



**Tavolo Tecnico Interagenziale
“Gestione Sostenibile Delle Risorse Idriche”**

**MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI AMBIENTALI,
AGRONOMICI E PEDOLOGICI DEL RIUTILIZZO
IN AGRICOLTURA DELLE ACQUE REFLUE
DEPURATE**

(LINEA DI ATTIVITÀ 2)

Arpa Sicilia

DICEMBRE 2006

INDICE

1	PREMESSA	4
1.1	Sperimentazioni	5
1.2	Elementi critici nel riutilizzo dell'acqua per l'irrigazione	7
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	9
3	NORMATIVA NAZIONALE DI POSSIBILE RIFERIMENTO	13
4	IPOTESI DI MONITORAGGIO	14
4.1	Suolo	15
4.2	Acque sotterranee	19
4.3	Procedure di riferimento per il prelievo e l'analisi dei campioni	23
5	ALLEGATO 1	25

Il presente lavoro rappresenta un primo tentativo di esposizione della tematica relativa all'oggetto.
Sarà nostra cura approfondire gli argomenti e soprattutto raccogliere tutti i possibili suggerimenti
e/o osservazioni.

1 PREMESSA

Il riuso delle acque usate, previo adeguato trattamento ed attraverso un sistema di convogliamento e distribuzione che generalmente prescinde da diluizione con acque naturali rappresenta un'importante componente del ciclo delle acque ed è una prassi che sempre più si sta diffondendo. L'attuale interesse nasce da una serie di fattori di natura sociale, economica e tecnica legati alla situazione locale. Il più importante di essi è ovviamente costituito dall'insufficienza delle risorse idriche tradizionali a fronte del crescente peso demografico, dell'aumento dei fabbisogni connesso allo sviluppo economico (industriale, agricolo, civile e turistico) ed ai mutamenti verificatisi nei cicli idrologici.

I casi in cui le acque reflue depurate possono essere opportunamente riutilizzate sono molteplici e si possono raggruppare in:

- Irrigui agricoli: colture industriali, vivai...
- Industriali: raffreddamento, alimentazione di caldaie, acque di processo, preparazione di malte, e controllo delle polveri nei cantieri
- Urbani: alimentazione di servizi igienici, irrigazione di giardini e parchi, irrigazione di impianti sportivi, alimentazione di reti duali, alimentazione di reti antincendio,...
- Ricreativi, di rivalorizzazione e recupero ambientale: alimentazione di aree umide, alimentazione di stagni utilizzati a scopo ricreativo,...

Tra tutte quelle possibili, l'opzione di riutilizzo a scopo irriguo è la più praticata. Principalmente perché c'è possibilità di riutilizzo di grandi portate e i conseguenti risparmi di risorsa primaria appaiono molto significativi. In secondo luogo perché nel caso di reflui provenienti da insediamenti civili, solitamente le acque depurate tal quali presentano un livello di qualità chimico - fisica (ma non microbiologica) già soddisfacente. Infine il riutilizzo a scopo irriguo è spesso visto come ulteriore affinamento dell'acqua che comporta, tra l'altro, la possibilità di recuperare alcune sostanze benefiche per terreno e piante ed inquinanti per i corpi recettori. Tuttavia, allo stesso tempo, un impiego di tali acque sul territorio in modo diffuso come quello che si realizza con l'irrigazione, comporta la possibilità di impatti ambientali e problemi di natura igienico - sanitaria che devono essere valutati e controllati.

Da valutare risulta anche l'aspetto economico: in agricoltura si ricorre solitamente a risorse naturali il cui costo si limita al sollevamento e non sempre è possibile raggiungere i necessari requisiti di qualità mantenendo il costo dell'acqua competitivo con quello delle risorse tradizionali.

Il risparmio idrico attraverso l'incremento del riciclo e del riutilizzo delle acque reflue comincia ad assumere valenza strategica attraverso la legge 5 gennaio 1994 n. 36 art. 5 e con il successivo decreto legislativo 11 maggio 1999 n. 152 artt. 25 e 26.

Il D. Lgs 152/99 prevede che le Regioni adottino norme e misure volte a favorire il riutilizzo delle acque reflue depurate, applicando le migliori tecnologie disponibili ed eseguendo le infrastrutture necessarie per l'adeguamento dei sistemi depurativi esistenti.

Il riutilizzo delle acque nel suo complesso oltre ad avere rilevanti impatti di ordine economico (adeguamento degli impianti) e sociale (comunicazione ed informazione agli utenti) determina un importante impatto anche dal punto di vista ecologico. Per tali motivi la presente relazione costituisce una proposta per l'adozione di linee guida per le attività di monitoraggio al fine di verificare i parametri chimico-fisici e microbiologici delle acque reflue recuperate che vengono distribuite per una successiva valutazione degli effetti ambientali, agronomici e pedologici del riutilizzo, così come previsto dall'art. 11 del D.M. 185 del 12/06/2003. Infatti, secondo tale Decreto, il riutilizzo deve avvenire in condizioni di sicurezza ambientale, evitando alterazioni agli ecosistemi, al suolo ed alle colture, nonché rischi igienico-sanitari per la popolazione. Inoltre, il

riutilizzo irriguo deve essere realizzato con modalità che “assicurino il risparmio idrico”. I limiti di qualità per le acque riutilizzabili in irrigazione sono molto attenti verso gli aspetti sanitari ma occorre prestare molta attenzione anche per tutti i problemi che si potrebbero avere nei confronti delle colture e del terreno, nonché sulla stessa funzionalità degli impianti irrigui.

L'utilizzo delle acque reflue a scopo irriguo è associato ad un insieme di complessi effetti diretti ed indiretti, positivi e negativi che agiscono su suolo, piante, acque sotterranee e superficiali, ambiente circostante e sull'uomo stesso, secondo processi che evolvono nel tempo e nello spazio.

Tra gli effetti positivi possiamo includere:

- possibile incremento di produzione (e di occupazione) per aumento delle aree coltivate irrigabili;
- possibile riduzione dei costi di produzione a seguito del riutilizzo dei nutrienti contenuti nei reflui depurati e la conseguente riduzione della fertilizzazione chimica.

Tra gli effetti negativi si annoverano:

- rischio infettivo e rischio di tossicità per uomini ed animali in conseguenza del contenuto dei microrganismi patogeni e di alcune sostanze organiche o inorganiche;
- riduzione della possibilità di utilizzo dei corpi idrici, in particolare nel caso delle acque sotterranee che possono venire inquinate a seguito dell'infiltrazione nel sottosuolo dell'acqua in eccesso al fabbisogno delle colture;
- possibile limitazione all'uso di aree ricreative irrigate al fine di limitare i rischi igienico-sanitari.

È evidente che una valutazione qualitativa e quantitativa dei vari effetti si traduce in un'indagine molto ampia ed a carattere fortemente interdisciplinare, che può richiedere anche lunghi periodi di tempo per essere completata.

La protezione e la salvaguardia della salute deve essere un obiettivo prioritario di ogni programma di riutilizzo delle acque.

Nelle acque reflue, infatti, vi è la presenza di un elevatissimo numero di microrganismi, alcuni dei quali patogeni per l'uomo, e di sostanze potenzialmente tossiche. Il contatto con queste acque sia esso diretto (ingestione, inalazione) che indiretto (per esempio attraverso il consumo di prodotti nel cui ciclo di produzione sia previsto il riutilizzo) da parte dei lavoratori o della popolazione in genere, potrebbe essere causa di malattie o intossicazione ed è necessario, pertanto, adottare tutte le misure possibili affinché tale rischio venga minimizzato. Gli obiettivi da raggiungere per la protezione della salute pubblica sono sostanzialmente tre:

- 1) riduzione della concentrazione delle specie patogene di batteri, virus enterici e parassiti;
- 2) controllo dei composti chimici presenti nelle acque;
- 3) limitazione delle possibilità di esposizione del pubblico alle acque reflue.

Tuttavia, indirettamente, possono insorgere problemi di accumulo nell'ambiente ed in particolare nelle colture. Nel caso di alcuni composti (tipici esempi sono i metalli pesanti, i pesticidi ed altre classi di composti lentamente biodegradabili) l'accumulo può essere tale da incrementare i rischi di tumore, mutagenicità e teratogenicità.

1.1 Sperimentazioni

Nel corso delle varie esperienze condotte negli anni passati in Italia e non solo, sono stati effettuati confronti tra diversi tipi di acqua riutilizzata, di irrigazione, di fertilizzazione, verificando poi una serie di parametri sulle piante (ad es. crescita totale e sua ripartizione tra chioma e radici). Dall'insieme di queste ricerche si è visto che generalmente:

1. l'acqua reflua può certamente essere impiegata per l'irrigazione in vivaio; le specie utilizzate hanno nel complesso manifestato una capacità di adattamento notevole ad acque con caratteristiche chimico-fisiche ben lontane dai normali standard;

2. è stato rilevato un effetto fertilizzante notevole da parte dei reflui; ciò significa che questi rappresentano una risorsa aggiuntiva di rilievo;
3. è molto importante il tipo di refluo utilizzato: sembra che i reflui urbani depurati possano essere impiegati con relativa tranquillità, mentre per i reflui di tipo industriale è necessaria una maggiore prudenza.

Ma è anche necessario

- verificare la compatibilità dell'impiego dei reflui depurati con le esigenze agronomiche ed igieniche delle produzioni agricole;
- valutare gli apporti effettivi delle sostanze nutritive alle colture attraverso un costante controllo analitico al fine di adeguare il piano di concimazione;
- valutare gli effetti sul sistema ambientale;
- individuare metodologie e tecniche per un corretto uso dei reflui a fine irriguo: la tipologia di irrigazione (es.: sovrachiuma, localizzata o subirrigazione) dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche dei reflui e dalle condizioni pedologiche. A tal proposito, particolarmente utile risulta l'utilizzo degli impianti di irrigazione a goccia, che limitano i fenomeni di percolazione in profondità dell'acqua irrigua grazie ai turni frequenti ed ai bassi volumi degli adacquamenti.

Formattati: Elenchi puntati e numerati

Diversificate sono state le valutazioni ottenute dalle varie sperimentazioni. Queste si possono raggruppare in:

Valutazioni agronomiche. Generalmente l'uso irriguo dei reflui civili depurati risulta compatibile con le esigenze fisiologiche dei sistemi colturali. Infatti è stato riscontrato nella quasi totalità dei casi un importante aumento della produttività che si accompagna a significativi risparmi nell'impiego di fertilizzanti (azoto, fosforo e potassio), in relazione agli apporti nutritivi contenuti nel refluo distribuito. A tal proposito è utile sottolineare che il controllo degli elementi apportati attraverso l'impiego delle acque reflue insieme al risparmio delle quantità di fertilizzanti permetta una più razionale gestione nel ciclo pianta-terreno, evitando una dispersione di nitrati sul suolo e di conseguenza nelle falde.

Valutazioni igienico-sanitarie. I risultati ottenuti dalle sperimentazioni condotte conducono ad asserire che la qualità igienica del suolo è condizionata dall'acqua di irrigazione. La contaminazione fecale risulta generalmente abbastanza debole e non è sembrata in grado né di migrare lungo il profilo, né di diffondersi al di là dell'area interessata dall'irrigazione.

Le analisi effettuate sui prodotti delle colture mettono in evidenza la completa assenza di contaminazione fecale quando il prodotto viene raccolto dalla pianta, mentre si riscontra una leggera e non preoccupante contaminazione per il prodotto raccolto al suolo: le analisi di Coliformi totali e fecali e streptococchi sui frutti raccolti da piante irrigate con acque reflue risultano essere dello stesso ordine di grandezza di quelli rilevati sui prodotti provenienti da piante irrigate con i sistemi tradizionali (es. acque di falda). Gli stessi prodotti messi a confronto con altri acquistati presso punti vendita della grande distribuzione evidenziano la piena idoneità del prodotto ottenuto con l'impiego irriguo delle acque reflue. Generalmente è consigliabile effettuare l'ultima irrigazione in un periodo (es. un mese prima della raccolta, se possibile) necessario per l'abbattimento della contaminazione fecale.

Valutazioni ambientali

- Riduzione dei prelievi di falda: l'impiego delle acque in uscita dal depuratore permette generalmente un risparmio considerevole sugli attingimenti di acque sotterranee: un aspetto da non trascurare specie in aree caratterizzate da intrusione salina di origine marina. In molti casi la quantità di acque reflue utilizzate per l'irrigazione risultano sufficienti per soddisfare interamente il fabbisogno irriguo delle colture;
- valorizzazione di volumi non trascurabili di acqua depurata, altrimenti destinata allo scarico in mare o in altri corpi idrici, nei quali tale scarico provoca un peggioramento della qualità delle acque;

- diminuzione della quantità di fertilizzanti minerali distribuite alle colture, per effetto della valorizzazione dei composti organo-minerali presenti nel refluo
- la contabilizzazione nei piani di concimazione degli elementi nutritivi contenuti nei reflui rappresenta una sistema di controllo, che consente di evitare apporti incontrollati di nitrati nel suolo e nelle acque.

1.2 Elementi critici nel riutilizzo dell'acqua per l'irrigazione

I fattori più importanti per determinarne l'idoneità di utilizzo agricolo delle acque reflue sono i seguenti:

- pH
- Pericolo di salinità
- Pericolo di sodio (Rapporto di assorbimento del sodio o SAR)
- Carbonati e bicarbonati in relazione al contenuto di Ca e Mg
- Altri elementi in tracce
- Anioni tossici
- Nutrienti
- Cloro libero

Alcuni di questi sono di seguito specificati

Salinità

L'eccesso di contenuto salino è una dei problemi principali dell'acqua usata per l'irrigazione. Un'alta concentrazione di sale presente nell'acqua e nel terreno influenza negativamente i rendimenti del raccolto, degrada il terreno ed inquina l'acqua freatica.

L'idoneità alla riutilizzazione dell'acqua per irrigazione ad elevato contenuto salino dipende da alcuni fattori quali:

- Tolleranza del sale da parte del tipo di raccolto,
- Caratteristiche del terreno irrigato,
- Condizioni climatiche. La qualità dell'acqua di irrigazione svolge un ruolo essenziale nelle zone aride influenzate da alti tassi di evaporazione e da concentrazioni elevate di sali accumulati nel terreno.
- Pratiche di gestione delle acque e del terreno

Generalmente, nel breve termine, il risultato agronomico dell'irrigazione da acque con elevato contenuto salino è soddisfacente e non si osservano effetti negativi sul suolo e sulle colture.

Nel lungo termine, tuttavia, possono manifestarsi una serie di problemi di carattere ambientale, tra i quali:

- la riduzione della produttività del suolo per accumulo di sali;
- l'inquinamento degli acquiferi da sali oltre che da altre sostanze inquinanti;

Il deterioramento del suolo è indubbiamente l'effetto negativo più noto della pratica irrigua, e si manifesta direttamente sui suoli agricoli. L'acqua persa per evapotraspirazione è infatti essenzialmente pura, per cui i sali apportati con l'acqua d'irrigazione, anche se dolce, si concentrano nel suolo. Se i sali accumulati, poi, non vengono allontanati per lisciviazione nelle acque di drenaggio, e l'irrigazione continua nel tempo, il progressivo accumulo renderà via via più grave il disturbo osmotico e l'effetto tossico di alcuni ioni nei confronti delle colture fino all'isterilimento del suolo. I problemi di salinizzazione secondaria sono naturalmente accentuati quando si utilizzano acque dure, o in presenza di una falda salina superficiale, nei suoli con problemi di conducibilità idraulica e di drenaggio, nelle regioni aride e semiaride in cui all'elevato flusso evapotraspirativo si associa la ridotta piovosità. Il degrado del suolo risulta quanto mai rapido ed irreversibile quando si utilizzano acque ad elevato contenuto in sodio o se si pratica l'irrigazione su terreni costituzionalmente sodici. Il rapido deterioramento strutturale che si manifesta in questi casi, particolarmente nei terreni colloidali, può rendere impraticabile la stessa agricoltura.

Rapporto di assorbimento del sodio o SAR

Il Sodio non è mobile in forma solida, sebbene assorba l'umidità molto rapidamente. Una volta liquido l'idrossido di sodio percola rapidamente nel suolo, potendo causare l'inquinamento delle riserve idriche.

Un'alta concentrazione di ioni sodio in acqua interessa la permeabilità del terreno e causa problemi di infiltrazione. Ciò avviene perché il sodio una volta presente nel terreno in forma scambiabile sostituisce il calcio ed il magnesio assorbiti dall'argilla del terreno e causa la dispersione delle particelle del suolo.

Tale dispersione provoca la ripartizione degli aggregati del terreno. Il terreno diventa duro e compatto una volta asciutto e riduce le velocità di infiltrazione di acqua e aria nel terreno danneggiandone la relativa struttura.

Questo fenomeno è anche legato a numerosi fattori quali il tasso di salinità ed il tipo di terreno. Per esempio i terreni sabbiosi non possono essere danneggiati così facilmente come altri terreni più pesanti quando sono irrigati con acqua ad elevato SAR.

Le alte concentrazioni di sodio diventano un problema quando il tasso di infiltrazione è ridotto ad un livello tale che il raccolto non ha abbastanza acqua disponibile o quando la conducibilità idraulica del profilo del terreno è troppo bassa per fornire un drenaggio sufficiente.

Altri problemi causati al raccolto da un eccesso di sodio sono la formazione di letti di semi incrostati, la saturazione provvisoria del terreno superficiale, un alto pH ed un potenziale aumentato di malattie, erbacce, erosione del terreno, mancanza di ossigeno e inadeguata disponibilità di sostanze nutrienti.

Pericolo da bicarbonati per l'acqua di irrigazione

Alte concentrazioni di carbonato (CO_3^{2-}) e di bicarbonato (HCO_3^-) aumentano l'indice di SAR (circa $> 3-4$ mEq/L o $> 180-240$ mg/L). Questo avviene perché gli ioni del carbonato e del bicarbonato combinati con il calcio o il magnesio precipitano sottoforma di calcio carbonato (CaCO_3) o carbonato di magnesio (MgCO_3) quando la soluzione si concentra nel suolo in condizioni aride.

La concentrazione relativa di Ca e Mg diminuisce relativamente al Sodio e l'indice SAR sarà più grande. Ciò causerà un effetto di alcalinizzazione ed aumenterà il pH. Di conseguenza quando le analisi dell'acqua indicano un livello elevato di pH, può essere un segno di un contenuto elevato di ioni bicarbonato e carbonato.

Un'alternativa è misurare il contenuto di sodio in relazione al Mg e Ca, ossia con l'RSC (Carbonato di Sodio Residuale).

Nutrienti

Lo sviluppo della biomassa oltre che dalla luce è spesso dipendente dalla disponibilità di determinate sostanze nutrienti essenziali per lo sviluppo. Se la disponibilità di queste sostanze nutrienti aumenta può essere previsto un aumento di biomassa approssimativamente proporzionale all'aumento nell'apporto nutritivo.

Un elenco degli elementi chimici essenziali per le piante è indicato in tabella 1:

Tabella 1: Macro e micro-nutrienti essenziali per le piante

Elementi macronutrienti essenziali	Simbolo	Micronutrienti essenziali (elementi in tracce)	Simbolo
Ossigeno	O	Ferro	Fe
Carbonio	C	Manganese	Mn
Azoto	N	Rame	Cu
Idrogeno	H	Zinco	Zn
Fosforo	P	Boro	B
Zolfo	S	Silicio	Si
Potassio	K	Molibdeno	Mo
Magnesio	Mg	Cloro	Cl
Calcio	Ca	Vanadio	V
		Cobalto	Co
		Sodio	Na

Carbonio, Idrogeno e Ossigeno sono necessari in più grandi quantità, ma questi elementi si ricavano immediatamente da H₂O (idrogeno) e da CO₂ (carbonio ed ossigeno). I macronutrienti rappresentano normalmente una concentrazione di 1000 ppm nelle piante mentre i micronutrienti sono contenuti in livello di 500 ppm o meno. L'alta concentrazione di tali micronutrienti può essere tossica per le piante.

Elementi in tracce

In tabella 2 sono elencati alcuni elementi che risultano potenzialmente nocivi:

Tabella 2: Elementi potenzialmente nocivi

Gruppo	Elementi	
Potenzialmente nocivi all'uomo, bioaccumulo in piante o animali	Cadmio Piombo	Mercurio Nichel
Bioaccumulo nel bestiame e fitotossicità	Cobalto Rame Fluoruri	Ferro Molibdeno
Bioaccumulo nelle piante e fitotossicità	Boro Manganese	Zinco
Nessun effetto su piante o animali ma potenzialmente nocivi per l'uomo o accumulabili nei suoli	Antimonio Arsenico Selenio Argento Tungsteno	Berillio Cromo Tallio Stagno

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Fermo restando che relativamente ai valori limite delle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero la normativa nazionale sul riutilizzo delle acque reflue fa riferimento al già citato Decreto Ministeriale n. 185/2003 (v. allegato 1), relativamente agli effetti ambientali, agronomici e pedologici è stata presa in considerazione la normativa di alcuni paesi che utilizzano già da tempo le acque reflue per vari scopi.

Nel 1992 l'“Environmental Protection Agency” (EPA), l'agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente, ha pubblicato un documento sul riuso delle acque dove vengono, tra l'altro, proposte delle linee guida per il riutilizzo delle acque (tabella 3). Si tratta di un documento che raccoglie anche i risultati di numerose esperienze condotte nei vari anni negli USA. Le linee guida riguardano diverse opzioni di riuso: urbano, irrigazione di aree ad accesso limitato, irrigazione di prodotti commestibili, irrigazione di prodotti non commestibili, alimentazione di aree umide a scopo

ricreativo, alimentazione di aree umide di valore paesaggistico, industriale, ambientale, ricarica delle falde, potabile indiretto e nei cantieri.

L'intento di tali linee guida è quello di fornire un punto di riferimento per l'implementazione di progetti di riuso, in particolare per quegli Stati che risultano sprovvisti di regolamentazione.

Si tratta di un documento che non ha valore di legge, ma che data l'ampia esperienza dell'EPA in tutti i settori della protezione ambientale ha un'elevata valenza scientifica e tecnica.

Le linee guida proposte devono essere considerate valide per acque reflue depurate nel caso di limitata presenza di scarichi industriali. I valori proposti sono il risultato di:

- esperienze di riuso negli USA;
- dati derivanti da ricerche ed esperienze pilota;
- informazioni di letteratura;
- le politiche di riuso e regolamentazioni dei vari Stati;
- pratica ingegneristica.

Tabella 3: Linee Guida proposte dall'EPA

TIPO DI USO	TRATTAMENTO	STANDARD DI QUALITÀ	FREQUENZA DI MONITORAGGIO	DISTANZE DI RISPETTO
Irrigazione di aree ad accesso limitato Colture da sementa, silvicoltura ed altre dove l'accesso al pubblico è proibito, regolamento o infrequente	<ul style="list-style-type: none"> • Secondario • Disinfezione 	<ul style="list-style-type: none"> • pH = 6 -9 • BOD ≤ 30 mg/l • TSS ≤ 30 mg/l • Coli Fecali/100ml ≤ 200 • Cl₂ residuo minimo=1 mg/l 	<ul style="list-style-type: none"> • pH - Settimanale • BOD - Settimanale • TSS - Continuo • Coli Fecali - Giornaliero • Cl₂ residuo - Continuo 	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m da pozzi adibiti al prelievo per uso potabile • Nel caso di Irrigazione a pioggia rispettare la distanza di 30 m da aree accessibili al pubblico
Irrigazione di prodotti alimentari che possono essere consumati crudi Irrigazione superficiale o spray di ogni coltura comprese quelle che possono essere consumate crude.	<ul style="list-style-type: none"> • Secondario • Filtrazione • Disinfezione 	<ul style="list-style-type: none"> • pH = 6 -9 • BOD ≤ 10 mg/l • Torbidità ≤ 2 NTU • Coli Fecali/100ml = 0 • Cl₂ residuo minimo=1 mg/l 	<ul style="list-style-type: none"> • pH - Settimanale • BOD - Settimanale • Torbidità - Continuo • Coli Fecali - Giornaliero • Cl₂ residuo - Continuo 	<ul style="list-style-type: none"> • 15 m da pozzi adibiti al prelievo di acqua potabile
Irrigazione di prodotti alimentari commercialmente processati Irrigazione di frutteti e vigneti	<ul style="list-style-type: none"> • Secondario • Disinfezione 	<ul style="list-style-type: none"> • pH = 6 -9 • BOD ≤ 30 mg/l • TSS ≤ 30 mg/l • Coli Fecali/100ml ≤ 200 • Cl₂ residuo minimo=1 mg/l 	<ul style="list-style-type: none"> • pH - Settimanale • BOD - Settimanale • TSS - Continuo • Coli Fecali - Giornaliero • Cl₂ residuo - Continuo 	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m da pozzi adibiti al prelievo per uso potabile • Nel caso di irrigazione a pioggia rispettare la distanza di 30 cm da aree accessibili al pubblico
Irrigazione di prodotti non alimentari Colture da foraggio, colture da sementa, colture da fibra	<ul style="list-style-type: none"> • Secondario • Disinfezione 	<ul style="list-style-type: none"> • pH = 6 -9 • BOD ≤ 30 mg/l • TSS ≤ 30 mg/l • Coli Fecali/100ml ≤ 200 • Cl₂ residuo minimo=1 mg/l 	<ul style="list-style-type: none"> • pH - Settimanale • BOD - Settimanale • TSS - Giornaliero • Coli Fecali - Giornaliero • Cl₂ residuo - Continuo 	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m da pozzi adibiti al prelievo per uso di acqua potabile • Nel caso di irrigazione a pioggia rispettare la distanza di 30 cm da aree accessibili al pubblico

La FAO nel quaderno ID29, riporta anche una sintesi degli studi e delle conoscenze disponibili riguardo agli effetti nocivi ed alle soglie di fitotossicità di molti metalli pesanti e dei macro- e meso-nutrienti. Le informazioni contenute nel quaderno 29 rimangono a tutt'oggi valide e solo parzialmente modificate od integrate dagli studi sul bioaccumulo in corso da oltre un decennio.

Le caratteristiche qualitative delle acque irrigue consigliate dalla FAO sono riportate di seguito:

Tabella 4 : Linee guida FAO per la qualità dell'acqua irrigua (1985)

Problema potenziale				Nessuno	Moderato	Severo
Infiltrazione	SAR =	0-3,0	e EC _w *=	>0,7	0,7-0,2	<0,2
		3,0-6,0		>1,2	1,2-0,3	<0,3
		6,0-12,0		>1,9	1,9-0,5	<0,5
		12,0-20,0		>2,9	2,9-1,3	<1,3
		20,0-40,0		>5,0	5,0-2,9	<2,9
				Effetti sulle colture		
Salinità			EC _w =	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Tossicità	Sodio		SAR	<3,0	3,0-9,0	>9,0
	Cloro		meq/l	>4,0	4,0-10,0	>10,0
	Boro		meq/l	<0,7	0,7-3,0	>3,0
pH	Range ottimale			6,5-8,4		

*EC_w=Conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione

Tabella 5: Modifiche alle Linee guida FAO per la qualità dell'acqua irrigua (AA:VV)

Problema potenziale				Nessuno	Moderato	Severo	
Infiltrazione	SAR =	0-3,0	e EC _w =	>0,7	0,7-0,2	<0,2	
		(mmole/l) ^{0,5}		3,0-6,0	>1,2	1,2-0,3	<0,3
				6,0-12,0	>1,9	1,9-0,5	<0,5
				12,0-20,0	>2,9	2,9-1,3	<1,3
				20,0-40,0	>5,0	5,0-2,9	<2,9
				Effetti sulle colture			
Salinità			EC _w =	<0,7	0,7-3,0	>3,0	
Tossicità							
Irrigazione superficiale	Sodio		SAR	<3,0	3,0-9,0	>9,0	
	Cloro		mg/l	<140	140-350	>350	
	Boro		mg/l	<0,7	0,7-3,0	>3,0	
Aspersione	Sodio		SAR	<70	>70		
	Cloro		mg/l	<100	>100		
	Boro		mg/l	<0,7	0,7-3,0	>3,0	
Soprachioma	Bicarbonato		mg/l	<90	90-500	>500	
	Cl ₂ residuo		mg/l	<1	1,0-5,0	>5	
Qualità della coltura/Protezione delle falde	Azoto totale		mg/l	<5	5,0-30,0	>30	
pH				<8,5	>8,5		

Per la lettura delle tabelle precedenti si parte dalla identificazione del problema potenziale (infiltrazione, salinità, tossicità e pH), di seguito si definisce il range del primo parametro, se presente, conseguentemente si identifica il valore di riferimento del secondo parametro, nella colonna di classificazione del livello di rischio.

Ad esempio per il problema potenziale infiltrazione, considerando il SAR dell'acqua 6-12, si avranno moderati effetti d'infiltrazione dell'acqua nel suolo se la corrispondente conducibilità elettrica sarà nel range 1,9-0,5 dS/m.

Il suolo, specie se irrigato con acque reflue depurate, rappresenta il ricettore ultimo ed il principale punto di accumulo degli inquinanti, come ad esempio molecole organiche di sintesi e metalli pesanti. È quindi nei suoli che si dovrà monitorare l'effetto dell'irrigazione con acque reflue. L'analisi dell'accumulo e la definizione delle soglie massime possono essere calcolati con il modello proposto da Chang (1995), che fornisce le soluzioni numeriche riportate in tabella 6.

Tabella 6: Massima concentrazione di inquinanti nel suolo

Elemento o Composto	Concentrazione nel suolo (mg kg ⁻¹ SS)	Elemento o Composto	Concentrazione nel suolo (mg kg ⁻¹ SS)
Inorganici		Organici	
Ag	3	Al drin	50
As	9	Benzene	9
Ba	2900	Benzo(a)pirene	ND
Be	20	Clorodane	30
Cd	7	Clorobenzene	320
Cr	3200	Cloroformio	30
F	2600	Diclorofenoli	4
Hg	5	2,4-D	250
Ni	850	DDT	2
Pb	150	Dieldrin	480
Se	140	Eptachlor	0,6
		Esaclorobenzene	20
		Esacloroetano	ND
		Pirene	0,03
		Lindano	1
		Methoxychlor	40
		Pentaclorofenolo	ND
		PCBs	2
		Tetracloroetano	ND
		Tetracloroetilene	10
		Toluene	0,2
		Toxaphene	0,03
		2,4,5-T	3
		2,3,7,8 TCDD	0,3

Gli studi condotti da Singh (1996) riguardano, in particolare, la salinità delle acque e dei suoli e l'elevato rischio rappresentato dall'accumulo dei Sali nei terreni agricoli.

In particolare sono disponibili due soglie per definire il livello di rischio: il SAR (Sodium Adsorption Ratio), e il RSC (Residual Sodium Carbonate). Le soglie proposte da Singh sono riportate in tabella 7:

Tabella 7: Limiti di SAR e RSC accettabili per le acque irrigue (Singh, 1996)

Tessitura (% Argilla)	SAR (mmole/l ^{0,5})	RSC (meq/l)
Fine (>30%)	10	2,5-3,5
Medio Fine (20-30%)	10	3,5-5,0
Medio Grossolana (10-20%)	15	5,0-7,5
Grossolana (<10%)	20	7,5-10,0

I valori di SAR sono comparabili con quelli delle altre proposte di soglia di qualità dell'acqua da impiegarsi nell'irrigazione.

Il RSC viene calcolato nel seguente modo:

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg) \text{ in meq/l}$$

Con valori di RSC < 2,5 meq/l l'acqua si definisce salina e causa problemi alle colture, ma non ai suoli, per il contenuto in TDS e per i suoi effetti sul potenziale matriciale del suolo.

Valori di RSC > 2,5 meq/l (c di ECw < 4,0 dS m⁻¹) classificano l'acqua come Alcalina o Sodica e si osservano danni alla struttura del suolo per l'elevato contenuto di sodio.

In seguito ad un attento monitoraggio degli accumuli di metalli pesanti nei suoli diverrebbe possibile anche la valutazione del Bioaccumulo degli stessi nelle parti eduli delle colture e, quindi,

del potenziale rischio verso la salute del consumatore rappresentato dall'utilizzo di acque reflue ai fini irrigui. Partendo dal contenuto nel suolo di un elemento è possibile calcolarne il coefficiente di trasferimento nella produzione. Per diverse colture agrarie i coefficienti sono stati calcolati e da Sauerbeck e Iubben nel 1991. Il fattore di accumulo di metalli pesanti nella sostanza delle parti eduli varia notevolmente in funzione della coltura, i valori estremi delle tabelle di Sauerbeck e Iubben sono riportati di seguito:

Tabella 8: Coefficiente di Bioaccumulo nelle parti eduli delle colture (SS) di alcuni metalli pesanti (Sauerbeck Iubben,1991)

Coefficiente di Bioaccumulo	
Elemento	Range di accumulo
Cd	0,01-6,0
Cr	0,1-4,0
Cu	0,01-0,4
Ni	0,05-0,5
Pb	0,001-0,1
Zn	0,001-0,01

Se si considera, a titolo di esempio, un suolo alla metà della sua soglia massima di accumulo di Cd, applicando le tabelle di Chang, avremo un valore di circa 1500 ppm dell'elemento. Se su questo suolo si coltiva una coltura di spinacio secondo le tabelle di Sauerbeck e Iubben il bioaccumulo di cadmio nelle parti eduli sarà di circa 9000 ppm sul secco, che corrispondono ad un valore di circa 1800 ppm sul fresco. Se si fa riferimento alla LOAEL (Lowest Observable Adverse Effect Level) che individua in 0,02 g/kg di peso corporeo il livello di tossicità acuta dell'elemento, per un bambino di 15 kg di peso saranno sufficienti circa 1,2 g / giorno di Cd ingerito per scatenare vomito, diarrea e disturbi gastrointestinali. Una porzione di 50 g degli spinaci coltivati nelle condizioni ipotizzate è da sola sufficiente a coprire il 30% della LOAEL del bambino. La tossicità cronica, essendo un effetto di accumulo, prevede dosi giornaliere molto più basse che facilmente possono essere coperte in toto dal Cd contenuto nella porzione di spinaci. Paradossalmente, trattandosi di accumulo nei suoli, questo può verificarsi anche se sono state sempre rispettate le norme vigenti nei diversi paesi per il riutilizzo di acque reflue in agricoltura: in nessun caso infatti si tiene conto del livello di metalli pesanti nel suolo (dotazione naturale + apporti di diversa origine + apporti da acque reflue) ma solo talvolta del contenuto nelle acque.

3 NORMATIVA NAZIONALE DI POSSIBILE RIFERIMENTO

Per quanto attiene gli aspetti ambientali, agronomici e pedologici, la situazione si presenta abbastanza complessa. Un primo riferimento potrebbe essere costituito dalla normativa e dalla prassi in uso per il riutilizzo dei fanghi in agricoltura. La norma nazionale che definisce le condizioni che devono essere verificate per l'utilizzazione dei fanghi in agricoltura è il D.Lgs. n. 99 del 27 gennaio 1992, che recepisce la direttiva comunitaria 86/278/CEE. Il Decreto, in particolare, fissa:

- valori limite di concentrazione per alcuni metalli pesanti che devono essere rispettati nei suoli e nei fanghi;
- caratteristiche agronomiche e microbiologiche dei fanghi (limiti inferiori di concentrazione di carbonio organico, fosforo e azoto totale, nonché valori massimi di salmonella);
- quantità massime dei fanghi che possono essere applicati sui terreni.

Può essere significativo il contributo derivante dal D.M. n. 471 del 25/10/1999 "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive

modificazioni e integrazioni”, per la scelta dei parametri, limiti, modalità e frequenza di campionamento della qualità dei suoli, acque e sottosuoli agricoli destinati all'utilizzazione delle acque reflue depurate e di conseguenza l'impatto ambientale prima, agronomico e pedologico poi che le stesse hanno nei siti di utilizzazione seppure bisogna considerare che i siti cui si fa riferimento non sono comunque siti inquinati o comunque da bonificare.

Per finire, occorre tenere presente il Decreto MiPAF del 19 aprile 1999 riguardante l'approvazione del “Codice di buona pratica agricola” in attuazione della Direttiva CEE 91/676 relativa alla protezione dalle acque dall'inquinamento da nitrati di origine agricola. Obiettivo principale del CBPA rimane pertanto quello di contribuire a ridurre l'impatto ambientale dell'attività agricola attraverso un'attenta gestione del bilancio dell'azoto.

4 IPOTESI DI MONITORAGGIO

In particolare come citato nel DM 185/2003 per l'utilizzo agricolo il controllo sul recettore, consiste nel monitoraggio degli effetti ambientali, agronomici e pedologici.

Gli obiettivi del monitoraggio si possono riassumere nel modo seguente:

- individuare metodologie e tecniche per un corretto impiego dei reflui;
- determinare gli apporti di sostanze nutritive per le colture e l'entità delle eventuali riduzioni nell'impiego dei fertilizzanti;
- verificare la compatibilità dell'impiego dei reflui depurati con le caratteristiche igienico-sanitarie delle produzioni agricole;
- valutare gli effetti sull'ambiente dell'uso di reflui per l'irrigazione

Un programma di monitoraggio potrebbe prevedere un controllo qualitativo delle acque rigenerate prima della distribuzione e nelle parcelle irrigue, con analisi sul suolo irrigato e sui frutti.

Nel seguito vengono elencati i possibili controlli che possono essere effettuati negli stessi laboratori dell'impianto di depurazione:

- 1) Analisi in uscita dal trattamento terziario;
- 2) Analisi alle parcelle irrigue (all'utenza più vicina e a quella più distante dall'impianto e in altri punti di campionamento da stabilire);
- 3) Analisi del suolo e dei frutti.

1) Le analisi in uscita dal trattamento terziario sono già state individuate dal DM 185/2003

2) Le analisi alle parcelle irrigue (all'utenza più vicina e a quella più distante dall'impianto e in altri punti di campionamento da stabilire) possono essere di tipo:

- Microbiologiche (coli fecali, coli totali, streptococchi fecali);
- Chimiche (cloro/acido peracetico residuo, COD, SAR, solidi sospesi);

3) Analisi del suolo:

- Analisi chimiche e microbiologiche, a cadenza bisettimanale delle acque reflue utilizzate per l'irrigazione. Se esistente un filtro per l'impianto di irrigazione (ad esempio per la microirrigazione) potrebbe essere plausibile effettuare un prelievo anche dopo il filtro per verificarne l'azione sulla flora batterica;
- Analisi chimica e microbiologica delle acque normalmente usate per l'irrigazione aziendale prelevate all'inizio ed alla fine della stagione irrigua;

- Analisi chimico-fisiche dei suoli su campioni prelevati all'inizio ed alla fine della stagione irrigua come ad es.:
 - pH
 - Sostanza organica (%)
 - Carbonio organico (%)
 - Azoto totale (%)
 - Fosforo assimilabile (ppm P₂O₅)
 - Sodio assimilabile (mEq/100gr Na)
 - Potassio assimilabile (mEq/100gr K₂O)
 - Sabbia (%)
 - Limo (%)
 - Argilla (%)
- Analisi microbiologiche del terreno su campioni prelevati all'inizio ed alla fine della stagione irrigua:
 - Coliformi totali (UFC/100 ml)
 - Coliformi fecali (UFC/100 ml)
 - Streptococchi fecali (UFC/100 ml)

Le analisi sui suoli dovrebbero essere effettuate a inizio e fine stagione irrigua per valutare eventuali fenomeni di modifica nella struttura chimica e fisica (possibile accumulo di metalli pesanti, aumento di salinità, ecc.)

4) Analisi dei prodotti agricoli:

- Analisi microbiologiche dei prodotti agricoli (es. frutti) al momento della raccolta (avvenuta in tre momenti diversi del ciclo colturale) e dopo uno stoccaggio di 7-13 giorni:
 - Coliformi totali (UFC/100cm²)
 - Coliformi fecali (UFC/100 cm²)
 - Streptococchi fecali (UFC/100 cm²)
 - Presenza di Salmonella
 - Presenza di Vibrioni
 - Presenza di uova di elminti
- 5) Se le acque reflue depurate sono destinate all'irrigazione di spazi verdi aperti al pubblico (campi da golf, giardini, aiuole) si potrebbero prevedere analisi microbiologiche sull'erba;
- 6) Controllo e monitoraggio su eventuali modificazioni delle caratteristiche fisico-chimiche del suolo, non rilevate nel breve periodo della sperimentazione eseguita.

Nei paragrafi che seguono è stata descritta in maggiore dettaglio un'ipotesi di monitoraggio per le matrici "suolo" e "acque sotterranee". Il presente documento, in ogni caso, necessita di ulteriori studi ed approfondimenti e stabilire, eventualmente, anche attraverso i risultati di sperimentazioni ad hoc, i limiti dei parametri chimico-fisici e microbiologici da ricercare.

4.1 Suolo

La pubblicazione del Decreto Ministeriale n. 471 del 25 ottobre 1999 "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22 e successive modifiche e integrazioni" introduce per la prima volta in Italia i valori di concentrazioni limite accettabili nel suolo e nel sottosuolo, riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare. L'allegato 1 del suddetto Regolamento elenca per il suolo 94 sostanze, o gruppi di sostanze, per le quali fissa due valori di concentrazione limite accettabili nel suolo e nel sottosuolo, uno per i siti

destinati ad uso verde pubblico, privato e residenziale, l'altro per i siti ad uso commerciale ed industriale. Tuttavia, il Regolamento non definisce valori di concentrazione limite per suoli ad uso agricolo, demandando tale definizione ad appositi atti del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali. In questa sede, ovviamente, non trattandosi di suoli ricadenti in siti inquinati o comunque da bonificare sono stati presi in considerazione solo alcuni parametri chimico-fisici.

Alcuni degli analiti compresi nelle tabelle sono di uso comune, e vengono determinati con una certa frequenza dai laboratori sia in campioni di acque, sia di suoli; molti degli analiti, soprattutto organici, sono determinati più raramente nelle acque e quasi mai nei suoli.

Inoltre, sono stati introdotti alcuni parametri non previsti dal regolamento ma che si ritiene siano di importante rilevanza pedologica.

Così come previsto dal Regolamento, inoltre, non si richiede, nella totalità dei siti in esame, che le analisi chimiche siano condotte sulla lista completa delle sostanze presenti in Tabella; per ogni sito, sulla base delle attività pregresse, della caratterizzazione specifica e di ogni altra fonte di informazione, l'autorità competente seleziona, tra le sostanze indicate in tabella, "sostanze indicatrici" che permettano di definire in maniera esaustiva l'estensione, il tipo di inquinamento e il rischio posto per la salute pubblica e l'ambiente.

Nelle fasi di campionamento di dettaglio la lista delle sostanze da analizzare potrà essere modificata ed estesa. In ogni caso le analisi dovranno comprendere le sostanze possibilmente presenti che presentano maggiore tossicità, persistenza e mobilità ambientale.

In relazione ai campioni di terreno prelevati durante la realizzazione delle attività di monitoraggio l'analisi potrebbe essere inizialmente limitata ad alcune famiglie di contaminanti, secondo quanto indicato nella colonna grigia della tabella 9. La tabella 9 riporta anche i limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo indicati dal D.Lgs. 152/99.

Tabella 9: Ipotesi per un'analisi qualitativa della matrice "suolo"

	Parametri indicati dal D.Lgs. 185/2003 relativamente alle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero	Ipotesi di monitoraggio per l'analisi qualitativa del suolo	unità di misura	Limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo (Tab. 4, All. 5 del D.Lgs. 152/99) (≤)
COMPOSTI INORGANICI				
pH	x	XXX		
SAR	x	XX		6 – 8
Materiali grossolani	x			10
Solidi sospesi totali	x		-	assenti
BOD5	x		mg/l	25
COD	x		mg O ₂ /l	20
Azoto ammoniacale	x	XX	mg O ₂ /l	100
Conducibilità elettrica	x	XXX	mg N/l	15
Nitrati		XXX	mg NH ₄ /l	5
Nitriti		XXX		
Cianuri (liberi)	x	X		
Solfuri	x			
Solfiti	x			
Solfati	x	XX	mg H ₂ S/l	0,5
Cloro attivo	x	XX	mg SO ₃ /l	0,5
Cloruri	x	XX	mgSO ₄ /l	500
Fluoruri	x	X	mg/l	0,2
Tensioattivi totali	x		mg Cl/l	100
METALLI				
			mg F/l	1
Alluminio	x		mg/l	0,5
Antimonio		X	mg P/l	2
Arsenico	x	X		
Bario	x	XX	mg/l	1
Berillio	x	X		
Boro	x	XX	mg/l	0,05

	Parametri indicati dal D.Lgs. 185/2003 relativamente alle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero	Ipotesi di monitoraggio per l'analisi qualitativa del suolo	unità di misura	Limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo (Tab. 4, All. 5 del D.Lgs. 152/99) (≤)
Cadmio	x	X	mg/l	10
Cobalto	x	X	mg/l	0,1
Cromo totale	x	X	mg/l	0,5
Cromo VI	x	X		
Ferro	x			
Manganese	x		mg/l	1
Mercurio	x	X	mg/l	0,05
Nichel	x	X	mg/l	2
Piombo	x	X	mg/l	0,2
Rame	x	X		
Selenio	x	X	mg/l	0,2
Stagno	x	X	mg/l	0,1
Tallio	x	X	mg/l	0,1
Vanadio	x	X	mg/l	0,002
Zinco	x	X	mg/l	3
AROMATICI				
Benzene	x	X	mg/l	0,1
Etilbenzene (1)		X	mg/l	0,5
Stirene (2)				
Toluene (3)				
Xilene (4)				
Sommatoria organici aromatici (da 1 a 4)		XXX		
AROMATICI POLICICLICI 1				
Benzo(a)antracene (5)	x			
Benzo(a)pirene (6)				
Benzo(b)fluorantene (7)				
Benzo(k)fluorantene (8)				
Benzo(g,h,i)perilene (9)				
Crisene (10)				
Dibenzo(a)pirene (11)				
Dibenzo(a,h)antracene (12)				
Indenopirene (13)				
Pirene (14)				
Sommatoria policiclici aromatici (da 5 a 14)		XXX		
ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI				
Clorometano				
Diclorometano				
Triclorometano				
Cloruro di Vinile				
1,2-Dicloroetano				
1,1-Dicloroetilene				
Triclorometani (somma delle concentrazioni)	x			
Tetracloroetilene, tricloroetilene (somma delle concentrazioni dei parametri specifici)	x			
Tetracloroetilene (PCE)				
1,2-Dicloropropano				
1,1,2-Tricloroetano				
Tricloroetilene				
1,2,3-Tricloropropano				

	Parametri indicati dal D.Lgs. 185/2003 relativamente alle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero	Ipotesi di monitoraggio per l'analisi qualitativa del suolo	unità di misura	Limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo (Tab. 4, All. 5 del D.Lgs. 152/99) (\leq)
1,1,2,2-Tetracloroetano				
ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI				
1,1-Dicloroetano				
1,2-Dicloroetilene				
1,1,1-Tricloroetano				
ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI				
Tribromometano (bromoformio)				
1,2-Dibromoetano				
Dibromoclorometano				
Bromodichlorometano				
Sommatoria organoalogenati e Bromuro di metile				
NITROBENZENI				
Nitrobenzene				
1,2-Dinitrobenzene				
1,3-Dinitrobenzene				
Cloronitrobenzeni				
CLOROBENZENI				
Monoclorobenzene				
Diclorobenzene non cancerogeni (1,2-diclorobenzene)				
Diclorobenzene cancerogeni (1,4-diclorobenzene)				
1,2,4-triclorobenzene				
1,2,4,5-tetraclorobenzene				
Pentaclorobenzene				
Esaclorobenzene				
FENOLI NON CLORURATI				
Metilfenolo (o-, m-, p-)				
Fenolo				
Fenoli totali	x			
FENOLI CLORURATI				
2-clorofenolo				
2,4-diclorofenolo		X	mg/l	0,1
2,4,6-triclorofenolo				
Pentaclorofenolo	x			
AMMINE AROMATICHE				
Anilina				
o-Anisidina				
m,p-Anisidina				
Difenilamina				
p-Toluidina				
Sommatoria Ammine Aromatiche (da 73 a 77)		XXX		
FITOFARMACI				
Alaclor				
Aldrin				
Atrazina				

	Parametri indicati dal D.Lgs. 185/2003 relativamente alle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero	Ipotesi di monitoraggio per l'analisi qualitativa del suolo	unità di misura	Limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo (Tab. 4, All. 5 del D.Lgs. 152/99) (\leq)
Alfa - esacloroesano				
Beta - esacloroesano				
Gamma - esacloroesano (lindano)				
Clordano				
DDD, DDT, DDE				
Dieldrin				
Endrin				
Pesticidi clorurati (ciascuno)	x	X		
Pesticidi fosforati (ciascuno)	x	X		0,01
DIOSSINE E FURANI				
Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.)				
PCB		X	mg/l	0,01
IDROCARBURI				
Idrocarburi Leggeri < C12				
Idrocarburi pesanti > C12				
Idrocarburi totali				
ALTRE SOSTANZE				
Grassi e oli animali/vegetali	x			
Oli minerali	x			
Aldeidi totali	x			
Amianto (fibre libere)				
Solventi organici aromatici totali	x			
Solventi organici azotati totali			mg/l	0,5
Solventi clorurati totali	x			
Esteri dell'acido ftalico		X	mg/l	0,01
PARAMETRI MICROBIOLOGICI				
Escherichia coli	x		UFC/100 ml	-
Salmonella	x			
SAGGI DI TOSSICITA'				
Saggio di tossicità su Daphnia magna			IC50 ^{24h}	il campione non è accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 50% del totale

(X) parametri previsti dal regolamento

(XX) parametri di elevata rilevanza pedologica non previsti dal regolamento

(XXX) sostanze "indicatrici"

4.2 Acque sotterranee

La tabella 10 riporta i parametri che potrebbero essere ricercati nelle acque sotterranee ricadenti nelle aree agricole caratterizzate dal riuso delle acque reflue.

Tabella 10: Ipotesi per un'analisi qualitativa della matrice "acque sotterranee"

SOSTANZE	Ipotesi di monitoraggio per l'analisi qualitativa delle acque sotterranee
PARAMETRI DI BASE	
Temperatura (°C)	x
Durezza totale (mg/L CaCO ₃)	x
Conducibilità elettrica (µS/cm (20°C))	x
Bicarbonati (mg/L)	x
Calcio (mg/L)	x
Cloruri (mg/L)	x
Magnesio (mg/L)	x
Potassio (mg/L)	x
Sodio (mg/L)	x
Solfati (mg/L) come SO ₄	x
Ione ammonio (mg/L) come NH ₄	x
Ferro (mg/L)	x
Manganese (mg/L)	x
Nitrati (mg/L) come NO ₃	x
METALLI	
Alluminio	x
Antimonio	x
Argento	x
Arsenico	x
Bario	
Berillio	
Cadmio	x
Cobalto	x
Cromo totale	x
Cromo VI	x
Ferro	x
Manganese	x
Mercurio	x
Nichel	x
Piombo	x
Rame	x
Selenio	x
Stagno	
Tallio	
Vanadio	
Zinco	x
INQUINANTI INORGANICI	
Boro	
Cianuri (liberi)	
Fluoruri	
Nitriti	x
Fosfati	x
Ammonio	x
Solfati (mg/l)	x
COMPOSTI ORGANICI AROMATICI	
Benzene	x
Etilbenzene	x
Stirene	x
Toluene	x
para-Xilene	x
POLICICLICI AROMATICI	
Benzo(a)antracene	x
Benzo(a)pirene	x
Benzo(b)fluorantene	x
Benzo(k)fluorantene	x
Benzo(g,h,i)perilene	x
Crisene	x
Dibenzo(a,h)antracene	x
Indenopirene	x

SOSTANZE	Ipotesi di monitoraggio per l'analisi qualitativa delle acque sotterranee
Pirene	x
Sommatoria (31, 32, 33, 36)	
ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI	
Clorometano	
Triclorometano	
Triometani (somma delle concentrazioni)	
1,2-Dicloroetano	
1,1-Dicloroetilene	
1,2-Dicloropropano	
1,1,2-Tricloroetano	
Tricloroetilene	
Tetracloroetilene, tricloroetilene (somma delle concentrazioni dei parametri specifici)	
1,2,3-Tricloropropano	
1,1,2,2-Tetracloroetano	
Tetracloroetilene (PCE)	
Esaclorobutadiene	
Sommatoria organoalogenati	x
Bromuro di metile	x
ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI	
1,1-Dicloroetano	
1,2-Dicloroetilene	
ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI	
Tribromometano (bromoformio)	
1,2-Dibromoetano	
Dibromoclorometano	
Bromodichlorometano	
NITROBENZENI	
Nitrobenzene	
1,2-Dinitrobenzene	
1,3-Dinitrobenzene	
Cloronitrobenzeni	
CLOROBENZENI	
Monoclorobenzene	
Diclorobenzene non cancerogeni (1,2-diclorobenzene)	
Diclorobenzene cancerogeni (1,4-diclorobenzene)	
1,2,4-triclorobenzene	
1,2,4,5-tetraclorobenzene	
Pentaclorobenzene	
Esaclorobenzene	
FENOLI E CLOROFENOLI	
Fenoli totali	
2-clorofenolo	
2,4 Diclorofenolo	
2,4,6 Triclorofenolo	
Pentaclorofenolo	
AMMINE AROMATICHE	
Anilina	
Difenilamina	
p-Toluidina	
FITOFARMACI	
Alaclor	x
Aldrin	x
Atrazina	x
Alfa - esacloroesano	x
Beta - esacloroesano	x
Gamma - esacloroesano (lindano)	x
Clordano	x
DDD, DDT, DDE	x
Dieldrin	x
Endrin	x

SOSTANZE	Ipotesi di monitoraggio per l'analisi qualitativa delle acque sotterranee
Sommatoria fitofarmaci	x
Pesticidi clorurati (ciascuno)	
Pesticidi fosforati (ciascuno)	
DIOSSINE E FURANI	
Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.F.)	
ALTRE SOSTANZE	
PCB	
Acrilammide	
n-esano	
Acido para-ftalico	
Amianto (fibre A > 10 mm)*	
Grassi e oli animali/vegetali	
Oli minerali	
Aldeidi totali	
Solventi clorurati totali	
Tensioattivi totali	x
Idrocarburi totali	x
PARAMETRI MICROBIOLOGICI	
Escherichia coli	
Salmonella	

4.3 Procedure di riferimento per il prelievo e l'analisi dei campioni

4.3.1 SELEZIONE DELL'UBICAZIONE DEI PUNTI DI CAMPIONAMENTO

L'ubicazione dei punti di campionamento deve essere determinata per corrispondere agli obiettivi indicati nei criteri generali. Per ogni matrice ambientale investigata (suolo, sottosuolo, acque sotterranee, acque superficiali), si possono presentare due principali strategie per selezionare l'ubicazione dei punti di sondaggio e prelievo:

1. la scelta è basata sulla caratterizzazione del sito e sul modello concettuale fornito e può essere mirata a verificare le ipotesi formulate sulla presenza di contaminanti o sulle caratteristiche ambientali del sito
2. la scelta della localizzazione dei punti è effettuata sulla base di un criterio di tipo casuale o statistico, ad esempio campionamento sulla base di una griglia predefinita o casuale; questa scelta è da preferirsi ogni volta che le dimensioni dell'area o la scarsità di informazioni storiche e impiantistiche sul sito non permettano di ottenere una caratterizzazione soddisfacente e di prevedere la localizzazione delle più probabili fonti di contaminazione.

Suolo, sottosuolo

- Nel caso in cui si proceda con una disposizione a griglia, il lato di ogni maglia potrà variare da 25 a 100 m a seconda del tipo e delle dimensioni del sito oggetto di indagine. I punti di indagine possono essere localizzati in corrispondenza dei nodi della griglia (ubicazione sistematica) oppure all'interno di ogni maglia in posizione opportuna (ubicazione sistematica casuale), oppure posizionati casualmente all'interno delle maglie della griglia

La profondità del prelievo di suolo, sottosuolo varia con la necessità di caratterizzare l'area dal punto di vista geologico e idrogeologico, di definire la profondità dell'inquinamento, la variabilità orizzontale e verticale della contaminazione, la presenza di contatto diretto tra gli acquiferi e le fonti di inquinamento e deve essere definita in fase di stesura del piano di investigazione iniziale o di dettaglio. La frequenza dei prelievi in senso verticale potrà essere modificata e integrata sulla base delle osservazioni effettuate in sede di campionamento e dell'omogeneità idrogeologica degli strati attraversati.

Acque sotterranee

Particolare attenzione deve essere posta a definire i punti di prelievo sulla base della caratterizzazione idrogeologica dell'area e del modello concettuale del sito e delle caratteristiche degli acquiferi che si intende campionare (ad esempio superficie piezometrica, permeabilità, direzione prevalente del flusso) in modo da poter caratterizzare univocamente l'influenza del sito sulle caratteristiche complessive degli acquiferi in esame e la mobilità degli inquinanti nelle acque sotterranee per la profondità rilevante.

Almeno 1 dei piezometri per ciascun acquifero considerato deve essere installato immediatamente a monte dell'area di irrigazione (in senso idrogeologico) in modo da costituire il valore di riferimento delle acque sotterranee in "ingresso" all'area oggetto di indagine ed almeno 1 per ciascun acquifero considerato deve essere localizzato immediatamente a valle del sito, in modo da verificare le caratteristiche delle acque di falda in "uscita" dal sito.

La profondità dei piezometri dovrà comunque interessare almeno la base del primo acquifero individuato e comunque profondità non inferiori a 2/3 dello spessore dell'acquifero stesso.

Eventuali falde sospese dovranno essere considerate individualmente, al fine di una completa ricostruzione idrogeologica dell'area.

Il numero e l'ubicazione dei piezometri potranno essere integrati sulla base dei risultati delle analisi chimico-fisiche.

4.3.2 FREQUENZA DEI CAMPIONAMENTI

Si propone una frequenza di campionamento e relativa analisi annuale di campioni di suolo, che, per ogni punto di monitoraggio deve essere effettuata come di seguito descritto:

- 1) un prelievo di campione rappresentativo della parte superficiale del suolo vero e proprio (pedon) che si identifica grossomodo con il "suolo agrario" (da 60 a 100 cm);
 - 2) un prelievo rappresentativo del substrato pedogenetico che grosso modo si identifica con l'intervallo di oscillazione della superficie piezometrica;
 - 3) uno in corrispondenza del sottosuolo saturo in prossimità della base del sondaggio.
- Prelievo ed analisi di campioni di acque di falda in un numero corrispondente ai piezometri di nuova realizzazione o ai pozzi già esistenti (da valutare in base alle specifiche aree di indagine). Dovranno essere effettuate almeno due campagne piezometriche una nel periodo di massima pioggia e una nel periodo di massima siccità per valutare la massima oscillazione della falda freatica presente nell'area in esame.
 - Prelievo e analisi di campioni di acqua superficiale (se presente). In particolare:
 - per le acque lentiche (laghi naturali o invasi artificiali) si suggerisce di effettuare tre campionamenti per ogni colonna d'acqua, uno in superficie, uno a metà della colonna d'acqua ed uno sul fondo, in funzione del rilievo batimetrico acquisito dalla campagna di indagini geofisiche eseguite. I campionamenti dovranno essere effettuati almeno una volta nel periodo di massimo rimescolamento ed una in quello di massima stratificazione come specificato dall'Allegato 1 del D.Lgs. 152/99.
 - per le acque lotiche (corsi d'acqua, torrenti ecc.) si propone il prelievo di almeno 10 campioni annuali per i parametri chimico-fisici e quattro stagionali per l'elaborazione dell'IBE, come specificato dall'Allegato 1 del D.Lgs. 152/99.

5 ALLEGATO 1

Tabella 11: Valori limite delle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero (All. 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
	Azoto totale	mg N/L	15
	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
	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 ⁽¹⁾	mg/L	0,05
	Fenoli totali	mg/L	0,1
	Pentaclorofenolo	mg/L	0,003
	Aldeidi totali	mg/L	0,5
	Tetracloroetilene, tricloroetilene (somma delle concentrazioni dei parametri specifici)	mg/L	0,01
	Solventi clorurati totali	mg/L	0,01
	Triometani (somma delle concentrazioni)	mg/L	0,04
	Solventi organici aromatici totali	mg/L	0,03
	Benzene	mg/L	0,01
	Benzo(a)pirene	mg/L	0,001
	Solventi organici azotati totali	mg/L	0,00001
	Tensioattivi totali	mg/L	0,01
	Pesticidi clorurati (ciascuno) ⁽²⁾	mg/L	0,05

	Parametro	Unità di misura	Valore limite
	Pesticidi fosforati (ciascuno)	mg/L	0,001
	Altri pesticidi totali	mg/L	0,0001
Parametri microbiologici	Escherina coli ⁽³⁾		0,05
	Salmonella		10 (80% dei campioni) 100 valore puntuale max

Nota 1. Tale sostanza deve essere assente dalle acque reflue recuperate destinate al riutilizzo, secondo quanto previsto al paragrafo 2.1 dell'allegato 5 del decreto legislativo n. 152 del 1999 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, ai sensi del paragrafo 4 dell'allegato 5 del decreto legislativo n. 152 del 1999. 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 e 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 UFC/100 ml (valore puntuale massimo).