	2050	1450
Alcalinità M	mg/l CO ₃	0	0	0	0
Alluminio	mg/l Al	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
pH	unità	6,51	5,13	5,36	6,63
Solfati	mg/l SO ₄	25	75	125	50
Calcio	mg/l Ca	153,9	155,5	97,8	120,2
Magnesio	mg/l Mg	40,8	34,0	33,1	24,3
Ammoniaca	mg/l NH ₄	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrati	mg/l NO ₃	30,8	<1	<1	<1
Alcalinità	mg/l HCO ₃	1647	610	518	610
SAR	unità	2,1	2,0	2,1	3,2
SAR corretto	unità	3,4	2,9	2,7	4,9

Tabella 6.15 – Composizione chimica dei reflui enologici prodotti durante la fase di travaso-imbottigliamento in relazione alla durata dello stoccaggio.

Parametro	Unità di misura	Durata dello stoccaggio		
		0	60 giorni	90 giorni
Azoto Organico	mg/l N	47,6	56	50,4
BOD ₅	mg/l O ₂	1040	810	1183
COD tal quale	mg/l	2860	2980	2613
Potassio	mg/l K ₂ O	138	127,2	115,2
Sodio	mg/l Na	65	67	73,3
Rame	mg/l Cu	<0,1	<0,1	<0,1
Zinco	mg/l Zn	0,36	0,54	0,50
Fosforo	mg/l P ₂ O ₅	6,87	10,3	11
Solidi Sospesi Totali	mg/l	410	700	1081
Cloruri	mg/l Cl	115,2	124,0	135,0
Tensioattivi anionici	mg/l MBAS	1,5	1,6	2,4
Tensioattivi non ionici	mg/l PPAS	<0,5	2	1
Solidi disciolti	mg/l	2050	1690	1190
Alcalinità M	mg/l CO ₃	0	0	0
Alluminio	mg/l Al	<0,5	<0,5	<0,5
pH	unità	5,36	5,15	5,14
Solfati	mg/l SO ₄	125	125	75
Calcio	mg/l Ca	97,8	99,4	104,2
Magnesio	mg/l Mg	33,1	21,4	17
Ammoniaca	mg/l NH ₄	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrati	mg/l NO ₃	<1	<1	<1
Alcalinità	mg/l HCO ₃	518	518	512
SAR	unità	2,1	2,2	2,5
SAR corretto	unità	2,7	3,2	3,7

L'analisi dei dati permette di osservare che, in relazione alla concentrazione di cloruri, il campione relativo alla fase di prevendemmia è quello che presenta i valori più alti, tali da impedirne l'utilizzo irriguo per le colture classificate come molto sensibili e mediamente sensibili (*cfr* capitolo 2). Il refluo prodotto nella fase dell'ultimo travaso ed imbottigliamento risulta, invece, non idoneo per le colture molto sensibili. L'utilizzo delle altre tipologie di refluo non dovrebbe, invece, determinare particolari problemi.

Il contenuto di alluminio e zinco è tale da consentire l'utilizzo irriguo in qualunque condizione. Stesso discorso può esser fatto per il contenuto in rame dei reflui derivanti dalle fasi di travaso ed imbottigliamento; per gli altri campioni, invece, la concentrazione di rame è più elevata e limita l'utilizzo irriguo saltuario del refluo a terreni a tessitura argillosa e pH dell'ordine di 6-8,5.

La presenza di tensioattivi, rilevata nei campioni analizzati, può provocare effetti negativi sia sul terreno che sulle piante. In particolare, la quantità di tensioattivi nei reflui prodotti durante le fasi di vendemmia e di primo travaso-imbottigliamento è tale da consigliare l'impiego irriguo saltuario ed in condizioni di bassa vulnerabilità ambientale; nei reflui prodotti nei lavaggi prevendemmia ed in quelli di detartarizzazione (ultimo travaso-imbottigliamento), essendo richiesta una detersione più spinta, si riscontrano concentrazioni addirittura maggiori, che ne condizionano pesantemente l'utilizzo. L'andamento del pH dei reflui enologici segue quello dei tensioattivi; infatti, mentre i reflui delle fasi di vendemmia e di travaso-imbottigliamento sono di natura leggermente acida (per cui potranno essere utilizzati solo senza bagnare la vegetazione - valori limite 4,5-6), gli altri due reflui hanno un $\text{pH} > 6$ per effetto delle soluzioni impiegate nel lavaggio delle apparecchiature e delle attrezzature. In nessuno dei casi, comunque, i valori del pH sono tali da non consentirne l'uso per l'irrigazione (valori limite di 4,5-9).

Oltre alle sostanze fitotossiche, un ulteriore elemento da tenere presente quando si pratica l'irrigazione con acque di qualità non eccellente è senza dubbio la salinità. Per valutare l'indice di salinità dei campioni è sufficiente utilizzare i valori dei solidi disciolti totali, dato che non sono presenti carbonati. Secondo questo parametro, i reflui sono classificabili come molto salini per scopi irrigui (*cf* capitolo 2), e quindi non adatti all'irrigazione, se non occasionalmente su terreni molto permeabili e ben drenati, per colture altamente tolleranti e utilizzando elevate quantità di acqua in modo da provocare alta lisciviazione.

Il valore dei solidi sospesi di tutti i reflui prodotti e stoccati nella cantina è risultato molto elevato ed al di là di qualunque altra considerazione sarà, pertanto, necessario, prima di utilizzare i reflui per l'irrigazione, effettuare una sedimentazione-filtrazione che porti il valore di tale parametro al di sotto dei limiti consigliati.

Per quanto concerne i solfati, le concentrazioni riscontrate ne consentirebbero l'uso senza limitazioni, ad eccezione del campione relativo alla fase di primo travaso-imbottigliamento, per il quale l'impiego irriguo deve essere fatto rispettando alcune limitazioni sui volumi irrigui stagionali, sulle colture irrigabili, sul metodo irriguo e sulle condizioni pedologiche dell'ambiente nel quale si opera (valore limite 100 mg L^{-1}).

Relativamente alla concentrazione di BOD e COD delle acque considerate, i valori riscontrati, pur notevolmente elevati, non ne precludono l'impiego, anche se particolari accorgimenti dovranno essere adottati soprattutto nelle fasi di distribuzione e nella scelta del metodo irriguo.

Un ulteriore ed importante parametro da tenere in considerazione per valutare l'idoneità di un'acqua irrigua, infine, è l'indice SAR, che esprime l'indice di rischio legato alla sodicizzazione del terreno. I risultati ottenuti consentono di affermare che per i tre reflui analizzati non esistono problemi connessi al rischio di sodicizzazione del terreno (valore limite SAR 10).

Con riferimento allo stoccaggio si osserva l'assenza di sostanziali modificazioni dei parametri analitici considerati, ad eccezione di BOD, COD, Solidi Sospesi Totali, Solidi Disciolti, solfati e magnesio. Relativamente alla degradabilità della sostanza organica si osserva un leggero aumento del BOD ed un decremento del COD, dovuto alla presenza di sostanze biodegradabili prodotte durante l'ossidazione. I solidi sospesi totali aumentano, presumibilmente a causa della formazione di precipitati e, conseguentemente i solidi disciolti diminuiscono. Anche la concentrazione di solfati e magnesio diminuisce, in linea con quanto osservato per i solidi disciolti.

Il SAR ed il SAR corretto, seppur con un leggero incremento, si mantengono comunque al di sotto dei limiti entro i quali i reflui possono essere utilizzati senza problemi per tutte le colture.

Si nota, comunque, come la funzione di affinamento attribuita allo stoccaggio, alle condizioni testate, faccia sentire il suo effetto per tempi di stoccaggio superiori a 2 mesi.

Cantina di piccole dimensioni.

La cantina di piccole dimensioni su cui è stata condotta la campagna analitica è localizzata a Monopoli Val d'Arno, in provincia di Pisa. Nell'azienda vengono prodotti vini bianchi, rossi e rosati I.G.T.

Nell'anno 2001 sono stati lavorati circa 122 q di uva con una conseguente produzione di vino di 85 hl (resa ~ 70%). Per tale produzione l'azienda è dotata di 6 tini da 92 hl cadauno (di cui 50 hl superiori di fermentazione e 42 hl inferiori di stoccaggio), più un tino da 35 hl ed uno da 55 hl, di riserva. La quantità di reflui inviati alla depurazione nell'anno 2001 è stato di circa 10 m³. All'interno dell'azienda vi è una diversificazione degli scarichi in base al potere inquinante, e quindi una diversa destinazione dei reflui prodotti. Le acque di lavaggio delle apparecchiature, i tini sostanzialmente, contengono residui di detergenti e sanificanti impiegati per le operazioni di lavaggio. Il ciclo di pulizia prevede infatti un primo lavaggio con idrossido di sodio al 5%, un risciacquo a perdere, ed una sanitizzazione con acido citrico al 10%. Le acque della prima e dell'ultima operazione vengono convogliate in una vasca di raccolta del volume di 20 m³; tale dimensionamento è stato valutato in modo da rendere possibile l'accumulo di tutta la massa d'acqua utilizzata durante le procedure di pulizia e di "messa in alimentare" dei tini. Non sono presenti acque di lavaggio delle bottiglie, poiché queste ultime vengono acquistate già lavate. Anche per questa cantina il volume di reflui prodotti presenta un andamento stagionale, strettamente connesso alle diverse fasi produttive.

In questo caso la caratterizzazione dei reflui durante il processo di vinificazione in relazione alla durata dello stoccaggio sembra mostrare che tali reflui presentano minori limitazioni all'utilizzo agronomico, rispetto a quelli della cantina di dimensioni maggiori (tabella 6.16). Essi, infatti, sono caratterizzati da contenuti in metalli e valori di indice SAR più bassi che dovrebbero consentire un impiego irriguo senza particolari restrizioni.

La concentrazione di cloruri, inoltre, mantenendosi a valori relativamente modesti, ne consentirebbe l'uso anche per colture molto sensibili purché siano adottate modalità di spandimento ben precise, variabili da terreno a terreno.

Anche il pH, pur tendendo a ridursi durante lo stoccaggio, presenta valori ottimali, così come ottimale è la concentrazione di solfati. La concentrazione di tensioattivi totali nel refluo non stoccato è superiore al valore soglia di 2,5 mg L⁻¹, cosicché l'utilizzazione di tale refluo per usi irrigui è soggetta a pesanti restrizioni, mentre dopo uno stoccaggio di 30 giorni il valore si riduce sensibilmente, raggiungendo valori che possono permettere un uso irriguo saltuario, e dopo 60 giorni la qualità del refluo è tale da consentirne un utilizzo anche continuativo.

La salinità, ovvero la concentrazione di solidi disciolti, è tale da consentire l'utilizzo irriguo soltanto in terreni ben drenati e su colture tolleranti. Relativamente alla concentrazione di solidi sospesi, invece, i valori riscontrati sono tali da non creare particolari problemi alle colture, né da richiedere particolari sistemi di irrigazione.

Nell'analizzare i valori di COD tal quale, si nota come, durante lo stoccaggio, tale parametro aumenti per poi ridiminuire. Il COD determinato sul filtrato, invece, non presenta variazioni durante lo stoccaggio. Ciò significa che le variazioni di COD tal quale sono da imputare a variazioni della natura fisica dei solidi sospesi, non essendo stata riscontrata una variazione quantitativa dello stesso parametro. Ciò è confermato dalle osservazioni effettuate durante l'esecuzione delle analisi di laboratorio, che hanno evidenziato una modifica della natura fisica dei solidi sospesi durante lo stoccaggio che è passata da "fioccosa" e quindi facilmente filtrabile, a "colloidale", filtrabile con estrema difficoltà. Anche visivamente, dopo sedimentazione, si è potuto notare che il campione stoccato si presentava torbido ed opalescente a differenza di quello non stoccato che era discretamente limpido e con una leggera quantità di fango depositata sul fondo.

Tabella 6.16 – Composizione chimica dei reflui prodotti durante il processo di vinificazione in relazione alla durata dello stoccaggio.

Parametro	Unità di misura	Durata dello stoccaggio		
		0	30 giorni	60 giorni
Azoto Organico	mg L ⁻¹ N	27,4	8,2	8,4
BOD ₅	mg L ⁻¹ O ₂	8	43	29
COD tal quale	mg L ⁻¹ O ₂	29	105	72,6
COD filtrato	mg L ⁻¹ O ₂	<20	<20	<20
Potassio	mg L ⁻¹ K ₂ O	18	25,2	16,8
Sodio	mg L ⁻¹ Na	33	49	34
Rame	mg L ⁻¹ Cu	<0,1	<0,1	<0,1
Zinco	mg L ⁻¹ Zn	0,12	0,19	0,18
Fosforo	mg L ⁻¹ P ₂ O ₅	0,92	13,97	11,1
Solidi Sospesi Totali	mg L ⁻¹	38	30	35
Cloruri	mg L ⁻¹ Cl	113,4	212,7	186,0
Tensioattivi anionici	mg L ⁻¹ MBAS	0,4	0,3	0,5
Tensioattivi non ionici	mg L ⁻¹ PPAS	3	1	<0,5
Solidi disciolti	mg L ⁻¹	990	990	900
Alcalinità M	mg L ⁻¹ CO ₃	24	0	0
Alluminio	mg L ⁻¹ Al	<0,5	<0,5	<0,5
pH	unità pH	8,71	7,14	7,27
Solfati	mg L ⁻¹ SO ₄	45	60	37,5
Calcio	mg L ⁻¹ Ca	51,3	52,9	59,3
Magnesio	mg L ⁻¹ Mg	15,5	10,7	8,7
Ammoniaca	mg L ⁻¹ NH ₄	0,6	0,2	0,18
Nitrati	mg L ⁻¹ NO ₃	4,4	<1	<1
Alcalinità	mg L ⁻¹ HCO ₃	427	450	464
SAR	unità	1,5	2,3	1,5
SAR corretto	unità	1,9	3	2,3

6.4 - L'impiego dei reflui della vinificazione in agricoltura

Si è già detto come, in analogia con gli altri effluenti dell'industria agro-alimentare, anche le caratteristiche quanti-qualitative dei reflui vinicoli siano risultate estremamente variabili in rapporto soprattutto alle dimensioni aziendali ed alla tipologia di lavorazione adottata.

I parametri che possono rappresentare dei vincoli per lo spargimento diretto sul terreno agrario dei reflui sono rappresentati dal pH, dalla salinità, dal sodio, dai solidi sospesi, dai metalli pesanti, dai cloruri, dai solfati e dai tensioattivi. Tali parametri, pur non raggiungendo valori tali da sconsigliare,

in senso assoluto, l'utilizzazione agronomica dei reflui vinari, devono essere attentamente considerati anche in previsione di eventuali limiti nelle dosi da distribuire.

Relativamente al pH, i valori registrati nella maggior parte dei casi sono risultati compresi tra 4,5 e 6,0; valori che consentono l'utilizzo purché vengano adottati opportuni accorgimenti agronomici (come, ad esempio, non bagnare direttamente la vegetazione e non impiegare su colture sensibili).

La concentrazione salina dei reflui impone il loro inserimento all'interno della classe più alta in base alla classificazione prevista dal DM 23 marzo 2000, recante "*Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico*", e cioè tra le acque da considerarsi non idonee all'irrigazione, se non occasionalmente su terreni molto permeabili e ben drenati, per colture altamente tolleranti e utilizzando elevati volumi di adacquamento onde consentire la lisciviazione dei sali.

Quando i solidi sospesi superano i 20 mg/L (valore che rappresenta il limite per non modificare in maniera significativa la permeabilità dei terreni) potrebbe essere consigliabile procedere ad una preventiva sedimentazione-filtrazione dei reflui da somministrare. Nel caso di distribuzione effettuate su terreni in pendio infatti si sono osservati rilevanti fenomeni di ruscellamento superficiale delle acque anche a partire da dosi non particolarmente massicce (100 m³/ha), proprio a causa dell'intasamento del terreno provocato dall'elevato carico di solidi sospesi. Il loro abbattimento inoltre risulterebbe utile anche per evitare l'intasamento degli erogatori e l'imbrattamento delle colture, che rappresentano altri importanti inconvenienti legati all'elevata torbidità delle acque.

Per quanto riguarda la presenza del sodio il SAR, calcolato con i valori riportati in letteratura e rilevati anche nell'ambito della specifica campagna analitica, è risultato sempre inferiore a 10, e dunque al di sotto dei valori soglia prescritti dalla legge (*cf*r capitolo 3). Le concentrazioni di cloruri e solfati consigliano invece cautela nell'impiego dei reflui vinari: occorre evitarne dunque la distribuzione su colture sensibili e in ogni caso applicare metodi irrigui che non comportino la bagnatura della parte aerea delle piante.

Relativamente ai metalli, i dati derivanti dalla campagna analitica condotta mostrano che le maggiori concentrazioni di rame si riscontrano nelle acque prodotte nella fase di vendemmia. D'altra parte la massiccia utilizzazione del rame nei programmi di protezione fitosanitaria della vite costituisce un importante fattore di predisposizione all'arricchimento delle acque reflue in questo elemento, anche se naturalmente le particolari condizioni riscontrate (virulenza degli attacchi, andamento pluviometrico, decorso colturale, ecc.) possono giocare un ruolo importante nel determinarne la concentrazione finale.

La significativa presenza di tensioattivi, rilevata, anche nei campioni analizzati nel corso della campagna analitica, è tale da poter provocare effetti negativi sia sul terreno che sulle piante. L'impiego irriguo quindi deve essere valutato con attenzione prevedendo l'esecuzione di apposite analisi sugli effluenti da utilizzare.

Passando a valutare il valore fertilizzante dei reflui vinari, si deve specificare che la concentrazione di azoto e fosforo, sulla base dei dati reperibili in letteratura è estremamente variabile, pur mantenendosi su valori piuttosto modesti, mentre decisamente più elevato si dimostra il contenuto in potassio (tabella 6.17). Cosicché il contributo nutrizionale che può derivare dalla somministrazione degli effluenti di cantina è soprattutto legato alla dose di impiego, risultando trascurabile in corrispondenza di dosi ridotte e dimostrandosi apprezzabile solo per impieghi unitari più consistenti (Sangiorgi e Balsari, 1995; Muller ed Heil, 1998).

Tabella 6.17 – Concentrazione dei principali elementi fertilizzanti nelle acque reflue di cantina e calcolo delle quantità apportate al terreno ipotizzando di distribuire una dose di 50 e 300 m³/ha.

Elemento	Concentrazione	Dose	
		50 m ³ /ha	300 m ³ /ha
N totale	11 – 311	0,6 – 15,6	3,3 – 93,3
P ₂ O ₅	2,3 - 133,3	0,1 – 6,7	0,7 – 40,0
K ₂ O	380 - 2240	19,0 – 112,0	112,0 – 672,0

Muller ed Heil (1998), ad esempio, analizzando gli effetti della distribuzione di reflui di cantina sul terreno non hanno osservato cambiamenti nella dotazione di nutrienti; da escludere anche un incremento del contenuto in metalli pesanti. L'unico elemento che, durante la sperimentazione, ha fatto registrare un incremento è stato l'azoto minerale, probabilmente in conseguenza dell'aumentata attività microbica. Per quanto riguarda il percolato, gli Autori non hanno registrato nessun cambiamento rispetto al controllo, mentre dal punto di vista dell'attività microbiologica una certa tossicità è stata evidenziata nel primo mese dalla distribuzione, a causa della elevata richiesta di ossigeno nella decomposizione del refluo.

Quanto agli effetti diretti sulle colture Joujon, Racault, Rochard (2001) hanno effettuato test sulla crescita radicale e sulla germinabilità di colture trattate con reflui vinicoli, sulla crescita e sullo sviluppo delle piante e sull'attività microbiologica. Per quanto riguarda la terminabilità, le conseguenze negative registrate sembrano essere attribuibili alla forte domanda di ossigeno ed all'attività della flora microbica caratteristica che crea un ambiente parzialmente fitotossico. Questi effetti sono comunque temporanei e sono molto variabili a seconda delle specie testate: il mais ad esempio non ha evidenziato effetti di ritardata germinazione, ma ha subito temporanei ritardi nella crescita anche in corrispondenza di dosaggi non elevati (100 m³/ha).

Gli effetti fitotossici dei reflui di cantina sembrano dunque correlati con la particolare sensibilità delle diverse specie e con lo stadio di sviluppo di queste (lo stadio di germinazione sembra, ad esempio, essere ben più sensibile del successivo stadio di plantula). Tali considerazioni portano a sconsigliare l'utilizzo di tali effluenti durante le fasi fenologiche più precoci del ciclo delle colture. In corrispondenza della levata e della fase di attiva crescita di un prato stabile, infatti, non sono stati osservati effetti negativi anche in corrispondenza di dosi di impiego decisamente elevate (50, 100, 200, 400 m³/ha).

6.5. Considerazioni conclusive

Le informazioni reperite in letteratura relativamente agli effetti indotti sulle colture e sul terreno dalla distribuzione dei reflui di cantina sono limitate e non consentono di trarre al riguardo alcuna considerazione conclusiva.

A prescindere però dai risultati sperimentali delle esperienze condotte, la composizione dei reflui vinari pone, come si è visto, non poche riserve sull'opportunità agronomica del loro utilizzo. È dunque necessario provvedere ad una accurata caratterizzazione degli effluenti così da poter determinare la dose più corretta di utilizzo e valutare caso per caso le possibili conseguenze che la loro distribuzione in campo può comportare.

Il contenuto in sali ed il carico in solidi sospesi per quanto riguarda gli effetti sul terreno, il pH e la

concentrazioni in cloruri, solfati e tensioattivi per quanto concerne gli effetti sulle colture, sono da considerarsi senz'altro gli aspetti meritevoli di maggior attenzione.

A tal riguardo si potrebbe ipotizzare, in un'ottica prevalentemente orientata al risparmio delle risorse idriche, di miscelare i reflui in considerazione con acque adibite ad uso irriguo secondo diversi rapporti di miscelazione. Si riportano di seguito le concentrazioni dei parametri di maggior interesse calcolati considerando le concentrazioni di partenza pari a quelle dei reflui enologici prodotti durante la fase di travaso-imbottigliamento in relazione ad una durata dello stoccaggio pari a 60 giorni, sia per la cantina di grandi dimensioni che per quella di piccole dimensioni, mentre i valori di concentrazione delle acque di miscelazione sono stati assunti in base a dati di letteratura o a valori indicati dalla normativa (tabelle 6.18 e 6.19).

Tabella 6.18 – Cantina grandi dimensioni: concentrazione dopo miscelazione con acqua

Parametro	Unità di misura	Concentrazione	Concentrazione dopo miscelazione con acqua			Valori limite D.M. 185/2003	Valori di concentrazione assunti nell'acqua miscelata con il refluo
			diluizione 1/5	diluizione 1/4	diluizione 1/3	mg/l	mg/l
Azoto Totale	mg/l N	56,26	23	25	29	15 (fino a 35)	15
BOD ₅	mg/l O ₂	810	178	218	283	20	20 c)
COD tal quale	mg/l	2980	620	768	1.013	100	30 b)
Sodio	mg/l Na	67	53	54	55	-	49 a)
Fosforo	mg/l P	4,5	2,5	2,6	2,8	2 (fino a 10)	2
Rame	mg/l Cu	<0,1	0,17	0,17	0,16	1	0,19 a)
Zinco	mg/l Zn	0,54	1,63	1,56	1,45	0,5	1,9 a)
Cloruri	mg/l Cl	124	104	105	107	250	99 a)
Tensioattivi	mg/l	3,6	1,1	1,3	1,5	0,5	0,49 a)

a) acqua destinabile ad uso irriguo senza restrizioni di Classe I in base alla classificazione riportata da Giardini et al.

b) valore limite previsto dal D.Lgs 152/2006 per un'acqua destinata alla produzione di acqua potabile di classe A3

c) dato di letteratura; valore limite indicato anche dal DM 185/2003 per l'utilizzo irriguo di acque reflue recuperate

Tabella 6.19 – Cantina piccole dimensioni: concentrazione dopo miscelazione con acqua

Parametro	Unità di misura	Concentrazione	Concentrazione dopo miscelazione con acqua			Valori limite D.M. 185/2003	Valori di concentrazione assunti nell'acqua miscelata con il refluo
			diluizione 1/5	diluizione 1/4	diluizione 1/3	mg/l	mg/l
Azoto Totale	mg/l N	9,86	14	14	13	15 (fino a 35)	15
BOD ₅	mg/l O ₂	29	22	22	23	20	20 c)
COD tal quale	mg/l O ₂	72,6	39	41	44	100	30 b)
COD filtrato	mg/l O ₂	<20	28	28	27	100	30 b)
Sodio	mg/l Na	34	46	45	44	-	49 a)
Fosforo	mg/l P	4,84	2,6	2,7	2,9	2 (fino a 10)	2
Rame	mg/l Cu	<0,1	0,17	0,17	0,16	1	0,19 a)
Zinco	mg/l Zn	0,18	1,56	1,47	1,33	0,5	1,9 a)
Cloruri	mg L ⁻¹ Cl	186	116	121	128	250	99 a)
Tensioattivi	mg/l	1	0,6	0,6	0,7	0,5	0,49 a)
SST	mg/l	35	15	16	18	10	10
Alluminio	mg/l Al	<0,5	0,9	0,9	0,8	1	1
Solfati	mg/l SO ₄	37,5	87	84	79	500	99 a)

a) acqua destinabile ad uso irriguo senza restrizioni di Classe I in base alla classificazione riportata da Giardini et al.

b) valore limite previsto dal D.Lgs 152/2006 per un'acqua destinata alla produzione di acqua potabile di classe A3

c) dato di letteratura; valore limite indicato anche dal DM 185/2003 per l'utilizzo irriguo di acque reflue recuperate

I valori così trovati, in relazione alle concentrazioni di BOD₅, COD, tensioattivi totali e solidi sospesi totali relativi alla cantina di grandi dimensioni, risultano elevati e tali da non consigliare l'utilizzo irriguo dei reflui enologici, neanche in miscela con acque idonee a tale utilizzo, se non adottando opportuni accorgimenti e limitazioni. Ad esempio, come già indicato, sarebbe quantomeno appropriato effettuare una sedimentazione-filtrazione per ridurre il contenuto di solidi sospesi, rispettare alcune limitazioni sui volumi irrigui stagionali, sulle colture irrigabili, sul metodo irriguo e sui tipi di terreno e, infine, valutare le condizioni di vulnerabilità ambientale.

Per quanto riguarda i valori trovati nel caso della cantina di piccole dimensioni, invece, le concentrazioni sembrerebbero non destare particolari problemi ai fini di un eventuale utilizzo irriguo dei reflui in miscela con acque idonee a tale scopo. Tuttavia sarebbe, comunque, consigliabile effettuare una serie di analisi e adottare, anche in questo caso, particolari accorgimenti tenendo presente il tipo di terreno, il tipo di colture interessate, le modalità di irrigazione, ecc..

Se a ciò si aggiunge il limitato valore fertilizzante ed i problemi posti dalla spiccata stagionalità di produzione, che ne riduce le possibilità di utilizzazione a fini irrigui, si può concludere che l'utilità agronomica dell'impiego dei reflui di cantina è limitata ed il loro ricorso appare subordinato al superamento di più di un problema.

Va ricordato che l'utilizzo dei reflui della vinificazione provenienti da piccole aziende agroalimentari può essere effettuato, in base a quanto previsto dal decreto ministeriale 7 aprile 2006 in dosi non superiori ad un terzo del fabbisogno irriguo: tuttavia in alcuni casi, potrebbe, anche, rendersi necessaria una limitazione dell'utilizzo dei reflui fino a dosi non superiori ad 1/4.

Come già detto poi, la presenza di particolari condizioni di suscettibilità o di resistenza (giacitura, fase fenologica della coltura, natura del terreno, ecc.) può suggerire una riduzione o viceversa consentire il ricorso alla dose massima consentita.

Si consideri infine che non tutte le acque reflue prodotte in cantina sono idonee per la somministrazione al terreno; dovrebbero essere escluse infatti quelle provenienti da trattamenti speciali, come: ferro-cianurazione, lavaggio degli impianti di imbottigliamento, concentrazione dei mosti e desolfurazione dei mosti muti.

Capitolo 7.

LA VALUTAZIONE DELL'ATTITUDINE DEI TERRENI AGRARI ALLO SVERSAMENTO DELLE ACQUE DI VEGETAZIONE: UN ESEMPIO DI APPROCCIO TERRITORIALE DI TIPO MODULARE

7.1 - Premessa

La consuetudine di distribuire sul terreno agricolo le acque di vegetazione ha origini antiche e rappresenta, da sempre, la soluzione più frequente al problema del loro recupero. A partire dal 1976, tuttavia, con la promulgazione della Legge n. 319, le acque di vegetazione venivano assimilate, a causa del loro elevato carico organico, agli altri reflui idrici e ne veniva, quindi, prescritta la depurazione (e successivo spandimento sui terreni agrari) oppure lo smaltimento in discarica.

Da allora le acque di vegetazione hanno vissuto alterne vicende sino ad essere riconosciute assimilabili agli scarichi provenienti dagli insediamenti "civili" (delibera del CITAI - Comitato interministeriale per la tutela delle acque dall'inquinamento - dell'8 maggio 1980) e demandate alla competenze regionali. Ma le difficoltà di carattere tecnico, economico e gestionale che la loro depurazione presentava ha fatto sì che la distribuzione sui terreni agrari sia continuata a rimanere la modalità più utilizzata per il loro smaltimento (Andrich et al., 1986; Libetri, 1988; Bonari e Ceccarini, 1993), senza peraltro che si prestasse particolare attenzione né ai quantitativi da distribuire per unità di superficie, né ai tempi ed alle modalità della loro somministrazione.

Al fine di garantire il corretto utilizzo di questo refluo, è stata, pertanto, emanata la Legge n. 574 dell'11 novembre 1996, recante "*Nuove norme in materia di utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e di scarichi dei frantoi oleari*" che predispone le norme relative allo spandimento controllato delle acque di vegetazione sui terreni adibiti ad usi agricoli:

- dosi massime: 50 m³/ha per anno se le acque di vegetazione provengono da impianti ad estrazione discontinua e 80 m³/ha se sono originate da impianti ad estrazione centrifuga;
- terreni agrari esclusi: appezzamenti a distanza inferiore a 300 m dalle aree di salvaguardia dei punti di captazione delle acque potabili o a distanza inferiore ai 200 m dagli insediamenti abitativi; terreni con colture ortive in atto; superfici con falda inferiore ai 10 m di profondità o gelate, innestate, sature d'acqua o inondate;
- modalità di spandimento: deve avvenire in modo da assicurare una regolare distribuzione e incorporazione nel terreno, onde evitare fenomeni di ruscellamento superficiale.

Ulteriori prescrizioni per lo spandimento sono state, successivamente, introdotte dal DM 6 luglio 2005 relativo ai "*criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari, di cui all'articolo 38 del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152*". Tale decreto introduce, infatti, il divieto di utilizzo, oltre che nei casi previsti dalla legge 574/96, anche nelle seguenti condizioni:

- a distanza inferiore a dieci metri dai corsi d'acqua misurati a partire dalle sponde e dagli inghiottitoi e doline, ove non diversamente specificato dagli strumenti di pianificazione;
- a distanza inferiore ai dieci metri dall'inizio dell'arenile per le acque marino-costiere e lacuali; in terreni con pendenza superiore al 15% privi di sistemazione idraulico-agraria;
- nei boschi;

- nei giardini e nelle aree di uso pubblico;
- nelle aree di cava.

Come già ampiamente riportato nel capitolo 4, le indagini sino ad ora condotte, pur non mettendo in evidenza effetti negativi sulle caratteristiche del terreno e sul comportamento delle colture, hanno dimostrato che la pratica dello smaltimento delle acque di vegetazione sul terreno agrario deve essere razionalmente condotta e realizzata con modalità, tempi e attrezzature adeguate e soprattutto deve considerare con attenzione le caratteristiche agro-pedo-morfologiche e climatiche del sito interessato alla distribuzione, al fine di evitare fenomeni indesiderati o, addirittura, pericolosi per la salvaguardia dell'integrità ambientale.

A questo scopo si riportano, i risultati di uno studio, organizzato secondo un approccio territoriale di tipo modulare, teso a valutare l'attitudine delle aree agricole allo spargimento delle acque di vegetazione in relazione alle caratteristiche del comprensorio, alla localizzazione dei frantoi ed ai vincoli di vario genere imposti dalla normativa vigente. Il lavoro costituisce l'oggetto di uno specifico filone di ricerca condotto dal Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema dell'Università di Pisa.

7.2 - Il metodo

La ricerca è stata articolata su tre "livelli di studio" (tabella 7.1), contraddistinti da un dettaglio di indagine e di restituzione cartografica progressivamente maggiore, facenti riferimento ad altrettanti "livelli organizzativi" della pubblica amministrazione: Regione, Provincia e Comune. Il diverso grado di accuratezza e la validità delle informazioni elaborate ai vari livelli di indagine, dipendono quindi dalla disponibilità e dalla precisione dei dati di partenza e dalla necessità di scegliere una scala idonea per la rappresentazione cartografica delle diverse aree di studio.

Tabella 7.1 – Le caratteristiche dell'approccio modulare prescelto.

dettaglio	livello	scopo	Scala	Dati
Basso	Regione	Screening	1:250000	Censuari
Medio	Provincia	Analisi	1:100000	Digitali
Elevato	Comune	Pianificazione	1:5000	Indagini ad hoc

Livello regionale. L'indagine condotta a scala regionale prevedeva l'elaborazione di un *data-base* georeferenziato relativo alla localizzazione, alla capacità lavorativa e quindi al carico di acque di vegetazione prodotte da ciascun frantoio ed alla quantificazione delle superfici potenzialmente idonee allo sversamento dei reflui oleari, realizzato ad una scala 1:250.000.

Scopo di questo primo livello di indagine è stata l'individuazione delle aree teoricamente più critiche all'interno del territorio regionale (in questo caso la Toscana) in relazione al carico di acque di vegetazione prodotte ed alle superfici agricole disponibili per il loro smaltimento. In questo modo si è inteso svolgere un'analisi preliminare con funzione di *screening* che permettesse di evidenziare in maniera macroscopica, le zone dove il problema della distribuzione degli effluenti poteva porre maggiori problemi organizzativi.

L'unità territoriale minima di riferimento è stata in questo caso il Comune, scelta questa che trova giustificazione nella disponibilità dei dati statistici e cartografici di base e nel livello di dettaglio raggiungibile, in considerazione anche della scala di restituzione prescelta.

Livello provinciale. La finalità di questo secondo livello di studio è stata la creazione di un *data-base* georeferenziato a scala 1:100.000 che, tramite l'analisi dei fattori di rischio, evidenziasse le aree agricole vietate per legge allo sversamento delle acque di vegetazione e complementariamente individuasse quelle ammesse, suddividendole secondo classi di idoneità crescente. L'ambito territoriale di riferimento prescelto è stato, in questo caso, la provincia di Pisa.

In primo luogo sono state identificate ed escluse le aree proibite: terreni non agricoli, aree inondabili e/o con falda superficiale. Per le restanti aree, si è proceduto successivamente alla valutazione dell'attitudine allo spargimento dei reflui oleari sulla base di tre distinti criteri di rischio agro-ambientale, la cui quantificazione è stata affidata alla produzione di specifiche carte tematiche:

- carta del rischio di ruscellamento, che evidenzia i problemi legati alla contaminazione delle acque superficiali
- carta del rischio di infiltrazione, che stima il potenziale livello di inquinamento per la falda sotterranea
- carta dell'accessibilità in campo, che valuta le possibilità di accesso sugli appezzamenti dei mezzi meccanici che operano lo spandimento

Livello locale (comunale). Scopo precipuo di questo terzo livello di indagine è stato la caratterizzazione agro-pedo-climatica della zona di pertinenza dei frantoio ricadenti entro i confini di un'amministrazione comunale (in questo caso il comune di San Giuliano Terme - PI). Tale zona, ipotizzata come un'area circolare di 3 km di raggio facendo centro nel frantoio, costituisce la superficie dove, con tutta probabilità, si procederà alla effettiva distribuzione delle acque di vegetazione, dato che difficilmente conviene movimentare gli effluenti per distanze maggiori.

La finalità perseguita è quindi quella pianificatoria e prevede l'elaborazione di un piano comunale di distribuzione dei reflui che, accettando l'ipotesi di limitare per motivi "economico-operativi" lo spostamento dal frantoio ad un massimo di 3 km, consenta di individuare la destinazione più razionale degli effluenti da distribuire, definendo i modi ed i tempi ottimali per il loro sversamento.

7.3 - Gli strumenti

Per la realizzazione dello studio, ai tre livelli di dettaglio appena descritti, si è fatto ricorso ad uno stesso strumento analitico e cognitivo: il Sistema Informativo Territoriale (SIT). Quest'ultimo può essere definito come un insieme organizzato ed aggiornabile di informazioni relative al territorio, passibili di un utilizzo sinergico per fini analitici, gestionali e pianificatori (Mogorovich e Mussio, 1988) finalizzato, in questo caso, all'individuazione delle aree agricole caratterizzate da una diversa "condizione di idoneità" allo spandimento delle acque di vegetazione.

Le componenti fondamentali per il funzionamento di un SIT sono sostanzialmente quattro, ovvero: i dati (mappe cartacee e/o digitali, censimenti, rilievi di campagna, ecc.), la componente umana (tecnici in grado di far funzionare gli elaboratori e utenti che accedono al sistema), gli strumenti informatici (*hardware* e *software*) ed infine il contesto conoscitivo all'interno del quale avviene il processo di trasformazione del dato nell'informazione.

La tecnologia informatica, che pure rappresenta una componente essenziale del sistema, non è dunque sufficiente da sola alla costituzione di un SIT, ma deve necessariamente essere accompagnata dagli altri elementi costitutivi sopra menzionati. Quest'ultima è costituita in genere da un elaboratore o una rete di elaboratori e dal software dedicato al trattamento dei dati territoriali, denominato nel

suo complesso col termine anglosassone di *Geographical Information System*, ma più noto con l'acronimo di GIS. Nell'accezione più generale con tale termine si intende una specifica applicazione informatica che consenta di rappresentare, archiviare, analizzare e visualizzare oggetti ed eventi cui sia possibile associare un preciso posizionamento geografico.

Rispetto ai sistemi di cartografia numerica tradizionali, quali ad esempio i CAD (*Computer Aided Design*), i GIS si contraddistinguono per due peculiarità: la prima consiste nella possibilità di associare ad elementi geometrici rappresentativi di entità distribuite sul territorio, attributi descrittivi ed informazioni di vario tipo quali, ad esempio, dati alfanumerici, testi, foto, disegni, ecc.; la seconda è rappresentata invece dalla opportunità di georeferenziare il dato, definendone univocamente la posizione rispetto ad un sistema di coordinate di riferimento.

I dati geografici all'interno di un GIS possono essere archiviati in due diversi formati:

formato vettoriale – gli oggetti del mondo reale sono rappresentati dalle primitive geometriche punto, linea e poligono e i dati numerici sono memorizzati attraverso le coordinate dei punti significativi delle primitive stesse che li definiscono: una coppia di coordinate per la primitiva punto, un insieme ordinato di punti delimitato da due estremi per la primitiva linea ed un insieme ordinato di punti dove i due estremi coincidono per la primitiva poligono;

formato raster – i dati vengono memorizzati tramite la creazione di una griglia regolare (matrice) in cui ad ogni cella elementare (*pixel*) viene assegnato un valore alfanumerico che ne rappresenta un attributo; in questo caso il *pixel* non rappresenta il singolo oggetto reale, ma una zona dello spazio fisico interessata dalla presenza dell'oggetto.

Da quanto detto sopra appare chiaro che in generale il formato raster è più adatto a descrivere grandezze che variano con continuità nello spazio, mentre il formato vettoriale si presta meglio alla rappresentazione di oggetti caratterizzati da una maggiore discontinuità al bordo.

I dati vettoriali provengono tipicamente dalla digitalizzazione di mappe, dai rilievi topografici con strumenti di campagna, dai sistemi di posizionamento satellitari GPS (*Global Positioning Systems*), dai sistemi di cartografia alfa-numerica tradizionali.

Tipici dati raster sono invece quelli generati dagli scanner e dai programmi di interpretazione delle immagini come quelli utilizzati per le immagini da satellite, oppure quelli generati da algoritmi di interpolazione spaziale dei dati puntuali.

Le necessità applicative richiedono spesso di riuscire a lavorare con ambedue i formati contemporaneamente, sfruttando la complementarietà e la sinergia delle informazioni offerte dalla loro analisi combinata.

Occorre rimarcare anche che i dati vettoriali all'interno di un sistema GIS sono vincolati alle informazioni topologiche (georeferenziazione) e descrittive (attributi) che li caratterizzano e pertanto si suole dire che gli oggetti così rappresentati risultano semanticamente definiti, cioè in grado di mantenere il proprio significato anche se avulsi dal contesto in cui sono inseriti.

Per spiegare meglio questo concetto si può fare un paragone con la logica CAD: un oggetto, quale ad esempio una particella agricola, nella rappresentazione CAD è un poligono che solo all'interno del contesto in cui è incluso è possibile riconoscere come terreno agricolo; lo stesso oggetto gestito da uno strumento GIS, invece, rimane sempre e comunque un appezzamento, definito dalle sue coordinate reali nello spazio, dal valore della sua superficie e dagli altri attributi che lo contraddistinguono quali, ad esempio, la coltura praticata, il nome del proprietario, ecc.

Un'ulteriore caratteristica che contraddistingue i GIS dai *software* di cartografia numerica tradizionali è la loro capacità di elaborare dati geografici attraverso algoritmi matematici predefiniti (*queryng*, *buffering* e *overlay*). In questo modo possono essere correlati fra di loro anche strati informativi diversi (ad esempio, uso del suolo, orografia e pedologia) a seconda delle esigenze e delle capacità che l'utente dimostra nel mettere in relazione ed interpretare i dati raccolti.

In tutti questi casi è opportuno puntualizzare che la bontà del risultato finale sarà subordinata alla quantità e qualità dei dati di partenza, ma non necessariamente alla scala di restituzione prescelta. Ogni elemento rappresentato in un sistema GIS infatti è definito per mezzo delle sue coordinate reali (georeferenziazione del dato) e la scala di rappresentazione perde quindi di significato divenendo solamente un parametro per definire il grado di accuratezza con cui sono state acquisite le originarie informazioni geografiche; l'oggetto pertanto può essere ingrandito e ridotto a piacimento a seconda delle esigenze di riproduzione.

Nel presente lavoro la realizzazione del SIT ha richiesto l'allestimento di una stazione di lavoro dotata, per la gestione dei dati geografici, del *software* ARC/VIEW (versione 3.2) corredato dal modulo aggiuntivo *Spatial Analyst* per l'integrazione dei formati raster e vettoriale e, più specificatamente, per la creazione di uno strato informativo continuo a partire da dati rilevati puntualmente (interpolazione spaziale).

Ogni livello di indagine è stato realizzato utilizzando le differenti informazioni disponibili in funzione della scala di restituzione prescelta e dell'ambito territoriale di riferimento, scartando dunque tutti quei dati che non consentivano una copertura completa del comprensorio considerato e/o che presentavano un inadeguato livello di precisione rispetto al dettaglio richiesto dal tipo di analisi eseguita.

Le informazioni raccolte sono sovente risultate molto diverse sia per la loro natura (geografiche o alfa-numeriche), sia per il loro formato (cartografico, cartaceo o digitale), sia infine per la loro provenienza (amministrazioni pubbliche, enti di ricerca, associazioni, indagini svolte autonomamente), obbligando ad effettuare, di volta in volta, un attento lavoro di controllo e di omogeneizzazione per renderle conformi e quindi effettivamente utilizzabili dal SIT.

In particolare per quanto concerne il livello regionale, sono stati acquisiti ed elaborati i dati relativi ai frantoi operanti sul territorio (tratti dal Censimento sull'attività molitoria per la campagna olearia 1997/98 realizzato su tutto il territorio nazionale a cura dell'Agecontrol s.p.a., cioè l'agenzia per i controlli e le azioni comunitarie nel quadro del regime di aiuto all'olio di oliva) e agli ordinamenti produttivi agricoli (secondo quanto riportato nei fascicoli comunali del V Censimento Generale dell'Agricoltura editi dall'ISTAT).

Per il livello provinciale parte della cartografia di base, funzionale alle elaborazioni effettuate, è stata messa a disposizione dagli Uffici della Provincia di Pisa e dal SIT della Regione Toscana e parte è stata prodotta *ex-novo* elaborando e interpolando informazioni di tipo puntuale ottenute in maniera tradizionale (questionari, statistiche, ecc.).

Di seguito si riporta un elenco sintetico dei tematismi utilizzati:

- “uso del suolo” (progetto Corine), fornita dal SIT della Regione Toscana
- “vulnerabilità idrogeologica”, “pericolosità geomorfologica”, “pericolosità idraulica”: redatte nell'ambito del Piano Territoriale di Coordinamento (PTC) della Provincia di Pisa
- “confini comunali”, “raster 1:100.000” della Provincia: forniti dalla Provincia di Pisa

- “carta delle pendenze”: nostra riclassificazione del DTM della Provincia di Pisa
- “carta agropedologica”: nostra elaborazione tramite digitalizzazione a video della Carta Agropedologica della provincia di Pisa (Rotini et al., 1970)
- “carte dei giorni e delle altezze di pioggia”: nostra elaborazione a partire dai dati di pioggia rilevati da 54 stazioni (per un totale di 30 anni, dal 1954 al 1984) sparse sul territorio provinciale o limitrofe ai suoi confini e riportati negli Annali dell’Ufficio Idrografico
- “carta dei frantoi”: nostra elaborazione a partire dal Censimento dell’attività molitoria (Agecontrol, campagna 1997/98).

Per il livello locale infine i dati relativi all’uso dei suoli sono stati quasi sempre acquisiti direttamente tramite specifiche indagini effettuate *in loco*; fanno eccezione la “carta dei pozzi” elaborata dalla provincia di Pisa nell’ambito dello “Studio sulla Vulnerabilità degli Acquiferi”, che riporta la localizzazione e altezza dei pozzi freatici e artesiani ed i dati sulle precipitazioni, acquisiti presso l’Autorità di Bacino del Fiume Arno che gestisce la capannina meteorologica di Asciano.

La valutazione dei tematismi acquisiti e/o prodotti per ciascun livello di studio è stata sempre affidata ad un procedimento di classazione che prevedeva l’individuazione di cinque “categorie” per ciascuna tipologia di dato, corrispondenti ad un’intensità molto bassa (classe I), bassa (classe II), intermedia (classe III), elevata (classe IV) e molto elevata (classe V) del fattore interessato. La metodologia adottata per l’attribuzione in “classi” dei dati acquisiti, con lo scopo di interpretare gli stessi anche a livello grafico, è stata la classificazione per intervalli naturali (*Natural Breaks*). Questo metodo statistico (predefinito in ArcView) è il più utilizzato fra quelli proposti in quanto si adatta bene al trattamento di una vasta gamma di informazioni territoriali e sostanzialmente tende a minimizzare il valore della somma della varianza all’interno di ciascuna classe e quindi a raggruppare i dati secondo la loro naturale distribuzione intorno alla media.

7.4 - Il livello regionale

L’unità territoriale di riferimento utilizzata per lo svolgimento di questo primo livello di indagine è stata il Comune; questa scelta ha comportato la rielaborazione di tutte le informazioni raccolte e dei dati acquisiti in maniera conforme a tale unità geografico-amministrativa (Cannata, 1989; Toccolini et al., 1998). I dati censuari infatti si dimostrano particolarmente adatti per questo tipo di analisi poiché vengono raccolti con la stessa metodologia e quindi possono essere confrontati fra loro sia nel tempo che nello spazio; inoltre sono facilmente reperibili e risultano disponibili anche in formato elettronico.

Il procedimento utilizzato prevedeva, a livello di ogni singolo comune, la stima delle acque di vegetazione prodotte, la determinazione dei terreni agricoli potenzialmente idonei allo spandimento (corrispondenti alla SAU totale sottratta della superficie destinata a coltivazioni ortive, secondo quanto prevede la normativa vigente) ed il calcolo del carico teorico di reflui oleari ricadenti sull’unità di superficie, corrispondente al rapporto fra le prime due grandezze.

Dall’esame della carta di produzione delle acque di vegetazione emergono marcate differenze relativamente alle quantità di reflui originate nell’ambito dei diversi comprensori comunali. La maggior parte dei comuni, 76 per l’esattezza, ricadono nella classe 1 (corrispondente all’intervallo 1 - 280 tonnellate di acque di vegetazione residue), 40 comuni nella classe 2 (281 - 741 t), 23 nella classe 3 (742 - 1483 t), 12 nella classe 4 (1484 - 3333 t) e solo 2 comuni risultano appartenere alla quinta clas-

se, ovvero il comune di Grosseto con una produzione 4633 tonnellate di acque di vegetazione ed il comune di Vinci (FI) con una produzione di refluo pari a 4714 tonnellate.

Per quanto riguarda invece la valutazione della ricettività allo spandimento si può osservare che in senso assoluto le maggiori superfici utili per la distribuzione degli effluenti sono dislocate nella provincia di Grosseto (201424 ha) ed in quella di Siena (139169 ha), mentre decisamente minori risultano le alternative nei comuni delle province di Massa-Carrara (9236 ha) e di Pistoia (15850 ha).

Infine relativamente al carico teorico di refluo presente per unità di superficie (figura 7.1) anche se i rapporti calcolati risultano di oltre 10 volte inferiori ai limiti previsti dalla legge (mentendosi sempre al di sotto del valore di 4 m³/ha), si osservano differenze sensibili che evidenziano come i carichi maggiori problemi riguardino comuni di diverse province della Toscana (Vinci - FI, Lamporecchio - PO, Buti - PI, Vicopisano - PI, Bibbona - LI, Fosdinovo - MS, ecc.).

7.5 - Il livello provinciale

Il lavoro è stato articolato in due fasi successive: la prima, relativa alla individuazione ed eliminazione delle aree vietate per legge allo sversamento delle acque di vegetazione (zone non agricole o destinate a colture ortive, aree inondabili, aree con falda superficiale), la seconda riguardante l'analisi e la classificazione delle aree rimanenti sulla base della loro idoneità, valutata in relazione alle principali caratteristiche agro-pedo-climatiche rilevate (colture praticate, tessitura e dei terreni, altezze di pioggia, pendenza, ecc.). Non è stato invece possibile, in considerazione della scala di restituzione cartografica prefissata (1:100000), escludere dall'analisi le aree agricole poste a distanze inferiori ai 300 m dai punti di captazione delle acque per il consumo umano e a 200 m dai centri abitati (come invece prescrive la normativa vigente).

Per l'esecuzione della prima fase relativa all'individuazione delle aree vietate, sono state utilizzate le carte tematiche dell'“Uso del suolo” (progetto Corine), della “Pericolosità idraulica” e della “Vulnerabilità idrogeologica”.

Uso del suolo CORINE-LAND SYSTEM

La carta, in scala 1:100000, è stata prodotta dalla Regione Toscana secondo le specifiche del Progetto UE Corine-Land Cover. La realizzazione di tale base di dati prevedeva l'interpretazione a video di immagini LANDSAT TM di più periodi (agosto '90, novembre '90, agosto '92) affiancata dalla fotointerpretazione delle foto pancromatiche della copertura aerea del Volo Alta Quota - Italia (a scala approssimativa di 1:70.000), realizzata nel periodo 1988/89.

La carta riporta i diversi ambiti, classi e relative sottoclassi di uso del suolo relativi alla copertura dell'intero territorio regionale. Di seguito sono riportate le denominazione dei singoli ambiti e delle rispettive classi (poste fra parentesi):

- territori modellati artificialmente (zone urbanizzate, zone industriali, commerciali e reti di comunicazione, zone estrattive, discariche e cantieri, zone verdi artificiali non agricole)
- territori agricoli (seminativi, distinti in aree non irrigue e in aree irrigue, colture permanenti, prati stabili e zone agricole eterogenee).
- territori boscati e ambienti seminaturali (zone boscate, zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea, zone aperte con vegetazione rada o assente)

- zone umide (zone umide interne e marittime)
- corpi idrici (acque continentali e marittime)

Pericolosità idraulica e Vulnerabilità idrogeologica

Le carte della “Pericolosità idraulica” e della “Vulnerabilità idrogeologica” sono state realizzate nell’ambito del PTC della provincia di Pisa, quale strumento di supporto alle scelte di pianificazione territoriale, nell’ottica di fornire utili indicazioni sulle caratteristiche dell’ambiente fisico-naturale.

L’unità territoriale di riferimento, per la valutazione della pericolosità idraulica, è denominata “ambito idraulico” e corrisponde ad una porzione di territorio delimitata, per quanto possibile, da elementi fisici ben riconoscibili ed in grado di condizionare il deflusso delle acque, quali ad esempio gli orli di terrazzamento fluviale, le attuali scarpate d’erosione, gli argini, i rilevati stradali, ecc.

La ricorrenza dell’evento pluviometrico, in corrispondenza del quale si stima, sulla base di modelli idrologici più o meno complessi, la formazione di acque di deflusso o di ristagno con altezze significative sul piano di campagna (oltre 10 cm c.a.), determina la pericolosità idraulica attribuibile all’ambito idraulico di pertinenza. I valori-soglia delle classi sono fissati secondo il tempo di ritorno probabilistico degli eventi considerati:

- **Classe 4b** - pericolosità elevata (ricorrenza biennale)
- **Classe 4a** - pericolosità medio-elevata (ricorrenza fra 2 e 20 anni)
- **Classe 3b** - pericolosità media (ricorrenza fra 20 e 200 anni)
- **Classe 3a** - pericolosità medio-bassa (ricorrenza oltre 200 anni)

La classificazione delle due classi seguenti è affidata invece ad una valutazione più empirica dei fenomeni, basata sulla raccolta di testimonianze storiche, sulle evidenze geomorfologiche e sulla stessa natura geologica dei terreni, che dovrebbero consentire comunque di operare una ragionevole esclusione di tali territori dalla occorrenza di significativi fenomeni esondativi o di ristagno:

- **Classe 2** - pericolosità bassa
- **Classe 1** - pericolosità irrilevante

Per la delimitazione delle aree vietate per legge il primo passo è stato quello di delimitare, nell’ambito della provincia di Pisa, le aree corrispondenti ai terreni agricoli, escludendo la sottoclasse relativa ai vivai ed alle colture protette che comprende i vivai in serra e in pieno campo e le colture ortive in serra e sotto plastica. Successivamente sono state eliminate anche le aree inondabili, rilevate sulla base della “Carta della Pericolosità Idraulica”, stabilendo di considerare non idonee per legge le zone con tempi di ricorrenza delle esondazioni inferiori ai 20 anni e cioè quelle ricadenti nella classe 4b (pericolosità elevata) e 4a (pericolosità medio-elevata).

Per l’individuazione delle aree con falda di profondità inferiore a 10 m, non essendo disponibile a livello provinciale tale informazione, si è fatto riferimento alle indicazioni contenute nella “Carta della Vulnerabilità Idrogeologica”. Sulla base dei tempi di degrado dei polifenoli nel terreno (Picci et al, 1993; Galoppini et al, 1994), sono stati quindi esclusi i suoli per i quali risultano ipotizzabili tempi di arrivo dell’inquinante in falda inferiori ai 15 giorni, corrispondenti alle classi di vulnerabilità media (classe 3b), medio alta (classe 4a) ed elevata (classe 4b).

L'individuazione delle superfici provinciali potenzialmente idonee allo spargimento delle acque di vegetazione (figura 7.2) è stata quindi ottenuta per semplice sottrazione "geografica" delle aree vietate (aree inondabili e con "falda esposta") da quelle occupate dai terreni agrari (esclusi vivai e colture protette).

Dall'analisi della cartografia elaborata (tabella 7.2) emerge che le aree idonee allo spandimento dei reflui oleari occupano un'estensione totale di circa 110000 ettari, pari al 44% dell'intero territorio provinciale. Le aree vietate per legge allo spargimento degli effluenti si estendono invece sui restanti 134000 ettari, dei quali la maggior parte appartenenti ad aree non agricole o destinate all'orticoltura (50%). La somma delle superfici escluse a causa delle diverse motivazioni previste dalla legge non è uguale al totale delle aree vietate, semplicemente perché alcune zone sono risultate non idonee per più di una ragione contemporaneamente.

Ad ogni modo da questi dati si evince che la disponibilità di terreni agricoli non sembra rappresentare un fattore limitante (almeno per quanto riguarda l'area indagata) allo spandimento dei reflui oleari, e che, pertanto, diventa necessario procedere ad analizzare i possibili fattori di rischio per stabilire un'ideale scala di priorità dei terreni potenzialmente utilizzabili a questo scopo.

Tabella 7.2 – Estensione delle aree idonee e vietate allo spargimento delle acque di vegetazione in provincia di Pisa, secondo i limiti imposti dalla legge.

Tipo di area	Estensione (ha)	Incidenza percentuale (%)
Inondabili	10000	4
Falda esposta	59000	24
Non agricole + vivai e colture protette	123000	50
Totale aree vietate	134000	56
Totale aree idonee	110000	44

I fattori considerati per la stima dell'idoneità dei terreni all'utilizzazione agricola delle acque di vegetazione sono sostanzialmente riconducibili a:

volumi e giorni di pioggia relativi ai mesi interessati alla campagna molitoria (da ottobre a marzo) permeabilità, capacità di invaso, drenabilità e pendenza dei terreni

Per ciascuno di questi fattori è stata predisposta una cartografia relativa al comprensorio di studio che riporta, sulla base della classazione del tematismo (già descritta nel paragrafo 7.3), l'intensità assunta dal fattore in ogni posizionamento ricadente all'interno della provincia di Pisa.

a) Volume e giorni di pioggia

Queste due carte sono state ottenute dalla interpolazione spaziale tramite il metodo dell'IDW (*Inverse Distance Weighted*) del dato puntuale delle altezze e dei giorni di pioggia complessivi nei sei mesi potenzialmente interessati allo spandimento delle acque di vegetazione (da ottobre a marzo).

A tale fine sono state considerate le medie mensili dei dati pluviometrici di 40 capannine sparse sul territorio provinciale o immediatamente limitrofe, registrati dal 1954 al 1984 (negli anni successivi molte capannine hanno smesso di funzionare), e pubblicati sugli Annali Idrografici del Ministero dei Lavori Pubblici.

b) Pendenze

A partire dal modello digitale del terreno, è stata predisposta una carta nella quale il territorio veniva ripartito in 4 classi di pendenza (0-5%, 5-10%, 10-15%, >15%). La carta, elaborata in formato *grid* con pixel di 100 metri di lato, è stata successivamente convertita in formato vettoriale. I terreni aventi pendenza superiore il 15% sono stati considerati non meccanizzabili e quindi esclusi dall'analisi perché inidonei al trasporto ed allo sversamento dei reflui oleari.

c) Carta agropedologica

Per la suddivisione del territorio della provincia in classi tessiturali si è provveduto alla digitalizzazione della Carta Agropedologica della Provincia di Pisa (Rotini et al., 1970). In base all'analisi fisico-meccanica e chimica dei terreni riportata nella "Relazione sul Rilevamento Agro-Pedologico" allegata alla carta, le 12 classi originariamente rilevate sono state accorpate in 5 classi (sabbioso, sabbio-limoso, franco-sabbioso, franco-argilloso e argilloso), secondo il metodo del Soil Survey americano.

Attraverso la sovrapposizione (od unione) delle carte sopra citate (come riportato nello schema delle figure 7.3- 7.5) si sono prodotte tre carte tematiche di sintesi nelle quali i terreni sono stati suddivisi in 5 classi di rischio e/o di vincolo.

Carta del Rischio di Ruscamento: (figura 7.6) valuta il rischio di ruscamento delle acque superficiali determinato in funzione dei volumi di pioggia complessivi nei mesi interessati allo spandimento, della capacità di trattenuta idrica dei terreni e della pendenza degli stessi.

Carta del Rischio di Infiltrazione: (figura 7.7) valuta il rischio di inquinamento della falda determinato in funzione dei volumi di pioggia complessivi nei mesi interessati allo spandimento, della permeabilità dei terreni e della vulnerabilità idrogeologica.

Carta dell'Accessibilità in Campo: (figura 7.8) valuta la possibilità di accedere con i mezzi meccanici in campo in funzione dei giorni di pioggia totali nei mesi interessati allo spandimento, della drenabilità dei terreni e della pendenza degli stessi.

L'attribuzione alle specifiche classi di rischio delle aree risultanti dall'operazione di unione (*overlay*) è stata effettuata mediante l'uso di matrici bidimensionali (figura 7.9) che assegnano alla combinazione dei tematismi, esaminati due alla volta e riportati sulle righe e sulle colonne della matrice stessa, un indice numerico compreso fra 1 e 5 (con significato di "pericolosità" crescente) che costruisce il valore assunto dal tematismo "risultante", derivante dalla composizione dei due tematismi originari (Caroppo, 1989; Bonari e Silvestri, 1993). In questo modo l'operazione di sovrapposizione genera, a partire dalle aree dei due tematismi "di partenza" (in cui il valore del fattore è lo stesso all'interno di ogni area elementare), nuove aree in cui è costante il valore del tematismo "di arrivo" che deriva dalla composizione dei due precedenti.

Inoltre è stata riportata, sulla cartografia digitale a scala 1:100000 della provincia di Pisa, la località di appartenenza di ogni singolo frantoio, con associati gli attributi relativi alla quantità di olive molite, alla tecnica estrattiva adottata ed ai reflui residuati, in modo che fosse possibile stabilire, in relazione alle aree di maggior concentrazione degli impianti, le caratteristiche attitudinali del territorio di pertinenza.

I risultati, concretizzati nell'elaborazione dei tre "data base georeferenziati" prodotti ("rischio di ruscellamento", "rischio di infiltrazione", "accessibilità in campo") sono riportati, per il comprensorio di studio, nella tabella 7.3.

Tabella 7.3 – Classificazione delle aree della provincia di Pisa consentite allo spandimento delle acque di vegetazione secondo classi di rischio crescenti.

Cartografie finali	classe 1: rischio molto basso	classe 2: rischio basso	classe 3: rischio intermedio	classe 4: rischio elevato	classe 5: rischio molto elevato
Rischio infiltrazione (ha)	30.612	19.437	32.811	24.279	737
Rischio ruscellamento (ha)	6.043	44.388	26.262	12.452	18.625
Accessibilità in campo (ha)	8.535	42.411	25.356	13.071	18.367

Dall'esame dei dati si può osservare come le maggiori limitazioni siano a carico dei rischi di ruscellamento superficiale delle acque e dei vincoli di accessibilità in campo; circa il 17% dei terreni esaminati ricade infatti nella V classe per ambedue i fattori prima citati, mentre meno dell'1% delle superfici rientra nella classe di idoneità minima relativamente ai rischi di infiltrazione.

A livello di singolo comune i maggiori rischi di infiltrazione sono a carico di Castelfranco di sotto (733 ha in V classe), seguito da San Giuliano Terme (2552 ha in IV classe); i problemi di ruscellamento sembrano prevalere invece a Volterra (4433 ha in V classe) e a Pomarance (3075 ha in V classe), come anche le limitazioni per l'accessibilità in campo (Volterra 6501 ha in classe V e Pomarance 3190 ha in classe V).

7.6 - Il livello locale

L'area di indagine comprendeva la zona di pertinenza (uno spazio circolare con raggio di 3 km) del frantoio di Asciano, una frazione del comune di San Giuliano Terme posto in provincia di Pisa.

In relazione al livello di grande dettaglio che contraddistingue questa ultima parte dello studio, la caratterizzazione dell'area ha comportato l'effettuazione di numerosi sopralluoghi allo scopo di raccogliere informazioni sufficientemente particolareggiate, data l'impossibilità di poter utilizzare dati acquisiti a scale inferiori. L'unica cartografia numerica disponibile, cui si è fatto ricorso, è stata quella della "carta dei pozzi" prodotta nell'ambito dello "Studio sulla Vulnerabilità degli Acquiferi in Provincia di Pisa" (già descritto precedentemente) dalla quale sono state estrapolate informazioni sull'altezza di falda. Per le informazioni relative all'uso del suolo, alla gestione del territorio agricolo ed alla caratterizzazione fisico-chimica dei terreni è stato necessario affidarsi al rilievo diretto in campo od al colloquio con gli agricoltori.

La metodologia proposta punta dunque ad una caratterizzazione, la più compiuta possibile, dell'area di studio che risulti perfettamente implementabile da un punto di vista informatico, consentendo di orientare le scelte dei frantoiani e degli amministratori pubblici verso una razionale definizione dei luoghi, delle dosi, dell'epoca e delle modalità ottimali per procedere alla distribuzione degli effluenti. *La caratterizzazione dell'area.* Il centro dell'area è in gran parte occupato dal centro abitato del paese di Asciano; allargando progressivamente il raggio di indagine, fino ai 3 km previsti, si osserva come il bosco si estenda soprattutto nella direzione nord-est, mentre nella zona sud-ovest prevalgono i terreni agricoli.

Gli oliveti specializzati sono per lo più concentrati in quest'ultima area. Si tratta di piante decisamente adulte, coltivate su pendici piuttosto ripide, che si confondono con la macchia, dove, si trovano frammisti vecchi oliveti abbandonati. Qualche impianto più curato e giovane si trova su pendenze più dolci; piante di olivo sono anche presenti in coltura promiscua, soprattutto negli orti familiari. I rilievi in campo hanno consentito la mappatura dei terreni agricoli (figura 7.10) che, elaborata nella logica GIS, ha permesso di estrapolare informazioni sull'estensione e la dimensione degli appezzamenti. L'estensione degli oliveti specializzati è di circa 112 ettari, valore che rientra pienamente nel *range* di ettari di oliveto mediamente attribuibili a ciascun singolo impianto di molitura nel nostro Paese. I seminativi ammontano a circa 570 ettari e le due colture più diffuse nella zona sono il mais ed il frumento, quest'ultimo avvicinato con girasole o barbabietola.

Sul totale dei quasi 3 mila ettari indagati, il centro abitato ne occupa 444, mentre i rimanenti sono suddivisi fra il bosco, che risulta predominante (1425 ettari) e la SAU (720 ettari, comprensivi delle ortive che interessano poco meno di 20 ettari).

Dall'analisi della "carta dei pozzi" si evince che l'altezza media della falda freatica è di circa 7 metri, mentre meno soddisfacenti per qualità e quantità sono i dati relativi alla falda artesiane, che comunque dovrebbe aggirarsi attorno ai 30 metri di profondità.

Dalla carta delle pendenze (ottenuta dalla rielaborazione del DEM fornito dalla Provincia), collaudata attraverso specifiche verifiche in campo, emerge che i terreni destinati alle colture erbacee ricadenti nell'area sono tutti a giacitura pianeggiante. Gli oliveti sono ancora presenti in coltura promiscua nei terreni agricoli di pianura, ma prevale la coltura specializzata sulla fascia collinare, che parte da pendenze poco accentuate (3-6%) fino ad arrivare, ai confini con le aree boscate, a giaciture decisamente acclivi (superiori al 12%).

Ancora in corso di acquisizione e/o di elaborazione risultano invece le informazioni relative alla natura dei terreni, al clima ed alle tecniche colturali adottate.

L'insieme dei dati raccolti dovrà condurre, attraverso l'applicazione di semplici modelli matematici per il calcolo dell'evapotraspirazione, alla stima delle condizioni di deficit e di surplus idrico dei terreni. Tali informazioni associate al grado di vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei e/o superficiali, alla valutazione della specifica attitudine delle colture allo sversamento delle acque di vegetazione, alla conoscenza delle tecniche colturali adottate dagli agricoltori (particolarmente in termini di lavorazioni principali del terreno ed irrigazione), renderanno possibile la stesura di un piano razionale per la distribuzione locale dei reflui oleari.

Se si considera che al frantoio in oggetto corrisponde una produzione annua in acque di vegetazione stimata attorno ai 50-100 metri cubi (a seconda della tecnologia di estrazione adottata), il "problema" agronomico che si deve risolvere consiste nell'individuare, ad una distanza massima di 3 chilometri dall'impianto, due-tre ettari di superficie agricola dove le condizioni agro-pedo-climatiche possano risultare ottimali, o comunque, le più favorevoli, allo spandimento degli effluenti.

7.7 - Considerazioni finali

La valutazione agro-ambientale delle possibilità di spargimento delle acque di vegetazione (come di altre tipologie di reflui agro-industriali e/o civili) sui terreni agricoli, in relazione alle caratteristiche climatiche, pedologiche e colturali dei comprensori di riferimento, costituisce un tema di stringente interesse scientifico e sociale.

La scelta di un approccio “modulare” al problema che si sviluppi secondo livelli di dettaglio crescente appare quanto mai opportuna in relazione alla disponibilità dei dati, alle esigenze di analisi, alle risorse umane e finanziarie utilizzabili. La possibilità di affrontare il problema con strategie cognitive diversificate, in funzione delle risposte attese, si dimostra adeguata, consentendo di eseguire un’analisi territorialmente estesa dei fenomeni di interesse, senza correre il rischio di incorrere in una loro eccessiva semplificazione.

La creazione di SIT gerarchicamente strutturati ed in grado di utilizzare tutti i dati che si rendono via, via disponibili, è risultata efficace, consentendo anche di effettuare un’estesa verifica delle informazioni esistenti e proporre una loro concreta integrazione. In questo modo i dati raccolti *ex-novo* per il livello locale della ricerca hanno potuto trovare un’organica accoglienza all’interno del SIT realizzato.

Il ricorso agli strumenti GIS ed alle risorse umane che il loro impiego comporta ha dimostrato, se ce ne fosse stato ancora bisogno, l’importanza delle tecnologia informatica nella trattazione dei problemi territoriali e la necessità di formare gruppi di studio misti a tutto vantaggio del carattere interdisciplinare del lavoro svolto. La creazione di banche dati geografiche che consentano di archiviare e aggiornare le informazioni e di fornire una loro rappresentazione immediata, contestualizzata nel territorio di appartenenza, potranno dunque rappresentare un’utilissimo substrato di conoscenza comune dove gli studiosi delle diverse discipline potranno finalmente incontrarsi ed interagire.

Infine si ritiene che la metodologia di lavoro proposta, pur necessitando di inevitabili aggiustamenti e correzioni, per adattarsi a realtà diverse da quelle indagate, possa costituire un utile punto di partenza per chiunque intenda avvicinarsi alle tematiche affrontate con il rigore scientifico ed il pragmatismo operativo che devono contraddistinguere qualunque decisione presa in merito alla tutela ed alla gestione del territorio.

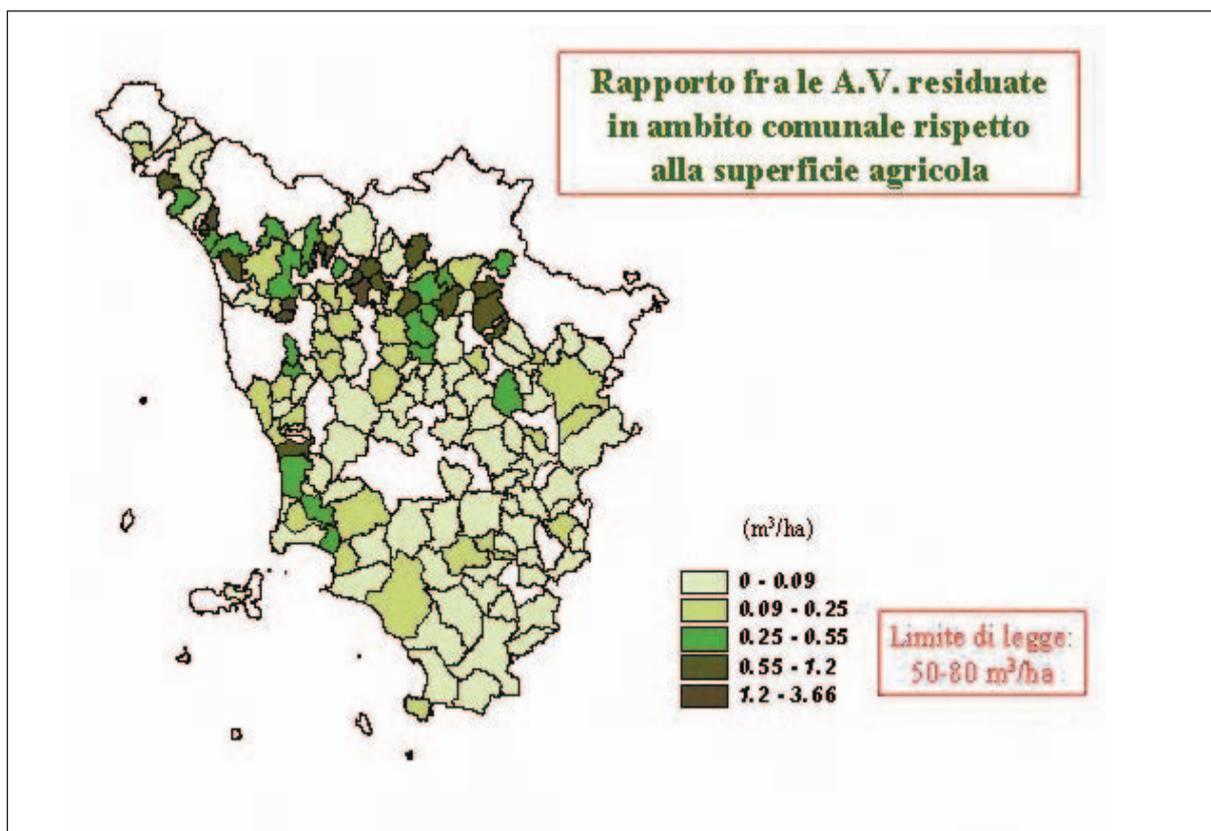


Figura 7.1 - Rapporto fra le acque di vegetazione residue in ambito comunale, espresso in in metri cubi, rispetto agli ettari di superficie agricola (SAU sottratta della superficie ad ortive; anno 2000/01)

Fonte: elaborazione dati Istat, 2001 (V Censimento Generale dell'Agricoltura) e dati Agecontrol (Censimento attività molitoria 1997/98)

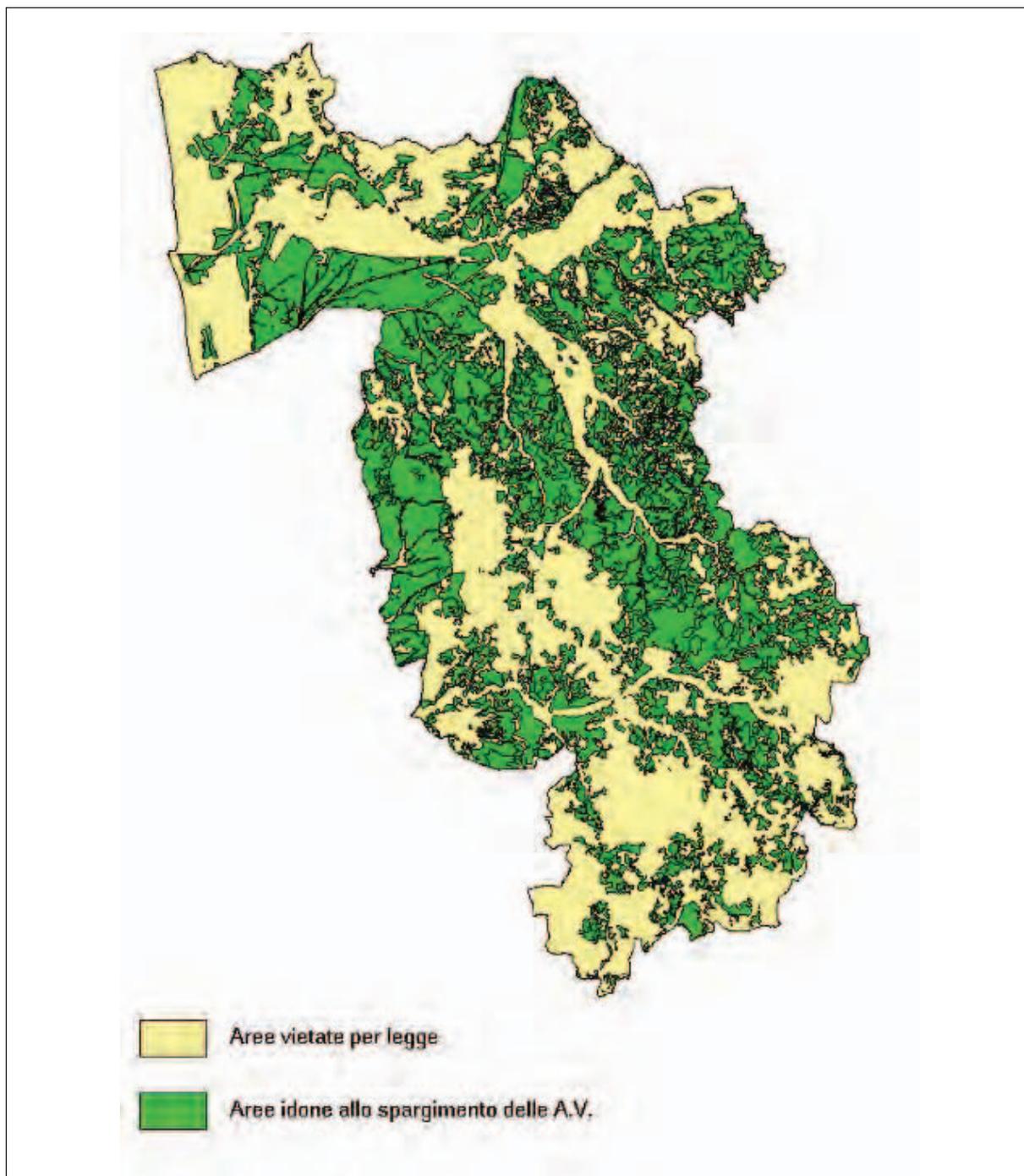


Figura 7.2 - Suddivisione della Provincia di Pisa in base alle aree vietate e idonee allo spargimento delle acque di vegetazione in base alla normativa vigente.

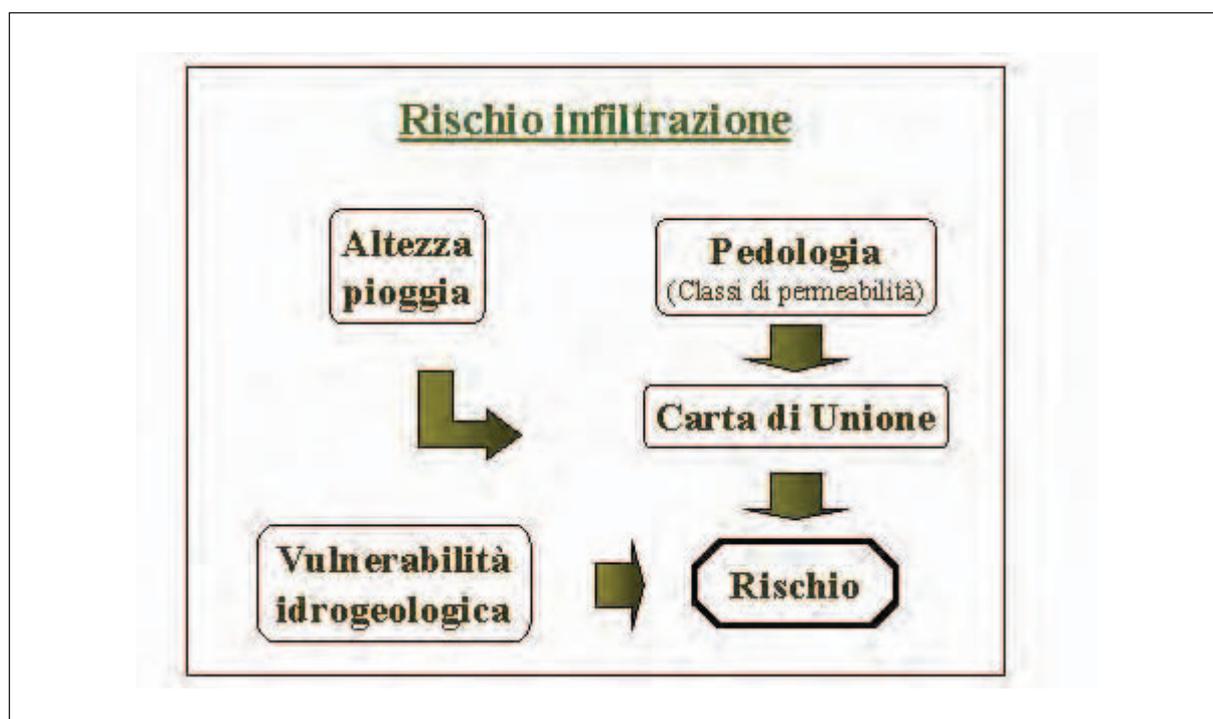


Figura 7.3 – Schema di composizione dei tematismi per la determinazione dei rischi di infiltrazione

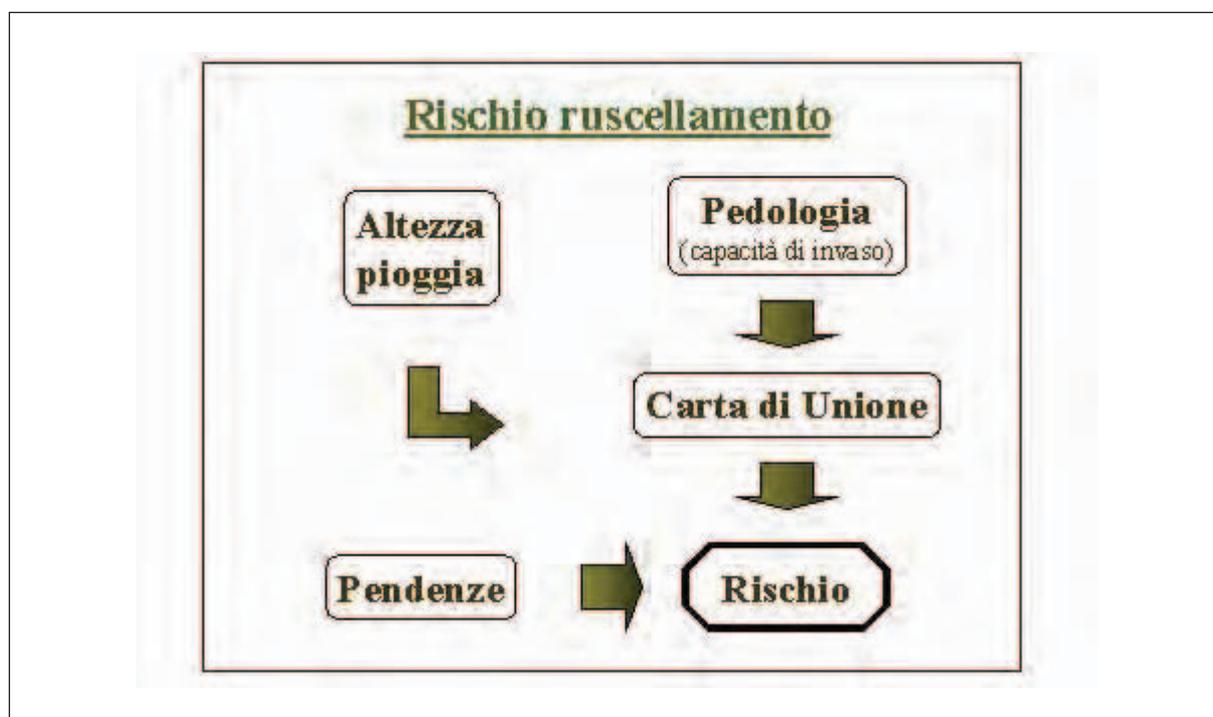


Figura 7.4 – Schema di composizione dei tematismi per la determinazione dei rischi di ruscellamento superficiale.

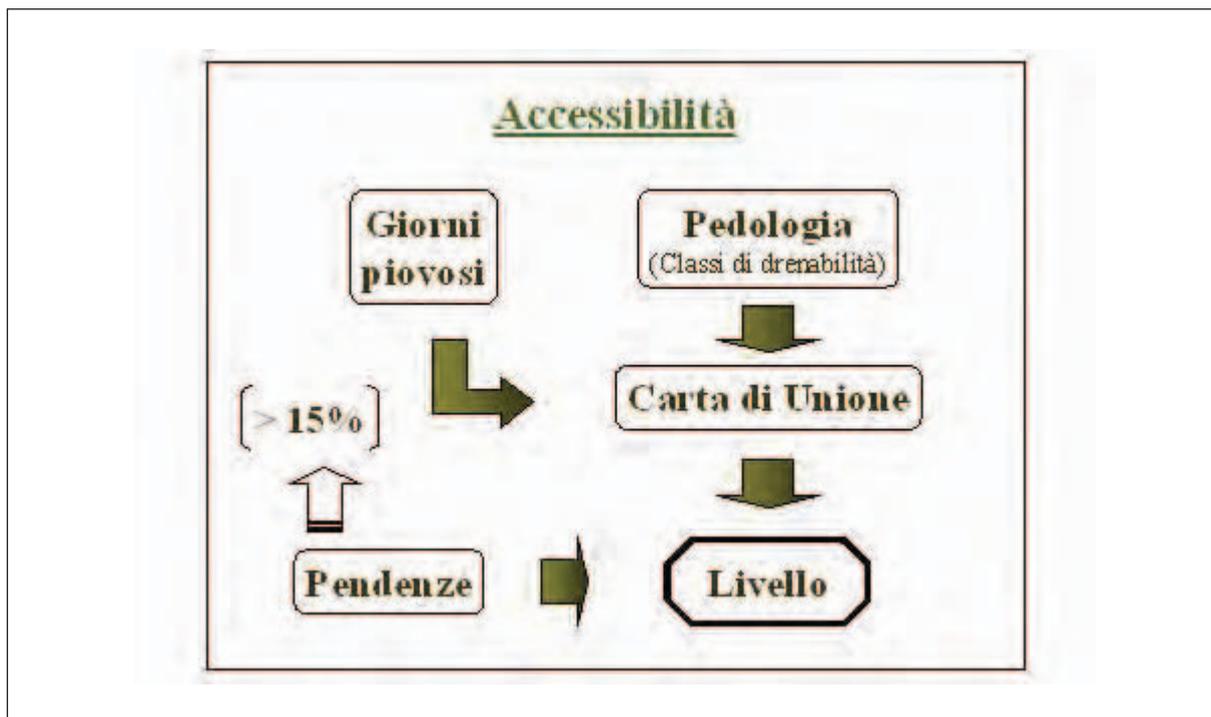


Figura 7.5 – Schema di composizione dei tematismi per la determinazione del grado di accessibilità in campo.

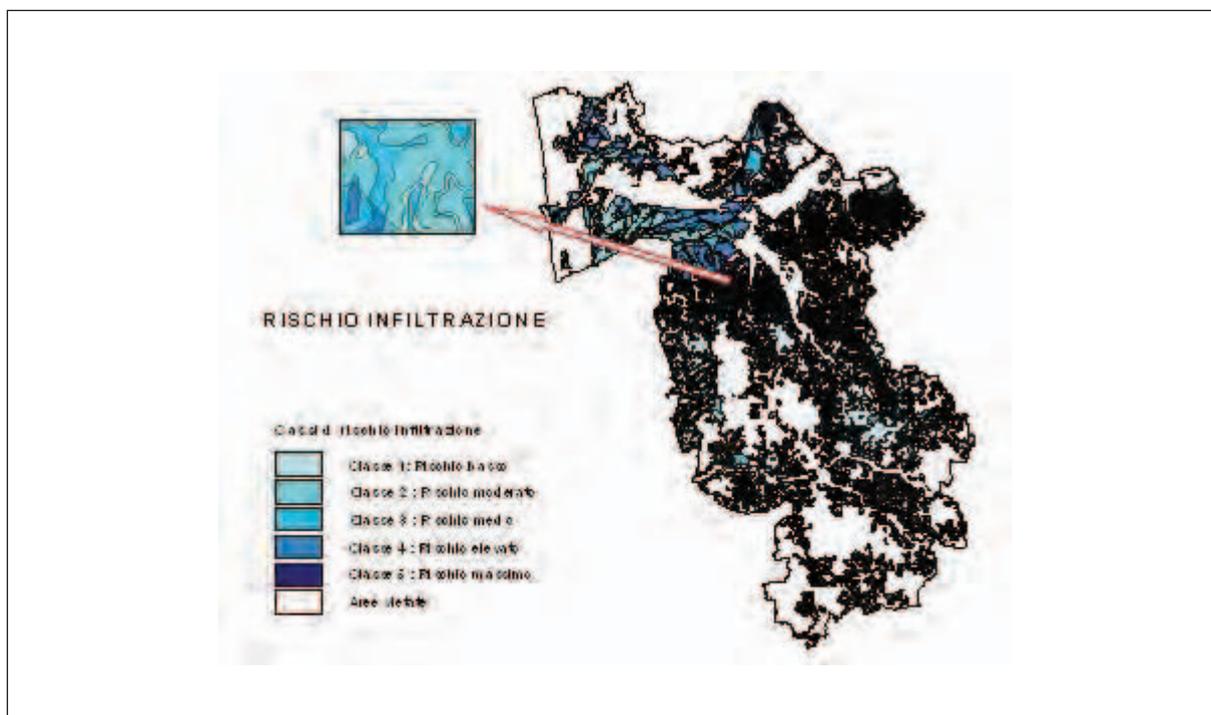


Figura 7.6 - Carta del rischio di infiltrazione.

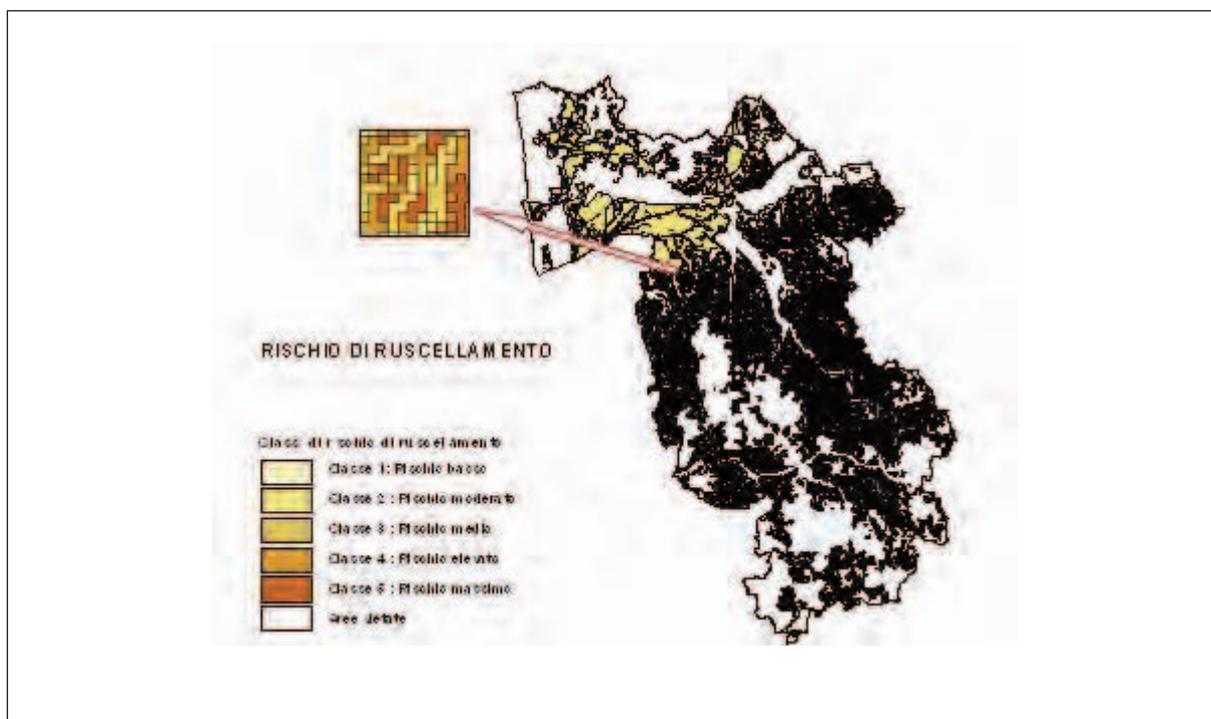


Figura 7.7 – Carta del rischio di ruscellamento superficiale.

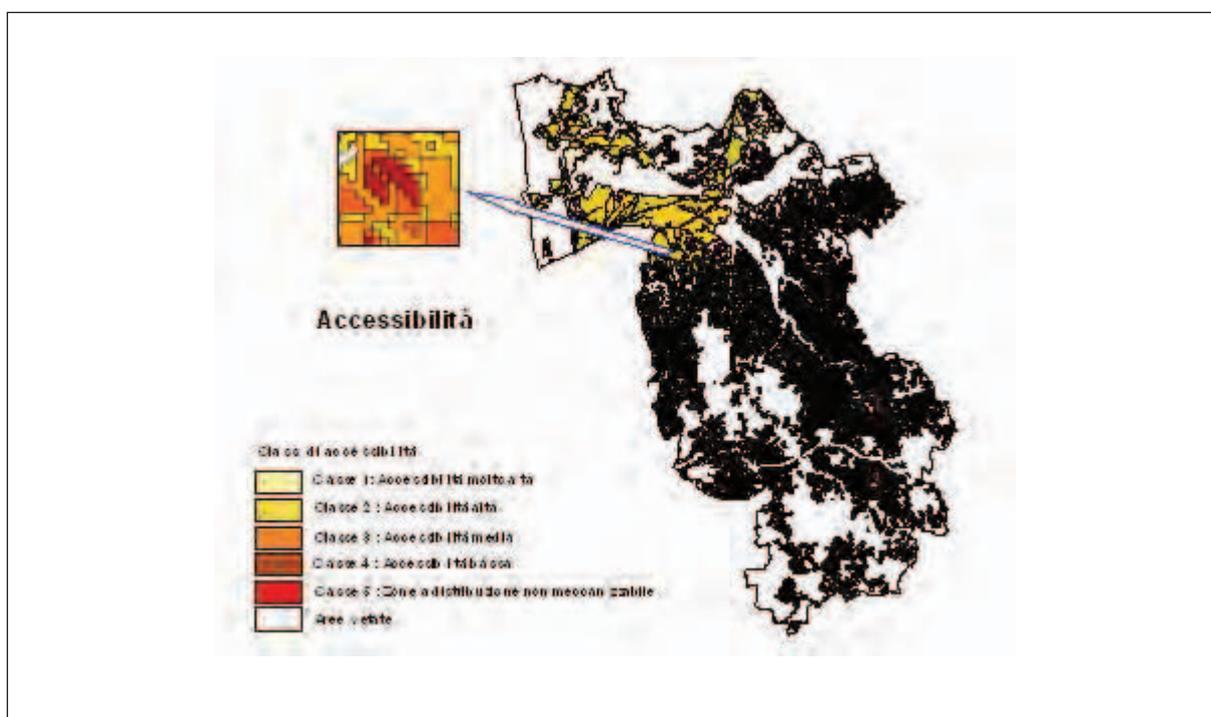


Figura 7.8 – Carta dell'accessibilità in campo.

Tabella 7.4 – Esempio di matrice bidimensionale: tematismi originari precipitazioni (orizzontale), tessitura (verticale).

Tessitura	Piogge (mm)				
	Classe 1 (475-559)	Classe 2 (559-645)	Classe 3 (645-731)	Classe 4 (731-816)	Classe 5 (816-902)
Classe 1					
Argilloso	1	1	2	2	3
Classe 2					
Franco-argilloso	1	2	3	3	4
Classe 3					
Franco-sabbioso	1	2	3	4	4
Classe 4					
Sabbio-limoso	2	2	3	4	5
Classe 5					
Sabbioso	2	3	3	4	5

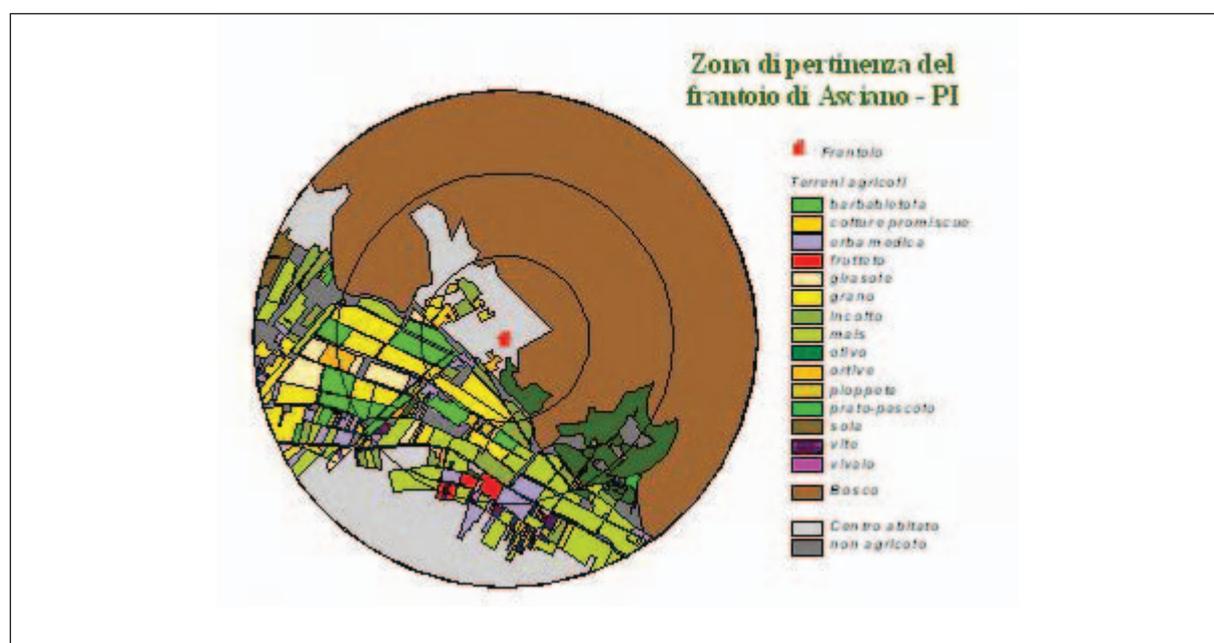


Figura 7.9 – mappatura dei terreni agricoli ricadenti nell'area di pertinenza del frantoio.

Capitolo 8.

LA VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DELL'UTILIZZO DI ACQUE REFLUE IN AGRICOLTURA

8.1 Premessa

L'uso delle acque reflue ai fini irrigui, oltre che a risparmiare acqua "primaria", consente di avere una risorsa che può essere utilizzata senza limiti. Ciò significa che si possono utilizzare, se necessario, volumi di adacquamento superiori a quelli che vengono utilizzati abitualmente con un conseguente aumento della resa. La resa produttiva, infatti, dipende da diversi fattori, tra cui il principale è proprio il volume stagionale di acqua irrigua (tra gli altri fattori ricordiamo il tipo di coltura, le condizioni generali del suolo, l'andamento meteorologico, il tipo di irrigazione, gli interventi agronomici).

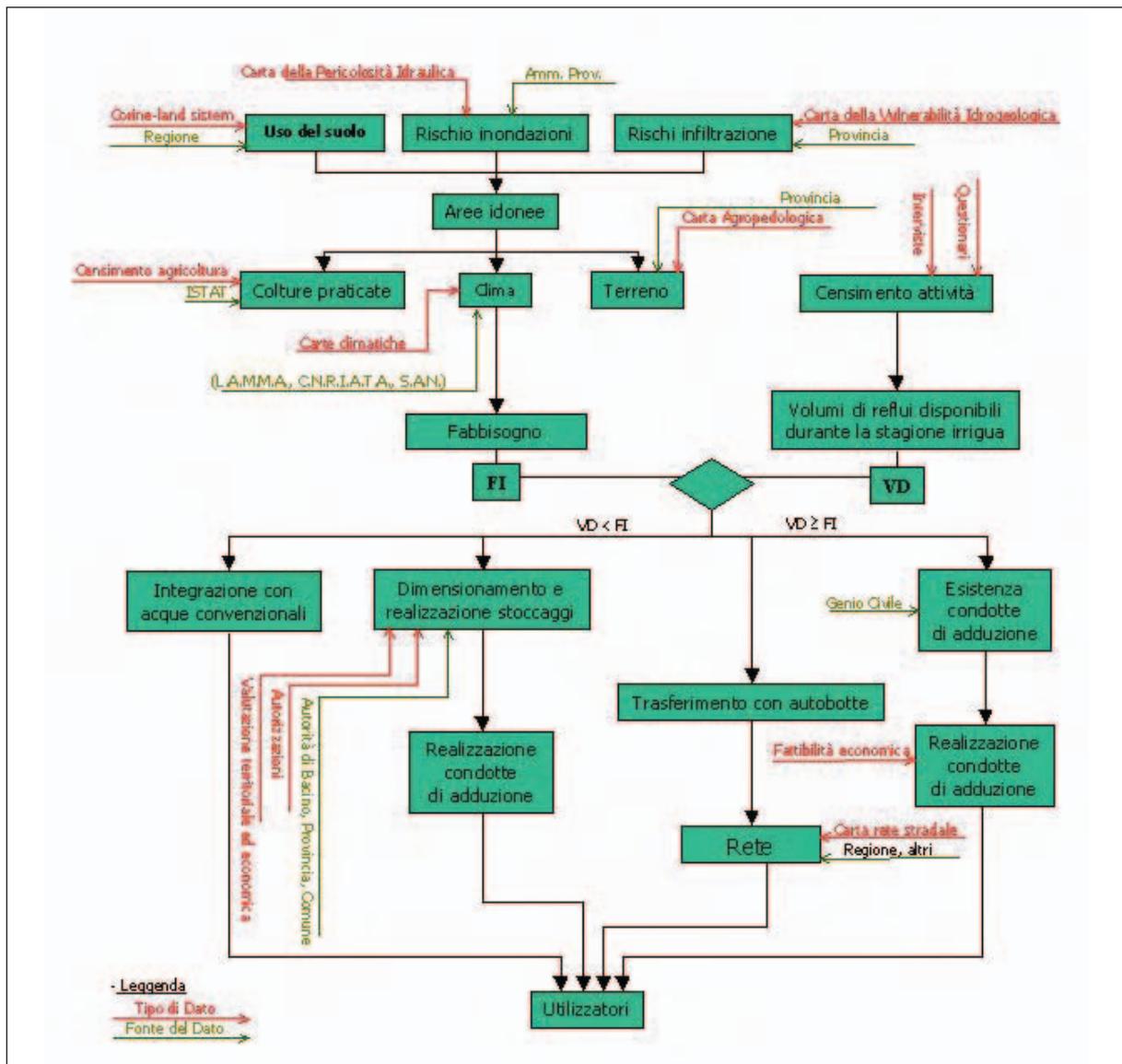
Un altro vantaggio derivante dall'utilizzo di acque reflue per l'agricoltura è l'aumento di profitto derivante da produzioni "pregiate", quali quelle ortive che, se da un lato richiedono un maggior quantitativo di acqua, dall'altra presentano un ritorno economico maggiore.

Nel presente capitolo si intende fornire una possibile linea guida che consenta di valutare la fattibilità tecnico-economica dell'irrigazione con acque reflue agro-alimentari o effluenti depurati degli impianti di trattamento civili. Lo studio nel suo insieme si configura come un'applicazione GIS (Geographical Information System) che, prendendo in esame una parte del territorio della provincia di Pisa, il Valdarno Inferiore, individui le aree agricole suscettibili all'irrigazione con reflui agro-alimentari o effluenti urbani depurati.

Il lavoro è articolato in fasi successive, come mostrato nel Network seguente:

- individuazione e delimitazione delle aree idonee all'irrigazione con reflui; tale determinazione si ottiene escludendo dalla mappatura del territorio le zone non agricole, le aree inondabili e con falda superficiale;
- determinazione dei volumi irrigui necessari a soddisfare il fabbisogno idrico delle aree precedentemente individuate; questo può essere fatto conoscendo i tipi di colture praticate nella zona (ad esempio attraverso i dati del censimento dell'agricoltura), il tipo di clima, ovvero le precipitazioni ed altri fattori climatici (reperibili nelle varie stazioni meteorologiche dislocate sul territorio o presso specifici laboratori di ricerca) ed infine il tipo di terreno, in particolar modo la granulometria che ne condiziona la capacità di ritenzione idrica e quindi la disponibilità d'acqua per le colture;
- determinazione dei volumi di acque reflue prodotte durante la stagione irrigua; ciò può essere fatto ad esempio attraverso questionari da rivolgere ai Settori Attività Produttive dei comuni interessati e/o interviste presso gli stabilimenti, agli addetti ai lavori;
- dal confronto quantitativo dei volumi idrici necessari e di quelli potenzialmente disponibili, si possono aprire due scenari diversi:
 - se i volumi di acque reflue definite come compatibili, sulla base del rispetto dei vincoli normativi (si veda, in particolare, per il riutilizzo delle acque reflue, il DM 185/2003) e dei vincoli agronomici discussi nei precedenti capitoli, sono superiori o al più pari a quelli richiesti per soddisfare il fabbisogno irriguo dell'area, sarà sufficiente analizzare la rete stradale che collega gli insediamenti produttivi con gli utilizzatori; nel caso in cui sia necessario il trasferimento dei reflui attraverso condotte di adduzione occorrerà valutare la fattibilità tecnico-economica di tali opere;

- qualora, invece, i reflui prodotti durante la stagione irrigua non siano sufficienti a soddisfare la richiesta irrigua, si potrà agire o integrando le acque reflue con acque convenzionalmente usate per l'irrigazione, oppure prevedendo dei bacini di stoccaggio. Per la scelta del sito in cui realizzare i serbatoi di accumulo si dovrà tenere conto del reticolo idrografico, delle falde e dei pozzi esistenti nella zona, nonché della localizzazione dei centri abitati. La realizzazione degli stoccaggi, comunque subordinata ad una valutazione di fattibilità tecnico-economica, potrà essere effettuata dopo aver ottenuto le necessarie autorizzazioni da parte degli organi preposti.



8.2 Valutazione territoriale

Per la mappatura dell'uso del suolo si utilizza la carta regionale Corine-land system (prodotta dal SIT della Regione Toscana), ritagliata sul perimetro del Valdarno Inferiore. In questo modo possono essere evidenziate le aree corrispondenti ai terreni agricoli, come mostrate in figura 8.1.

Le aree inondabili si deducono dalla *Carta della Pericolosità Idraulica*, stabilendo di considerare non idonee, alla luce di quanto riportato in letteratura, le zone con tempi di ricorrenza alle inondazioni inferiori ai 20 anni. La carta in oggetto, mostrata in figura 8.2, riporta la suddivisione del territorio della regione in quattro classi che marcano la diversa probabilità di accadimento del fenomeno alluvionale esondativo e di quello del ristagno nelle aree morfologicamente depresse; tali aree sono definite dal tempo di ritorno medio del fenomeno, che per le tre sottoclassi di maggiore pericolosità, assume anche un significato quantitativo data la sua derivazione da elaborazioni idrologico-idrauliche di dettaglio.

Per quanto riguarda l'altezza di falda, secondo la legge 574/96, si dovrebbero escludere dallo spargimento con acque di vegetazione (per le altre tipologie di reflui non esiste una normativa specifica), quei terreni che presentano valori di tale parametro inferiori a 10 m anche se a tale riguardo occorre dire che la letteratura esistente considera tale limite troppo cautelativo e non supportato da valide motivazioni scientifiche.

Tuttavia, non esistendo ad oggi un rilievo esatto di questo tipo di informazione, si può prendere in considerazione la suscettività specifica dei sistemi acquiferi ad ingerire e diffondere un generico inquinante fluido o idroveicolato, indicata nella *Carta della Vulnerabilità Idrogeologica* (figura 8.3).

La carta della vulnerabilità idrogeologica, infatti, prende in esame la salvaguardia della risorsa idrica sotterranea in relazione ad attività e trasformazioni del territorio che potenzialmente ne possono compromettere l'integrità. La risorsa considerata è la falda di superficie indipendentemente dalla sua utilizzazione. In riferimento ad essa, è ragionevole escludere tutte quelle classi di terreni per le quali risultano ipotizzabili tempi di arrivo dell'inquinante in falda inferiore a 15 giorni.

A seguito di queste analisi, le aree risultate escluse all'irrigazione con reflui possono essere sottratte dalla carta di uso del suolo, permettendo così di mappare le superfici agricole potenzialmente recettive per l'irrigazione con le acque reflue ritenute compatibili, come mostrato nella figura 8.4.

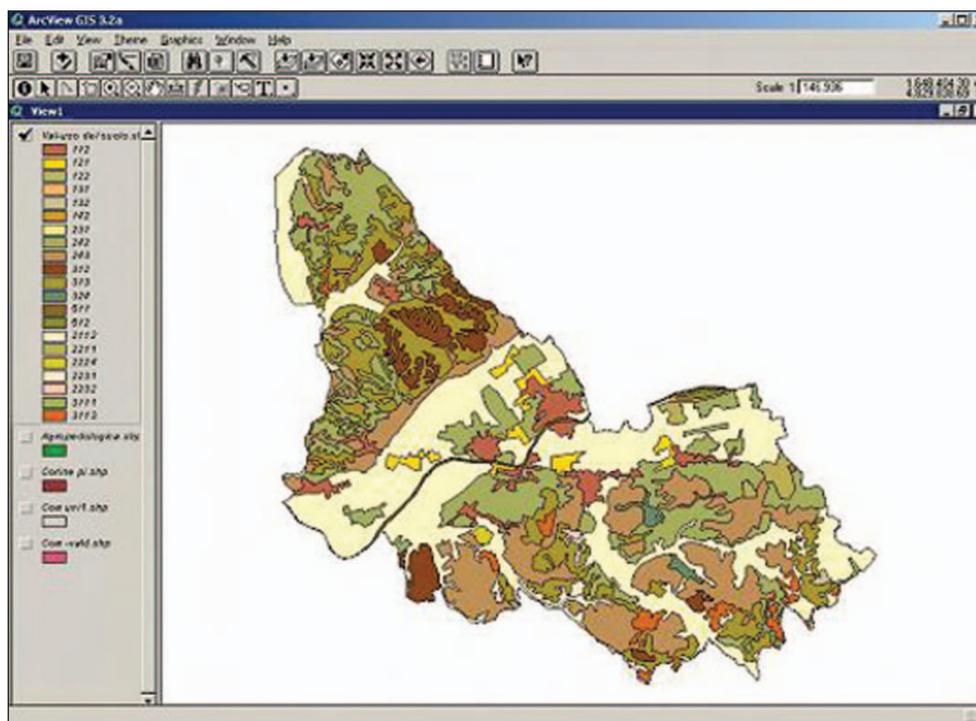


Figura 8.1 – Carta georeferenziata dell’Uso del suolo.

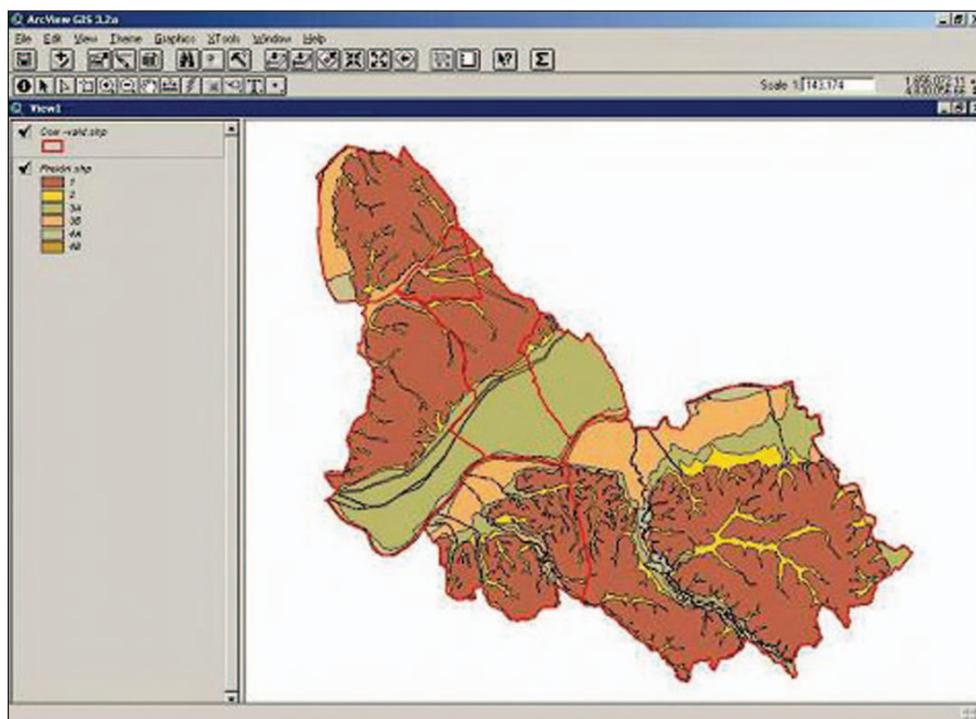


Figura 8.2 – Carta georeferenziata della Pericolosità Idraulica.

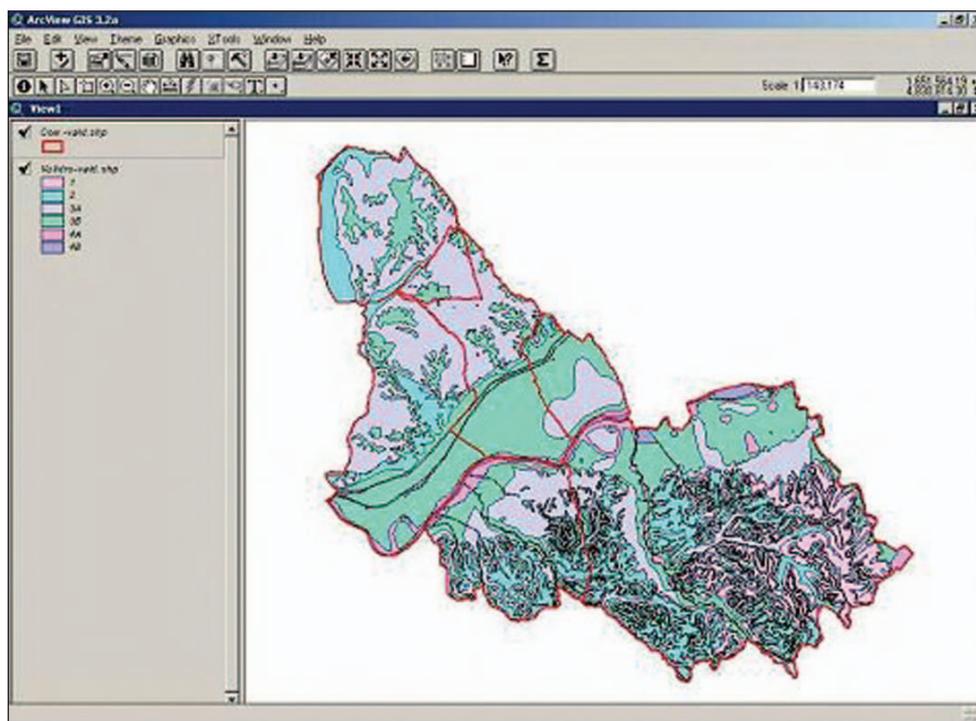


Figura 8.3 – Carta georeferenziata della Vulnerabilità Idrogeologica.

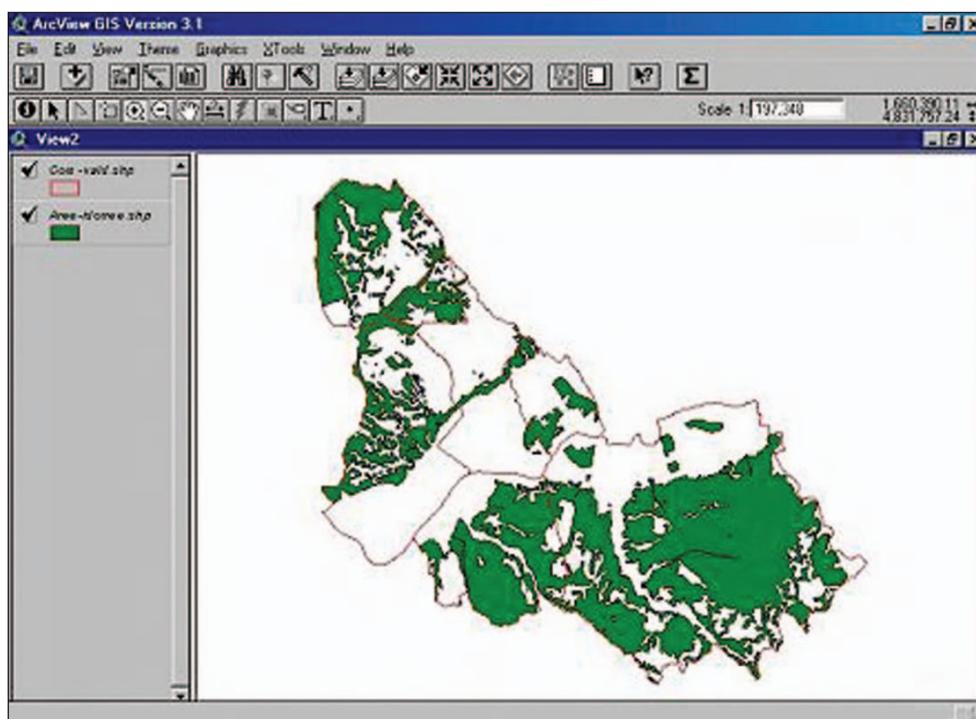


Figura 8.4 – Aree idonee per l'irrigazione con acque reflue.

8.3 Necessità di acqua irrigua

Il secondo passo da compiere è quello di valutare l'entità del fabbisogno idrico della zona. Ciò può essere fatto integrando più fattori non omogenei, quali l'uso del suolo, la disponibilità locale di acqua (superficiale e sotterranea), le caratteristiche climatiche.

In letteratura, spesso, vengono proposti degli indici agrometeorologici, di aridità o di umidità, che, sulla base dell'andamento di certi fattori climatici, possono fornire indicazioni circa il fabbisogno o meno di acqua irrigua in un determinato ambiente. In base al valore di tali indici, infatti, si ottengono dei corrispondenti tipi climatici con i relativi fabbisogni irrigui.

Per stimare, tuttavia, più concretamente il fabbisogno di acqua irrigua è necessario ricorrere ad uno dei seguenti sistemi:

- bilancio idrico
- sperimentazione parcellare.

L'equazione di bilancio idrico può essere così formulata:

$$I = E + T - N + Pr \pm D$$

dove i simboli rappresentano, per il periodo considerato, le quantità di acqua corrispondenti all'irrigazione (I), all'evaporazione del terreno (E), alla traspirazione (T), agli apporti naturali (N), alle perdite per ruscellamento e percolazione (Pr) ed alle variazioni positive o negative dell'umidità del terreno e della vegetazione (D) (Giardini, 1992).

Per poter effettuare i bilanci idrici finalizzati alla determinazione dei fabbisogni irrigui e del volume d'acqua di percolazione, è indispensabile conoscere gli apporti idrici naturali, (da precipitazioni e da falde freatiche) e l'evapotraspirazione potenziale (ET_0).

Per la pioggia si dovrà considerare la piovosità totale, la distribuzione mensile, la quantità che cade nella stagione irrigua e la distribuzione di frequenza negli anni. Essendo inoltre le precipitazioni la fonte principale di acqua, queste dovranno essere prese in attenta considerazione.

Per quanto riguarda l'incidenza quantitativa delle falde freatiche sul rifornimento idrico del terreno agrario, devono valutarsi i seguenti fattori: profondità della falda, tipo di terreno, tipo di coltura. Vengono considerate ottimali profondità di falda che vanno dai 50-70 cm per orticole e prati in terreni sabbiosi, a 80-90 cm per cereali in terreni di media granulometria e argillosi, a 100-150 cm per bietola, medica e fruttiferi.

L'evapotraspirazione rappresenta la quantità globale di acqua restituita all'atmosfera dalla superficie del suolo (evaporazione), e dall'attività metabolica delle piante (traspirazione).

Per la determinazione dell' ET_E si possono applicare i modelli climatici disponibili, che a loro volta richiedono parametri meteorologici diversi. A tale scopo è consigliabile il metodo Blaney-Criddle modificato Fao (1977) per la semplicità, la discreta attendibilità dei risultati e per la facile reperibilità dei parametri richiesti. Esso si presta bene per la stima del consumo di acqua da parte delle colture. L'espressione risulta:

$$ET_{E(mm/d)} = k (0,46 T + 8) p$$

dove k è un coefficiente colturale, T è la temperatura media giornaliera, p rappresenta il rapporto percentuale tra le ore di illuminazione giornaliera e il totale delle ore di illuminazione dell'anno alla latitudine in cui si opera e nel mese considerato.

Il coefficiente k varia in funzione della coltura, ma risente anche di altri fattori come le condizioni idriche del suolo, l'umidità relativa dell'aria e la ventosità. Questo spiega il motivo per cui nella letteratura si trovano indicati coefficienti diversi, per la medesima specie, a seconda dell'ambiente in cui essi sono stati ricavati e del periodo dell'anno al quale si fa riferimento.

Le fonti di reperimento delle informazioni suddette possono essere diverse. Nel caso specifico, molti dati sono disponibili sul sito o presso gli uffici del L.A.M.M.A. (Laboratorio per la Meteorologia e la Modellistica Applicata), del C.N.R.I.A.T.A. (Istituto per l'Agrometeorologia e l'Analisi Ambientale applicata all'Agricoltura del Consiglio Nazionale delle Ricerche), del Servizio Agrometeorologico Nazionale (S.A.N.), etc..

Una prima indicazione, peraltro piuttosto qualitativa, del tipo climatico in questione, può essere fornita dalla carta tematica disponibile presso la Regione Toscana e di seguito riportata. A parte la limitata caratterizzazione del territorio, tale carta risulta utile, essendo georeferenziata, nel momento in cui si vogliono sovrapporre dati non omogenei, al fine verificare la fattibilità dell'irrigazione con reflui.

La Toscana è stata suddivisa in zone climatiche a seconda dell'indice di umidità globale Im (funzione dell'evapotraspirazione potenziale e del surplus idrico ovvero la quantità di acqua che una volta saturata la riserva idrica del suolo va ad alimentare le falde freatiche e il deflusso superficiale).

Nel territorio sono presenti otto tipi climatici, mentre nella zona di studio i tipi climatici sono 3:

C_2 :	tipo climatico subumido	$(0 < Im < 20)$
B_1 :	tipo climatico umido	$(20 < Im < 40)$
B_2 :	tipo climatico umido	$(40 < Im < 60)$

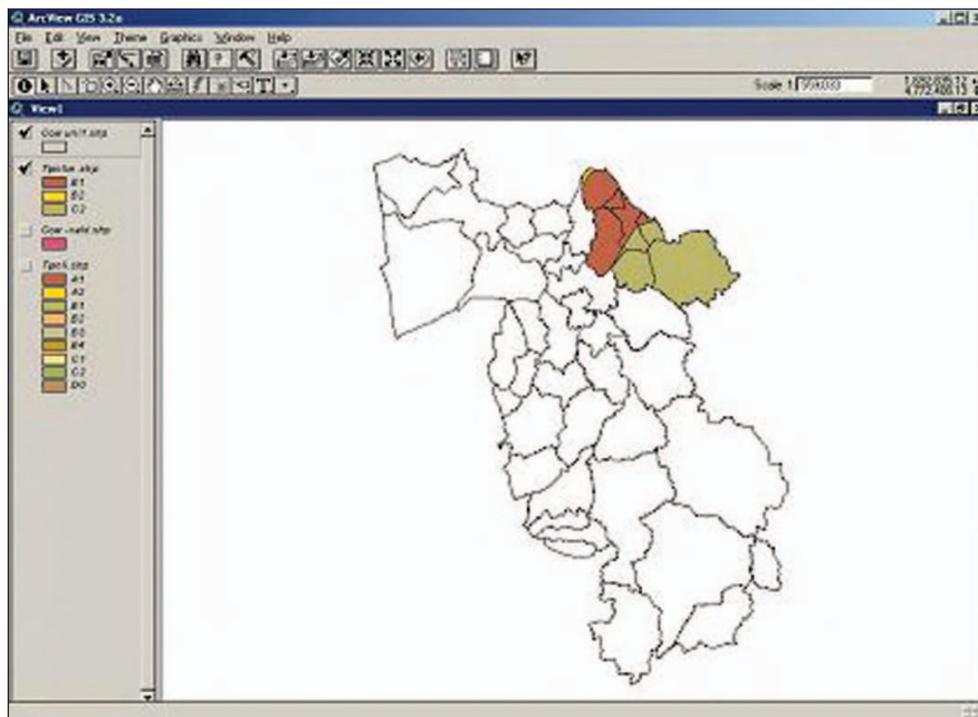


Figura 8.5 – Carta tematica dei “Tipi climatici” del Valdarno Inferiore.

Il tipo di coltura determina il fabbisogno irriguo; le specie coltivate presentano inoltre una sensibilità diversa nei confronti degli inquinanti. Il rischio di contaminazione del prodotto agrario assume inoltre un significato diverso in funzione della destinazione del prodotto stesso. In particolare andranno distinti i prodotti avviati al consumo diretto come, ad esempio, gli ortaggi, la frutta fresca e i foraggi verdi, da quelli destinati alla trasformazione o che vengono consumati cotti.

La carta "Uso del suolo" – Corine Land Cover (Regione Toscana), è stata realizzata attraverso l'interpretazione a video di immagini LANDSAT TM e la fotointerpretazione delle foto pancromatiche della copertura aerea del Volo Alta Quota Italia in scala approssimativa 1:70.000. E' chiaro che informazioni particolareggiate sulle coltivazioni praticate non possono essere prelevate da tale fonte ma occorre effettuare una campagna di reperimento dati per la zona di interesse. Non è questo lo scopo prefisso in questo studio. Per il Valdarno Inferiore, dunque, zona da noi scelta per esemplificare la metodica proposta, le diverse colture praticate, gli ettari di terreno ricoperti da ciascuna specie, ed altri dati, sono stati ricavati dal Censimento Generale dell'Agricoltura. Inoltre, essendo i dati relativi all'ultimo censimento ancora provvisori, sono stati utilizzati quelli riguardanti il 1990.

Da tali dati si evince che le aziende agricole della zona, che presentano superficie agricola utilizzata (SAU), sono pari a 3645, con una SAU di circa 11.400 ha, come meglio specificato nelle tabelle 8.1 e 8.2

Tabella 8.1 – Aziende per classe di SAU e comune – ISTAT, 1990.

Comuni	Classi di superficie agricola utilizzata (SAU)							Totale
	< 1	da 1 a 2	da 2 a 5	da 5 a 10	da 10 a 20	da 20 a 50	> 50	
Castelfranco di Sotto	340	181	123	51	12	12	6	725
Monopoli in Val d'Arno	205	76	95	27	13	8	4	429
San Miniato	462	221	225	91	48	34	16	1.097
Santa Croce sull'Arno	236	63	46	13	8	3	2	371
Santa Maria a Monte	642	176	152	32	12	7	2	1.023

Tabella 8.2 – Superficie agricola utilizzata per classe di SAU e comune – ISTAT, 1990.

Comuni	Classi di superficie agricola utilizzata (SAU)*							Totale*
	< 1	da 1 a 2	da 2 a 5	da 5 a 10	da 10 a 20	da 20 a 50	> 50	
Castelfranco di Sotto	175,2	25,2	387,8	344,3	166,4	303,0	440,3	2.070,2
Monopoli in Val d'Arno	92,8	107,9	289,4	176,8	187,5	279,2	361,4	1.495,0
San Miniato	215,9	310,0	696,7	609,5	636,9	986,0	1.700,4	5.155,4
Santa Croce sull'Arno	96,2	89,9	141,0	87,6	105,1	74,4	250,3	844,6
Santa Maria a Monte	278,8	239,2	442,9	223,2	173,0	204,1	282,2	1.843,3

*superficie in ha

La destinazione d'uso della superficie agricola utilizzata è riportata nelle tabelle 8.3 – 8.5

Tabella 8.3 – Superficie aziendale secondo l'utilizzazione dei terreni per comune

Comuni	Seminativi	Coltivazioni permanenti	Prati permanenti e pascoli	Totale
Castelfranco di Sotto	1.500,8	293,1	276,2	2.070,2
Monopoli in Val d'Arno	1.039,3	361,1	94,6	1.495,0
San Miniato	3.361,7	1.282,3	511,4	5.155,4
Santa Croce sull'Arno	757,1	46,8	40,7	844,6
Santa Maria a Monte	1.438,0	275,8	129,4	1.843,3

*superficie in ha

Tabella 8.4 – Aziende con seminativi per principali coltivazioni praticate e comune

Comuni	Cereali				Coltivazioni ortive		Coltivazioni foraggere avvicendate	
	Totale		Di cui frumento		Aziende	Superficie	Aziende	Superficie
	Aziende	Superficie	Aziende	Superficie				
Castelfranco di Sotto	514	888,5	261	361,2	42	50,9	233	131,2
Monopoli in Val d'Arno	194	509,2	71	182,5	78	7,7	180	156,6
San Miniato	602	1.745,4	230	816,9	353	89,2	265	346,4
Santa Croce sull'Arno	222	551,6	79	105,2	16	4,7	127	40,1
Santa Maria a Monte	548	795,8	272	404,2	348	63,2	68	35,9

*superficie in ha

Tabella 8.5 – Azienda con coltivazioni legnose agrarie per principali coltivazioni e comune

Comuni	Vite		Olivo		Agrumi		Fruttiferi	
	Aziende	Superficie	Aziende	Superficie	Aziende	Superficie	Aziende	Superficie
Castelfranco di Sotto	414	231,8	68	30,8	-	-	37	9,1
Monopoli in Val d'Arno	273	119,9	180	160,3	-	-	69	55,9
San Miniato	731	783,5	406	464,7	2	0,2	131	31,7
Santa Croce sull'Arno	217	31,0	28	14,0	-	-	31	1,8
Santa Maria a Monte	663	124,4	549	136,4	-	-	153	12,9

*superficie in ha

Per quanto concerne le caratteristiche fisiche e chimiche del terreno l'aspetto più importante riguarda la granulometria dei terreni; essa infatti condiziona la capacità di trattenuta idrica e la disponibilità d'acqua per le colture; influenza i fabbisogni irrigui e la dinamica dell'acqua nel terreno. Terreni a forte granulometria sono inoltre diversamente sensibili all'apporto di inquinanti; basti a questo proposito ricordare la diversa pericolosità del sodio in relazione al contenuto in argilla del terreno.

Fra le caratteristiche fisiche vanno ricordate la velocità di infiltrazione superficiale e la conducibilità idrica profonda. Entrambe sono condizionate dalla granulometria e da varie proprietà chimiche che entrano in gioco nel mediare il movimento dell'acqua e dei soluti lungo il profilo. Molto importanti sono pure la profondità del terreno e la pendenza superficiale.

Le caratteristiche litostratigrafiche condizionano la percolazione profonda delle acque e quindi il pericolo di inquinamento delle falde acquifere. Tale fatto assume un'importanza decisiva soprattutto nelle zone di ricarica degli acquiferi di pregio.

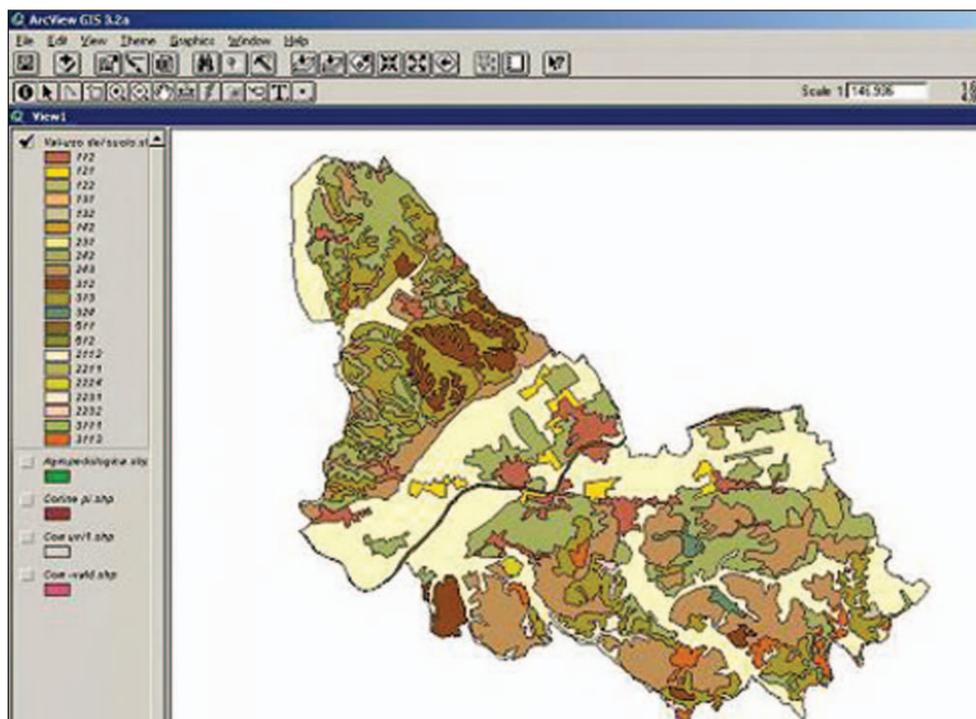


Figura 8.6 – Carta Agropedologica del Valdarno Inferiore.

La carta agropedologica (Provincia di Pisa) riporta i tipi di terreno della zona oggetto di studio. I tipi individuati sono sei, contrassegnati da diverse sigle, la cui chiave interpretativa è riportata in tabella 8.6.

Tabella 8.6 – Chiave per l'interpretazione della carta agropedologica.

Sigla	Morfologia	Costituzione fisicomeccanica	Sottosuolo	Altri caratteri	Coltivazioni
Ap	pianeggiante	Da argilloso ad argillo-limoso	incoerente	Fresco, qualche volta idromorfo	Foraggiere e cerealicole
AS	pianeggiante	Da limo-sabbioso a limo-argilloso	incoerente	fresco	Ortofrutticole e floricole
H	pianeggiante o depresso	sabbioso	incoerente	torboso, acido, spesso idromorfo	Orticole specializzate
Pa	collinare	Da argilloso ad argillo-limoso	incoerente	Arido, talvolta salsoalcalino	Poco praticate
PS	collinare	Sabbioso-limoso	incoerente	arido	Vite, olivo e seminativi
QS	terrazzata	Sabbioso-limoso	incoerente	Arido, spesso acido	Viticole, olivicole, cerealicole ed orticole

A parità di volume stagionale, infine, gli effetti dell'uso irriguo di acque inquinate dipendono in misura rilevante dal metodo irriguo e dalla tecnica irrigua. Per quanto riguarda i metodi irrigui gli aspetti più importanti sono l'efficienza e la bagnatura o meno della vegetazione.

Come è facile comprendere, la stima dei fabbisogni irrigui non è di facile attuazione. La sua determinazione, inoltre, non fornisce comunque la necessità reale di acqua, riferendosi alla superficie agricola utilizzata. Se, invece, si vuole determinare il volume di acqua irrigua in grado di soddisfare il fabbisogno della zona occorrerà considerare il fatto che non tutta la superficie agricola è utilizzata e che, soprattutto, buona parte della superficie irrigabile non è irrigata (tabelle 8.7 – 8.8).

Tabella 8.7 – Aziende che praticano l'irrigazione e relativa superficie irrigabile ed irrigata per forma di approvvigionamento, sistema di irrigazione e comune

Comuni	Superficie		Forma di approvvigionamento		Sistema di irrigazione			
	Irrigabile	Irrigata	Indipendente	Dipendente	Aspersione	Sommersione	Scorrimento	Altro
Castelfranco di Sotto	233	80,1	43	2	9	-	34	-
Monopoli in Val d'Arno	230,2	94,5	12	-	9	-	4	-
San Miniato	133,6	105,1	37	2	31	5	4	-
Santa Croce sull'Arno	228,1	191,6	198	-	6	-	194	-
Santa Maria a Monte	56,3	42,9	37	2	13	2	6	19

Tabella 8.8 - Stima dei volumi irrigui utilizzati nella zona del Veldarno Inferiore

Comuni	Metri Cubi
Castelfranco di Sotto	216.270
Monopoli in Val d'Arno	255.150
San Miniato	283.770
Santa Croce sull'Arno	517.320
Santa Maria a Monte	115.830

Tenendo in considerazione i dati sui volumi irrigui utilizzati riportati in tabella 8.8, e la superficie irrigabile, si può stimare un fabbisogno della zona pari a 4 milioni di mc per stagione irrigua.

8.4 Disponibilità e localizzazione di attività e impianti che producono acque compatibili

Dopo aver quantificato la necessità di acqua irrigua per una data regione, occorre verificare la presenza e la localizzazione degli impianti che producono acque ritenute compatibili ai fini irrigui (cfr. relazione fase 1). Per effettuare questa operazione si può procedere in più modi, a seconda del tempo a disposizione, delle risorse e della vicinanza al luogo di studio.

In questa sede, è stato scelto di inviare un questionario ai responsabili del Settore Attività Produttive dei diversi Comuni ricadenti nell'area di studio.

Essendo inoltre lo scopo quello di fornire un metodo di indagine, il questionario è stato inviato per posta elettronica, dopo contatto telefonico con il responsabile. In tabella è riportato il modello del questionario utilizzato per il censimento:

Indagine conoscitiva delle attività produttive del Valdarno Inferiore.

Comune:	Provincia:		
		Numero	Posizione
Impianti di depurazione			Reflui prodotti
Industrie casearie			
Industrie enologiche			
Frantoi			
Macelli aziendali			
Impianti acquicoltura/piscicoltura			

Non caso specifico la localizzazione e i dati relativi alle attività produttive considerate non sono georeferenziati, ad eccezione degli impianti di depurazione. Il dato ricercato, nell'ipotesi di una applicazione del metodo proposto, dovrà essere ottenuto attraverso la digitalizzazione delle carte territoriali.

Le informazioni georeferenziate, ovvero le carte tematiche, riguardanti i depuratori, sono state reperite presso l'Autorità di Bacino del fiume Arno. La carta "Posizione degli impianti di depurazione" (Autorità di bacino del Fiume Arno), in coordinate UTM e scala 1:25.000, riporta oltre ai dati di capacità depurativa nominale dei singoli impianti e di sfruttamento effettivo, anche il numero di abitanti equivalenti allacciati, la capacità progettuale dell'impianto, il tipo di processo depurativo adottato, la tipologia di reflui trattati (civili, industriali o misti) e la modalità di funzionamento, stagionale o continuo. Non sono contenuti i dati relativi ai volumi di acque reflue prodotte anche se un dato approssimativo può essere calcolato conoscendo il numero di abitanti equivalenti allacciati.

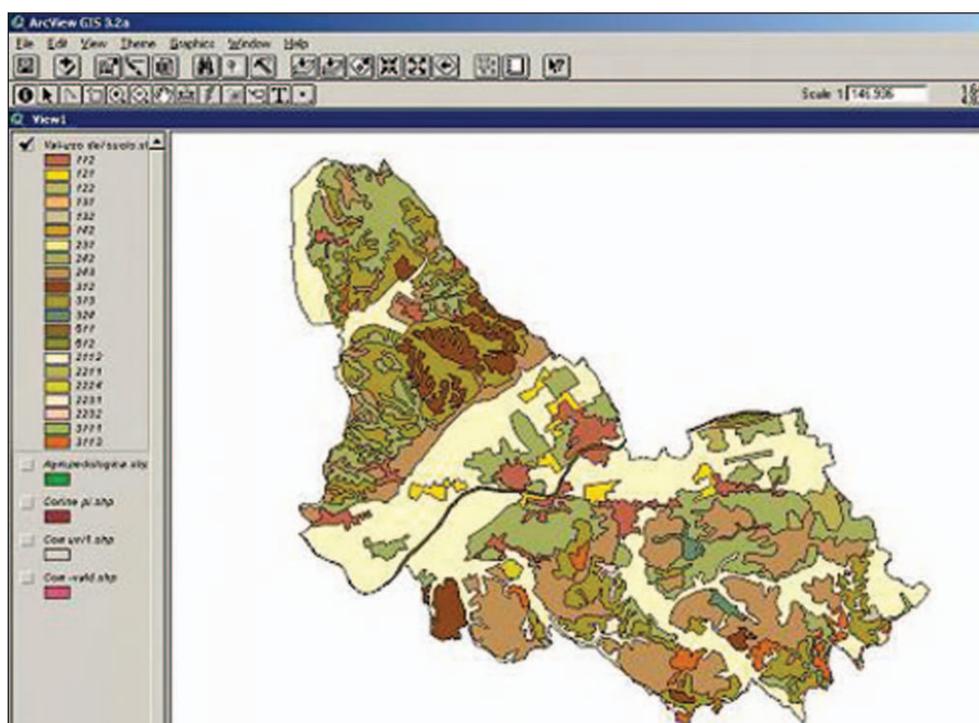


Figura 8.7 – Localizzazione degli Impianti di Depurazione del Valdarno Inferiore

Dall’elaborazione dei dati suddetti si ottengono i volumi di reflui depurati nella zona del Valdarno Inferiore, espressi in m³/d e quindi i volumi di acque “non convenzionali”, potenzialmente disponibili per l’irrigazione, come riportato in tabella 8.9.

Tabella 8.9 - Volumi di reflui depurati prodotti dai depuratori del Valdarno Inferiore

Località	A.E. allacciati	Volumi di reflui prodotti (m ³ d ⁻¹)	Tipologia del refluo	
			Civile %	Industriale %
Capanne	2000	460	100	0
Castelfranco	117000	26899	40	60
Montopoli	500	115	100	0
Orentano	1200	276	100	0
Ponticelli	1500	345	30	70
S. Croce (AQUARNO)	1500000	344864	33	67
San Romano	800000	183927	100	0
Staffoli	300	70	100	0
Staffoli	300	70	100	0
Villa Campanile	600	138	100	0
Ponte a Cappiano	500000	114955	30	70

I volumi prodotti dalle varie industrie alimentari considerate, invece, non sono stati ricavati dalle tabelle annesse alla carta tematica “Scarichi civili ed industriali” essendo le tabelle stesse incomplete. Dall’elaborazione dei dati precedenti, si evince che il volume globale di acque reflue disponibili per l’irrigazione è di circa 180.000 mc/stagione irrigua, non includendo tale stima i dati, non disponibili, delle industrie agroalimentari, ed i volumi prodotti dai depuratori che trattano reflui a prevalente natura industriale.

Anche computando i reflui prodotti dagli altri insediamenti produttivi oggetto di studio, i volumi da utilizzare per l’irrigazione non saranno sufficienti a soddisfare i fabbisogni irrigui della zona per cui il loro impiego dovrà essere abbinato a quello di acque convenzionali, o effettuando un’alternanza tra le due tipologie o miscelandole preventivamente. Sia nell’uno che nell’altro caso, i limiti di utilizzo esistenti per le acque reflue, diminuirebbero.

Un ultimo metodo per venire incontro alla domanda d’acqua irrigua è quella di prevedere uno stoccaggio dei reflui prodotti, per un tempo variabile da caso a caso a seconda della tipologia del refluo interessato a tale operazione, come meglio spiegato nel paragrafo successivo.

8.5 Stoccaggio/trasferimento delle acque

Uno dei problemi fondamentali per l’uso dei reflui agroindustriali ed urbani, è legato al trasferimento nel tempo delle acque prodotte dagli impianti di affinamento e dalle industrie. Mentre, infatti, le acque reflue rilasciate dai depuratori così come quelle derivanti dall’industria casearia presentano una modesta variazione di caratteristiche nell’arco dell’anno, e gli effluenti dell’industria enologica, olearia e dei macelli vengono prodotti in maniera discontinua in determinati period, le colture irrigue concentrano la domanda di acqua in un periodo ristretto di tempo, generalmente coincidente con la stagione estiva. Senza dilungarsi eccessivamente nel merito tecnico del problema, chiunque abbia confidenza con i numeri legati alla pratica irrigua, avverte immediatamente il divario esistente tra le portate ed i volumi complessivamente disponibili ed il limite posto da una domanda concentrata nello spazio e nel tempo.

Un progetto di recupero e riutilizzo dei reflui deve tenere ben in considerazione questo aspetto programmando opere di accumulo dei reflui e pianificando l’integrazione delle acque reflue con acque convenzionali nei periodi di punta.

Certamente, aggiungere alla distribuzione di risorse convenzionali anche quella delle acque reflue complica l’organizzazione idraulica e gestionale, richiedendo agli enti che si occupano del caso, maggiori impegni professionali e tecnici. Senza contare la difficoltà a reperire siti da adibire allo stoccaggio delle acque che, nella maggior parte dei casi, limita la possibilità di un riutilizzo efficiente dei reflui.

Da tutto quanto detto emerge che, benché perseguibile, il recupero e riutilizzo delle acque reflue richiede:

un’ articolata organizzazione gestionale che tenga conto della stagionalità degli effluenti e del periodo di utilizzazione degli stessi;

la possibilità di disporre di impianti di distribuzione già esistenti di dimensioni adeguate e, quando necessario, di acque convenzionali; caratteristiche geomorfologiche ed orografiche del territorio favorevoli, nonché la presenza di adeguate strade di collegamento.

Per quanto riguarda il primo aspetto, ovvero la non coincidenza dei tempi di produzione dei reflui con

il loro utilizzo, ci sono diversi fattori da prendere in considerazione. Se da un lato, infatti, la realizzazione di bacini di stoccaggio presenta una serie di svantaggi economici, dall'altro lato consente di limitare i trattamenti depurativi a monte, soprattutto per i reflui urbani. E' ormai noto infatti, da numerosi studi, l'effetto positivo sulla qualità delle acque reflue derivante dall'accumulo in serbatoio; la modifica dei parametri analitici delle acque reflue stoccate, naturalmente, è variabile e dipende da diversi fattori, quali i tempi di detenzione delle acque, le caratteristiche del serbatoio, la qualità e la modalità di immissione delle acque reflue fresche in rapporto alle acque reflue già invase, le condizioni climatiche, ecc..

Una volta stabilito il tempo di ritenzione necessario e verificata la fattibilità di tale stoccaggio (per alcuni reflui non è consigliabile mantenere tempi di stoccaggio lunghi per non incorrere in fenomeni di putrefazione delle acque), è possibile determinare il volume d'invaso e quindi scegliere il sito in cui realizzare le opere. E' chiaro come in questa fase rivestono una certa importanza le caratteristiche del territorio, quali ad esempio la litologia e le pendenze. Un territorio pianeggiante si presta più facilmente alla realizzazione del bacino di invaso e della rete di distribuzione delle acque agli utilizzatori finali.

In merito al riutilizzo degli effluenti dell'industria agroalimentare, che non richiedono, prima del riutilizzo, nessun trattamento, più che le caratteristiche geologiche del territorio, è interessante la presenza di strade di comunicazione. In questi casi, infatti, i reflui prodotti dai vari siti vengono trasportati al luogo di utilizzo per mezzo di autocisterne preposte allo scopo. La carta georeferenziata che riporta la condizione "stradale" (Autorità di Bacino) della zona di studio e la chiave di lettura della legenda sono riportate in figura 8.8 ed in tabella 8.10, rispettivamente.

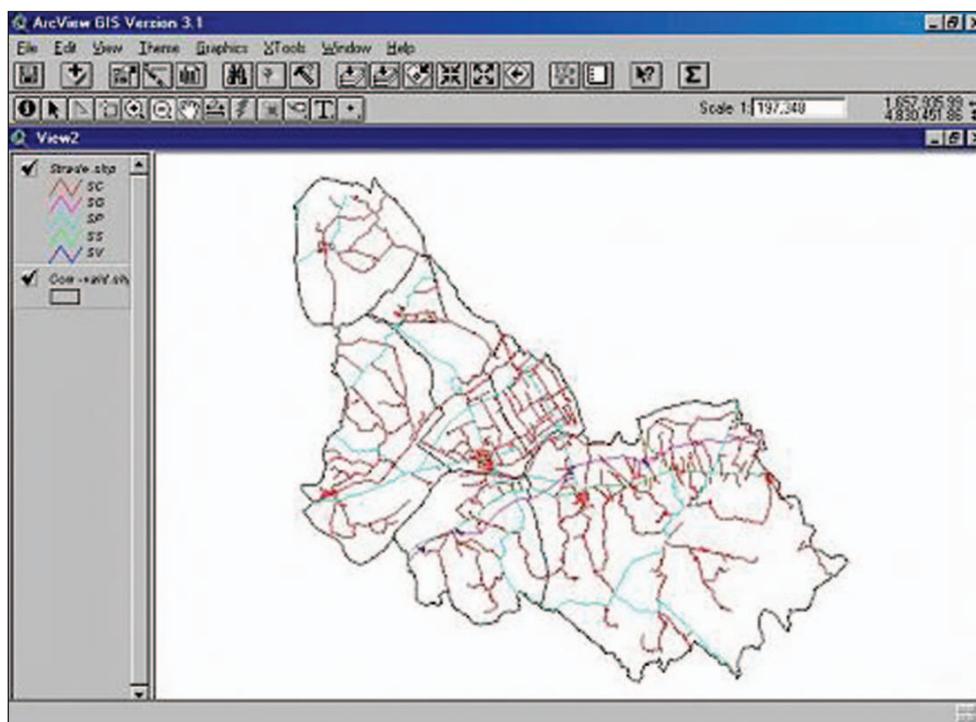


Figura 8.8 - Rete Stradale del Valdarno Inferiore

Tabella 8.10 – Chiave di lettura della legenda riportata nella carta delle strade

SC	Strada comunale
SG	Strada grande comunicazione
SP	Strada provinciale
SS	Strada statale
SV	Strada vicinale

Appurata la necessità di uno o più stoccaggi ed i relativi volumi, dovrà essere individuato il sito più idoneo per la realizzazione del bacino soprattutto in considerazione delle dimensioni notevoli che tali bacini dovranno avere per contenere i reflui nei mesi invernali. Basti pensare che per accumulare per un periodo di 120 giorni i reflui depurati di un impianto al servizio di 100.000 A.E., è necessario un bacino avente un volume di 3,6 milioni di metri cubi che richiede superfici comprese tra 30-50 ha in funzione della profondità dell'invaso (per grossi volumi può raggiungere valori dell'ordine dei 10 m). Preferibilmente la localizzazione dei bacini di stoccaggio dovrà essere quanto più vicina possibile al depuratore che produce il refluo così da favorire la gestione dello stoccaggio stesso. Le aree preferenziali alla realizzazione dello stoccaggio potranno quindi essere individuate da un buffer con centro sul depuratore considerato e raggio pari almeno al diametro richiesto per il bacino di stoccaggio.

Vi sono comunque molti fattori da tenere presente nella scelta del sito, sia tecnici che di carattere normativo; i principali sono elencati di seguito:

- *Reticolo idrografico*: è bene mantenersi ad una certa distanza dagli argini anche se è preferibile non costruire lo stoccaggio troppo lontano dal corso d'acqua in quanto nei mesi in cui il refluo non viene impiegato per l'irrigazione dovrà essere scaricato in un corso d'acqua;
- *Pozzi*: se possibile costruire ad una distanza ragionevole per evitare possibili problemi di inquinamento;
- *Falde*: evitare quelle aree in cui la falda è poco profonda;
- *Centri abitati*: la vicinanza ai centri abitati può portare dei problemi legati alle possibili emissioni maleodoranti;
- *Caratteristiche geologiche ed orografiche del terreno*: costruire il bacino in terreni incoerenti o con notevoli pendenze, comporta dei costi di costruzione maggiori;

Posizione relativa degli impianti rispetto agli utilizzatori: potendo scegliere è consigliabile realizzare il bacino il più vicino possibile agli utilizzatori in modo da ridurre il costo della movimentazione dei reflui stessi (lunghezza delle tubazioni di adduzione o necessità di trasporto con autobotte).

Nell'esempio in questione quanto appena detto può essere rappresentato dalla "Carta di Unione", riportata in figura 8.9 nella quale, ai buffer è stato dato un raggio arbitrario pari a 500 m. Osservando tale figura possono essere scelti i possibili siti in cui realizzare lo stoccaggio; sempre a titolo di esempio è stato individuato il depuratore di Staffoli che serve circa 300 Abitanti Equivalenti ed ha una portata giornaliera di circa 70 m³ d⁻¹ e che ricade in una zona circondata da quelle aree precedentemente individuate come idonee all'irrigazione con acque reflue (figura 8.10). Per il depuratore in questione, stoccare per un periodo di 120 giorni (valore che, per i reflui in questione non determina effetti negativi e che contemporaneamente produce un rapporto costi/benefici ottimale), i reflui prodotti significherebbe prevedere un volume di circa 10.000 m³ ovvero una superficie avente un raggio che va da 50 m a 60 m a seconda della profondità dello stoccaggio stesso (da 5 a 3 m). Un ultimo fattore che può essere preso in considerazione è rappresentato dalla geologia del terreno.

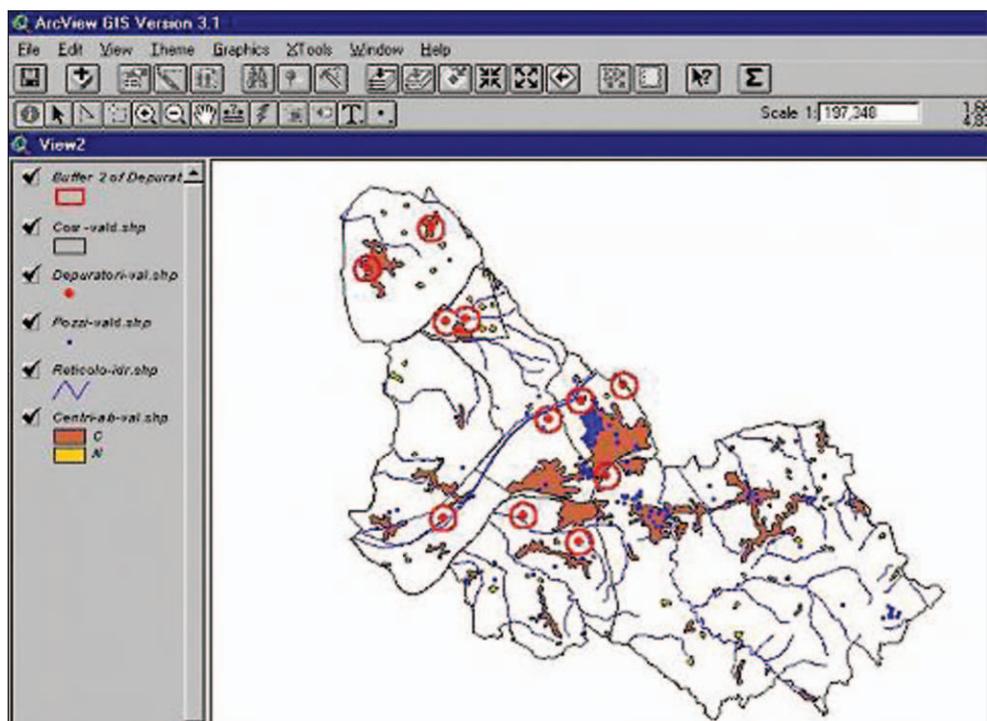


Figura 8.9 – Carta di Unione

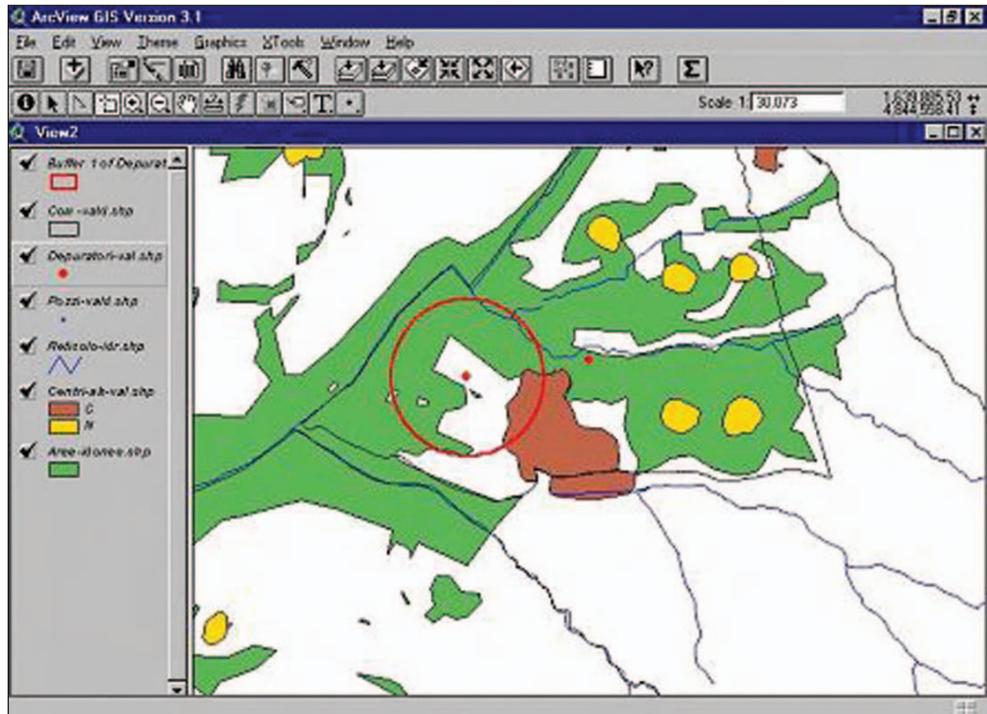


Figura 8.10 – Particolare della zona scelta per la realizzazione dello stoccaggio

BIBLIOGRAFIA

- Adin A., 1989. Particle filtration for wastewater irrigation. *Journal of irrigation and drainage engineering*. June 1989, 115:474-487.
- Agecontrol, 1998. Rapporto Agecontrol: Campagna oleicola 1997/98 Agecontrol S.p.A. – Roma, 1998
- Agecontrol, www.agecontrol.it. Dati sul settore olio di oliva. Vari anni
- Albergoni F., 1979. Agricoltura ed inquinamento. Gli agenti inquinanti ed il ruolo del settore primario. *L'Italia agricola*, CXVI, 1:159-171.
- Alianello F., 2001. Effetti della somministrazione di acque reflue di frantoi oleari sulle caratteristiche chimiche e biochimiche del suolo. Progetto editoriale PANDA “I sottoprodotti dei frantoi oleari”, vol. 3, pp.29-40; Ed. L'Informatore Agrario
- Amendola G., 2002. La tutela penale dell'inquinamento idrico, Milano, Giuffrè.
- Amirante R., Catalano P., De Lisio L., 1997. Recupero di biomasse e risparmio energetico nella depurazione dei reflui di una industria di macellazione avicola. *Ingegneria ambientale*, XXVI, n. 1/2 gen-feb.
- Amirante, P., 1999. Utilizzazione e smaltimento dei sottoprodotti dell'estrazione olearia e relative problematiche di impatto ambientale. Atti del “Seminario internazionale sulle innovazioni scientifiche e loro applicazione in agricoltura ed in elaiotecnica”, Firenze 10-12 marzo, 45 pp.
- Andreottola G., Bertola P., Ziglio G., 1996. Indagine sperimentale comparata sulla disinfezione di acque reflue urbane con ozono e acido paracetico, *Ingegneria Ambientale* XXV, 4: 200-206.
- Andrich, G., Fiorentini, R., Galoppini, C., 1986. Composizione e trattamento delle acque di vegetazione delle olive. *Agricoltura Italiana*, 5/6, 1-13.
- ANPA, 2001, Atlante degli indicatori del suolo, RTI CTN_SSC 3/2001
- ANPA/ONR, 1999 Primo rapporto sui Rifiuti Speciali. In: Stima della produzione di rifiuti speciali di alcuni comparti industriali attraverso studi di settore, 88-111.
- ANPA/ONR, 2001. I rifiuti del comparto agroalimentare. ANPA – Rapporti 11/2001
- Ayres R.S., Westcot D.W., 1976. La qualità de l'eau en agriculture. *Bull. FAO d'irrigation et de drainage* n.29. Roma, 31 pp.
- Bacci, L., Conese, C., Maselli, F., Romani, M., Zinna, P., 1989. Metodologia per la costruzione di mappe di rischio ambientale: un'applicazione per la Val di Cornia. I.A.T.A.-C.N.R., Firenze.
- Balks M.R., McLay C.D.A., Harfoot C.G., 1996. Determination of the progression in soil microbial response, and changes in soil permeability, following application of meat processing effluent to soil.
- Barbagallo S., Biondi M., Li Destri Nicosia O., 1988. Prove d'irrigazione con acque reflue parzialmente trattate (secondo contributo), *Riv. di Ing. Agr.*, 4: 214-223.
- Barbagallo S., Cirelli G.L., Giammanco G., Indelicato S., Pignato S., 1996. Prove sperimentali di accumulo di acque reflue urbane non trattate per uso agricolo, *Riv. di Ing. Agr.*, 1: 49-58.
- Barbagallo S., Cirelli G.L., Indelicato S., 2000. Wastewater reuse in Italy. In: *Wastewater, Reclamation, Recycling and Reuse – 1st World water congress of the International Water Association (IWA)*, 3-7 Luglio, Paris – France: 56-63.
- Belloni P., Mazzoncini M., Bonari E., Ceccarini L., 1994. Effetti della somministrazione di diverse dosi di acqua di vegetazione su alcune caratteristiche fisiche del terreno. Estratto da: “Le centrifughe a due fasi nell'estrazione dell'olio di oliva: problematiche, prospettive qualitative e implicazioni della utilizzazione dei sottoprodotti”. Spoleto, 28 Ottobre 1994; pp.147-149.

-
- Bonari E., 1990. Primi risultati sperimentali sullo spargimento di acque di vegetazione sul terreno agrario in Toscana. Atti del Seminario Internazionale "Olio di oliva e olive da tavola: tecnologia e qualità": Città Sant'Angelo, Pescara, 25-28 aprile 1990.
- Bonari E., Ceccarini L., 1991. Spargimento delle acque di vegetazione dei frantoi sul terreno agrario; *L'informatore agrario*, 13, pp.49-57.
- Bonari E., Ceccarini L., 1993. Sugli effetti dello spargimento delle acque di vegetazione sul terreno agrario: risultati di una ricerca sperimentale. *Genio Rurale*, 5, pp.60-67.
- Bonari E., Ceccarini L., 1994. Aspetti agronomici dello smaltimento dei sottoprodotti dell'industria olearia. Atti del convegno : "Le centrifughe a due fasi nell'estrazione dell'olio di oliva: problematiche, prospettive qualitative e implicazioni della utilizzazione dei sottoprodotti". Spoleto, 28 Ottobre 1994; pp. 83-90.
- Bonari E., Giannini C., Ceccarini L., Silvestri N., Tonini M., Sabbatici T., 2001. Spargimento delle acque di vegetazione dei frantoi oleari su terreno agrario. *L'Informatore Agrario*: "Riciclo dei reflui oleari", supplemento numero 1 al numero del 21-27 dicembre 2001
- Bonari E., Silvestri N., 1993. Le stime dei "rischi di erosione" in provincia di Pisa. Tratto da "Coltivazioni erbacee e rischi di erosione in provincia di Pisa". Centro Studi Economico-Finanziari – Pisa
- Bonari, E., 1996. Aspetti agronomici dello spargimento dei residui dei frantoi oleari. Atti del convegno "L'utilizzo dei residui dei frantoi oleari" - Viterbo 12 aprile:49-54.
- Bonari, E., Ceccarini, L., 1997. Aspetti agronomici dello smaltimento dei sottoprodotti dell'industria olearia. POSTER presentato al Convegno "Le centrifughe a due fasi nell'estrazione dell'olio d'oliva: problematiche, prospettive qualitative e implicazioni della utilizzazione dei sottoprodotti", Spoleto 28.10.1994
- Bonciarelli F., 1989. Fondamenti di agronomia generale. Edizioni agricole Calderoni, Bologna, 372 pp.
- Bortone G., Pineschi G., 2000. Tecnologie e trattamenti finalizzati all'utilizzo agronomico ed irriguo. In: Il riuso delle acque reflue depurate in agricoltura - Atti workshop, 10 maggio 2000, Bologna: 73-85.
- Branson R.L., Pratt P.F., Rhoades J.D., Oster J.D., 1975. Water quality in irrigated watersheds. *J. Environ. Qual.*, 4:33-40.
- Butti L., Grassi S., Le nuove norme sull'inquinamento idrico, Milano, Il Sole24ORE, 2001.
- Cannata M. (cur.), 1989. I sistemi agricoli territoriali italiani. CNR Progetto finalizzato Ipra, Ed. Franco Angeli, Milano.
- Caravita B., 2001. *Diritto dell'Ambiente*, Bologna, Il Mulino.
- Caroppo T., Loré L., Nuzzo G., Salvemini A., Sciacovelli N., 1989. Utilizzazione di un sistema informativo geografico per la realizzazione della carta del rischio di erosione del bacino imbrifero del torrente Rendina (Lavello - PZ). *Terra*, 9, pp. 57-64
- Catalano M., 1989. Utilizzazione delle acque reflue come fertilizzante. Seminario internazionale su: "Trattamento Acque reflue Oleifici. Lecce, 16-17 novembre 1989.
- Cervetti Spriano F., Parodi C., 2001. *La nuova tutela delle acque*, Milano, Giuffrè.
- Cicolani B., Seghetti L., D'Alfonso S., Di Giovacchino L., 1993. Spargimento delle acque di vegetazione dei frantoi oleari su terreno coltivato a grano: effetti sulla pedofauna. *L'Informatore Agrario*, 34, pp. 69-75.
- Cini E, Regis F., 2000. Smaltimento-recupero delle acque di vegetazione dei frantoi oleari. Da "Smaltimento e riutilizzo dei reflui dei frantoi". Ed.ARSIA-Regione Toscana
- Clement F., 1990. Traitement des effluents de vinification, distilleries et cidreries. Conseil General du

-
- Genie Rural des Eaux et des Forets, Parigi.
- Corradini C., 1995. Chimica e tecnologia del latte, Tecniche Nuove, Milano.
- Daffonchio D., Colombo M., Origgi G., Zangrossi M., Sorlini C., Androni V., 1995. Digestione anaerobica di acque di cantina da diversi processi di vinificazione. Atti Conv. "Trattamenti reflui da cantina. Aspetti impiantistici ed Ambientali". pp. 35-42. Casteggio, 3/6/1995.
- Damiani A., 1991. Caratteristiche dei liquami urbani. In: *Trattamento delle acque di rifiuto - Seminario di studio in collaborazione con Istituto Europeo delle Acque con il patrocinio della Commissione della Comunità Europea*, Milano 12-16 novembre 1990: 11-42.
- Damiani L., Ranieri E., 1992. Trattamenti di disinfezione di effluenti secondari finalizzati al riutilizzo irriguo: trattamento e riutilizzazione dei reflui agricoli e dei fanghi. In: *Trattamento e riutilizzazione dei reflui agricoli e dei fanghi - Seminario Internazionale della VI sezione della C.I.G.R.* Lecce 10-12 dicembre 1992: 199-229.
- Di Giovacchino L., Mascolo A., Seghetti L., 1988. Sulle caratteristiche delle acque di vegetazione delle olive. *La Rivista delle Sostanze Grasse*. Vol. LXV, Luglio 1988
- Di Giovacchino L., Seghetti L., 1990. Lo smaltimento delle acque di vegetazione delle olive su terreno agrario destinato alla coltivazione di grano e mais. *L'Informatore Agrario* 45/90, pp. 58-62.
- 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*.
- EPA Victoria - Australia, June 1997. *Environmental Guidelines for the dairy processing industry*.
- Farini A., Gigliotti C., Vandoni M.V., Barbagallo S., 1989. Indagine su casi di riutilizzazione agricola di acque reflue urbane in Sicilia, *Agricoltura Ricerca*, 101: 7-18.
- Farolfi S., 1995. La gestione dei reflui enologici sul territorio. *Analisi e strumenti*. Avenue Media, Bologna.
- Fierotti G., 1990. L'acqua: risorsa fondamentale e limitata; la utilizzazione delle acque reflue in agricoltura, *Speciale Sviluppo agricolo*, 5.
- Fumi M. D., Maccarini L., Marchetti R., Silva A., 1995 a. Aspetti quali-quantitativi dei reflui liquidi e solidi prodotti dalle cantine dell'Oltrepo Pavese. Atti Conv. "Trattamenti reflui da cantina. Aspetti impiantistici ed Ambientali". pp. 29-41. Casteggio, 3/6/1995.
- Fumi M. D., Parodi G. E., Silva A., Marchetti R., 1995 b. Optimisation of long-term activated-sludge treatment of winery wastewater. *Biores. Technology*, 52: 45-51.
- Galoppini C., Andrich G., Fiorentini R., 1994. Trasporto e biodegradabilità dei reflui di frantoio nel terreno agrario. *Agrochimica*, 38, pp. 97-107.
- Gasperi F., Viglia A., 1995. Riduzione dei reflui da cantina: aspetti di filiera. Atti Conv. "Trattamenti reflui da cantina. Aspetti impiantistici ed Ambientali". pp.67-83. Casteggio, 3/6/1995.
- Giardini L., 1992. *Agronomia generale*. Patron Editore, Bologna, 742 pp.
- Giardini L., 2002. *Agronomia generale ambientale ed aziendale*. Patron Editore, Bologna, 660 pp.
- Giardini L., Borin M., 1988. L'inquinamento delle acque per uso irriguo: aspetti agronomici, *Irrigazione e drenaggio*, 3:3-26.
- Giardini L., Borin M., 1997. La classificazione agronomica del territorio: proposta metodologica del sistema CAT II. *Genio Rurale*, 5:53-64
- Giardini L., Borin M., Grigolo U., 1993. La qualità delle acque per l'irrigazione, *Speciale L'informatore agrario*, 20:29-77.

-
- Goldberg Federico L., 1968. Detergenti sintetici e terreno coltivato. Riv. Ital. Sost. Grasse, VL, 2:108-115.
- Goldberg Federico L., 1969. Comportamento dei detergenti sintetici nel terreno agricolo. Chimica, VL, 2:78-81.
- 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
- Indelicato S, Barbagallo S., Girelli G.L., 2001. Il trattamento delle acque reflue urbane per uso agricolo mediante accumulo in serbatoi profondi, Rivista di Irrigazione e Drenaggio, 48 (3): 46-52.
- Indelicato S., 1992. Irrigazione con acque reflue: prospettive e problemi connessi agli aspetti ambientali. In: Trattamento e riutilizzazione dei reflui agricoli e dei fanghi - Seminario Internazionale della VI sezione della C.I.G.R. Lecce 10-12 dicembre 1992: 159-174.
- INEA, 1999. I principali criteri di classificazione di qualità dei corpi idrici superficiali e delle acque utilizzate in ambito agricolo, Quaderni Irrigazione.
- ISTAT – Istituto Nazionale di Statistica. Statistiche ambientali. Vari anni
- ISTAT – Istituto Nazionale di Statistica, V Censimento Generale dell'Agricoltura
- Istat (<http://www.istat.it/>) - Statistiche on line: settore agricoltura. Vari anni
- Jolley R.L., Cuning R.B., Lee N.E., Thompson J.E., Lewis L.R., 1982. Micropollutants produced by disinfection of wastewater effluents, Wat. Sci. Tech. 14: 45-59.
- 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.
- JOURJON F., RACAULT Y., ROCHARD J., 2001. Effluents vinicoles: gestion et traitements. Edition Féret – Bordeaux.
- 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.
- Lanzani, Fedeli, 1986. Composizione e utilizzazione delle acque di vegetazione. Atti della tavola rotonda "Lo smaltimento delle acque reflue dei frantoi", pp 15-28. Spoleto, 10 novembre 1986.
- 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.
- Levi-MinzR., Saviozzi A., Riffaldi R., Falzo L., 1992. L'epandage au des margines: effets sur les propriétés du sol. Olivae, Agron, 6, 235.
- Liberti, L., 1988. I problemi della depurazione delle acque reflue da frantoi oleari. Agricoltura e Innovazione, 5-6, 86-91.
- Maestro Duran, R.B. Padilla, A.M. Martina, J.A. Fiestas Ros de Ursinos, L.A. Mendoza; 1991. Biodegradacion de los compuestos fenolicos presentes en el alpechin; Grassa y Aceites, 42, 4, 271-276.
- Maggiore T., Spallacci P., Tano F., 1998. Aspetti agronomici dell'impiego dei reflui zootecnici, Riv. Agron., 4:173-195.
- Marchello F., Serafini S., 2001. La tutela delle acque dall'inquinamento, Napoli, Ed. Giuridiche Simone.
- Marchetti R., 1962. Biologia e tossicologia delle acque usate. ETAS, Milano, 255 pp.
- Marchetti R., 1994. Possibili utilizzi in agricoltura dei reflui e dei fanghi prodotti dagli stabilimenti enologici. Ind. delle Bevande, 23: 589-594.
- Masotti L., 1987. Depurazione delle acque – Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto. Ed. Calderini, Bologna: 1144 pp.
- Mazza M., 2001. Scarico di frantoio oleario ed utilizzazione agronomica dei reflui, in Diritto e Giurisprudenza Agraria e dell'Ambiente, 118.
- Medugno M., Gabriotti M., Pagliara P., 2002. Il nuovo regime delle acque tra presente e futuro, Pia-

-
- cenza, La Tribuna.
- Mendia L., 1970. L'ingegneria ambientale. *Le Scienze*, III, 28:158-167.
- Mezzanotte V., Arcadipane M., Faniuolo L., Siviero R., 1995. Analisi di fosforo e boro in alcuni impianti di depurazione urbani, *Inquinamento*, 7:40-45.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio/ANPA. Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane. ANPA – Manuali e linee guida 1/2001
- Mogorovich P., Mussio P., 1988. Automazione dei SIT. Atti del Convegno "Informatica e Territorio". Milano, settembre 1988 .
- Montedoro, Petruccioli G., Parlati M.V., 1986. Interventi chimici e fisici sulle acque di vegetazione ed abbattimento parziale del loro tasso di inquinamento. Atti della tavola rotonda "Lo smaltimento delle acque reflue dei frantoi, pp. 29-52 Spoleto, 10 novembre 1986.
- Mucchetti G., 2001. Comunicazione personale.
- Muller D., Heil M., 1998. Distribution of winery wastewater on land: investigation on ecotoxicology. In: Actes du 2e congrès international sur les effluents vinicoles. Bordeaux, 5-7 mai 1998, Cemagref Ed., 113-120.
- Ottaviani M., Bonadonna L., Mancini L., Veschetti E., Gasbarro M., Lulli G., Zanobini A., Divizia M., Gabrieli R., Donia D., Panà A., 1992. Aspetti chimici e biologici delle acque e dei fanghi di risulta da un impianto di depurazione, *Ingegneria Ambientale XXI*, 11-12: 639-646.
- Pagliai M., Pellegrini S., Vignozzi N., Papini R., Mirabella A., Piovanelli C., Gamba C., Miclaus N., Castaldini M., De Simone C., Pini R., Pezzarossa B., Sparvoli E., 2001. Influenza dei reflui oleari sulla qualità del suolo. *L'Informatore Agrario: "Riciclo dei reflui oleari"*, supplemento numero 1 al numero del 21-27 dicembre 2001
- Papini, R., Pellegrini, S., Vignozzi, N., Pezzarossa, B., Pini, R., Ceccarini, L. Pagliai, M., Bonari, E., 2000. Impatto dello spargimento di reflui oleari su alcune caratteristiche chimiche e fisiche del suolo. Atti 18° Convegno Nazionale SICA, Catania 20-22 settembre, 203-212.
- Paris P., 1998. Aspetti agronomici dell'impiego dei reflui dell'industria agro-alimentare. *Riv. Agron.* 32: 196-220.
- Parodi C., Imprese zootecniche e agricole: quale disciplina per gli scarichi?, in *Ambiente&Sicurezza*, 14/2002, 109.
- Passino R., 1980. La conduzione degli impianti di depurazione delle acque di scarico. Ed. Scientifiche A. Cremonese, Roma: 497 pp.
- 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.
- Picci G., Pera A., 1993. Relazione su un triennio di ricerche microbiologiche sullo spargimento delle acque di vegetazione (AA.VV.) dei frantoi oleari su terreno agrario. *Genio Rurale*, 5, pp. 72-77
- Potenz D., Righetti E., Bellettieri A., Girardi F., Antonacci P., Calianno L.A., Pergolese G., 1985. Evoluzione della fitotossicità in un terreno trattato con acque reflue di frantoi oleari. (2). Applicazione del test "Germinazione del *Lepidum sativum*" e studio comparativo di alcuni parametri chimici e chimico-fisici. *Inquinamento*, 27, 4, pp. 29-49
- Prati L., 2001. *Inquinamento idrico*, Milano, IPSOA.
- Proietti P., Caterchini A., Tombesi A., 1988. Influenza delle acque di frantoi oleari su olivi in vaso e in pieno campo. Atti II tavola rotonda "Acque reflue dei frantoi oleari", Spoleto, 24 Aprile 1988
- Radford J. B., et al., 1986. Utilization of whey as a fertilizer replacement for dairy pasture. *New Zealand J. Dairy Sci. Techn.* 21:65-72.

-
- Raglione M. e D'Ambrosio C., 2001. Aspetti agronomici della somministrazione sul suolo delle acque di vegetazione. Progetto editoriale PANDA "I sottoprodotti dei frantoi oleari", vol.3: 29-40, Ed. L'informatore Agrario
- Raglione M., Bianchi A.A., De Simone C., Valeriani V., Campanelli G., Guiducci M., 1997. Effetti sul suolo e sulle produzioni derivanti dalla distribuzione di reflui tal quali di frantoi oleari. *Agricoltura Ricerca*, 168: 31-38.
- Ramos-Cormenzana A., 1986. Physical, Chemical, Microbiological and Biochemical Characteristic of Vegetation Water. Atti "International Symposium on Olive by-products valorisation", Seville (Spain); p. 19, March 1986.
- Ranalli A, Strazzullo G., 1995. Acque di vegetazione delle olive. *Informatore Agrario*, 50, pp. 57-60.
- Riffaldi R., Saviozzi A., Levi-Minzi R., Bertolacci M., 1992. Effetti delle Acque di vegetazione sulle proprietà di un terreno collinare ad oliveto. *Inquinamento* n.1 gennaio 1992, pp. 38-43
- Rifici R., 2000. D.Lgs. 152/99, indirizzi applicativi del decreto attuativo per il riutilizzo delle acque reflue. In: *Il riuso delle acque reflue depurate in agricoltura - Atti workshop*, 10 maggio 2000, Bologna: 23-26.
- Riolfatti M., 1983. Criteri di valutazione igienico-sanitaria per corsi di acqua per l'irrigazione, con riferimento ai fiumi Guà, Fratta-Gorzone e Frassine, della regione Veneto. *L'Igiene Moderna*, LXXX:163-174.
- 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., Lehrs G.A., 1992. Cottage cheese whey effects on sodic soils. *Arid Soil Res. Rehab.*, 6:127-134.
- Ronchi E., Santoloci M., 2001. Inquinamento idrico: adempimenti e responsabilità. La riforma delle acque. Buffetti Editore.
- Rotini O.T., Carloni L., Lotti G., Panettoni A., Riffaldi R., 1970. Carta agropedologica della provincia di Pisa. A cura dell'Istituto di Chimica Agraria della Università degli Studi di Pisa
- Russell J.M., Cooper R.N., Lindsey S.B., 1991. Reuse of wastewater from meat processing plants for agricultural and forestry irrigation. *Water science and technology*, 24(9): 277-286.
- Saccardo A., 2001. La fertirrigazione nella disciplina sull'inquinamento delle acque: dalla legge Merli al D.Lgs 152/99, in *Diritto e Giurisprudenza Agraria e dell'Ambiente*, 57.
- Sangiorgi F., Balsari P., 1995. Aspetti normativi e gestionali connessi con lo smaltimento dei reflui da stabilimenti enologici. Atti. Conv. "Trattamenti reflui da cantina. Aspetti impiantistici ed ambientali" pp. 15-27. *Casteggio*, 3/6/1995.
- Sangiorgi F., Provolo G., Balsari P., Rozzi A., Mapei F., 1996. Reflui da stabilimenti enologici: normative, impianti, supporti alle decisioni. *Riv. Ing. Agr.* 17, 198-205.
- Sanna M., 1982. Antinquinamento delle industrie alimentari. Luigi Scialpi editore, Roma.
- Santoloci M., 2001. Il concetto di "scarichi assimilabili" ai "domestici" nel decreto 152/99, in *Diritto e Giurisprudenza Agraria e dell'Ambiente*, 353.
- Saviozzi A., Levi-Minzi R., Riffaldi R. Lupetti A., 1991. Effetto dello spandimento di acque di vegetazione sul terreno agrario. *Agrochimica*, 35, pp. 135-146.
- 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.
- Smith R., 1995. Water reclamation and reuse. *Water Environmental Res.* 67: 488-495.
- Steffen A.J., 1969. Waste disposal in the meat industry. A comprehensive review, *Proc. Meat. Ind. Res. Conf.* 115-44.
- Stoker H.S., Seager S.L., 1972. *Inquinamento dell'aria e dell'acqua*. Ed. ISEDI, Milano, 204 pp.
- Toccolini A., Senes G., Natalia F., 1998. Gli scenari per il territorio rurale: significato e modalità di costruzione per il territori italiano. Tratto da "Analisi e pianificazione dei sistemi agricolo-forestali mediante GIS", Ed. Franco Angeli, Milano
- Volterra L., 2000. Le problematiche sanitarie. In: *Il riuso delle acque reflue depurate in agricoltura*. Atti workshop, 10 maggio 2000, Bologna: 73-85.
- Wells N., Whitton J.S., 1970. Influence of meatworks effluent on soil and plant composition. *N. Z. J. Agr. Res.* 13(3):494-502.
- 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.
- Zoller U., 1994. Nonionic surfactants in reused water: are activated sludge/soil aquifer treatments sufficient?, *Water Res. (G.B.)* 28: 1625.