

APPUNTI DI IMPIANTI IDRICI E GESTIONE DELLE ACQUE REFLUE

(Prof. Vincenzo Tamburino – C.L. magistrale Scienze e tecnologie agrarie e alimentari - 2012)

1. INTRODUZIONE

1.1. Generalità

L'ambiente idrico rappresenta uno dei sottosistemi elementari in cui è suddiviso l'ambiente in generale, ed è costituito dall'insieme delle acque del globo terrestre, con riferimento agli aspetti fisici e come risorsa.

Il complesso delle acque presenti sulla terra costituisce l'idrosfera. La superficie del pianeta è in totale di circa 510 milioni di km², di cui 361 occupati dall'acqua, il rimanente dalla terraferma. Il ciclo idrologico globale, considerato come un sistema, può suddividersi per comodità in tre sottosistemi:

- acqua atmosferica (precipitazione, evaporazione, intercettazione e traspirazione)
- acqua superficiale (ruscellamento superficiale, ecc.)
- acqua sotterranea (infiltrazione, ricarica delle falde, ecc.)

Benché la superficie terrestre sia coperta per il 71% di acqua, questa è costituita per il 97,5% da acqua salata. L'acqua dolce è per il 68,9% imprigionata in ghiacciai e nevi permanenti, per il 29,9% confinata nel sottosuolo e solo lo 0,3% è localizzata in fiumi e laghi e quindi potenzialmente disponibile. Essa corrisponde allo 0,008% dell'acqua totale del pianeta.

Le acque costituiscono dunque una risorsa non inesauribile che deve essere utilizzata secondo criteri improntati al risparmio ed alla salvaguardia.

Un futuro sostenibile per la gestione della risorsa acqua risulta oggi messo a rischio dalla confusione normativa ed istituzionale che caratterizza questo settore e dall'approccio burocratico, ideologico, poco pragmatico e con limitate basi scientifiche della pubblica amministrazione. E' quindi necessario mettere a punto un sistema razionale e scientificamente basato di norme nazionali ed internazionali per la gestione delle acque.

La gestione delle risorse idriche è costituita essenzialmente dalle seguenti attività:

- a) valutazione delle caratteristiche delle risorse idriche disponibili;
- b) valutazione delle esigenze delle domande idriche;
- c) allocazione delle risorse idriche tra i diversi usi;
- d) definizione degli interventi di modifica delle caratteristiche delle risorse idriche.

Le scelte di cui ai punti *c* e *d* vanno effettuate sulla base di criteri economici. Sempre sulla base di considerazioni economiche si può decidere di soddisfare solo in parte una domanda idrica (ad esempio nei casi in cui l'utilità marginale della risorsa superi il suo costo marginale).

1.2. Il bilancio territoriale dell'acqua e la disponibilità della risorsa

Dalle stime effettuate in occasione delle due ultime campagne di studio (1970-1989) della Conferenza Nazionale delle Acque (CNA) sulla base dei dati pluviometrici del trentennio 1921-50, l'apporto globale delle piogge in Italia è stato valutato in 296 miliardi di m³/anno.

Questo quantitativo di acqua si distribuisce in modo disomogeneo tra nord, centro, sud e isole maggiori (tabella 1). I fenomeni naturali di evaporazione ed evapotraspirazione comportano una restituzione all'atmosfera (perdita) di circa 132 miliardi di m³, per cui il deflusso totale è stimato dalla CNA in circa 164 miliardi di m³/anno (il dato EUROSTAT è superiore di 11 miliardi di m³).

Le perdite naturali, la difficoltà di captazione e lo stato delle infrastrutture che costituiscono la rete idrica riducono la disponibilità di acqua dai 164 miliardi di m³ annui teoricamente disponibili ai circa 52 miliardi di m³ realmente utilizzabili (il dato EUROSTAT è di 56 miliardi di m³) (figura 1). Le caratteristiche morfologiche e geologiche del territorio nazionale e la presenza di estesi acquiferi calcarei e alluvionali favoriscono l'accumulo di ingenti quantitativi di acque nel sottosuolo, il cui ammontare è molto controverso, con stime che variano da 5 a 12 -13 miliardi di m³. La disponibilità di acque superficiali è stimata in circa 40 miliardi di m³, di cui circa 10 miliardi di m³ accumulate in invasi naturali ed artificiali. La distribuzione delle risorse per compartimenti idrografici è molto disomogenea, con una elevata percentuale di risorse utilizzabili al Nord (65%) rispetto a quelle disponibili sia di acque superficiali che sotterranee, contro il 15% nelle Regioni centrali, il 12% nelle Regioni meridionali ed il 4% in entrambe le isole maggiori (tabella 1).

Tabella 1: Stima delle risorse idriche disponibili per compartimenti idrografici (milioni di m³)

Compartimento	Precipitazioni	Acque superficiali con regolazione	Acque sotterranee	Risorse rinnovabili utilizzabili
NORD (Bacino Po, Triveneto, Liguria)	121.000	27.420	6.496	33.925
CENTRO (Romagna, Marche, Toscana, Lazio, Abruzzo, Molise)	77.600	5.391	2.434	7.825
SUD (Puglia, Campania, Calabria, Lucania)	60.400	4.274	1.849	6.123
SARDEGNA	18.300	1.841	217	2.058
SICILIA	18.800	738	1.151	1.889
ITALIA	296.100	39.673	12.147	51.820

Fonte: Elaborazione ANPA su dati CNR, 1971 e 1989 e CNR-IRSA, 1999.

1.3. I prelievi, la distribuzione e gli usi

Il Rapporto sullo stato dell'ambiente del 2001 mostra che il livello dei prelievi in Italia è sensibilmente superiore alla media UE. La tendenza all'aumento dei prelievi verificatasi negli anni 1975-87, con un incremento valutato nel 35%, sembra essersi consolidata negli anni successivi. Lo sfruttamento delle risorse risente di una grande disomogeneità su tutto il territorio e, se rapportato alla disponibilità locale, evidenzia elementi di criticità soprattutto nel meridione e nelle isole, dove si verificano situazioni di scarsità (tabella 2).

Lo sfruttamento delle risorse è, in termini assoluti, intenso al Nord, dove si utilizza il 78% delle risorse rinnovabili disponibili nell'area (65% del totale nazionale) ma è critico nel meridione e nelle isole, dove i prelievi riguardano il 96% delle disponibilità dell'area (23% del totale nazionale). Il centro presenta una condizione di maggiore sostenibilità con l'utilizzo del 52% delle risorse disponibili.

I settori che più incidono sugli usi della risorsa idrica, e che quindi ne determinano sia il consumo sia il potenziale inquinamento sono: l'agricoltura, l'industria, l'energia, gli usi civili e, in minor misura, il turismo. Nelle Relazioni sullo Stato dell'Ambiente redatte tra il 1997 e il 2001 si sottolinea quanto segue: i maggiori prelievi globali si hanno nel Nord in tutti i settori considerati (figura 2) e l'agricoltura, sul totale nazionale, è ancora il settore più idroesigente (figura 3). I prelievi per usi diversi e pro capite sono deducibili dai dati precedenti con una certa approssimazione, in quanto i limiti dei compartimenti idrografici non sono sempre riconducibili alle ripartizioni amministrative.

Tabella 2: Intensità di utilizzo della risorsa disponibile rispetto alla disponibilità locale

Area geografica	Disponibilità nell'area (milioni m ³)	Prelievi rispetto alle Disponibilità nell'area (%)
Nord	33.925	78
Centro	7.825	52
Sud-Isole	10.058	96
Italia	51.808	78

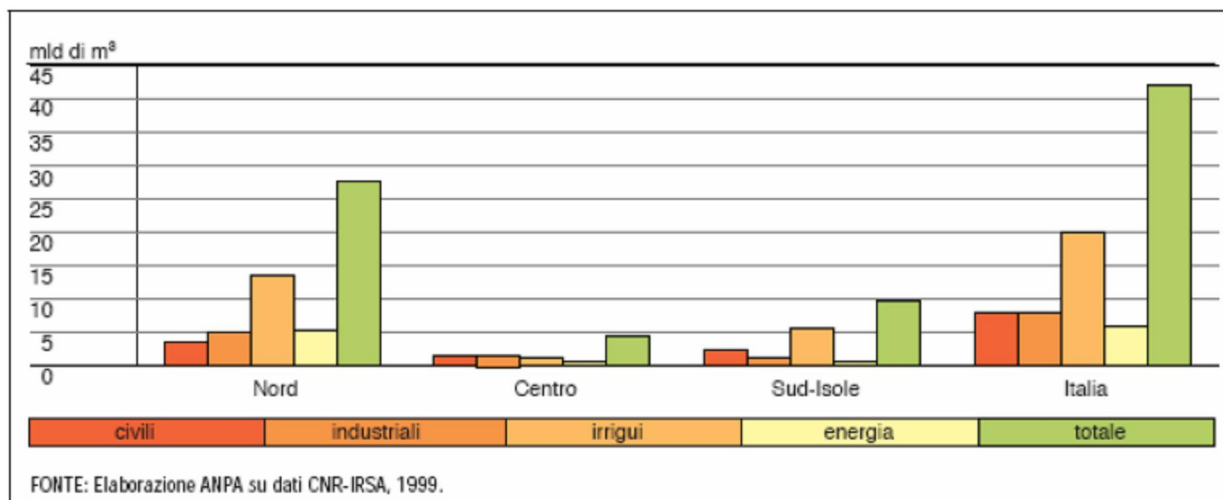


Figura 2: prelievi annui di acque dolci (miliardi di m³), 1998

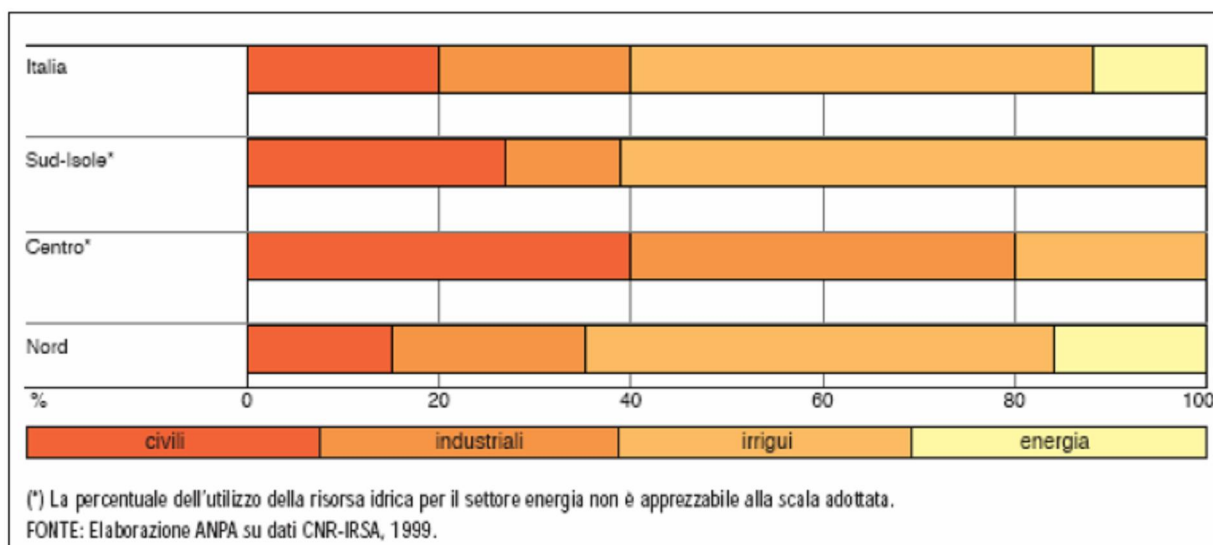


Figura 3: Ripartizione percentuale dell'utilizzo della risorsa idrica nei diversi settori per macroregioni, 1998.

In tabella 3 sono riportati i prelievi pro capite calcolati sui dati di popolazione dell'ultimo censimento ISTAT del 1991. In Italia si verifica un rilevante sfruttamento delle acque sotterranee specie per usi civili. In effetti, le acque sotterranee risultano sostanzialmente meno inquinate di quelle superficiali e quindi richiedono un minor grado di trattamento per gli usi a cui sono destinate. La produzione di acqua potabile in Italia è garantita dai prelievi di falda che rappresentano l'85% di tutti i prelievi di acqua destinata alla potabilizzazione. In particolare al Nord gli usi civili sono soddisfatti prevalentemente dalle acque di falda (90%), mentre al Sud acquista importanza fondamentale l'uso delle acque di invasi superficiali (15-25%). In Italia, inoltre, a differenza di altri paesi dell'area mediterranea come Spagna, Cipro e Malta, si ricorre alla dissalazione, che potrebbero fornire importanti risorse idriche per gli usi civili ed industriali.

Tabella 3: Prelievi di acque dolci pro capite per area e per settore (m³/ab anno)

Area geografica	Civili	Irrigui	Industriali	Energia	Totale
Nord	147	532	204	174	1.057
Centro	148	89	136	7	380
Sud-Isole	127	277	65	2	471
Italia	140	355	141	79	715

Fonte: Elaborazione ANPA su dati CNR-IRSA, 1999 e ISTAT, 1991.

Tabella 4: Erogazione annuale pro capite di acque dolci per usi civili (m³/ab anno)

Area geografica	Prelievo	Erogazione	Perdite	Erogazione/ Prelievo
Nord	147	113	34	0,77
Centro	148	104	44	0,70
Sud-Isole	127	88	39	0,70
Italia	140	102	38	0,73

Fonte: Elaborazione ANPA su dati CNR-IRSA, 1999 e ISTAT, 1991.

I consumi pro capite possono essere analizzati a partire dai dati di prelievo e di erogazione. La differenza tra i prelievi, cioè i volumi di acqua estratti dal ciclo naturale per utilizzo umano, e i consumi civili di acque dolci, che rappresentano l'aliquota di acqua effettivamente erogata e utilizzata, consentono di stimare le rilevanti perdite nei sistemi di captazione, adduzione e distribuzione (tabella 4).

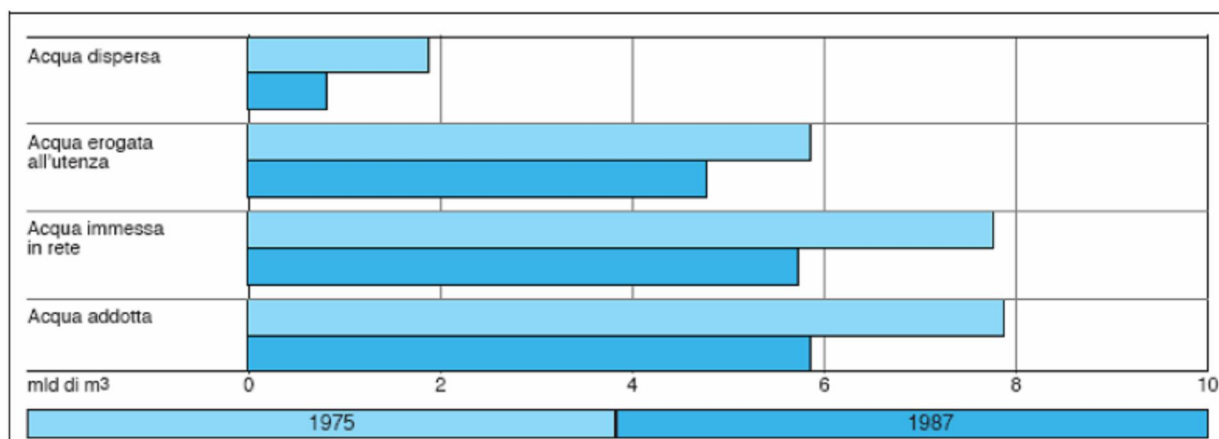


Figura 4: Rapporti tra acqua addotta, immessa in rete, realmente utilizzata e dispersa in Italia, confronto 1975-1987 (Fonte: ISTAT, 1987)

A causa della forte incidenza delle perdite nel ciclo di prelievo-immissione-erogazione, solo un 73% circa del volume totale prelevato e immesso negli acquedotti è realmente utilizzato. L'acqua addotta in Italia nel 1975 corrispondeva a circa 5,8 miliardi di m³/anno (180 m³/s pari alle portate congiunte di corsi d'acqua come l'Arno e la Dora Baltea). La quota immessa in rete corrispondeva a 5,6 miliardi di m³/anno e di questa era erogato all'utenza un volume di 4,8 miliardi di m³/anno con una perdita del 17% rispetto all'acqua addotta. I dati del 1987, corrispondenti ad un invecchiamento delle reti di 12 anni, evidenziano un aumento di tutti i parametri considerati: acqua addotta 7,9 miliardi di m³/anno, erogata all'utenza 5,8 miliardi di m³/anno e perdite del 23% sul totale addotto. In pratica, l'incremento di acqua addotta è risultato pari alle perdite (figura 4). Le perdite dei sistemi di captazione e distribuzione risultano tra le più alte dei Paesi europei.

2. CENNI AL CICLO IDROLOGICO

L'acqua viene approvvigionata sulla Terra mediante processi che si verificano nell'atmosfera, sul suolo o al suo interno, che costituiscono cosiddetto il "ciclo idrologico" (o ciclo dell'acqua). Esso rappresenta l'insieme di tutti i fenomeni legati all'acqua nel suo naturale movimento sulla superficie terrestre.

Ad ogni ciclo la molecola d'acqua viene sottoposta ad almeno due cambiamenti di stato: da vapore a liquido o solido e nuovamente a vapore. L'acqua evapora, sotto l'azione della radiazione solare, a partire dal terreno, dalla vegetazione e dagli specchi d'acqua, per poi essere trasportata, sotto forma di nubi di vapor d'acqua, dal movimento dell'atmosfera.

Le nubi, in particolari condizioni di temperatura e pressione, tendono quindi a ricondensarsi precipitando nuovamente al suolo o sugli specchi d'acqua sotto forma di piccole goccioline d'acqua o cristalli di neve.

L'acqua infiltrata al suolo verrà in parte richiamata dalle radici delle piante e rilasciata in atmosfera sotto forma di traspirazione, in parte drenata verso valle dagli strati più superficiali del terreno, ove vi sia un adeguato gradiente topografico, ed in parte andrà a ricaricare le falde sottostanti.

La componente della precipitazione non infiltrata, dopo aver riempito le buche e gli avvallamenti superficiali tenderà a scorrere lungo le superfici e i piani inclinati fino a raggiungere un reticolo di rivoli e canaletti inizialmente effimeri ed intermittenti che si raccolgono via via in canali di dimensione sempre maggiore. La rete drenante convoglia quindi le acque in canali, torrenti, fiumi sempre più grandi fino a finire nuovamente a valle verso i mari e gli oceani a chiusura del ciclo.

La figura 1 rappresenta in maniera schematica il ciclo idrologico del pianeta, in cui i valori relativi alle diverse forme di trasporto sono proporzionali al valore di precipitazione sulle terre emerse che è stato posto pari a 100.

Il ciclo idrologico può essere descritto in termini sistemici analizzando i flussi in ingresso, quelli in uscita, le trasformazioni e i vari livelli di immagazzinamento.

Quantitativamente si applica, quindi, il principio di conservazione della massa, tramite il quale è possibile impostare un bilancio idrologico. Il bilancio può essere formulato con riferimento ad un qualsiasi "volume di controllo" ovvero un elemento tridimensionale attraverso il quale avvengono i flussi in ingresso ed uscita.

L'equazione generale del principio di conservazione della massa per il bilancio idrologico, applicabile ad ogni volume di controllo è la seguente:

"la variazione nel tempo della massa d'acqua (M) corrispondente alla fase assegnata è pari alla differenza fra il flusso entrante (input) e quello uscente (output)"

I = flusso entrante o input del sistema

O = flusso uscente o output del sistema

t = tempo

$$\frac{dM}{dt} = I - O$$



Figura 1 - Flussi all'interno del ciclo idrologico. Le unità sono in termini relativi alla precipitazione annuale sulla superficie terrestre (100 = 119.000 km³ anno⁻¹)

In relazione agli obiettivi dell'indagine, il volume di controllo può essere costituito da una parcella di terreno o da un versante, ma l'unità territoriale più conveniente per l'indagine idrologica è quella del bacino idrografico. Il ciclo idrologico a scala globale costituisce un sistema chiuso in termini di bilancio idrologico.

Altrettanto importante è l'identificazione del periodo di riferimento nel quale effettuare il bilancio idrologico. Si può utilizzare una scala temporale mensile, stagionale, annuale, pluriennale. La scala stagionale può coincidere con le stagioni convenzionali (estate, ecc.) o riferirsi a stagioni idrologiche: stagione secca e stagione umida. La prima inizia, a seconda delle zone, tra la fine di aprile e la fine di giugno e termina tra l'inizio di settembre e la fine di ottobre. La seconda ovviamente copre la restante parte dell'anno. In ogni caso è essenziale quando si effettua un bilancio idrologico fissare il volume di controllo ed il periodo di riferimento.

L'insieme dei processi idrologici che, nel loro insieme, costituiscono la trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino idrografico è rappresentabile, in una forma generale ma sufficientemente completa, nello schema a blocchi della figura 2.

L'equazione di continuità globale in questo contesto prende il nome di "equazione del bilancio idrologico del bacino". Applicando l'equazione globale al volume di controllo che ha la base coincidente con lo strato impermeabile su cui poggiano gli acquiferi, il limite superiore al di sopra della vegetazione ed un contorno cilindrico che passa per lo spartiacque del bacino, per l'unità di tempo considerato possiamo scrivere la seguente relazione:

$$P+Q_e=ET+Q+Q_u+\Delta V$$

dove:

- P è la precipitazione complessiva sul bacino;

- Q_e è la quantità d'acqua entrata nel bacino per scorrimento sotterraneo;
- Q è il deflusso totale alla sezione di chiusura del bacino;
- Q_u è la quantità d'acqua uscita dal bacino per scorrimento sotterraneo;
- ET è l'evapotraspirazione (somma dell'evaporazione e della traspirazione);
- ΔV è l'incremento del volume d'acqua all'interno del volume di controllo (somma dei contributi dovuti al fenomeno di intercezione vegetale I , all'immagazzinamento dell'acqua nelle depressioni superficiali, come umidità nello strato del suolo areato, negli acquiferi e nella rete idrografica del bacino).

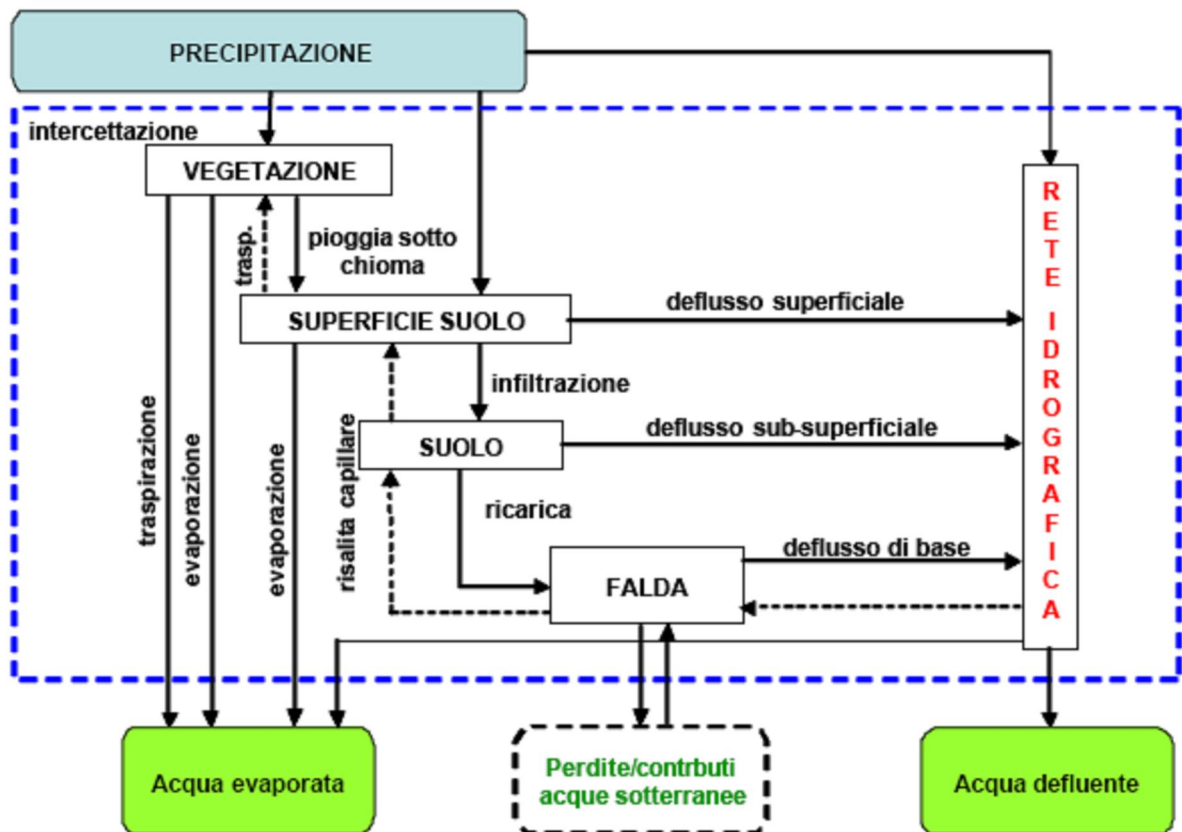


Figura 2- Schema a blocchi per il bilancio idrico di bacino.

In particolare:

- i termini $P+Q_e$ rappresentano il flusso entrante o input
- i termini $ET+Q+Q_u$ rappresentano il flusso uscente o output
- il termine ΔV rappresenta la variazione di massa d'acqua all'interno del volume di controllo nel tempo considerato.

Spesso si può assumere che le due quantità Q_e e Q_u siano trascurabili o siano circa uguali tra loro. La forma più sintetica dell'equazione di continuità globale risulta pertanto:

$$P=ET+Q+\Delta V$$

Scritta in questa forma l'equazione del bilancio idrologico ci dice che la precipitazione è pari alla somma delle perdite per evapotraspirazione ET , del deflusso Q alla sezione di chiusura e dell'incremento ΔV del volume d'acqua immagazzinato in varie forme all'interno del volume di controllo assunto a rappresentare il bacino nel tempo di riferimento considerato.

3. CLASSIFICAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE

Una classificazione delle risorse idriche distingue “risorse tradizionali” o “convenzionali “da “risorse non convenzionali”.

Le risorse tradizionali sono costituite dalle acque:

- superficiali (prelevate con derivazioni o regolate con serbatoi)
- sotterranee (emunte da sorgenti, da pozzi scavati o trivellati o da gallerie).

Possono considerarsi risorse idriche tradizionali anche le acque meteoriche che trattenute nello strato superficiale del suolo non defluiscono superficialmente, né alimentano le falde, ma sono utilizzate direttamente dalle piante e quindi contribuiscono al soddisfacimento dei fabbisogni idrici agricoli.

Vengono generalmente considerate risorse non convenzionali, aggiuntive e complementari rispetto a quelle tradizionali, le acque reflue sottoposte a depurazione e quelle soggette a dissalazione, nonché le precipitazioni stimulate artificialmente.

Evidentemente le acque reflue sottoposte a depurazione costituiscono una risorsa potenziale aggiuntiva solo ove non siano già considerate tra le acque superficiali, in quanto lo scarico incrementa (o ricostituisce) le portate del corpo ricettore. Analoga attenzione va dedicata nei casi in cui vengano valutate separatamente le risorse idriche superficiali e quelle sotterranee, anche se appartenenti allo stesso ambito geografico e dipendenti dagli stessi apporti meteorici (e quindi facenti parte dello stesso ciclo idrologico). Questa procedura può comportare rilevanti errori e incertezze di valutazione se non si tiene conto della continua interazione tra il corso d’acqua superficiale e la falda sottostante, con rilevanti volumi che lungo il percorso del corso d’acqua passano dalla superficie alla falda e viceversa con il rischio che questi volumi vengono valutati due volte o non lo siano affatto.

Più in generale è normalmente difficile ed incerta la valutazione della ripartizione dell’afflusso meteorico tra deflusso superficiale ed infiltrazione, anche perché questa ripartizione dipende dalla distribuzione temporale e spaziale della precipitazione, nonché dalle condizioni del terreno (umidità, lavorazioni e copertura vegetale).

Secondo il D.M. Ambiente del 28 luglio 2004 può essere operata la seguente classificazione delle risorse idriche:

- *Risorsa idrica naturale*: Volume di acqua che, nel periodo di tempo considerato (annuale, o più breve), attraversa una determinata sezione di un corso d’acqua superficiale, o di una falda sotterranea, in assenza di alterazioni prodotte da usi antropici;
- *Risorsa idrica non convenzionale*: quella che deriva da tecniche e procedimenti quali la dissalazione delle acque marine e salmastre, l’aumento artificiale delle precipitazioni attraverso interventi climatici, la riduzione dell’evaporazione da specchi liquidi naturali e artificiali;
- *Risorsa idrica potenziale*: la massima risorsa idrica che può essere messa a disposizione in una determinata sezione di un corso d’acqua superficiale o di una falda sotterranea con mezzi artificiali, in base alle migliori tecnologie disponibili, tenendo conto della presenza dei bacini di regolazione e delle relative regole di gestione, nonché considerando le incertezze connesse alla stima della risorsa idrica naturale;
- *Risorsa idrica utilizzabile (superficiale e sotterranea)*: la risorsa, inferiore a quella potenziale, concretamente destinabile agli usi, tenendo conto dei vincoli di carattere socio-economico, di tutela delle acque, di compatibilità ambientale e di qualità.

Esso infine definisce “bilancio idrologico” la “comparazione, nel periodo di tempo considerato e con riferimento ad un determinato bacino o sottobacino, superficiale o sotterraneo, tra afflussi e deflussi naturali, ovvero deflussi che si avrebbero in assenza di pressione antropica”; ed il “bilancio idrico” come la “comparazione, nel periodo di tempo considerato, fra le risorse idriche (disponibili o reperibili) in un determinato bacino o sottobacino, superficiale o sotterraneo, al netto delle risorse necessarie alla conservazione degli ecosistemi acquatici ed i fabbisogni per i diversi usi (esistenti o previsti)”.

4. CARATTERIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE

4.1. Generalità

Le principali caratteristiche delle risorse idriche aventi rilevanza ai fini della loro gestione sono:

- quantità
- qualità
- spazio
- tempo.

4.2. Quantità

È il parametro di più facile definizione; esprime il volume disponibile in un determinato intervallo di tempo. La risorsa idrica disponibile deriva dal ciclo idrologico. Le valutazioni sulla quantità di risorsa idrica si fanno frequentemente su base annua (espresse ad es. in m³/anno) o in termini di portata continua (l/s o m³/s).

4.3. Qualità

Non è possibile naturalmente individuare un unico parametro in grado di definire il livello qualitativo delle acque, a causa della molteplicità di sostanze che possono esservi contenute in sospensione o in soluzione; inoltre le esigenze qualitative (ed i relativi parametri di controllo) variano a secondo dell'uso della risorsa idrica (gli standard richiesti per gli usi civili saranno certamente diversi da quelli richiesti per gli usi industriali o agricoli).

La qualità dunque è una caratteristica complessa che può essere valutata solo attraverso l'analisi di numerosi parametri tra cui i principali sono:

- salinità totale;
- concentrazione di macroelementi e di microelementi;
- concentrazione di macronutrienti (N, P, K, ecc.);
- concentrazione di solidi sospesi;
- concentrazione di sostanza organica;
- ossigeno disciolto;
- concentrazione di microrganismi patogeni.

Nel seguito viene riportata una brevissima disamina di tali parametri con qualche cenno agli aspetti di interesse per l'uso irriguo in particolare per le acque reflue.

4.3.1. Salinità totale/conducibilità elettrica

La concentrazione salina di un'acqua viene determinata tramite misura della concentrazione di solidi disciolti totali (SDT) (generalmente in mg/l) o della conducibilità elettrica (CE, espressa in milliSiemens/cm e misurabile con conduttivimetri portatili), che risulta particolarmente rapida ed economica. In assenza di sostanze sospese e per pH = 6-9, tra questi due parametri esiste un rapporto pressoché costante, dato dalla formula seguente:

$$\text{SDT (mg/l)} = 0.55\text{-}0.7 \text{ CE (mS/cm)}.$$

E' importante conoscere questa variabile qualitativa; ad esempio nell'uso irriguo l'impiego di acque con concentrazioni in sali elevate comporta un aumento del potenziale osmotico dell'acqua nel terreno (ed una maggiore difficoltà per le colture di estrazione dell'acqua).

4.3.2. Concentrazioni di macroelementi e di microelementi

Nelle acque gli ioni presenti generalmente con elevate concentrazioni (macroelementi) sono: i cationi sodio (Na⁺), calcio (Ca⁺⁺) e magnesio (Mg⁺⁺) e gli anioni cloruro (Cl⁻) e solfato (SO₄²⁻).

Bisogna sottolineare che per gli usi irrigui il sodio risulta essere il più pericoloso tra i cationi, in quanto può provocare la deflocculazione delle argille, cioè la loro destrutturazione con conseguente

compattazione e diminuzione della permeabilità all'aria ed all'acqua (alcalinizzazione dei suoli). Un effetto antagonista a quello del sodio è dato dagli altri due cationi calcio e magnesio.

Un parametro molto usato che ci permette di stabilire il rischio di alcalinizzazione del suolo è il S.A.R. (Sodium Absorption Ratio, ossia Rapporto di Assorbimento del Sodio), così definito:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

dove Na, Ca e Mg rappresentano le rispettive concentrazioni espresse in milliequivalenti per litro.

Per quanto riguarda gli anioni, il cloruro causa più problemi del solfato, sia per la sua maggiore fitotossicità, sia per la tendenza dello ione solfato a precipitare sotto forma di solfato tricalcico ad elevate concentrazioni della soluzione circolante nel terreno.

La concentrazione di microelementi può richiedere attenzione in presenza di reflui industriali o di peculiarità geologiche del bacino; particolare riguardo va posto nei confronti del boro nel caso in cui si usino acque reflue urbane¹ per l'irrigazione di colture poco tolleranti a tale elemento, come gli agrumi. Alcuni metalli pesanti quali il rame (Cu) e lo zinco (Zn) possono essere presenti anche nelle acque reflue zootecniche, essendo aggiunti come integratori nelle diete animali. La concentrazione massima tollerabile di microelementi nelle acque di irrigazione dipende dalle colture e dalla capacità di immobilizzazione dei terreni (particolarmente elevata nei confronti di molti metalli pesanti nei terreni calcarei e con tessitura fine).

4.3.3. Concentrazione di macronutrienti

La presenza di elementi nutrienti nelle acque reflue quali azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) può svolgere a seconda dell'uso delle risorse e del recapito finale effetti positivi o negativi. Nel caso di scarico in corpi idrici a lento ricambio (laghi) questi elementi (soprattutto azoto e fosforo) possono provocare fenomeni di eccessiva proliferazione di alghe (eutrofizzazione) con danni estetici e per la fauna acquatica. Al contrario in mari profondi e tendenzialmente oligotrofici l'apporto di tali nutrienti incrementa positivamente la produttività primaria. Nel caso di uso irriguo delle acque, tali elementi non destano preoccupazioni nella misura in cui vengono apportati al terreno in quantità inferiori ai normali fabbisogni delle singole colture (altrimenti soddisfatti mediante concimazioni).

- Azoto

L'azoto è uno dei principali nutrienti per tutti gli organismi viventi ed uno dei più importanti fattori di limitazione della crescita delle piante. Il ciclo dell'azoto è molto complesso, considerate le diverse valenze alle quali l'N può trovarsi, in funzione del potenziale redox.

L'azoto può essere presente nelle acque in forma organica od inorganica (ammoniaca, nitriti e nitrati). Dalla degradazione della sostanza organica si ottiene azoto ammoniacale.

L'azoto ammoniacale, NH_4^+ , viene ossidato in ambiente aerobico ad azoto nitroso, NO_2^- , e quindi ad azoto nitrico, NO_3^- . L'azoto ammoniacale e nitrico è utilizzato dalle piante.

Microrganismi eterotrofi, capaci di degradare la materia carboniosa, possono trasformare i nitriti e i nitrati (prodotti dell'ossidazione dell'ammoniaca) in azoto gas (N_2) che si libera nell'atmosfera. Questo processo di denitrificazione è però possibile solo in caso di anossia, in cui cioè l'ossigeno non è presente in forma disciolta ma legato (nei nitriti e nitrati). E' inoltre, necessaria la presenza di una fonte di carbonio organico. Quindi perché sia possibile la denitrificazione è necessaria un'adeguata quantità di batteri eterotrofi, l'assenza di ossigeno, la presenza di nitriti o nitrati e di una fonte di carbonio organico.

La forma di azoto che prevale nel suolo è quella organica, che viene lentamente convertita nelle forme inorganiche (ammoniaca e nitrati). Il nitrato non viene trattenuto dal terreno e facilmente si infila al di sotto della zona radicale delle colture o viene asportato dalle acque di deflusso subsuperficiale.

¹ Il boro è generalmente presente nelle acque reflue urbane in quanto è presente come sbiancante nei normali detersivi sotto forma di perborato.

L'azoto organico e l'ammoniaca, invece, sono adsorbiti dalle particelle di suolo e quindi tendono a permanere se non asportati dall'erosione.

Tre processi di trasformazione di tipo microbico si esplicano nel bilancio dell'azoto:

- ammonificazione
- nitrificazione
- denitrificazione (è causa delle perdite in atmosfera e può ridurre la quantità di azoto perduto per percolazione e dilavamento).

I primi due processi sono parte del processo di mineralizzazione che trasforma l'azoto dalla forma organica a quella inorganica, rendendolo disponibile per le piante.

L'azoto può essere disperso in atmosfera in forma gassosa anche per volatilizzazione, come accade nel caso di pesanti applicazioni di fertilizzanti a base di urea e di ammonio. Nel terreno, il contenuto di composti azotati aumenta normalmente fino ad una trentina di centimetri circa di profondità per poi diminuire.

- Fosforo

Il fosforo è presente in forma organica e inorganica: la prima proviene essenzialmente dai residui vegetali ed animali, mentre la seconda si origina essenzialmente dagli scarichi civili (detergenti) e dalla mineralizzazione del fosforo organico. E' importante sottolineare che la cinetica del fosforo è di tipo conservativo.

Il fosforo rappresenta quasi sempre il fattore limitante le condizioni trofiche degli ambienti acquatici, in quanto alla carenza di azoto alcuni organismi, come le alghe verdi-azzurre, possono rimediare con processi di fissazione; si cerca pertanto di limitare gli apporti di fosforo nei corpi idrici a lento ricambio (ad esempio nord adriatico) per evitare l'eccesso di eutrofizzazione.

La concentrazione di fosforo nell'acqua è il risultato del bilancio tra mineralizzazione, consumo e rifiuto algale. Durante i processi di respirazione e di decadimento le alghe rilasciano il fosforo in esse contenuto sia in forma organica che inorganica. Quello rilasciato in forma inorganica è riciclato dalle alghe stesse, mentre quello in forma organica deve prima essere mineralizzato per poter essere poi riciclato.

Il bilancio del fosforo quindi si compone dei seguenti contributi: il fosforo inorganico è dato dal contributo negativo derivante dal fabbisogno algale e da quello positivo della mineralizzazione; il bilancio del fosforo organico è dato invece dall'apporto conseguente alla scomparsa della biomassa algale e dal consumo dovuto alla mineralizzazione.

Il fosforo può essere considerato un inquinante solo nei corpi idrici a lento ricambio mentre nel terreno svolge una funzione fertilizzante.

4.3.4. Concentrazione di solidi sospesi

La presenza di particelle solide in sospensione e la conseguente torbidità possono creare problemi, estetici e/o funzionali, per quasi tutti gli usi dell'acqua. Nel caso dell'uso irriguo può essere provocata l'occlusione degli erogatori di piccola luce, come ad esempio i gocciolatori o l'imbrattamento della vegetazione nell'aspersione sopra chioma.

4.3.5. Concentrazione di sostanza organica

La quantità di S.O. viene determinata per via indiretta, mediante misurazioni della domanda biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD₅) oppure della domanda chimica di ossigeno (COD).

Il BOD simula i processi di degradazione che avvengono in natura nei corpi idrici, ma la sua misura è incerta essendo disturbata da parametri quali i microrganismi presenti e la qualità dei substrati (ad esempio la carenza di nutrienti e la presenza di sostanze tossiche ed inibitrici riduce il valore di BOD misurato).

E' sempre, quindi, opportuna la misura contemporanea del COD, per le caratteristiche di semplicità, rapidità e ripetibilità della misura. Il COD misura l'ossigeno necessario per l'ossidazione chimica che essendo meno selettiva comprenderà anche le sostanze inorganiche riducenti come solfuri, solfiti e ferro ferroso e le sostanze organiche non facilmente ossidabili biologicamente.

Il principale problema causato dall'uso irriguo di acque reflue con elevate concentrazioni di sostanza organica (S.O.) consiste nell'occlusione degli erogatori di piccola luce. Per evitare i problemi di occlusione² occorrerà effettuare trattamenti di filtrazione, ovvero usare erogatori con luci di maggiore dimensioni o utilizzare metodi irrigui ad espansione superficiale.

Considerato che nei nostri climi l'attività di mineralizzazione della sostanza organica risulta tendenzialmente maggiore di quella di umificazione³, l'apporto di sostanza organica ai terreni agricoli risulta positivo perché tende a migliorarne la struttura. Solo nel caso di elevate concentrazioni di sostanza organica (COD superiore ad alcuni g/l) tipiche di alcuni effluenti agroalimentari possono esserci problemi di fitotossicità dovuti all'esaurimento dell'ossigeno disponibile o alla produzione di composti intermedi di degradazione della sostanza organica.

Inconvenienti significativi possono al contrario essere causati dall'immissione in corpi idrici naturali contenenti fauna acquatica di acque reflue con elevati quantitativi di S.O., poiché durante i processi di degradazione si ha un elevato consumo di ossigeno che può generare anossia.

4.3.6. *Concentrazione di ossigeno disciolto*

L'ossigeno disciolto regola tutti i processi ossido-riduttivi presenti nelle acque o interagendo direttamente con la sostanza riducente o indirettamente, come nei processi metabolici in cui viene consumato dai microrganismi per biodegradare le sostanze organiche. Da esso dipende la vita di quasi tutti gli organismi acquatici.

Un'esposizione prolungata a bassi livelli di ossigeno (<1-5 mg/l a seconda delle specie) potrebbe causare la morte degli organismi acquatici o incrementarne la suscettibilità ad altre forme di stress ambientali.

Il valore dell'ossigeno disciolto è funzione di moltissimi parametri:

- la produzione di ossigeno fotosintetico;
- la respirazione della flora e della fauna;
- l'ossidazione delle sostanze organiche;
- gli apporti esterni (in particolare dall'atmosfera attraverso la superficie liquida);

Esso dipende anche dalla temperatura, dalla salinità, dall'altitudine del corpo idrico.

4.3.7. *Concentrazione di microrganismi patogeni*

Nel caso di uso irriguo delle acque reflue (in particolare reflui urbani) bisogna controllare l'eventuale presenza di microrganismi patogeni. Malattie come colera, tifo, brucellosi ed altre possono essere trasmesse all'uomo nel caso si irrighino colture con acque che presentano tali microrganismi. Tale rischio può essere evitato seguendo uno o più dei seguenti accorgimenti:

- effettuando dei trattamenti di disinfezione delle acque (es. clorazione che richiede una preventiva rimozione di gran parte della sostanza organica);
- irrigando colture non destinate all'alimentazione umana;
- irrigando la coltura quando il prodotto da consumare non è ancora presente o rispettando opportuni tempi di carenza tra l'irrigazione e la raccolta del prodotto da consumare;
- usando metodi irrigui che permettano di evitare il contatto diretto del refluo con il prodotto da consumare (es. goccia, espansione superficiale, ecc.).

La salubrità di un'acqua dal punto di vista igienico-sanitario viene dedotta in maniera indiretta attraverso la misura di alcuni microrganismi indicatori, quali i coliformi fecali, i coliformi totali, gli streptococchi fecali, ecc.

4.4. *Spazio*

La localizzazione spaziale di una risorsa rispetto al luogo della sua utilizzazione è un fattore che assieme agli altri parametri condiziona le scelte allocative risorsa idrica-utilizzazione. Ovviamente, saranno preferite, a parità di condizioni, le risorse che si trovano planimetricamente più vicine al

² l'occlusione comporta una riduzione dell'uniformità di distribuzione dell'acqua che grava negativamente sulla produttività delle colture e/o sul costo dell'irrigazione.

³ l'humus è un composto molto stabile che si genera dai processi di degradazione della sostanza organica.

luogo di utilizzazione e con minori dislivelli geodetici, in quanto i costi di trasporto risultano minori.

4.5. *Tempo*

L'andamento nel tempo della disponibilità di una risorsa dipende dalla sua provenienza, variando a seconda se si tratta di acque superficiali o sotterranee o reflue.

A tal proposito è a tutti noto che:

- le risorse idriche superficiali nei nostri climi sono più abbondanti nei mesi autunnali – invernali rispetto a quelli estivi;
- le portate relative alle acque reflue urbane sono relativamente costanti durante l'anno;
- le portate relative alle acque reflue prodotte da industrie di trasformazione di prodotti agricoli variano nel tempo in funzione delle quantità di prodotti lavorati.

Anche le utilizzazioni sono caratterizzate da un andamento temporale della domanda. Per rendere compatibili alle esigenze delle utilizzazioni i diagrammi temporali di disponibilità della risorsa si effettuano interventi di regolazione, generalmente mediante la realizzazione di serbatoi.

5. UTILIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE (approvvigionamento, trasporto e regolazione)

5.1. *Generalità*

Un sistema idrico è un insieme coordinato di impianti finalizzato all'utilizzazione delle risorse idriche ed allo smaltimento delle acque reflue. Esso è finalizzato a rendere le caratteristiche (di qualità, ubicazione e disponibilità nel tempo) delle risorse compatibili con le esigenze delle utilizzazioni. Per modificare ubicazione e disponibilità temporale delle risorse si realizzano opere di approvvigionamento e regolazione, opere di derivazione e prelievo, opere di trasporto e distribuzione ad utenze.

Il processo di gestione di un sistema idrico prevede le seguenti fasi:

- pianificazione
- programmazione
- finanziamento
- progettazione
- realizzazione
- esercizio e manutenzione
- controllo

La gestione delle risorse idriche è finalizzata:

- agli usi civili, agricoli ed industriali
- alla produzione di energia elettrica
- alla navigazione
- al controllo delle piene
- alla protezione idraulica del territorio,

ma anche alla tutela della vita acquatica, degli ecosistemi ripali e di altri aspetti ambientali (risorse naturali, paesaggio, ecc.).

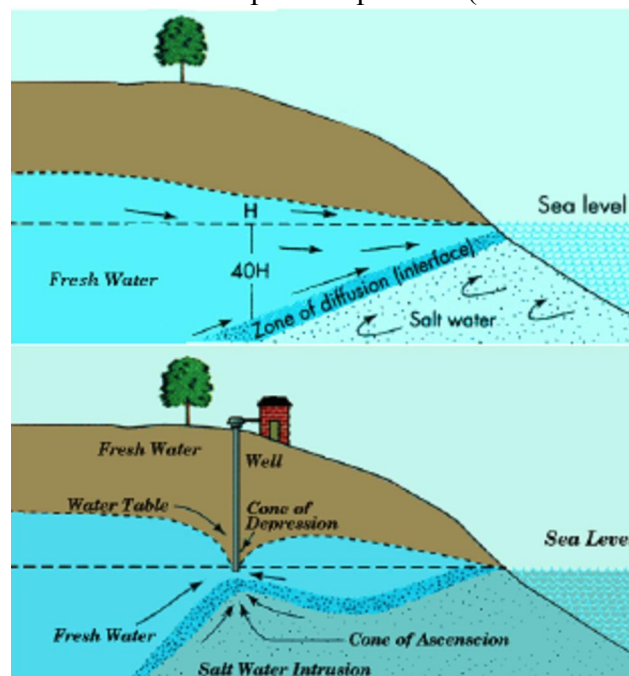
5.2. *Approvvigionamento*

L'approvvigionamento (o presa o prelievo) dell'acqua può avvenire da:

- acque superficiali
 - corsi d'acqua naturali (fiumi, torrenti): hanno caratteristiche molto variabili in termini di portata, composizione chimica, ecc. e possono essere facilmente inquinate e torbide; richiedono in genere trattamenti;
 - laghi e serbatoi: hanno caratteristiche simili ai fiumi che li alimentano, ma non contengono sostanze sedimentabili e la loro torbidità ha origine da altre cause (fitoplancton);

- acque sotterranee (falde acquifere derivanti dalle acque che si infiltrano e che successivamente percolano in profondità nel terreno, attraverso strati di materiali permeabili o fessurazioni delle rocce fino ad incontrare uno strato impermeabile);
 - subalvee: si formano in corrispondenza di un corso d'acqua. Le caratteristiche sono simili a quelle del corso d'acqua che le genera, ma meno cariche in solidi sospesi e carica microbiologica. Sono quindi poco mineralizzate e di purezza sospetta;
 - falde freatiche: generate dall'acqua di infiltrazione che incontra il primo strato impermeabile. Sono più mineralizzate e depurate delle falde subalvee (se lo strato attraversato è sufficientemente profondo);
 - falde artesiane (si formano in modo analogo alle falde superficiali, ma sono comprese tra due strati di terreno impermeabile e sono alimentate a considerevole distanza. Le caratteristiche sono di solito buone, più mineralizzate ma più protette dagli inquinanti);
 - sorgenti: sono affioramenti di acque di falda che vengono alla superficie a causa della conformazione idrogeologica locale.

L'approvvigionamento da acque superficiali in nord Italia avviene prevalentemente con prese da acque fluenti mentre al Centro-Sud e nelle Isole si utilizzano frequentemente serbatoi artificiali che accumulano le acque superficiali fluenti nel periodo piovoso (autunno-inverno).



Fenomeno dell'intrusione del cuneo salino nella falda

5.3. Derivazione

5.3.1. Prese da corsi d'acqua naturali

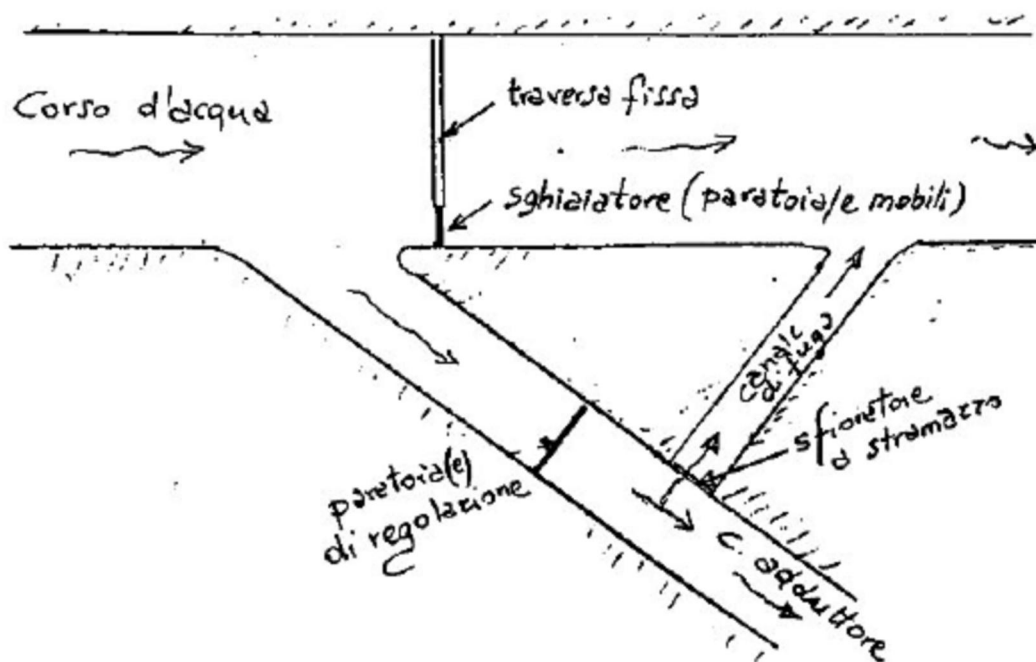
Si possono presentare i seguenti casi:

- presa diretta (senza sbarramento)
Quando la superficie libera nel corso d'acqua domina costantemente il canale adduttore, la derivazione può essere realizzata semplicemente aprendo luci di presa, munite di paratoie di regolazione, sulla sponda del corso d'acqua. Se necessario si costruiscono, sul corso d'acqua e/o sul canale di derivazione, opere destinate ad assicurare la regolarità della derivazione idrica, ridurre l'interrimento, sfiorare gli eccessi di portata derivata. Si tratta di opere simili a quelle che esamineremo nel caso delle prese con sbarramento.
- presa con sbarramento

Quando la quota del pelo libero nel corso d'acqua è insufficiente per la regolare derivazione, si rende necessario innalzarne il livello mediante una traversa, vale a dire uno sbarramento trasversale di tipo fisso o mobile.

Le traverse fisse sono generalmente costituite da una soglia (un innalzamento del fondo dell'alveo) costruita in calcestruzzo o massi cementati, opportunamente modellata in modo da consentire l'anzidetto innalzamento del pelo libero ed una facile tracimazione.

Immediatamente a monte della traversa sono possibili depositi del materiale solido trasportato dall'acqua (interrimento). Per ridurre gli effetti dannosi dell'interrimento conviene che la parte terminale della traversa, in corrispondenza della presa del canale adduttore, sia costituita da una luce regolata mediante paratoie le quali sono aperte durante le piene in modo da funzionare come sghiaiatore del tratto di alveo davanti alla presa.



Presa con sbarramento di tipo fisso

Sul canale derivatore, a valle della/e paratoia/e di regolazione, sovente si costruisce uno sfioratore, comunicante col corso d'acqua mediante un canale di fuga, per smaltire l'acqua derivata in eccesso. Per evitare o ridurre gli effetti dannosi dello sbarramento (ostacolo alla corrente durante le piene) si può ricorrere alle traverse mobili, costituite da paratoie mobili interessanti l'intera larghezza del corso d'acqua, le quali sovrastano una soglia che fissa il fondo dell'alveo in prossimità della presa. Le paratoie possono essere completamente aperte nei periodi di piena, in modo da ridurre al massimo l'ostacolo alla corrente.

- presa con sollevamento

In talune circostanze, ad esempio quando il corso d'acqua da cui si attua la derivazione è incassato, si ricorre al sollevamento meccanico dell'acqua.

5.3.2. Prese da laghi e serbatoi

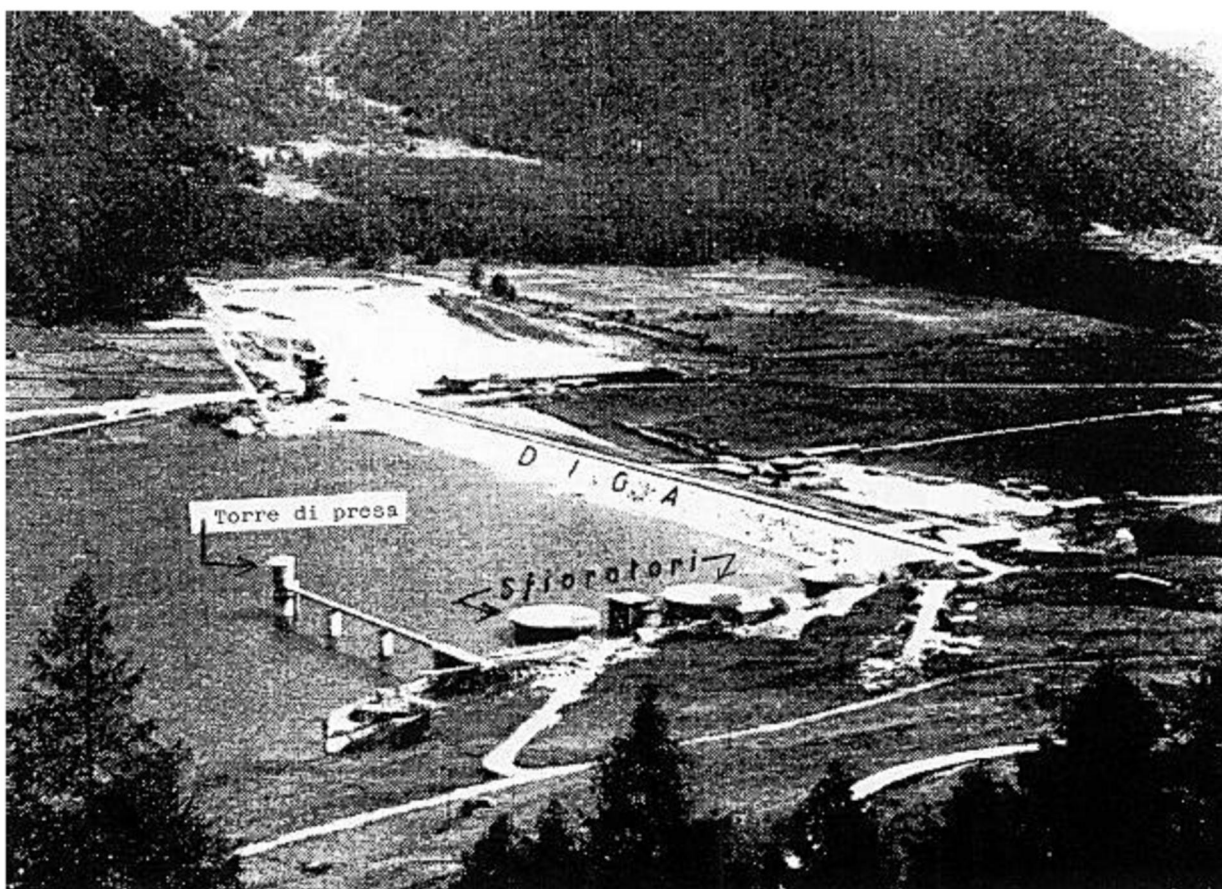
Quando l'andamento temporale della disponibilità della risorsa non coincide con quanto viene richiesto dagli usi, occorre effettuare interventi di regolazione. Ad esempio per immagazzinare le acque fluenti superficiali durante i periodi di maggiore deflusso, per poterne disporre durante la stagione irrigua, si utilizza un lago naturale opportunamente regolato oppure si realizza un invaso artificiale.

- serbatoi di sbarramento

Sono ottenuti sbarrando la vallata di un corso d'acqua naturale, in località favorevole per condizioni topografiche e geologiche, mediante una diga di ritenuta che può essere in calcestruzzo (diga tracimabile) od in materiali sciolti impermeabili od impermeabilizzati (diga non tracimabile).

Altri elementi fondamentali di questi serbatoi artificiali sono:

- lo scaricatore di superficie o sfioratore (sfioratore a calice, soglia a stramazzo o luci regolabili automaticamente) per allontanare le acque in eccesso ed impedire il superamento del livello di sicurezza. Lo sfioratore può essere posto sulla diga (per le dighe tracimabili), lateralmente al serbatoio a conveniente distanza dalla diga, all'interno del serbatoio (sfioratore a calice);
- lo scaricatore di fondo, per lo svuotamento totale e rapido del serbatoio, per la manutenzione o per motivi di sicurezza (luce di presa sul fondo, normalmente chiusa, da cui l'acqua è allontanata mediante condotte tubate);
- la presa d'acqua, attuata mediante luci regolabili disposte su una torre di presa (all'interno del serbatoio) o su di una sponda.



- laghetti collinari ed altri serbatoi aziendali

Si tratta di invasi di modeste dimensioni, normalmente a servizio di singole aziende. I laghetti collinari sono ottenuti sfruttando un avvallamento naturale e sbarrandolo mediante una diga di ritenuta di modesta altezza, per lo più in terra, in modo da creare un invaso in cui sono raccolti i deflussi superficiali.

Gli altri serbatoi (o vasche) aziendali sono per lo più costruiti mediante scavo ed hanno lo scopo di immagazzinare acque di varia origine: derivate da torrenti o da sorgenti, fornite dalle reti irrigue collettive, prelevate dalle falde idriche. Pareti e fondo possono essere semplicemente in terra o in calcestruzzo, con o senza rivestimento impermeabilizzante.

5.3.3. *Emungimento da falde idriche*

Le falde idriche sono degli strati permeabili saturi d'acqua di provenienza superficiale (percolazione delle acque di precipitazione o d'irrigazione, infiltrazione da corsi d'acqua e canali, ecc.). Questi

immagazzinamenti idrici sotterranei poggiano su uno strato impermeabile o sono compresi tra due strati impermeabili.

In generale le falde idriche si distinguono in:

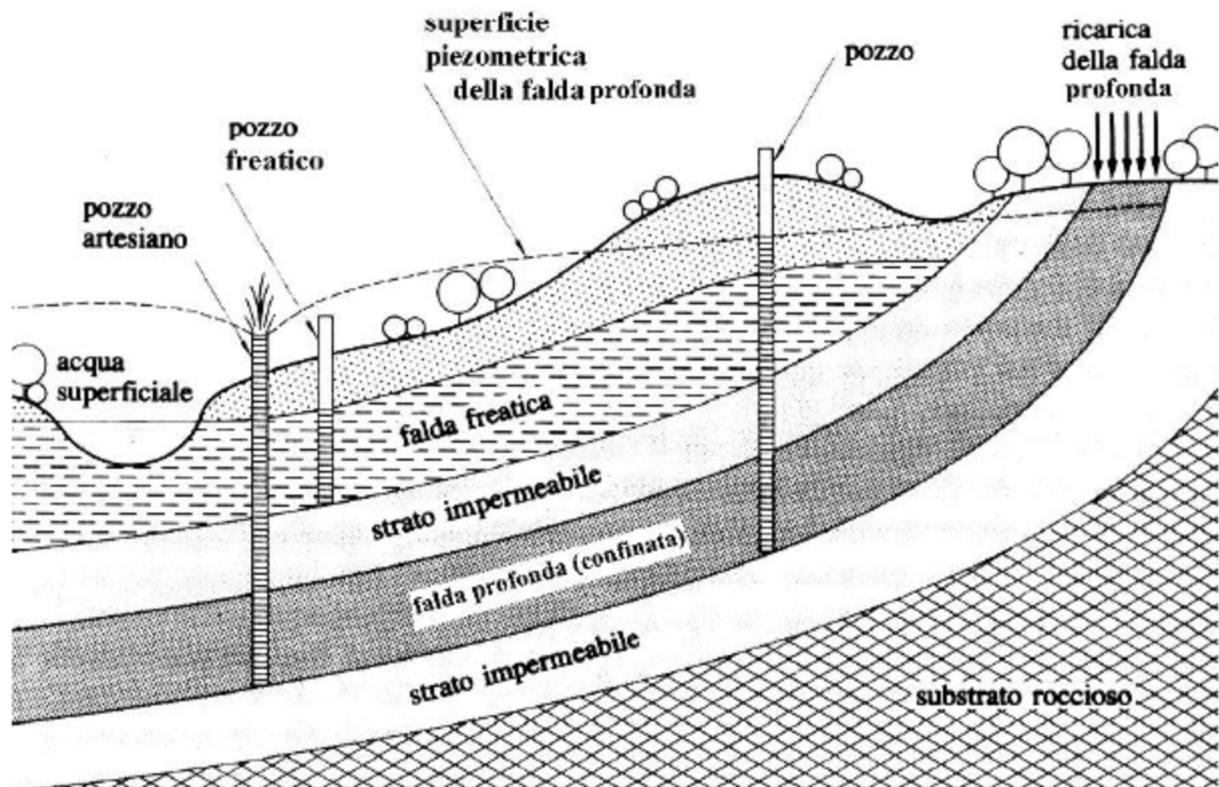
- falda freatica (superficiale o libera): la falda più vicina alla superficie del suolo, alimentata direttamente dalle acque d'infiltrazione superficiale o in diretta connessione con il reticolo idrografico;
- falde profonde, poste sotto alla falda freatica (ove presente), e cioè le falde confinate, le falde semiconfinate e le falde ospitate nelle porzioni inferiori dell'acquifero indifferenziato, generalmente caratterizzate da una bassa velocità di deflusso, da elevati tempi di ricambio e da una differente qualità chimica rispetto a quelle ospitate nelle porzioni più superficiali del medesimo.

L'approvvigionamento dell'acqua dalle falde idriche è comunemente attuato mediante pozzi tubolari, consistenti in tubi infilati in fori praticati meccanicamente. I fori hanno diametro ridotto, qualche decina di centimetri, e profondità di qualche decina di metri.

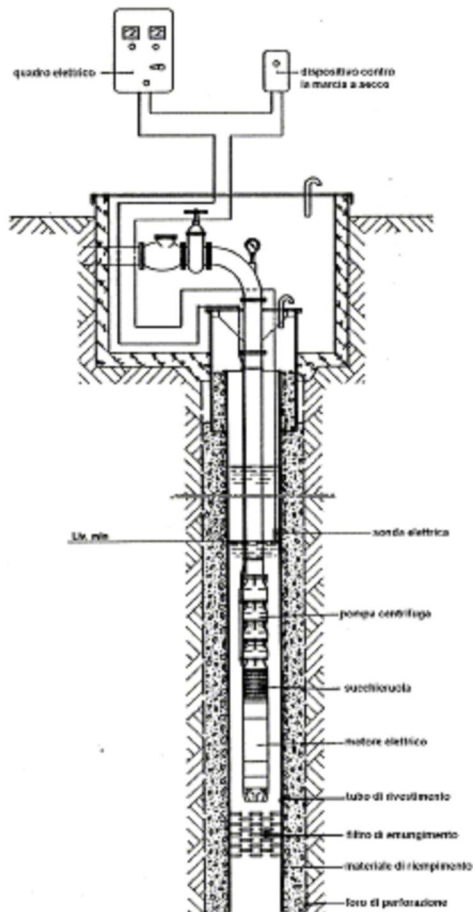
Durante la perforazione, se necessario, si collocano tubi di rivestimento provvisorio; al termine s'installano i tubi definitivi (aventi diametro inferiore ai primi) muniti di filtri nelle zone di emungimento.

Si estraggono quindi i tubi provvisori e contemporaneamente l'intercapedine tra il foro ed i tubi definitivi si riempie con materiale sciolto calibrato, nella zona dei filtri, e con materiale cementante nella restante parte, con funzione d'ancoraggio e per impedire la commistione di acque d'origine diversa, possibile causa d'inquinamento.

Nel caso di falde confinate aventi superficie piezometrica di quota superiore al piano di campagna, l'acqua giunge naturalmente in superficie attraverso il pozzo (pozzo artesiano). Negli altri casi occorre procedere al sollevamento mediante pompa (solitamente centrifuga e sommersa) messa in rotazione da un motore elettrico (anch'esso sommerso e sottostante la pompa) o da un motore a combustione posto all'esterno del pozzo e collegato meccanicamente alla pompa (può anche essere il motore di una trattrice).



Rappresentazione schematica delle falde acquifere sotterranee e dei prelievi mediante pozzi.



Schema di approvvigionamento da acque sotterranee (falda freatica) mediante pozzo tubolare e gruppo di sollevamento costituito da elettropompa sommersa (pompa centrifuga e motore elettrico).

5.4. Trasporto e distribuzione

Il trasporto e la distribuzione delle acque per scopi urbani ed industriali viene effettuato mediante tubazioni in pressione (acquedotti); lo smaltimento delle acque reflue (urbane ed industriali) viene effettuato mediante fognature, usualmente non in pressione.

Nel campo agricolo, nel caso di approvvigionamento aziendale dell'acqua irrigua l'imprenditore provvede direttamente alla presa ed alla successiva distribuzione dell'acqua all'interno dell'azienda.

Nell'approvvigionamento collettivo, vale a dire attuato da Enti pubblici o da Consorzi d'irrigazione e/o di bonifica, questi organismi gestiscono anche la rete di trasporto e distribuzione, fino alle bocchette di consegna dell'acqua alle singole utenze (aziende), ove inizia la rete aziendale.

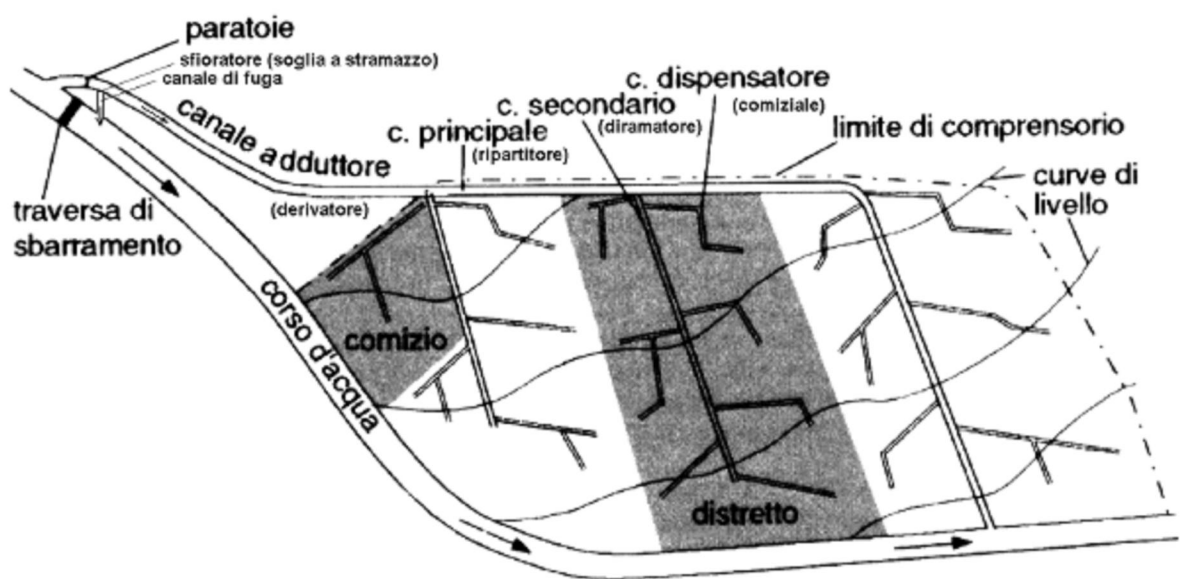
La rete irrigua, sia collettiva sia aziendale, può essere a pelo libero (canali in terra oppure rivestiti o prefabbricati, di solito a sezione trapezia) od in pressione (tubazioni metalliche, in materiale plastico od altro) o mista.

In Italia prevalgono nettamente le reti irrigue a pelo libero: sono però in espansione le reti totalmente o parzialmente in pressione, le quali risultano necessarie o convenienti per il trasporto e la distribuzione in territori morfologicamente tormentati e quando sono adottati metodi irrigui richiedenti acqua in pressione. Altri vantaggi delle reti in pressione riguardano la sostanziale riduzione delle perdite d'acqua e la flessibilità d'esercizio che può consentire particolari modalità di consegna.

Alla rete irrigua corrisponde quella scolante, destinata alla raccolta ed allontanamento degli esuberanti sia delle acque irrigue sia di quelle meteoriche e freatiche.

Facendo riferimento ad un impianto irriguo collettivo di tipo tradizionale e specificatamente ad un impianto destinato a servire, mediante condotti d'adduzione e distribuzione a pelo libero, un gran numero d'utenze (per lo più coincidenti con altrettante unità aziendali), si ha lo schema di canali secondo la tabella seguente.

Rete	Condotti irrigui	Superfici servite	Condotti scolanti	Rete
Rete irrigua collettiva	canale adduttore (o derivatore)	-----	emissario	Rete scolante collettiva
	canale principale (o ripartitore)	comprensorio	collettore principale	
Rete irrigua aziendale	canale secondario (o diramatore)	distretto	collettore distrettuale	Rete scolante aziendale
	canale dispensatore (o comiziale)	comizio	collettore comiziale	
	bocchetta di consegna	azienda	colatore aziendale	
	canale distributore	appezzamento	capofosso	
	canale adacquatore	parcella	scolina	
	adacquatrice			



Schema di rete irrigua collettiva a pelo libero, a servizio di un comprensorio di media estensione.

5.5. Utenze

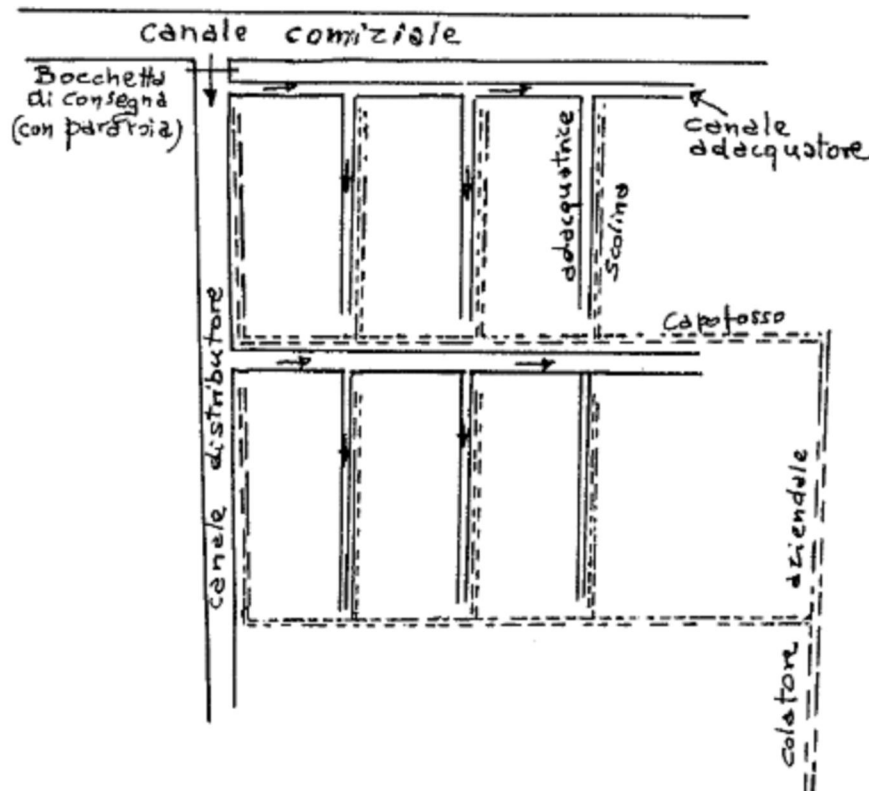
Per la gestione delle risorse idriche va soprattutto valutata la "domanda d'acqua", definita come la quantità di acqua richiesta o prelevata in assenza di restrizioni tecniche. La domanda d'acqua prevedibile in un territorio o in un sistema idrico dipende evidentemente dalle diverse utilizzazioni dell'acqua nonché dalle situazioni tecnologiche e socio-economiche.

E' evidente come l'entità della domanda d'acqua dipenda anche dal costo per l'utilizzatore dell'acqua stessa: esso infatti condiziona sia la diffusione delle diverse utilizzazioni (non essenziali) sia la convenienza ad utilizzare tecniche, attrezzature e modalità che consentono una riduzione delle perdite tecnologiche e degli sprechi.

Le utenze servite si possono distinguere principalmente nelle seguenti tipologie:

- utenze private: usi domestici (alimentazione, cucina, pulizia personale, lavaggio biancheria, pulizia della casa, ecc.) e altri usi connessi (innaffiamento verde, lavaggio auto, lavaggio spazi condominiali, piscine private, ecc.);
- utenze pubbliche o istituzionali: scuole, ospedali ospizi, banche, cliniche, macelli pubblici, caserme, prigioni, uffici pubblici, istituti religiosi, etc;

- servizi pubblici: lavaggio strade, innaffiamento verde pubblico, lavaggio fogne, servizio antincendio, fontane pubbliche, servizi igienici pubblici, lavaggio serbatoi e reti idriche, impianti portuali, impianti ferroviari, etc;
- utenze commerciali e turistiche: alberghi, pensioni, camping, ristoranti, bar negozi e servizi commerciali in genere;
- utenze artigianali e industriali: piccole industrie e attività artigianali inserite nel tessuto urbano e servite dall'acquedotto civico (lavanderie, officine meccaniche, autolavaggi, stazioni di servizio, piccole industrie alimentari, laboratori vari, ecc.).



Schema esemplificativo dei condotti irrigui e scolanti aziendali.

5.6. Usi, prelievi, consumi e fabbisogni

Gli usi dell'acqua sono definiti e classificati in modo diverso negli strumenti normativi o pianificatori e nella bibliografia tecnica.

Dal punto di vista normativo il citato D.M. Ambiente del 28 luglio 2004 distingue:

- *fabbisogni*: domanda di acqua per i diversi usi ed attività, comprensivo delle perdite fisiologiche
- *prelievi*: quantità di acqua derivata da un corpo idrico
- *utilizzi*: quantità di acqua effettivamente utilizzata per i diversi usi ed attività comprensiva delle perdite.

Un altro criterio di classificazione distingue gli "usi di prelievo" delle acque (cioè con derivazioni dal corpo idrico) da quelli "in situ del corpo idrico".

Tra gli usi di *prelievo* si annoverano:

- l'approvvigionamento civile e urbano (domestico, per i servizi, per le piccole attività produttive comprese nel tessuto urbano, ecc.);
- l'uso industriale (di processo, lavaggio, raffreddamento);
- l'uso agricolo (irriguo, zootecnico, raffrescamento, per azione antigelo);
- la produzione idroelettrica.

Gli usi *in situ del corpo idrico* comprendono:

- la navigazione;

- la pesca;
- il trasporto di cose (es. tronchi d'albero);
- la ricreazione (balneazione, canottaggio, vela, ecc.);
- la diluizione, la depurazione ed il trasporto di inquinanti;
- il controllo dell'intrusione salina;
- il mantenimento dell'ecosistema (vita acquatica).

Al fine della gestione delle risorse idriche è possibile definire come “consumo” ogni sottrazione della risorsa, a breve o medio termine, al ciclo idrologico terrestre o più generalmente alle risorse utilizzabili (anche per usi in situ).

Il concetto di "fabbisogno" fa invece riferimento non al volume di acqua consumata, ma a quella prelevata o impiegata per uno specifico uso, quindi comprensivo sia del consumo sia del volume restituito.

Per i *fabbisogni* si possono definire:

- fabbisogno assoluto: la quantità minima di acqua necessaria per un determinato uso (cioè per realizzare un definito prodotto o servizio);
- fabbisogno tecnico: la quantità minima di acqua impiegata per realizzare un definito prodotto o servizio utilizzando una specifica tecnologia (fabbisogno assoluto + perdite tecnologiche);
- fabbisogno normale: la quantità di acqua normalmente impiegata per ottenere un determinato prodotto o servizio (fabbisogno tecnico relativo alla tecnologia normalmente impiegata nel caso specifico + perdite e sprechi ritenuti normali).

Il fabbisogno idrico non si identifica sempre con l'utilizzo; infatti, negli agglomerati dove la domanda idrica non è soddisfatta, l'utilizzo è inferiore al reale fabbisogno, mentre negli agglomerati dove la domanda è soddisfatta, l'utilizzo è superiore al reale fabbisogno spesso a causa di sprechi e usi impropri della risorsa.



Per stimare i fabbisogni idrici urbani, è opportuno quando possibile esaminarli separatamente per ciascuna tipologia di utenza. Occorre però tenere presente che, mentre è abbastanza semplice stimare i fabbisogni relativi all'uso privato, perché occorre conoscere solo la tipologie abitative (popolari, medie, di lusso) presenti in percentuale, è più complesso stimare i fabbisogni di tutte le altre utenze, sia per la variabilità dei fabbisogni unitari, sia per le difficoltà di acquisire le informazioni necessarie. In particolare, la stima dei fabbisogni idrici industriali è molto difficile a causa della varietà dei processi industriali che spinge le imprese a operare in modi diversi e spesso alla scelta di un approvvigionamento autonomo.

Per stimare i fabbisogni idrici si utilizza il concetto di dotazione idrica pro capite ($l/ab \cdot d$) che tiene conto del fabbisogno complessivo della risorsa compresi gli sprechi e le perdite.

$$\text{DOTAZIONE} = \text{Fabbisogno} + \text{SPRECHI e PERDITE}$$

6. MODIFICHE DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE

6.1. Generalità

Le caratteristiche dell'acqua vengono modificate durante gli usi; in particolare si possono avere modifiche sulla quantità (consumo), sulla qualità (inquinamento), nonché sulla disponibilità nel tempo e nello spazio.

Possono inoltre effettuarsi modifiche intenzionali della qualità delle acque mediante trattamenti di depurazione al fine di rendere le caratteristiche della risorsa compatibili con le esigenze delle utilizzazioni.

I trattamenti depurativi possono essere classificati in:

- tradizionali od intensivi (con impianti che richiedono tempi di depurazione generalmente dell'ordine di poche ore e spazi ridotti, dell'ordine di $0,5 \text{ m}^2/\text{AE}^4$)
- naturali od estensivi (che viceversa richiedono ampie superfici, da $1-2 \text{ m}^2/\text{AE}$ a $10 \text{ m}^2/\text{AE}$, e lunghi tempi di detenzione idraulica, da 1-2 giorni fino a settimane o mesi).

La depurazione risulta necessaria per il miglioramento della qualità delle acque mediante la riduzione della concentrazione delle sostanze inquinanti (o indesiderate) in esse contenute.

L'alterazione della qualità delle acque viene definita inquinamento con produzione delle cosiddette "acque reflue". La produzione di acque reflue è essenzialmente legata agli usi industriali e domestici.

L'acqua è considerata inquinata quando si trova in uno stato tale che risulti alterato l'equilibrio biologico e chimico-fisico *naturale*. In tal caso in essa sono presenti sostanze (organiche o minerali, sospese, colloidali o disciolte, ecc.) o caratteristiche organolettiche, per cui ne derivano inconvenienti per l'uomo e per gli altri esseri viventi.

Le direttive CEE indicano: "L'inquinamento idrico è l'effetto dello scarico in ambiente acquoso di sostanze o di energie tali da compromettere la salute umana, da nuocere alle risorse dei viventi e, più in generale, al sistema ecologico idrico e da costituire ostacolo a qualsiasi legittimo uso delle acque, comprese le attrattive ambientali".

Gli effluenti urbani contengono soprattutto sostanze organiche biodegradabili provenienti dal metabolismo umano, accanto a prodotti chimici di varia natura derivati dalle attività artigianali e commerciali, ed hanno un elevato contenuto di microrganismi patogeni.

Gli scarichi di effluenti industriali, contenenti residui delle materie prime e dei prodotti intermedi e finali delle lavorazioni, hanno composizione variabile a seconda del tipo d'industria. Gli effluenti agricoli provengono dallo smaltimento di deiezioni animali degli allevamenti, non utilizzate come concimi naturali. A questi si aggiungono gli effetti dell'abuso in agricoltura di sostanze chimiche non metabolizzabili dagli organismi viventi, fitofarmaci e fertilizzanti che, veicolati dalle piogge, raggiungono i corsi d'acqua e le falde sotterranee.

L'inquinamento provocato dalle attività umane influisce in special modo sulla qualità delle acque dei corpi idrici superficiali, da sempre considerati come il migliore mezzo di trasporto ed allontanamento di rifiuti di ogni tipo.

Le sostanze inquinanti possono essere galleggianti, sospese o disciolte. Le sostanze galleggianti sono gli oli, i grassi, le schiume ed in genere le sostanze insolubili più leggere dell'acqua che deteriorano le caratteristiche estetiche, impediscono la penetrazione delle radiazioni solari ed interferiscono con la naturale riareazione. Le sostanze insolubili sospese si depositano col tempo sotto forma di fango sulle rive e sul fondo ed impediscono l'azione depurativa dei microrganismi ed influiscono negativamente sulla nutrizione dei pesci. Le sostanze disciolte sono le più numerose.

I parametri relativi al carico idraulico, cioè la portata di acque di rifiuto, ed organico, cioè l'apporto di sostanza organica, sono i più importanti ai fini della gestione delle usuali operazioni di modifica intenzionale delle caratteristiche qualitative delle acque di rifiuto.

6.2. *Depurazione intensiva*

Un impianto di depurazione è costituito da una serie di trattamenti, volti alla rimozione degli inquinanti presenti nelle acque di scarico di qualsiasi origine. Si definisce "rendimento depurativo

⁴ L'Abitante Equivalente (AE) è un parametro che esprime il carico inquinante di una particolare utenza civile od industriale, facendo riferimento a termini omogenei e confrontabili a quello di utenze esclusivamente civili. Generalmente l'equivalenza viene espressa in termini di carico organico (e talora idraulico); il D.Lgs. 152/99 definisce "AE" il carico organico biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD5) pari a 60 g/giorno di O₂.

di un trattamento” ($\eta\%$) rapporto fra la variazione del valore del parametro preso in esame, conseguente al trattamento, e il valore iniziale prima del trattamento.

Nel caso di una sostanza inquinante, chiamando:

- L_i la concentrazione della sostanza prima del trattamento (ad es. in mg/l)
- L_e la concentrazione dopo il trattamento

per definizione risulta:

$$\eta(\%) = \frac{L_i - L_e}{L_i} \cdot 100$$

Nei trattamenti delle acque di rifiuto, i rendimenti depurativi che più interessano sono quelli relativi alla rimozione di:

- sostanze organiche biodegradabili (espresse come BOD_5 o COD), cioè eliminazione di quelle sostanze che, determinando una richiesta di ossigeno nel corpo idrico, ne possono deteriorare le caratteristiche;
- solidi sospesi, che sono causa della torbidità dell’acqua;
- carica batterica e virale, per le sue implicazioni di carattere igienico;
- fosforo e azoto (ammoniaci, nitriti, nitrati), che favoriscono lo sviluppo di alghe.

Le tipologie di trattamento presenti in un impianto di depurazione intensiva possono essere distinti in:

- *trattamenti meccanici*, basati sulla separazione e rimozione grazie ad elementi o forze meccaniche (ad esempio: grigliatura, sedimentazione);
- *trattamenti biologici*, nei quali gli inquinanti vengono rimossi grazie all’azione di microrganismi mediante processi di biodegradazione che mineralizzano la sostanza organica;
- *trattamenti chimici o chimico-fisici*, basati sulla rimozione degli inquinanti grazie a reazioni chimiche (es. ossidazione, neutralizzazione) oppure a fenomeni fisici (es. adsorbimento, flocculazione, stripping, ecc.).

Le caratteristiche qualitative che si devono raggiungere allo scarico dell’effluente depurato sono indicate per legge (D. Lgs. 152/06). Tale decreto legislativo stabilisce, in funzione della dimensione e della potenzialità dell’impianto, dei requisiti minimi, che possono però essere di caso in caso resi più stringenti (o permissivi) in funzione delle caratteristiche del corpo ricettore.

6.2.1. Trattamenti meccanici

6.2.1.1. Grigliatura

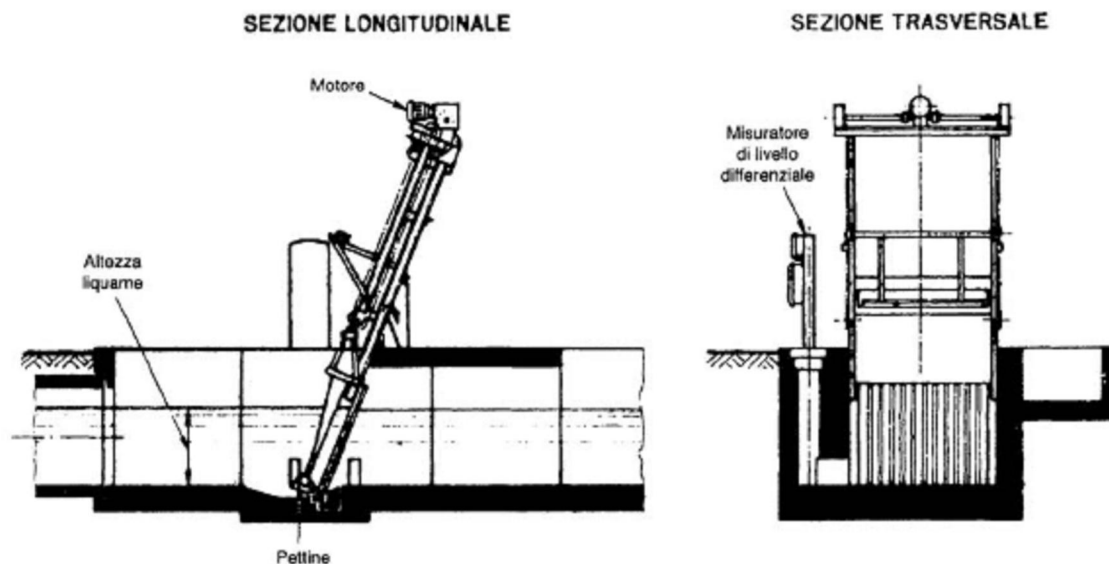
Serve per rimuovere corpi ed oggetti grossolani che potrebbero danneggiare le pompe o accumularsi nelle tubazioni/reattori a valle.

Si distinguono in funzione della spaziatura tra le barre:

- medio-grossolana 30÷60 mm (fino a 100 mm)
- fine 15÷25 mm
- micro-grigliatura o stacciatura 1÷3 mm

6.2.1.2 Dissabbiatura e disoleatura

La dissabbiatura rimuove i solidi inerti (normalmente più pesanti e grossolani degli organici), che darebbero inconvenienti (usura parti meccaniche, accumulo inerti nella sezione fanghi) mentre la disoleatura rimuove gli oli e grassi, che diminuiscono l’efficienza di ossigenazione del liquame e che causano l’accumulo di schiume nel bacino di aerazione, in sedimentazione e nei digestori, limitando però la contemporanea rimozione di sostanza organica.



6.2.1.3 Sedimentazione

E' un trattamento avente lo scopo di rimuovere i solidi sospesi sedimentabili. Negli impianti di depurazione esistono di norma due fasi di sedimentazione:

- *sedimentazione primaria*: a valle di dissabbiatura/disoleatura ed a monte del trattamento biologico: comporta la riduzione del carico organico avviato al trattamento biologico, con bassi consumi energetici ed a basso costo (se paragonati a quelli associati al trattamento biologico), ma con produzione di fanghi che devono poi essere a loro volta trattati. Tale fase deve essere presente se si adottano trattamenti biologici a biomassa adesa (letti percolatori, biodischi) per evitare l'intasamento del supporto.
- *sedimentazione secondaria*: a valle del trattamento biologico, per separare i fiocchi di biomassa che si sono formati e scaricare un effluente con concentrazioni molto basse di Solidi Sospesi Totali (SST, 30÷50 mg/l). E' sempre presente se il trattamento biologico è effettuato con biomasse sospese da ricircolare (fanghi attivi).

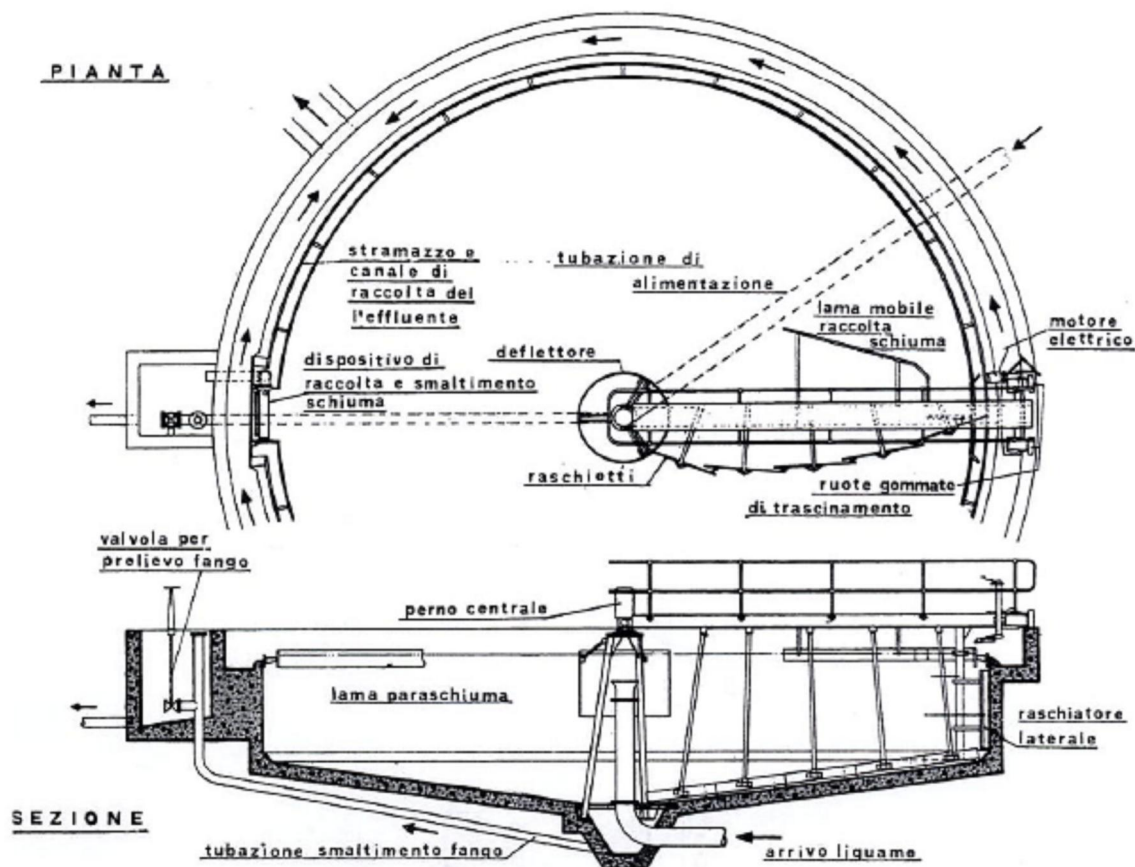
6.2.2 Trattamenti biologici

Agiscono su sostanze allo stato solubile, colloidale e finemente sospeso sfuggite ai sedimentatori primari rimuovendo principalmente sostanza organica biodegradabile e azoto.

Essi determinano l'accelerazione, in ambiente controllato, dei fenomeni di degradazione naturale del materiale organico biodegradabile a mezzo batteri. I batteri aerobi utilizzano il materiale organico biodegradabile N e P come substrato nutritizio e ossigeno come ossidante. Generalmente circa la metà dei composti organici viene gassificato a CO₂ mentre la restante metà dei composti organici diventa "fango".

Si distinguono in:

- impianti a biomasse sospese (fanghi attivi): i fiocchi batterici si muovono in una vasca aerata piena di liquami;
- impianti a biomasse adese (biodischi, in cui i batteri crescono sulle superfici solide di dischi in movimento in materiale plastico e letti o filtri percolatori, in cui i batteri crescono sulle superfici solide di supporti fissi, ossia pietrisco o materiale plastico);
- digestori anaerobici, in cui i processi depurativi avvengono in assenza di luce ed ossigeno.



6.2.2.1 Impianti a biomassa sospesa (fanghi attivi)

In un impianto "classico o convenzionale" a fanghi attivi, i liquami grezzi sono preventivamente sottoposti a trattamenti di grigliatura grossolana e fine (con eventuale triturazione) e di dissabbiamento (dopo una eventuale preareazione e disoleatura) per essere inviati alla sedimentazione primaria. Ultimato il trattamento primario, i liquami sono inviati alla fase ossidativa, con trattamenti di areazione intensa, artificiale. Durante il tempo in cui il liquame viene mantenuto nelle vasche di aerazione (tempi di detenzione generalmente tra 1,5 e 6 ore) i microrganismi utilizzano per la loro crescita parte delle sostanze organiche solubili, trasformandole in sostanze sedimentabili.

Nel reattore a fanghi attivi è necessario mantenere una concentrazione di ossigeno disciolto di almeno 2 mg/l al fine di consentire la penetrazione all'interno del fiocco di fango ed evitare la competizione di batteri filamentosi e di biomassa dispersa.

L'ossigeno deve essere fornito, mediante:

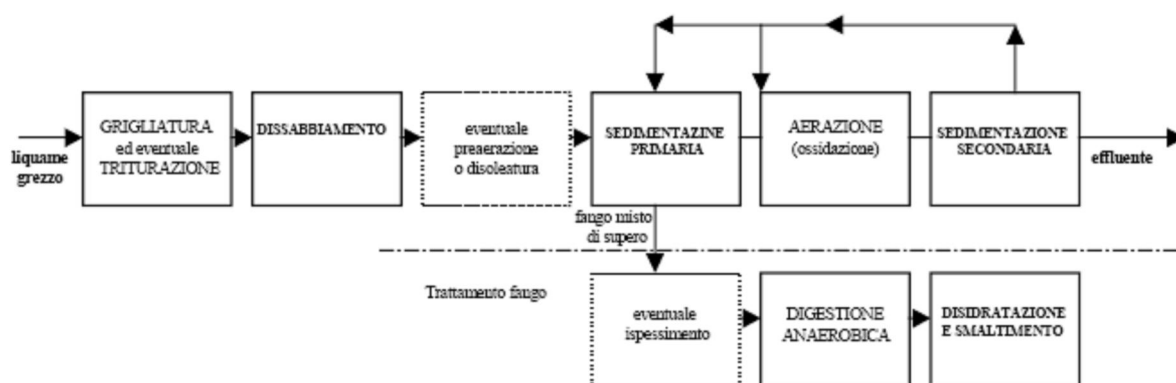
- sistemi che insufflano aria sul fondo della vasca (bolle fini, medie e grosse);
- sistemi che movimentano il liquame in superficie (spazzole rotanti ad asse orizzontale, turbine ad asse verticale) e consentono l'arricchimento con ossigeno atmosferico;
- "sistemi misti", nei quali l'aria viene iniettata sul fondo in corrispondenza di una turbina o di un agitatore che la distribuiscono.

I dispositivi di ossigenazione assolvono anche il compito di mantenere miscelato il reattore.

Il processo a fanghi attivi accelera (di 2-3 ordini di grandezza) i processi depurativi che avvengono in natura nell'ambiente idrico consentendo un corrispondente contenimento dei tempi di detenzione e dei volumi delle vasche; ciò avviene con l'areazione artificiale intensiva (fino a 50-80 Watt di potenza elettrica per mc di miscela areata) e con una elevata concentrazione di biomassa attiva nella miscela areata (tra 2.000 e 8.000 mg/l di solidi sospesi) ottenuta ricircolando il fango accumulato

nella sedimentazione secondaria. La necessità di una sedimentabilità costantemente elevata del fango attivo costituisce però l'elemento di debolezza di tale tipologia di impianti che presentano perciò una modesta affidabilità. Le elevate dimensioni e la sedimentabilità del fiocco di fango possono infatti essere compromesse da una varietà di fattori perturbativi quali: insufficiente concentrazione di ossigeno disciolto, di nutrienti (N,P) e di sostanza organica (che favorisce la proliferazione di batteri filamentosi e biomassa dispersa), bassi valori (o rapide variazioni) del pH (che favoriscono il prevalere di funghi e di biomassa dispersa rispetto a batteri e protozoi), presenza di sostanze batteriostatiche (oli essenziali, polifenoli, ecc.).

Negli impianti a schema classico (la tipologia più economica in termini energetici tra le varie che si possono assumere nel processo a fanghi attivi) i fanghi di supero (non riciclati) del sedimentatore secondario vengono avviati alla digestione anaerobica assieme ai fanghi della sedimentazione primaria; in questo modo i consumi energetici corrispondono alla fornitura di ossigeno per l'ossidazione di circa un terzo della sostanza organica in ingresso.



Impianto a fanghi attivi di tipo "classico" o convenzionale (Masotti L. 1993)

Al fine di ridurre costi di investimento e complessità di gestione, negli impianti di piccole dimensioni si adottano schemi semplificati senza sedimentazione primaria. In impianti ancora più piccoli si possono adottare schemi ad "areazione prolungata", senza digestore anaerobico, in cui il fango viene stabilizzato aerobicamente e che accanto all'inconveniente degli elevati consumi energetici presentano i seguenti vantaggi:

- minori costi per le opere impiantistiche, perché viene eliminata la sedimentazione primaria e la digestione del fango;
- semplificazione dell'esercizio dell'impianto;
- minori problemi di affidabilità di funzionamento;
- superfici di terreno meno estese.

Gli impianti ad "areazione prolungata" costituiscono una particolarizzazione dello schema precedente. In questo caso al comparto di areazione sono attribuiti tempi di detenzione talmente elevati che il fango, continuamente ricircolato, subisce una stabilizzazione analoga a quella ottenibile con la digestione aerobica separata.

6.2.2.2 Impianti a biomassa adesiva

Filtri o letti percolatori

Il filtro percolatore, nella sua forma più semplice, appare costituito da una massa di materiale (pietriscio,...) attraverso il quale il liquame percola scorrendo sulla superficie dei vari elementi costituenti l'ammasso filtrante. Il liquame arriva generalmente per caduta diretta, oppure per sollevamento tramite impianto di pompaggio. Dopo un periodo dell'ordine di qualche settimana, durante il quale la massa è attraversata dal liquame, sulla superficie del materiale di riempimento gradualmente si forma una pellicola biologica, cioè uno strato mucillaginoso dello spessore di 2-3 mm, costituito da un'associazione di batteri aderenti al materiale di supporto (processo a film adesivo). Gli organismi costituenti la membrana adsorbono e degradano, con processi biologici

essenzialmente aerobi, le sostanze organiche nutritive presenti nei liquami. Le sostanze organiche sono trattate per assimilazione diretta e per adsorbimento. Fra atmosfera e il velo di liquido che scorre sulla membrana biologica si instaurano processi di interscambio gas-liquido con cui l'ossigeno atmosferico si diffonde nel liquame per poi trasferirsi ai vari organismi insediati sul materiale di supporto.

Per effetto di complessi fenomeni, la membrana biologica si distacca periodicamente dal materiale di supporto e viene raccolta in una fase di sedimentazione secondaria.

Per poter essere ammessi ai filtri percolatori, i liquami debbono innanzitutto sottoporsi ai trattamenti preliminari di grigliatura e dissabbiamento. Il liquame deve essere poi sottoposto ad una sedimentazione primaria dato che le sostanze sospese sedimentabili porterebbero ad un rapido intasamento degli organi di distribuzione e della massa del filtro percolatore.

Il liquame chiarificato è distribuito sulla superficie del filtro con ugelli disposti su un braccio ruotante per effetto della reazione dinamica del fluido effluente, secondo il principio del mulinello idraulico. Per l'azionamento del braccio rotante, in alcuni casi si utilizza un piccolo motore elettrico. Gli elementi di supporto della massa biologica hanno una pezzatura uniforme con dimensioni fra 2 e 8 cm per assicurare una elevata porosità della massa e che consente la circolazione dell'aria, ed evita intasamenti.

Rispetto agli impianti a fanghi attivi i filtri percolatori presentano il vantaggio di consumi di energia ridotti, in quanto l'aerazione avviene per effetto di tiraggio naturale, e praticamente nulli se l'impianto funziona a caduta naturale. Altro vantaggio dei filtri percolatori consiste nel fatto, che essendo i microrganismi che provvedono alla depurazione, saldamente ancorati al materiale di supporto, sono evitati i pericoli di dilavamento degli stessi. Gli svantaggi legati all'utilizzo dei filtri percolatori sono legati alla possibilità di intasamento, alla produzione di odori sgradevoli, alla possibilità che si costituisca un ambiente favorevole alla produzione di insetti ed alla necessità di disporre di aree di terreno assai più estese che per gli impianti a fanghi attivi.

Dischi biologici

È un tipo di impianto che, pur mantenendo immutato lo schema dei filtri percolatori tradizionali, utilizza come supporto per la membrana biologica appositi "dischi biologici".

I liquami dopo i trattamenti preliminari sono inviati in un bacino a sezione trasversale semicircolare, ove s'immergono parzialmente (40%) questi dischi biologici, cioè dischi in materiale plastico posti su un tamburo orizzontale messo in rotazione da un piccolo motore elettrico (30 cm/s).

I dischi hanno un diametro variabile fra 1 e 3 metri e sono distanziati fra loro di 2-3 cm. Dopo un certo tempo di esercizio si forma, sulla superficie dei dischi, una membrana biologica dello spessore di 1-3 mm che, durante il moto di rotazione si carica di ossigeno nella fase di esposizione all'aria, per poi immergersi ed adsorbire e metabolizzare le sostanze organiche disciolte presenti nei liquami.

6.2.2.3 Digestione anaerobica

Per digestione anaerobica si intende la degradazione della sostanza organica da parte di microrganismi in condizioni di anaerobiosi con produzione di una miscela di biogas ad alta concentrazione di metano. Si effettua in appositi impianti chiusi, denominati "digestori", ed è costituita da quattro stadi:

- Idrolisi, dove le molecole organiche subiscono scissione in composti più semplici, quali i monosaccaridi, amminoacidi e acidi grassi;
- Acidogenesi, dove avviene l'ulteriore scissione in molecole ancora più semplici, come gli acidi grassi volatili (ad esempio acido acetico, propionico, butirrico e valerico), con produzione di ammoniaca, anidride carbonica e acido solfidrico;
- Acetogenesi, dove le molecole semplici prodotte nel precedente stadio sono ulteriormente digerite, producendo biossido di carbonio, idrogeno e principalmente acido acetico;
- Metanogenesi, con produzione di metano, biossido di carbonio ed acqua.

Questi processi sono più lenti e più delicati, perché i microrganismi consentono velocità di degradazione della sostanza organica più basse di quelli aerobici. Sono utilizzabili per il trattamento dei reflui di origine organica, e permettono un apprezzabile recupero di metano (da utilizzare come fonte di energia negli impianti di grandi dimensioni).

6.2.3 *Trattamenti chimici, fisici e chimico-fisici*

6.2.3.1 *Filtrazione*

È un trattamento posto a valle dei trattamenti biologici e del sedimentatore secondario con lo scopo di migliorare ulteriormente la limpidezza dell'acqua, rimuovendo i SS fini che sfuggono al sedimentatore secondario e la concentrazione di P, BOD ed Escherichia coli che sono associati ai SS.

La separazione è realizzata con un mezzo poroso, un setaccio o un tessuto filtrante, che trattiene i solidi e lascia passare il liquido. I filtri possono contenere strati di sabbia, ghiaia e carbone o carbone attivo, che contribuiscono a rimuovere anche le più piccole particelle.

6.2.3.2 *Membrane di separazione*

La tecnologia che utilizza le membrane di separazione è costituita dalle fasi di concentrazione, separazione ed eliminazione delle sostanze disciolte presenti nelle A.R. I processi di separazione su membrana sono applicati per rimuovere soluti colloidali e disciolti. Tutti i processi di separazione usano una membrana porosa o semi-permeabile, capace di resistere ad una forte differenza di pressione.

6.2.3.3 *Flocculazione*

La flocculazione porta alla formazione di un sistema colloidale, in cui la fase solida tende a separarsi formando dei fiocchi in sospensione; ha la finalità di combinare o far aggregare le piccole particelle colloidali ($< 1 \mu\text{m}$) con le particelle più grandi grazie a fenomeni di adsorbimento. Affinché avvenga la flocculazione è necessario innanzitutto destabilizzare le cariche elettriche dei colloidali: ciò viene realizzato facendo uso di coagulanti, composti di varia origine (la più utilizzata è la calce), che esplicano la loro azione in un intervallo di pH ben definito.

6.2.3.4 *Precipitazione chimica*

La precipitazione chimica è impiegata per eliminare dalla soluzione i composti ionici disciolti mediante aggiunta di agenti chimici che facilitano la reazione chimica tra le particelle, inibendo le forze elettrostatiche che tendono a tenerle separate; il precipitato si forma quando la soluzione è sovrassatura.

6.3 *Trattamenti naturali in ambiente idrico*

Trattamenti naturali o estensivi in ambiente idrico (a biomassa sospesa) sono diffusamente utilizzati in varie parti del mondo per la depurazione di acque reflue quando sono disponibili, in località sufficientemente lontane dai centri abitati, ampie superfici di terreno a costi relativamente contenuti e con adatte caratteristiche di impermeabilità.

Tali tecniche vengono denominate naturali o estensive, in quanto i processi di depurazione, di tipo chimico-fisico-biologico, richiedono:

- lunghi tempi (fino ad alcune decine di giorni rispetto alle poche ore nel caso di trattamenti intensivi di reflui urbani)
- estese superfici (fino a $10 \text{ m}^2/\text{AE}$ contro un valore di circa $0,5 \text{ m}^2/\text{AE}$ nel caso di trattamenti intensivi).

L'interesse applicativo dei sistemi estensivi è dovuto principalmente ai seguenti fattori:

- relativa facilità di realizzazione anche da imprese locali (movimenti di terra, piccole opere edili, manutenzione delle sponde, pulizia delle opere d'arte);
- quasi totale assenza di apparecchiature elettro-meccaniche e consumi energetici ridottissimi;

- modesta produzione di fanghi da rimuovere con cadenza pluriennale;
- semplicità ed economicità di costruzione, gestione e manutenzione;
- affidabilità nel rendimento, che dipende tuttavia dalle condizioni climatiche;
- elevata efficienza nella rimozione di alcuni inquinanti (es. microrganismi patogeni);
- ottima capacità “buffer”, ossia di assorbimento di punte di carico idraulico ed organico;
- buon inserimento ambientale e possibilità di recupero di aree marginali;
- idoneità per piccole comunità (lontane da impianti centralizzati) o per comunità a popolazione fluttuante.

6.3.1 Lagunaggio

Il lagunaggio consiste nell'accumulo delle acque reflue (dopo i trattamenti preliminari) in stagni in cui il liquame subisce una serie di processi di tipo naturale simili a quelli che si verificano nei corpi idrici a lento ricambio. Le alghe consumano la CO₂ che si sviluppa dalle reazioni di ossidazione e rilasciano O₂. Altro ossigeno viene introdotto attraverso la superficie di separazione aria-acqua. All'interno dello stagno avvengono complessi fenomeni biologici che alla fine comportano una degradazione e quindi eliminazione dei solidi sospesi, disciolti e colloidali con conseguente depurazione.

Gli stagni biologici possono essere classificati in:

- *Stagni aerobici-anaerobici* (facoltativi), caratterizzati da una profondità compresa tra 1 e 2 m e da un limitato fattore di carico organico superficiale [kg BOD₅/(ha·d)]; solitamente hanno la funzione di trattamento secondario. In essi si inducono condizioni aerobiche in superficie ed anaerobiche sul fondo. La radiazione solare incide solo sui primi strati fino ad una profondità che dipende da luminosità, latitudine, ventosità e trasparenza del liquido. In questi primi stadi possono svilupparsi microalghe verdi. Negli stadi dove non arriva la luce non sono presenti alghe si instaurano condizioni anaerobiche e si sviluppano batteri anaerobi e facoltativi (zona anaerobica).
- *Stagni aerobici* (poco diffusi) dove la modesta profondità fa sì che la luce possa raggiungere tutti gli strati e la fotosintesi algale possa svilupparsi in tutta la massa d'acqua. I processi depurativi sono prevalentemente di tipo aerobico e l'ossigeno necessario per il metabolismo della sostanza organica da parte dei microrganismi aerobi viene fornito dall'attività fotosintetica algale e in misura minore dallo scambio fra superficie libera ed atmosfera. Il fattore di carico organico applicabile è ancora più basso e quindi sono richieste grandi superfici. Sono prevalentemente utilizzati con funzione di affinamento.
- *Stagni anaerobici*, profondi 4-6 m, nei quali il processo di biodegradazione avviene in ambiente privo di luce ed ossigeno; sono caratterizzati da un elevato fattore di carico organico. Le sostanze organiche sono degradate quasi esclusivamente per via anaerobica e pertanto è possibile uno sviluppo di esalazione moleste, specialmente se le acque sono ricche di solfati da cui può svilupparsi H₂S.

6.3.2 Lagune areate

Nel sistema di depurazione a vasche aerate le acque vengono accumulate in invasi artificiali, realizzati in genere in terra, eventualmente impermeabilizzata con fogli di PE o PVC incollati o saldati a caldo, nei quali i processi di ossidazione della sostanza organica e degli altri composti inquinanti vengono favoriti mediante la fornitura di ossigeno, mediante turbine galleggianti o altri dispositivi di areazione. L'immissione di aria contribuisce inoltre a miscelare il liquame invasato. Si tratta di un sistema di depurazione semiestensivo in cui i processi di depurazione naturale vengono accelerati ma non in misura estrema come avviene nei sistemi intensivi; hanno un notevole potenziale applicativo (poco utilizzato in Italia) consentendo risparmio di risorse (innanzitutto energetiche), semplicità di gestione ed elevata affidabilità. Le lagune (o vasche) areate più diffuse sono quelle aerobiche-anaerobiche con profondità dell'ordine di 4-7 m e potenze specifiche di areazione tra 0,5 e 3 Watt/m³ che consentono la sedimentazione e la digestione anaerobica sul fondo

di gran parte del fango. L'apporto artificiale di O₂ si aggiunge all'ossigeno atmosferico trasferito dalla superficie aria - acqua ed all'ossigeno eventualmente prodotto dallo sviluppo algale.

I processi biologici fondamentali che possono avere luogo nella laguna biologica aerata sono:

- ossidazione aerobica nello strato superficiale;
- azione degli organismi predatori (questi fanno parte dello zooplancton, costituito da piccoli animali che si nutrono di batteri ed alghe, producendo O₂ come catabolita gassoso);
- digestione anaerobica nelle zone più profonde e più distanti dagli areatori;
- nelle lagune con minore potenza specifica, fotosintesi da parte delle alghe (che traggono energia dalla luce solare e utilizzano CO₂, composti azotati e fosforici, prodotti dalla decomposizione batterica delle molecole organiche più complesse, per sintetizzare nuove cellule algali con produzione di O₂ gassoso come catabolita, che contribuisce a sua volta a mantenere il liquido in condizioni aerobiche).

La sostanza organica contenuta nel liquame che entra in una laguna va incontro a reazioni biochimiche che portano alla sua trasformazione sotto forma di fango, alla successiva decomposizione (prevalentemente anaerobica dopo sedimentazione sul fondo) di quest'ultimo ed alla parziale sintesi di nuove cellule viventi. In questo modo si attua un sistema ciclico attraverso il quale la sostanza organica biodegradabile viene in parte convertita in materiale cellulare ed in parte decomposta in composti più semplici e stabili.

La depurazione con lagune areate areate, non essendo condizionata (a differenza del processo a fanghi attivi) dalla esigenza di una permanente sedimentabilità del fango da ricircolare, risulta molto affidabile e tollera bene le variazioni di pH, la carenza di ossigeno disciolto e di nutrienti, e la presenza di composti organici inibitori (es. polifenoli, oli essenziali, ecc.). A fronte dell'unico svantaggio costituito dal maggiore impegno di superfici di terreno, un ulteriore vantaggio rispetto al processo a fanghi attivi è rappresentato dalla semplicità di gestione e dal risparmio energetico conseguente:

- alla maggiore efficienza di trasferimento dell'ossigeno dovuta alle minori concentrazioni di ossigeno disciolto (0,4 – 1 mg/l rispetto ai 2 – 4 mg/l delle vasche a fanghi attivi);
- alla possibilità di effettuare l'areazione solo nelle ore notturne in cui l'energia costa il 20-30 % in meno;
- al contributo, ancorché minoritario, dell'ossigeno trasferito (o prodotto) naturalmente;
- al contributo alla degradazione della sostanza organica apportato dalla digestione anaerobica (non energivora) che risulta significativamente più elevato rispetto ai processi a fanghi attivi a “schema semplificato” e ad “aerazione prolungata”.

Il risparmio energetico si riduce significativamente negli stagni areati aerobici (peraltro poco diffusi) che presentano potenze specifiche di areazione di 3-10 W/m³.



Una laguna aerata per il trattamento dei reflui agrumari in Sicilia

Gli stagni areati risultano particolarmente indicati nel trattamento di reflui agroalimentari; l'elevato tempo di ritenzione idraulica dei reflui all'interno dello stagno (di solito dell'ordine di alcune settimane o alcuni mesi) consente:

- la regolazione del carico organico evitando che il processo depurativo venga disturbato dai periodi di mancanza di flusso;
- l'equalizzazione delle caratteristiche qualitative dell'effluente, limitando le variazioni di pH e di concentrazione organica e in oli essenziali (nel caso di reflui agrumari) o polifenoli (nel caso di reflui oleari);
- la riduzione dei problemi causati dagli oli essenziali o dei polifenoli (la cui concentrazione viene tra l'altro abbassata per effetto della diluizione dell'influente con i grandi volumi presenti nello stagno già parzialmente depurati);
- il risparmio di nutrienti aggiunti (altrimenti necessari negli effluenti derivanti dalla lavorazione di prodotti vegetali);
- l'eliminazione dei problemi di avviamento dell'impianto (particolarmente utile nelle industrie agroalimentari, i cui cicli produttivi ricoprono limitati periodi dell'anno).

6.3.3 Fitodepurazione

La fitodepurazione (nella letteratura tecnica internazionale i relativi impianti vengono indicati come constructed wetlands = aree umide costruite) è un sistema di trattamento dei reflui basato su processi biologici, e chimico fisici caratteristici degli ambienti acquatici e delle zone umide. I sistemi di fitodepurazione sono ambienti umidi riprodotti artificialmente in bacini (generalmente riempiti di materiale granulare inerte impermeabilizzati) e attraversati, con diversi regimi di flusso, dalle acque reflue opportunamente raccolte a monte. Tali sistemi sono caratterizzati dalla presenza di specie vegetali tipiche delle zone umide (macrofite igrofile), radicate ad un substrato di crescita o galleggianti su uno specchio d'acqua. Sono anche definiti sistemi naturali, in quanto tendono a riprodurre in ambiente controllato i processi di autodepurazione che avvengono spontaneamente nelle zone umide naturali spontaneamente, che degradano gli inquinanti nelle acque reflue.

I diversi sistemi di fitodepurazione possono essere classificati in funzione della tipologia di macrofite utilizzate (Brix, 1993):

- sistemi a macrofite galleggianti: vengono utilizzate piante acquatiche che si sviluppano sulla superficie liquida dei bacini in cui vengono immerse le acque reflue;
- sistemi a macrofite radicate sommerse: si fa ricorso ad essenze vegetali radicate nel fondo, del bacino e con il fusto totalmente immerso nel liquame;
- sistemi a macrofite radicate emergenti: vengono impiegate essenze vegetali radicate al fondo hanno l'apparato radicale, e solo parte dello stelo, immerso nel liquame.

Una ulteriore classificazione dei sistemi di fitodepurazione è in funzione del regime di funzionamento idraulico:

- sistemi a flusso superficiale;
- sistemi a flusso subsuperficiale (orizzontale e verticale).

6.3.3.1 Sistemi a flusso superficiale (*free water system – FWS*)

I sistemi a flusso superficiale sono costituiti da bacini o canali, naturalmente o artificialmente impermeabilizzati, in cui il livello dell'acqua è costantemente mantenuto sopra la superficie del medium (Figura 1), con un battente idrico tipicamente compreso tra 0,3 e 0,6 m.

Uno dei principali obiettivi della progettazione di un sistema FWS è garantire il più ampio contatto del refluo con la superficie biologica e attiva del sistema, per consentire un efficace tempo di residenza idraulica del refluo nel sistema ed evitare la formazione di corto-circuiti idraulici (Vymazal, 2008).

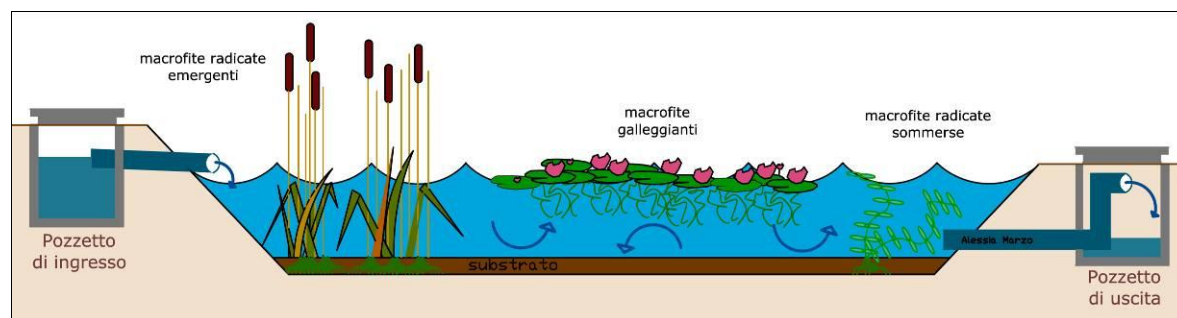


Figura 1. Sistemi a flusso superficiale a macrofite radicate emergenti (FWS)

I sistemi FWS vengono alimentati con un flusso in continuo; le acque reflue immerse nel bacino risultano direttamente a contatto con l'atmosfera. Lo strato superficiale della massa liquida si viene dunque a trovare in condizioni aerobiche, mentre le zone a profondità maggiori risultano essere generalmente in condizioni anaerobiche, a meno di una piccola quantità di ossigeno che viene convogliata dalle piante.

La porzione emergente delle piante acquatiche (radici emergenti, stelo, foglie immerse nell'acqua) costituisce il supporto sul quale si sviluppano masse batteriche che provvedono alla depurazione delle acque in transito con meccanismi tipici dei sistemi di biodegradazione a massa adesa. Nel caso di macrofite galleggianti le piante utilizzate ombreggiano quasi completamente il liquido sottostante ed impediscono lo sviluppo di alghe con il conseguente instaurarsi di condizioni anaerobiche.

I processi di depurazione sono:

- biologici di tipo aerobico, che portano all'ossidazione della frazione carboniosa del BOD₅ e alla nitrificazione dei composti azotati;
- fisici di sedimentazione, causati dalle basse velocità dell'acqua;
- biologici anossici ed anaerobi, nelle zone prive di ossigeno, favorevoli alla denitrificazione dei nitrati.

Gli inconvenienti derivanti dall'impiego di tali impianti sono connessi alla possibile diffusione nell'atmosfera di odori sgradevoli e alla proliferazione di insetti. Tuttavia lo sviluppo degli insetti può essere efficacemente contenuto mediante l'introduzione all'interno dei bacini di animali insettivori, quali pesci e rane, che si nutrono delle larve presenti sul pelo libero. Ad esempio, in ambienti prevalentemente aerobici, risulta particolarmente diffusa l'introduzione di pesci *Gambusia* (*Gambusia affinis*) efficienti predatori di larve di zanzara. Anche la colonizzazione degli impianti di fitodepurazione da parte di uccelli selvatici può risultare un elemento efficace ai fini della riduzione della proliferazione degli insetti.

I sistemi a flusso superficiale risultano notevolmente diffusi in Nord America, mentre in Europa vengono scarsamente utilizzati a causa dell'elevata superficie da essi richiesta (da 4-20 m²/AE(1) per i trattamenti terziari fino a 20-40 m²/AE per i trattamenti secondari).

6.3.3.2 Sistemi a flusso sub-superficiale

I sistemi a flusso sub-superficiale, indicati in letteratura internazionale con il termine "subsurface flow" (SSF), rappresentano il sistema di fitodepurazione maggiormente utilizzato in Europa (Vymazal, 1998).

La principale differenza fra i sistemi SSF e quelli FWS è rappresentata dalla presenza, all'interno dei bacini, di un materiale inerte di riempimento che ha funzione di supporto su cui si sviluppano le radici delle macrofite radicate. Tale letto filtrante presenta, solitamente, altezze variabili da 0,2 a 0,8 m, a seconda del tipo di macrofite adottate e della profondità dei loro apparati radicali (Cooper et al., 1996).

I sistemi a flusso sub-superficiale sono canali o bacini, naturalmente o artificialmente impermeabilizzati, riempiti con materiale inerte ad elevata conducibilità idraulica (ghiaia, sabbia o terreno naturale) che funge da supporto di crescita per le macrofite emergenti e per la popolazione microbica.

Rispetto ai sistemi a flusso superficiale, in cui lo sviluppo di colonie di microorganismi è limitato ai soli fusti sommersi delle macrofite, la pellicola batterica dispone in questo caso di una maggiore superficie di adesione dovuta alla presenza del medium di crescita, riducendo così la superficie richiesta dall'impianto.

La maggiore diffusione dei sistemi a flusso sub-superficiale rispetto a quelli a superficie libera è imputabile ad una serie di fattori economici, ambientali e di rendimento depurativo. In particolare, tali sistemi richiedono una superficie per abitante equivalente inferiore rispetto ai sistemi a flusso superficiale, grazie alla maggiore efficienza depurativa dovuta alla presenza del medium poroso (costituito da materiale inerte) che funge sia da filtro sia da supporto per i film batterici, con una superficie di contatto acqua/inerte di gran lunga superiore a quella dei sistemi a flusso superficiale.

Il letto filtrante, all'interno del quale defluiscono le acque reflue che non vengono mai direttamente a contatto con l'atmosfera, riduce o elimina del tutto i problemi connessi alla presenza di cattivi odori ed alla proliferazione di insetti. Inoltre, l'efficienza depurativa ottenuta permane elevata anche nei mesi invernali grazie all'inerzia termica del medium ed alla copertura vegetale. D'altro canto, però, vengono a mancare gli effetti benefici della radiazione solare per la rimozione dei microrganismi e viene ostacolato lo scambio di ossigeno con l'atmosfera, limitandone di fatto la presenza alla sola rizosfera. È stato infatti accertato che la capacità di trasporto di ossigeno delle piante risulta insufficiente a garantire lo sviluppo dei processi di decomposizione aerobica al di fuori delle zone più prossime alle radici e ai rizomi delle piante.

I sistemi a flusso sub-superficiale necessitano di un pretrattamento delle acque reflue in ingresso (i sistemi più adottati sono le fosse settiche tricamerale o tipo Imhoff), in quanto effluenti con eccessiva concentrazione dei solidi sospesi occluderebbero rapidamente il substrato con conseguenti problemi di efficienza depurativa e di insorgenza di cattivi odori.

Infine, la frequenza di rimozione della massa vegetale risulta essere notevolmente ridotta (al massimo una volta l'anno), contenendo così il problema dello smaltimento della biomassa prodotta.

In base alla modalità di alimentazione del refluo e al regime di flusso, si distinguono in sistemi a flusso orizzontale e sistemi a flusso verticale.

6.3.3.3 Sistemi a flusso sub-superficiale orizzontale (H-SSF)

Il flusso d'acqua è mantenuto costantemente al di sotto della superficie del materiale di riempimento, all'interno del quale si crea un ambiente prevalentemente anossico, ricco tuttavia di micro-siti aerobici posti in corrispondenza delle radici delle piante, che funzionano sostanzialmente come sistemi di trasferimento dell'ossigeno dall'atmosfera all'interno del letto filtrante. E' proprio questa varietà di condizioni redox del sistema a renderlo estremamente elastico, versatile ed efficiente a fronte di diverse tipologie di reflui da trattare e di concentrazioni variabili di inquinanti.

Lungo il percorso compiuto dalle acque reflue attraverso il medium gli inquinanti vengono rimossi da una combinazione di processi fisici, chimici e biologici che comprendono sedimentazione, precipitazione, adsorbimento sulle particelle del suolo, assimilazione da parte dei tessuti delle piante e processi microbici (Brix, 1993; Vymazal et al., 1998b).

Mentre il refluo attraversa il materiale di riempimento e viene in contatto con la rizosfera delle macrofite (che costituiscono un sistema a biomassa adesa), la sostanza organica e azotata in esso contenuta vengono degradati dall'azione microbica; invece il fosforo ed i metalli pesanti vengono fissati per adsorbimento sul materiale di riempimento.

Le specie vegetali contribuiscono al processo depurativo, favorendo da un lato lo sviluppo di un'efficiente popolazione microbica (aerobica) nella rizosfera e, dall'altro, attraverso l'azione di "pompaggio" dell'ossigeno atmosferico dalla parte emersa all'apparato radicale alla porzione di terreno circostante; ne consegue una migliore ossidazione del refluo e la creazione di una alternanza di zone aerobiche, anossiche ed anaerobiche, con conseguente lo sviluppo di diverse famiglie di microrganismi specializzati e la scomparsa pressoché totale dei patogeni, particolarmente sensibili ai rapidi cambiamenti del tenore di ossigeno disciolto. L'efficienza di rimozione dei solidi sospesi è dovuta al processo di filtrazione da parte del medium ed avviene in misura maggiore in prossimità del punto di immissione dello scarico (EPA, 1993). La rimozione dell'azoto avviene in parte per assunzione da parte delle macrofite (10-16%), ma soprattutto per un processo di nitrificazione nei micrositi aerobici adiacenti alla superficie radicale, seguita da un processo di denitrificazione nello spessore del medium in cui vi sono condizioni di anaerobiosi (EPA, 1993). Le quantità di azoto rimosso risultano generalmente piuttosto modeste poiché le piante non riescono a fornire al letto filtrante adeguati volumi di ossigeno per la degradazione della sostanza organica e per le reazioni di nitrificazione. La rimozione del fosforo avviene per processi di adsorbimento, complessazione e precipitazione a carico del medium ed in minima parte per assunzione da parte delle macrofite (Reed et al., 1988). La rimozione dei batteri, estremamente efficace, sembra derivi dal continuo passaggio attraverso micrositi aerobici ed anaerobici nella rizosfera, il che comporta uno stress per i microrganismi non metabolicamente adatti a tenori diversi di ossigeno (Moroni et al., 1996).

Il letto filtrante è costituito da materiale inerte a granulometria costante, ad eccezione della zona di ingresso e quella di uscita delle acque reflue dove vengono posizionati degli inerti di maggiore pezzatura per evitare la formazione di percorsi preferenziali da parte del liquame. La superficie utile dal letto filtrante risulta solitamente compresa tra 1 e 5 m²/AE, in funzione della tipologia di trattamento da effettuare (Reed et al., 1995).

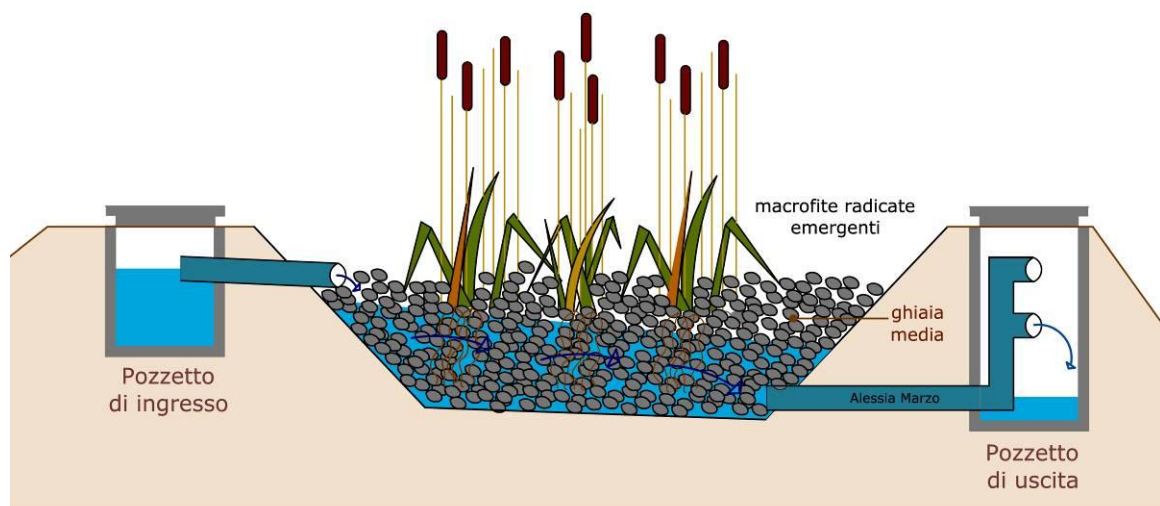


Figura 2. Sistemi a flusso subsuperficiale orizzontale (H-SSF)

6.3.3.4 Sistemi a flusso sub-superficiale verticale (SSF-V)

I sistemi a flusso sub-superficiale verticale sono, da un punto di vista costruttivo, del tutto simili a quelli a flusso orizzontale appena descritti. La differenza è rappresentata dalla modalità di immissione dei reflui e dalla tipologia di riempimento del sistema. I liquami da trattare vengono infatti immessi dall'alto (Figura 3) mediante una rete di tubazioni forate o dotate di erogatori che distribuiscono i reflui sull'intera superficie del letto.

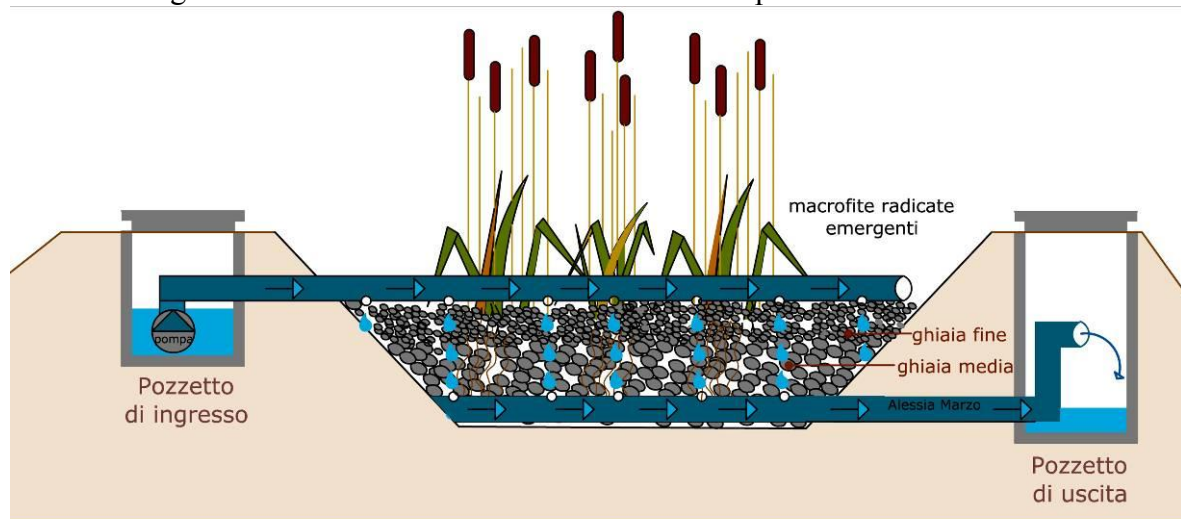


Figura 3 Sistemi a flusso subsuperficiale verticale (V-SSF)

L'alimentazione intermittente con cicli di riempimento e svuotamento, regolati da un sistema temporizzato o da sifoni auto-innescanti, crea le condizioni di un reattore "batch" e necessita spesso di almeno due vasche in parallelo, che funzionano a flusso alternato, in modo da poter regolare i tempi di riossigenazione del letto variando frequenza e quantità del carico idraulico del refluo in ingresso.

Il medium di riempimento di questa tipologia di sistemi deve essere costituito da materiale inerte a granulometria più fine rispetto ai sistemi a flusso orizzontale, in modo da consentire una lenta filtrazione gradatamente verso il fondo delle acque e quindi una distribuzione quanto più omogenea possibile su tutta la superficie del letto. Le sabbie grossolane utilizzate

generalmente nei sistemi V-SSF presentano una conducibilità idraulica adeguata alla filtrazione verticale lenta e offrono, inoltre, un rapporto tra volume e superficie più elevato rispetto alle ghiaie adoperate nei sistemi H-SSF, a vantaggio dell'attecchimento della biomassa.

L'alimentazione intermittente del liquame, associata ad un substrato a granulometria differenziata, facilita il drenaggio nel medium di crescita che viene a trovarsi alternativamente in condizioni di carenza e di eccesso di ossigeno. La maggiore areazione del substrato incrementa così i processi aerobici come la rimozione della sostanza organica e la nitrificazione. Ciò è dovuto alla maggiore concentrazione di ossigeno presente nel sistema, ottenuta grazie ai cicli di riempimento e svuotamento. In particolare, nella fase di svuotamento il liquame percola lentamente verso il basso permettendo la progressiva occupazione degli spazi liberati all'interno del medium da parte dell'aria; con la successiva fase di caricamento, che ha inizio quando il bacino è completamente svuotato, l'aria presente nel letto filtrante viene intrappolata nel sistema grazie al flusso di acque reflue fresche. I sistemi V-SSF vengono dunque proposti con la funzione specifica di nitrificazione, in associazione con letti a flusso orizzontale che effettuino la successiva denitrificazione anossica.

6.3.3.5 Vantaggi - limiti della fitodepurazione

La fitodepurazione può essere utilizzata per:

- trattamenti secondari, dopo la sedimentazione, di reflui di insediamenti civili (abitativi, ricreativi quali campeggi, centri di agriturismo, centri commerciali, ecc.), soprattutto in siti abitativi rurali dove non è possibile o si rivela troppo costoso l'allacciamento a fognatura o in siti con popolazione fluttuante;
- trattamenti terziari a valle di impianti di depurazione di tipo civile o misto soprattutto in funzione dell'abbattimento della carica batterica
- trattamenti secondari o terziari di reflui di provenienza industriale o agro-industriali (esperienze in Europa su frantoi oleari, caseifici, industria tessile, alimentare);
- trattamenti di reflui di provenienza agricola.

La tabella seguente sintetizza i principali vantaggi e limiti del sistema di fitodepurazione.

VANTAGGI	LIMITI
Riduzione dei costi capitali	Necessità di ampie superfici
Consumi energetici ridotti o nulli	Non adattabile ad alte quote o in climi freddi
Semplicità gestionale	
Costi di gestione molto limitati	
Limitate quantità di biomassa di risulta	
Buon inserimento ambientale	
Maggior tutela dei corpi idrici recettori	

6.4 Somministrazione al suolo

6.4.1 Generalità

L'irrigazione con acque reflue può considerarsi un metodo di depurazione estensivo che attiva e valorizza diversi processi naturali di depurazione di natura fisica, chimica e biologica (questi ultimi sviluppati prevalentemente da biomassa adesa sulle particelle di terreno).

Notevoli benefici di tipo ambientale sono connessi all'irrigazione con acque reflue (sia urbane, sia agro-industriali), in quanto con tale pratica si evita lo scarico nei corpi idrici delle sostanze

inquinanti comunque presenti negli effluenti, anche dopo gli eventuali trattamenti depurativi; infatti molte sostanze contenute nel refluo anche trattato (sostanza organica, fosforo, azoto, ecc.), pur svolgendo una azione fertilizzante per il terreno agricolo sono da considerarsi inquinanti per i corpi idrici.

Soprattutto nelle regioni aride e semiaride le risorse idriche non convenzionali come le acque reflue urbane hanno una importanza strategica a causa della limitatezza e dell'insufficienza delle risorse convenzionali. L'irrigazione con acque reflue può consentire la riduzione dei prelievi di risorse idriche convenzionali ovvero l'aumento di risorse idriche disponibili ai fini irrigui. Il primo di tali effetti si verifica quando si modifica la fonte di approvvigionamento idrico di terreni già irrigati utilizzando le acque reflue al posto di acque convenzionali. Ciò può comportare, in seguito all'incremento di portata del corpo idrico, un aumento di disponibilità di risorsa idrica convenzionale per altri utilizzatori ed in particolare per usi qualitativamente più esigenti come quelli civili o quelli naturalistici e ricreativi che hanno assunto negli ultimi anni una crescente importanza. In alternativa le acque reflue possono essere utilizzate per incrementare la superficie irrigata oppure incrementare la dotazione idrica e la resa agricola di terreni insufficientemente irrigati a causa della carenza di risorse idriche convenzionali.

Le sostanze, apportate al terreno con l'irrigazione, in genere non costituiscono per esso elementi inquinanti ma svolgono, anzi, un'efficace azione fertilizzante; per tali motivi l'irrigazione con acque reflue può, in molti casi, essere effettuata con effluenti che abbiano subito livelli di trattamento più bassi di quelli normalmente necessari per lo scarico in corsi d'acqua, permettendo così di ridurre i costi ed i consumi energetici inerenti al pretrattamento.

Tra le problematiche connesse agli effetti dell'utilizzo delle acque reflue a scopo irriguo, non sono da sottovalutare i problemi tecnologici legati alle modalità di distribuzione dei liquami sul terreno. Per l'irrigazione con i reflui, infatti, ci si avvale dei sistemi di distribuzione normalmente utilizzati nella pratica irrigua, ma la presenza nei liquami di sostanze solide può provocare l'occlusione degli orifizi degli erogatori. Quest'ultimo è un problema in parte in via di soluzione grazie alla predisposizione di idonei filtri ed erogatori da parte delle case costruttrici.

Si descrivono nel seguito le problematiche di ordine agronomico ed igienico-sanitario connesse al riuso di acque reflue.

6.4.2 Effetti sul suolo

6.4.2.1 Generalità

Nella gestione delle acque reflue a fini irrigui è essenziale che siano definite le relazioni fra composizione chimico-microbiologica dell'acqua e le proprietà del suolo, gli effetti del sodio e della concentrazione salina sulla capacità di infiltrazione dei suoli, la fitotossicità specifica di diverse sostanze disciolte, specie metalli pesanti e boro.

I parametri che caratterizzano la qualità delle acque reflue, da utilizzare a scopo irriguo, per garantire oltre la resa e la qualità delle colture, la produttività del suolo e la protezione dell'ambiente, possono essere suddivise in due categorie:

- parametri generalmente valutati anche nelle acque irrigue convenzionali e connessi prevalentemente alla presenza di macroelementi nell'acqua: sodio, calcio, magnesio, solfati, cloruri, boro, conducibilità elettrica;
- parametri specifici caratteristici delle acque reflue urbane: sostanza organica, azoto, fosforo, potassio, microrganismi e metalli pesanti.

6.4.2.2 Contenuto di sostanza organica

La sostanza organica è una componente caratteristica del refluo ed è generalmente misurato mediante uno dei seguenti parametri tra loro legati: il COD (domanda chimica di ossigeno), il BOD₅ (domanda biochimica di ossigeno misurata a 5 giorni) e meno frequentemente il TOC (carbonio organico totale). La presenza della sostanza organica influenza sia le caratteristiche fisiche sia quelle chimiche dei suoli.

Essa, attraverso l'interazione con gli altri componenti del suolo, determina le condizioni per una buona struttura del suolo. Ciò produce un efficace ricambio di aria ed una maggiore facilità di drenaggio; comporta un miglioramento delle possibilità di penetrazione delle radici, nonché una maggiore resistenza del suolo alla compattazione o alla polverizzazione; infine favorisce le condizioni ottimali per lo sviluppo e la funzione attiva della biomassa.

La sostanza organica riduce il rischio di compattazione, poiché favorisce l'aggregazione delle particelle di suolo determinando un aumento della porosità ed una riduzione della densità apparente. Inoltre aumenta la permeabilità e la quantità di acqua disponibile per le piante. La compattazione costituisce un grave processo di degradazione, che provoca, da una parte, una perdita della fertilità dei suoli e, dall'altra, un notevole aumento del ruscellamento superficiale (in seguito alla riduzione di infiltrabilità superficiale nel suolo) e del rischio di erosione idrica. La compattazione riduce lo spazio a disposizione delle radici limitando in tal modo l'assorbimento di acqua e di elementi nutritivi da parte delle piante, determinando così una diminuzione delle rese produttive.

La sostanza organica influenza inoltre la capacità di ritenzione idrica del terreno, non solo perché condiziona l'aggregazione strutturale e quindi la porosità, ma anche per l'effetto diretto che le sostanze umiche possono provocare, trattenendo fino a quattro volte il loro peso d'acqua.

La sostanza organica, tra i vari componenti del suolo, è senz'altro la più reattiva dal punto di vista chimico. Essa è estremamente importante come fattore di controllo della disponibilità di microelementi: la solubilità di metalli come ferro, zinco, nichel, cobalto e manganese è regolata dalla formazione di complessi tra gli ioni metallici e le frazioni solubili della sostanza organica.

L'attitudine di un suolo ad opporsi alle variazioni di pH, cioè la sua capacità tampone, è dovuta anche alla sostanza organica, soprattutto alla frazione ricca di gruppi carbossilici e ossidrilici fenolici; ciò contribuisce a mantenere nel terreno valori di pH ottimali per lo svolgimento di molte reazioni chimiche e dei processi biologici.

La sostanza organica, se apportata in grandi quantità, svolge un'azione fertilizzante nel terreno. Il terreno è particolarmente efficace nel trattenere e decomporre la sostanza organica che viene applicata con le acque reflue. La sostanza organica contenuta nel refluo, attraversando gli strati superficiali del suolo, viene trattenuta dal terreno e rimossa dalla fase liquida.

6.4.2.3 Presenza di sodio ed altri macroelementi non nutritivi

L'eccessiva concentrazione nelle acque reflue del catione sodio rispetto ai cationi calcio e magnesio può provocare l'alcalinizzazione del terreno con degrado della sua struttura. Alla degradazione della struttura del terreno consegue una riduzione della permeabilità e della velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno. Il rischio di alcalinizzazione comporta solitamente modifiche molto lente che possono manifestarsi anche dopo alcuni anni o decenni e possono essere diverse in funzione del tipo di terreno, del clima, dell'apporto di sodio, ecc.

Esistono diversi metodi di quantificazione del rischio di alcalinizzazione tra i quali i più evoluti, attualmente in fase di messa a punto, si basano su misure di riduzione di conducibilità idrica del terreno. Metodi più consolidati e diffusi utilizzano come parametri la tessitura del terreno e il rapporto di assorbimento del sodio (SAR), misurato dalla seguente relazione:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\left[\left(\frac{Ca + Mg}{2}\right)\right]}}$$

con le concentrazioni espresse in meq/L. Il SAR fornisce una misura del rischio di alcalinizzazione del terreno (più il suo valore è alto, maggiore è il rischio). Il valore di soglia del SAR generalmente assunto è pari a 3; valori di SAR inferiori a 3 indicano che non occorrono restrizioni per l'utilizzo di acque reflue riciclate a scopo irriguo, mentre seri danni possono essere osservati quando il valore del SAR è superiore a 9, in particolare nel caso di irrigazione superficiale.

Un altro parametro utilizzabile è il grado di saturazione in [Na] del complesso di scambio del suolo, ossia il rapporto fra sodio scambiabile (ES) e la capacità di scambio cationico (CEC) del suolo,

riferito a 100, indicata con la sigla ESP (Exchangeable sodium percentage) rappresenta la percentuale di sodio scambiabile del suolo:

$$ESP = \frac{Na \text{ scamb. } \%}{CEC \%} \times 100$$

Un valore di ESP del 15% rappresenta il limite oltre il quale comincia il pericolo di un eccesso di sodio nel suolo.

Per quanto riguarda i livelli approssimati della percentuale di sodio scambiabile (ESP), corrispondenti a tre diverse categorie di colture, essi sono: per le sensibili fino al 15%, per le semitolleranti fra 15 e 40% e per le tolleranti oltre il 40%.

Altri effetti sulle colture dell'eccessivo apporto di macroelementi non nutritivi possono verificarsi in relazione all'elevata concentrazione di sali nella soluzione circolante nel terreno che aumenta la componente osmotica del potenziale idrico rendendo più difficoltoso l'assorbimento idrico da parte della pianta. È importante, pertanto, prevenire un'eccessiva concentrazione di sali nella zona radicale delle colture irrigate mediante frequenti irrigazioni per mantenere un livello relativamente alto di umidità nel suolo e per avere delle periodiche percolazioni nel suolo per la rimozione dei sali. Inoltre l'eccessivo assorbimento da parte delle piante di singoli anioni e cationi (es. sodio, cloruri e solfati) può avere effetti fitotossici e una riduzione della resa agricola.

6.4.2.4 *Presenza di microelementi*

La presenza di microelementi nelle acque reflue (in particolare boro e metalli pesanti) può rendere problematica l'utilizzazione irrigua.

I metalli pesanti, alle abituali modeste concentrazioni nelle acque reflue urbane ed agroalimentari, non pongono problemi agronomici ma, al contrario, possono essere in qualche caso utili alle colture.

Gran parte dei micro-elementi, come ad es. Zn, Cd, Cu, Pb, vengono trattenuti e immobilizzati nel terreno, specialmente in presenza di condizioni aerobiche e basiche, e di elevata capacità di scambio dei cationi (CEC). L'eventuale eccessivo accumulo a lungo termine dei metalli pesanti nel terreno (conseguente ad esempio all'uso di reflui con apporti significativi di scarichi industriali) può causare effetti fitotossici sulle colture oppure, in qualche caso, la bioaccumulazione di alcuni elementi (Ni, Cu, Pb, ecc.) nella catena alimentare.

Molti metalli pesanti diventano più solubili in condizioni di acidità e, muovendosi nel suolo con l'acqua possono arrivare alle falde, nei fiumi e nei laghi.

6.4.2.5 *Presenza di macroelementi nutritivi*

Attraverso le acque reflue vengono applicati al terreno macroelementi nutritivi e in particolare azoto, fosforo e potassio. La determinazione della concentrazione di tali nutrienti risulta importante per conoscere l'apporto complessivo al terreno anche allo scopo di tenerne conto nelle pratiche di concimazione e di valutare il rischio di percolazione dell'azoto. L'apporto al terreno con le acque reflue urbane di sostanze nutritive (almeno per quanto riguarda fosforo e potassio) è generalmente inferiore a quello delle abituali concimazioni. Pertanto gli effetti causati dall'apporto di tali fertilizzanti sono prevalentemente di natura economica (risparmio nelle concimazioni).

Per effetto della percolazione profonda i nitrati possono costituire causa di inquinamento delle acque sotterranee e di drenaggio e compromettere l'uso potabile delle acque per concentrazioni di azoto nitrico superiori a 10 mg/L. La percolazione profonda dell'azoto nitrico è legata, oltre che al carico di azoto presente nel refluo, al fabbisogno di azoto delle colture e alle caratteristiche fisico-chimiche del terreno irrigato.

6.4.2.6 *Modifica delle proprietà idrauliche*

Queste proprietà possono subire notevoli modificazioni in dipendenza delle caratteristiche chimiche dell'acqua utilizzata. Nei suoli la dimensione dei pori varia ampiamente il contenuto idrico è

maggiore laddove i pori sono di più piccole dimensioni, La conoscenza dell'evoluzione nel tempo del contenuto idrico nella zona del suolo, interessata dagli apparati radicali, è indispensabile per la razionale gestione dell'acqua di irrigazione in relazione alle specifiche condizioni ambientali e alle colture presenti in campo.

Il fenomeno è da ricondursi a modificazioni della geometria del sistema poroso indotte dai processi di coagulazione, di dispersione e di moto dei materiali argillosi, nonché alla formazione delle croste superficiali, anch'esse principalmente attribuite al movimento dei colloidi del suolo. Nel caso di acque reflue, a questi processi occorre aggiungere i fenomeni di occlusione parziale dei pori riconducibili ad: accumulo di solidi sospesi; crescita di film microbici sulle pareti dei pori; precipitazione di carbonati di calcio a bassi valori di pH; precipitazione di fosfati e di ossidi. La riduzione della conducibilità idraulica, dopo l'applicazione delle acque reflue, può incidere negativamente sull'ambiente in quanto può determinare ristagno e ruscellamento superficiale. Il ristagno superficiale aumenta i flussi preferenziali di contaminanti attraverso il suolo e aumentando il ruscellamento si possono creare fenomeni di erosione del suolo e di contaminazione delle acque superficiali.

L'uso di acque reflue trattate a scopo irriguo, generalmente, produce un'alterazione dello strato superficiale del suolo (confermato da indagini micromorfologiche) che nel tempo si estende in profondità determinando una riduzione della porosità, una traslazione della dimensione dei pori verso pori più stretti ed una conseguente decrescita della ritenzione idrica del suolo, della conducibilità idraulica e della dispersione idrodinamica. Le modificazioni delle caratteristiche e quindi del comportamento idraulico dei suoli hanno ovviamente effetti diretti sull'attitudine di questi alla coltivazione; prevedibili sono anche gli effetti sulle proprietà di trasporto dei suoli, da mettersi in relazione con i tempi di trasferimento dei soluti. La diversa mobilità dei soluti può indurre o comunque favorire la formazione di zone di accumulo di alcune sostanze o, al contrario, agevolare il trasporto in profondità dei soluti verso l'acquifero.

6.4.3 Effetti sulle colture e sulla produttività agricola

Gli effetti dell'irrigazione con acque reflue sulle colture dipendono essenzialmente, oltre che dalla coltura stessa, dagli "inquinanti" e dalla loro concentrazione nelle acque reflue e dai processi epurativi che avvengono nel terreno a loro carico.

I parametri che caratterizzano la qualità delle acque reflue, da utilizzare a scopo irriguo, per garantire oltre la resa e la qualità delle colture, la produttività del suolo e la protezione dell'ambiente, possono essere suddivise in due categorie:

1. parametri generalmente valutati anche nelle acque irrigue convenzionali e connessi prevalentemente alla presenza di macroelementi nell'acqua: sodio, calcio, magnesio, solfati, cloruri, boro, conducibilità elettrica;
2. parametri specifici caratteristici delle acque reflue urbane: sostanza organica, azoto, fosforo, potassio, microorganismi e metalli pesanti.

È importante indicare quali sono gli effetti dei parametri citati sulle colture e sulla produttività agricola.

In particolare eccessive quantità di ioni disciolti incrementano il potenziale osmotico della soluzione circolante nel suolo per cui deve aumentare l'energia che le colture devono impiegare per assorbire acqua dal suolo, ne consegue un progressivo declino nella crescita e nella resa della maggior parte delle colture.

È importante, pertanto, prevenire un'eccessiva concentrazione di sali nella zona radicale delle colture irrigate o mantenere al minimo la porzione di terreno in corrispondenza delle radici sotto i livelli di salinità che una data coltura può sopportare.

Le comuni pratiche di gestione per un uso sicuro di acque reflue a scopo irriguo implicano il controllo delle sorgenti di erogazione, la selezione delle colture e le varietà colturali che producono rese soddisfacenti in condizioni di salinità o sodicità, procedure di semina che minimizzano o compensano l'accumulo dei sali in prossimità dei semi, frequenti irrigazioni per mantenere un livello relativamente alto di umidità nel suolo e per avere delle periodiche percolazioni nel suolo per la rimozione dei sali, trattamenti speciali e aggiunta di ammendanti chimici, di materiale organico

per mantenere una buona permeabilità del suolo. Tra gli accorgimenti esaminati quello più importante è il mantenimento di una disponibilità idrica elevata nello strato di suolo esplorato dagli apparati radicali, perché le irrigazioni frequenti allontanano buona parte dei sali dalla zona radicale, limitando il danno osmotico. A tal fine occorre conoscere la quantità necessaria d'acqua di irrigazione che bisogna somministrare, oltre il normale volume di adacquamento, per tenere sotto controllo la salinità del suolo e mantenerla al livello desiderato.

Molti ioni che sono innocui, o che esercitano effetti positivi a basse concentrazioni, ad elevate concentrazioni possono diventare tossici per le colture mediante un'interferenza diretta con i processi metabolici o attraverso effetti indiretti su altri nutrienti, che possono essere resi non disponibili. La tossicità danneggia la crescita, riduce la resa, modifica la morfologia della pianta e ne può provocare la morte. Il grado di danno dipende dalla coltura, dal suo stato di crescita, dalla concentrazione di ioni tossici e dalle condizioni ambientali di clima e suolo.

6.4.4 Rischio igienico-sanitario

Il rischio igienico-sanitario per uomini e animali rappresenta ancora oggi uno dei principali problemi dell'uso di acque reflue urbane per l'irrigazione. Tale rischio è generalmente connesso al contatto diretto delle acque reflue con gli operatori, anche per via aerosol (rischio infettivo) e al consumo di prodotti agricoli (rischio infettivo e rischio tossico).

Nella progettazione di un sistema di riuso il rischio infettivo può essere minimizzato in alternativa:

- prevedendo trattamenti depurativi spinti delle acque reflue al fine di eliminare o ridurre a valori accettabili la probabilità di presenza di microrganismi patogeni e la concentrazione di sostanze tossiche;
- ponendo precisi vincoli su colture e metodi irrigui in modo da consentire anche l'uso di acque reflue solo parzialmente trattate.

Per grandi sistemi, dove sono disponibili volumi di acque reflue di rilevante entità utilizzabili in vasti comprensori irrigui, risulta generalmente conveniente la prima strategia, che prevede di adeguare all'uso la qualità dell'effluente con avanzati trattamenti depurativi anche accettando una riduzione del potere fertilizzante delle acque reflue e un aumento di costo della depurazione. Per piccoli sistemi spesso invece potrebbe risultare più conveniente adottare la seconda strategia, che attenua il rischio infettivo scegliendo la metodologia irrigua più idonea per ciascuna tipologia colturale.

I metodi a microportata di erogazione risultano generalmente i più idonei per minimizzare il rischio infettivo in quanto possono consentire di evitare sia il contatto delle acque reflue con i prodotti e gli operatori agricoli sia la contaminazione delle acque di falda determinata da percolazione nella zona di utilizzazione. I metodi per sommersione e per scorrimento implicano la gestione da parte degli operatori agricoli di corpi d'acqua spesso elevati e determinano una più ampia superficie bagnata di terreno. I metodi per aspersione (in particolare soprachioma) possono ovviamente essere impiegati solo utilizzando acque reflue con bassa carica batterica in quanto, oltre a determinare un contatto tra acqua e prodotti, determinano la formazione di aerosol con conseguenti rischi per gli operatori e per la popolazione residente nelle aree limitrofe alla zona di utilizzazione.

Gli agenti patogeni rilevabili nelle acque reflue sono generalmente di origine umana (escreti con feci o urine) o di origine ambientale. In termini di rischio igienico infettivo essi vengono distinti in quattro categorie: patogeni propriamente detti, patogeni opportunisti, commensali e saprofiti: i patogeni propriamente detti sono quelli che sono responsabili di patologie infettive in persone sane; tra queste patologie si annoverano la febbre tifoidea e il colera; i patogeni opportunisti invece sono responsabili di infezioni in individui immunodepressi (anziani, individui malnutriti, ustionati); commensali sono quei batteri e miceti che normalmente convivono con l'uomo, colonizzando l'intestino o membrane e mucose senza causare patologie; infine i saprofiti sono quei microrganismi che generalmente vivono nell'ambiente e possono trasferirsi all'uomo.

Le acque reflue urbane possono contenere diversi tipi di agenti infettivi. Ai fini del riutilizzo per scopo irriguo è necessario conoscere i microrganismi utilizzati come indicatori per la valutazione della qualità microbiologica delle acque).

Tra gli organismi patogeni distinguiamo in particolare: batteri (responsabili di patologie del tratto gastrointestinale, come tifo e paratifo, dissenteria, diarrea, colera, salmonellosi), virus (epatiti, gastroenteriti), protozoi (giardiasi) ed elminti (infestazione parassitaria). La gran parte degli agenti patogeni è incapace di sopravvivenza nell'ambiente dopo aver lasciato l'organismo ospite. Per questa ragione, la concentrazione nelle acque reflue diminuisce con il tempo ed è influenzata da diversi fattori: temperatura e radiazione solare sono i principali fattori di decadimento.

I trattamenti di sedimentazione primaria riescono a ridurre la concentrazione di protozoi ed elminti fino al 50 – 70 %. Tale risultato è favorito dalle dimensioni di tali organismi, decisamente maggiori di quelle di virus e batteri. I trattamenti secondari riescono a rimuovere fino al 90 % di virus e batteri, ma sono molto meno efficienti nel ridurre le concentrazioni di protozoi ed elminti. Le concentrazioni residue di microrganismi possono essere rimosse con l'ausilio di trattamenti di disinfezione e trattamenti estensivi.

I metodi di analisi disponibili per la determinazione della concentrazione dei vari organismi patogeni richiedono un notevole dispendio di tempo e fondi. Ecco perché, piuttosto che analizzare le acque per ciascuna specie patogena, le analisi in laboratorio vengono eseguite solo per alcune specie che fanno da indicatore di contaminazione per una più ampia classe di microrganismi.

Tra i microrganismi universalmente utilizzati come indicatori di contaminazione di origine fecale troviamo Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali. Questi microrganismi sono presenti in alte concentrazioni nelle feci umane e in quelle di animali a sangue caldo, tendono a non riprodursi nell'ambiente e la loro concentrazione può essere determinata con metodi di enumerazione semplici. La persistenza di tali organismi nell'ambiente e le loro dinamiche di rimozione a seguito di trattamenti è simile a quella di numerosi agenti patogeni. La presenza di indicatori microbiologici di origine fecale è dunque indicativa dell'entità di rischio infettivo.

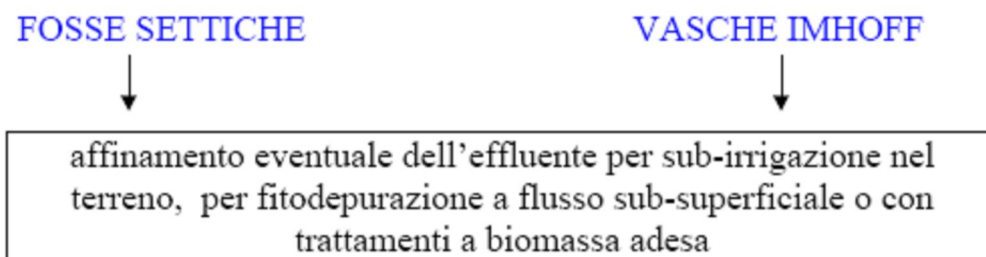
6.4.5 *Depurazione acque reflue di singole utenze o piccoli nuclei (max 200 abitanti)*

Per abitazioni isolate o piccoli nuclei abitati, per le quali non sia tecnicamente ed economicamente possibile l'allacciamento ad una fognatura recapitante ad un impianto di depurazione, si adottano schemi depurativi molto semplificati, caratterizzati da rendimenti medio/bassi, accettabili tuttavia in ragione della limitata entità dei carichi inquinanti.

Aspetti peculiari:

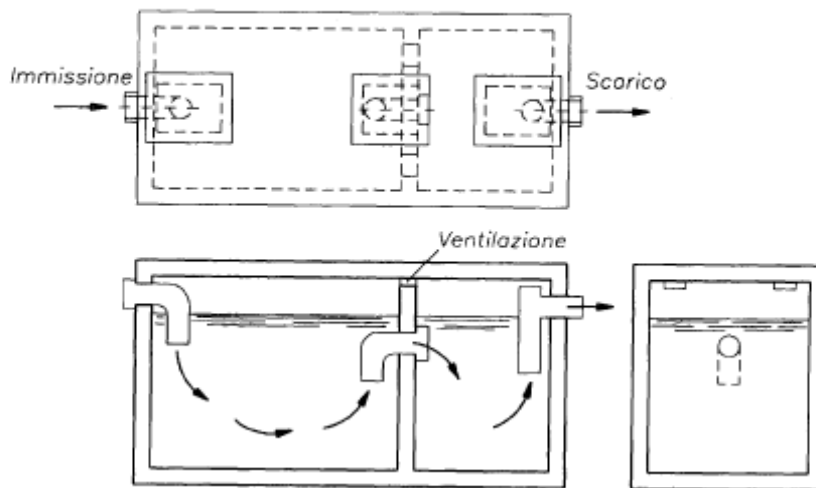
- reflui solo di origine domestica
- mancanza di commistione con acque di pioggia
- minima permanenza del refluo in fognatura.

SCHEMI POSSIBILI



- o *Fosse settiche*

FOSSE SETTICHE



Si ottiene una parziale sedimentazione del liquame influente ed una certa biodegradazione dei solidi sedimentati per via anaerobica. I fanghi vengono rimossi ogni 6 – 12 mesi e presentano tempi di permanenza di 24 ore sulla portata media giornaliera, con volumi comunque non inferiori a 2 m^3 . La comunicazione tra gli scomparti e lo scarico dell'effluente devono essere configurati in modo da limitare fuoriuscita di fanghi e schiume. Sono generalmente prefabbricate e realizzate in cemento armato o vetroresina.

- Vasca Imhoff

VASCA IMHOFF

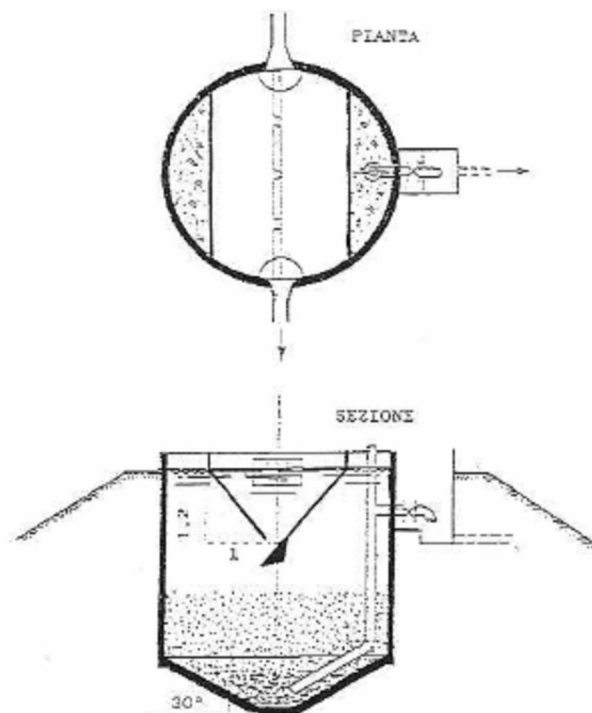


Fig. 1 – Vasca Imhoff per singole utenze

Svolge le stesse funzioni della fossa settica, ma risultando nettamente distinti i comparti di sedimentazione del liquame da quello di degradazione biologica dei solidi sedimentati, permette una migliore chiarificazione e depurazione dell'effluente rispetto al caso precedente.

L'effluente di una vasca Imhoff è privo di solidi sospesi sedimentabili (rimangono i colloidali ed i disciolti) e le sue caratteristiche possono essere equiparate (nei casi più favorevoli) a quelle di un effluente di sedimentazione primaria.

Le vasche Imhoff sono generalmente prefabbricate (calcestruzzo, vetroresina, acciaio).

Volumi indicativi:

- 50 – 50 l ab⁻¹ comparto di sedimentazione;
- 100 – 120 l ab⁻¹ comparto di digestione (due spurghi del fango/anno);
- 180-200 l ab⁻¹ (uno spurgo/anno).

E' necessaria la preventiva grigliatura del liquame, per evitare l'occlusione delle feritoie di comunicazione tra comparto superiore ed inferiore.

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Capra A., Scicolone B. 2007. Progettazione e gestione degli impianti di irrigazione - Criteri di impiego e valorizzazione delle acque per uso irriguo. Edagricole- Edizioni agricole de Il sole 24 ore Editoria specializzata, Bologna.
- Capra A., Tamburino V. (1984). *Irrigazione con acque reflue in alcuni paesi del mondo* "Ingegneria Ambientale", n. 5 , maggio.
- Cirelli G.L. 2004. I trattamenti naturali delle acque reflue urbane. Esselibri (Napoli)
- Masotti L. 2006. Depurazione delle acque. Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto. Il Sole 24 Ore Edagricole
- Monaco M.G., Scavo C., Tamburino V. (1978). *L'irrigazione con acque reflue come metodo di depurazione e riutilizzazione dell'acqua*. Proceedings of the International seminar on "Conyunctive use of multiple sources of water and its role in regional development", Erice, 24-28 ottobre.
- Indelicato S., Li Destri Nicosia O., Tamburino V., Capra A. 1982. Studi su l'utilizzazione di acque reflue per l'irrigazione – Fondazione Politecnica del Mediterraneo (testo non in commercio)
- Versace P.: Il ciclo idrologico ed il bilancio idrologico a scala di bacino. Scheda didattica dell'Università della Calabria

APPENDICE

LA GESTIONE DELLE ACQUE REFLUE AGRO-ALIMENTARI (CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AI REFLUI OLEARI ED AGRUMARI)

1. Generalità

Le acque reflue delle industrie agroalimentari presentano particolari peculiarità che rendono difficilmente sostenibili dal punto di vista economico i processi di depurazione intensivi:

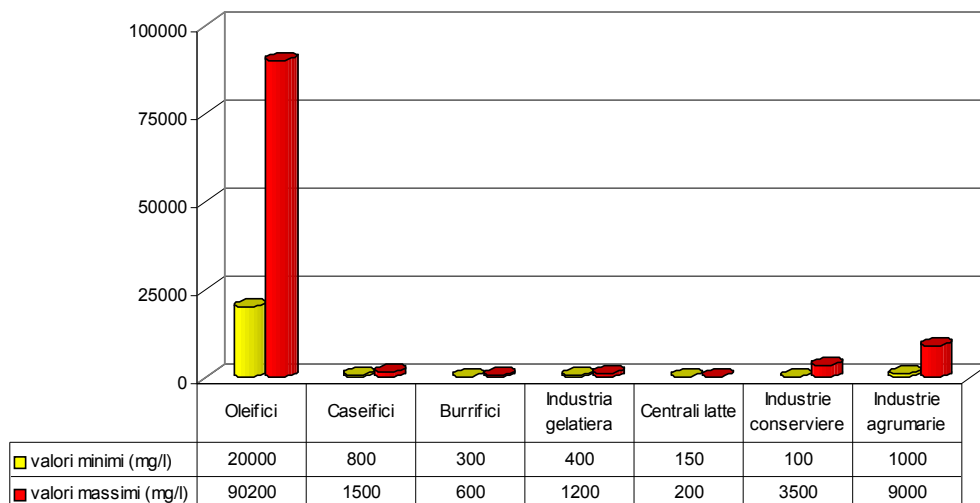
- ampia oscillazione nella quantità e qualità di acqua prodotta.
- alto carico organico, soprattutto per i reflui oleari e per alcune tipologie di reflui agrumari.
- presenza di sostanze inibenti (come polifenoli, oli essenziali, ecc.).

Le tabelle seguenti, che confrontano le principali caratteristiche qualitative di diversi tipi di reflui (civili ed agro-industriali), evidenziano come le acque reflue agro-industriali presentino concentrazioni di sostanza organica superiori anche alcuni ordini di grandezza ai reflui civili.

Tabella 1 - Composizioni medie relative a differenti tipologie di acque reflue

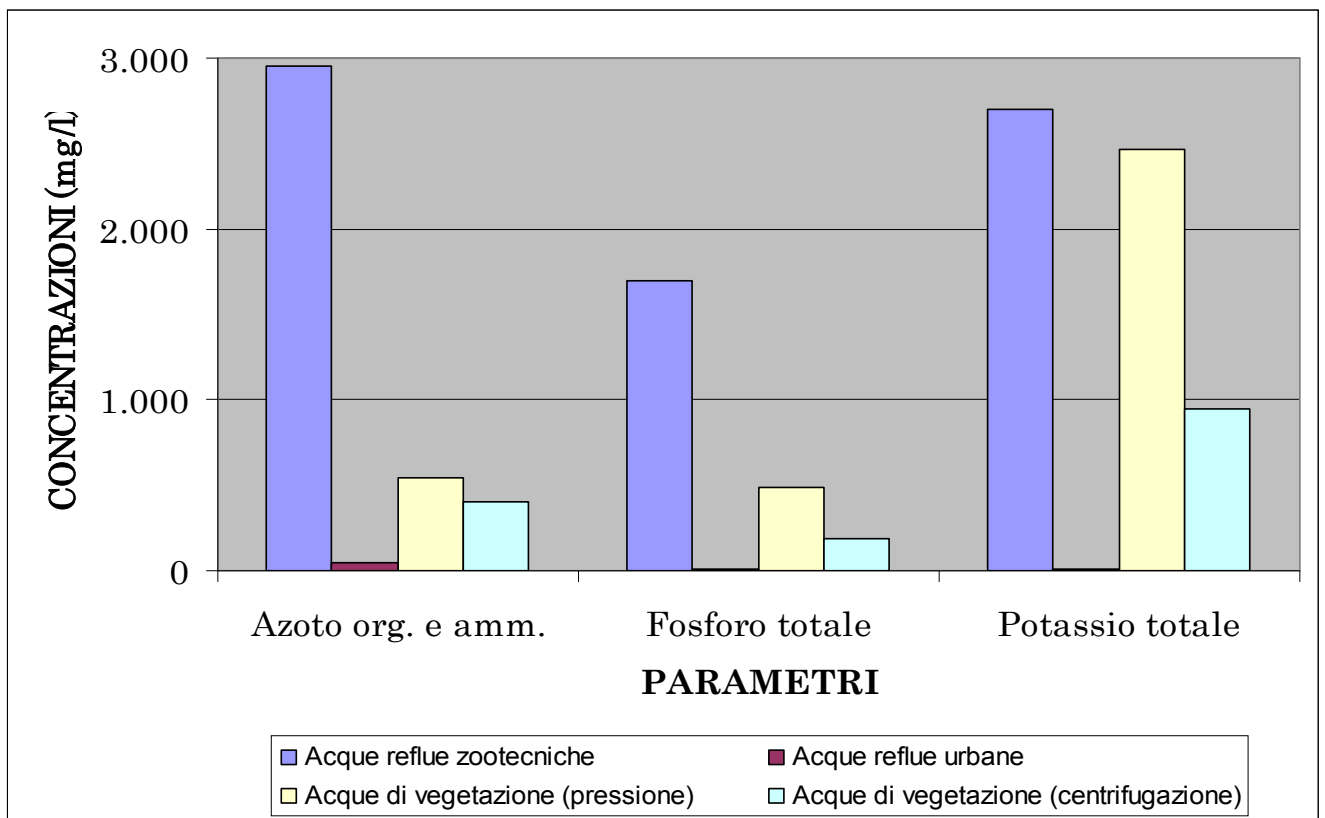
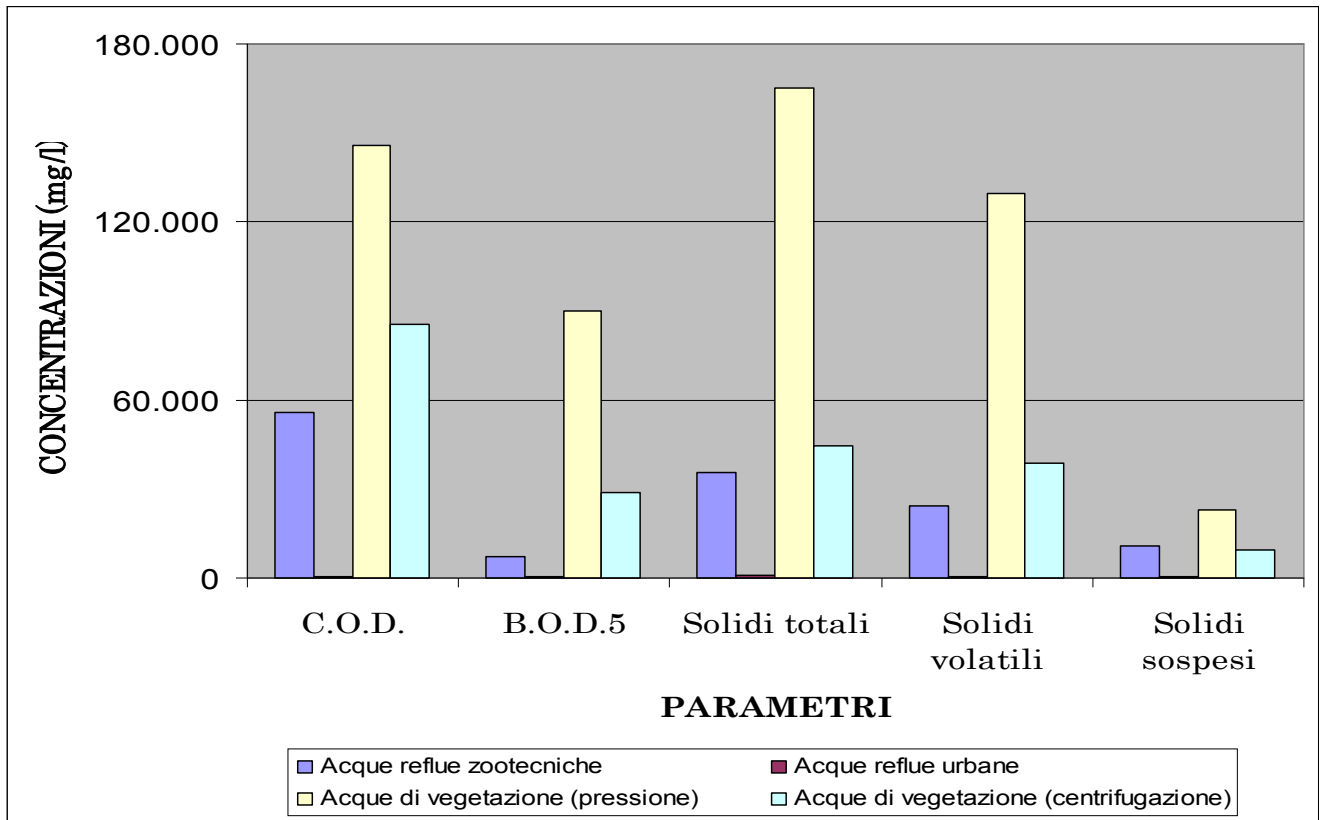
Parametri	a. r. zootec.	a. r. urbane	a. r. agrumarie	Acque di vegetazione	
				Press.	Centrif.
pH	7,4	7,6	5	5,27	5,23
C.O.D. (mg/l)	16.800	500	18.000	146.000	85.700
B.O.D. ₅ (mg/l)	7.100	300	9.000	90.200	28.700
Solidi totali (mg/l)	35.400	720	8.000	165.000	44.600
Solidi volatili (mg/l)	24.320	370	-	129.500	38.500
Solidi sospesi (mg/l)	10.900	380	-	23.000	9.600
Norg. e amm. (mg/l)	2.950	48	-	544	404
Fosforo totale (mg/l)	1.700	13	-	485	185
Potassio tot.(mg/l)	2.700	9	96	2.470	950

Tabella 2 - Valori di BOD₅ relativi a differenti tipologie di acque reflue



Fonte: Amirante et al., 2000; Basile P. et al., 1998; Biannucci G. et al., 1992; Calza F., 1987; Di Giacomo A., 1991.

Tabella 3 - Confronto di parametri qualitativi relativi a differenti tipologie di acque reflue



2. *Le acque reflue agrumarie*

Nella filiera agro-alimentare del meridione d'Italia un ruolo significativo viene svolto dalle industrie di trasformazione degli agrumi. Le prospettive di competitività e di sviluppo di tali industrie sono condizionate dalla possibilità di disporre di sistemi di depurazione delle acque reflue sostenibili dal punto di vista economico ed ambientale.

Gli effluenti dei processi di trasformazione degli agrumi sono costituiti essenzialmente dalle acque di lavaggio (dei frutti, degli impianti, delle attrezzature e dei pavimenti), dalle acque di raffreddamento, dalle acque provenienti dalle linee di estrazione degli oli essenziali e dalle acque prodotte nella linea di essiccazione delle scorze. Il carico organico prodotto, variabile da industria a industria, è sempre molto elevato, dell'ordine di 12 kg di COD per tonnellata di frutto lavorato (e fino oltre 5 volte di più se vengono essiccate le scorze); i costi di depurazione, se non ottimizzati, possono incidere anche per diversi punti percentuali su fatturati generalmente inferiori a 200 euro per tonnellata di frutta lavorata e mettere a rischio la competitività dell'attività produttiva in un settore peraltro già maturo.

In Italia la depurazione delle acque reflue agrumarie viene in genere effettuata in impianti di trattamento biologici, essendo ostacolata dalla normativa la soluzione, frequentemente adottata negli USA (Wood C., 1973; Capra e Tamburino, 1984; Allhands e Prochaska, 1991; California Regional Water Quality Control Board, 2001) del "Land Treatment", cioè della somministrazione delle acque reflue al terreno nel quale si vengono a sviluppare processi naturali di degradazione della sostanza organica (Monaco et al., 1978; Tamburino, 1982; Tamburino et al., 1999). Gli impianti di depurazione intensivi non sono però in grado di assicurare una depurazione efficiente ed economica specialmente quando sono stati progettati secondo criteri messi a punto per effluenti urbani, senza tenere conto delle peculiari caratteristiche delle acque reflue agrumarie.

2.1 *Caratteristiche quali-quantitative degli effluenti agrumari*

Le acque reflue agrumarie sono caratterizzate da una elevata variabilità delle portate, del carico organico, del pH, dei solidi sospesi e di quelli sedimentabili. Esse contengono fondamentalmente: solidi sospesi sia colloidali (esperidina, pectina, ecc.) che sedimentabili (come residui di polpe e scorze), sostanze organiche solubili (principalmente zuccheri e acidi), sostanze inorganiche solubili (ad esempio la soda caustica) e sostanze organiche volatili (come gli oli essenziali della buccia costituiti principalmente da *d*-limonene (Kimball, 1991)).

Le principali caratteristiche delle acque reflue agrumarie di cui occorre tener conto ai fini della loro depurazione sono:

- variabilità quantitativa stagionale e settimanale;
- variabilità qualitativa;
- acidità, scarsità di nutrienti e presenza di oli essenziali.

2.1.1 *Variabilità quantitativa*

La produzione di acque reflue agrumarie dipende sia dai consumi idrici per unità di prodotto trasformato, che variano notevolmente da industria a industria in relazione al tipo di lavorazione ed ai processi utilizzati (Di Giacomo e Calvarano, 1987; IASM-Breda, 1991), che dalle quantità di agrumi trasformati caratterizzati da una notevole variabilità inter/intra annuale. Nel seguito viene esaminata in particolare quest'ultima causa di variabilità.

Nella figura 1 vengono riportati i quantitativi annui degli agrumi avviati alla trasformazione industriale in Italia dal 1984 al 2003 stimati sulla base dei dati degli associati Assitrapa (che rappresentano l'80% circa delle industrie italiane) incrementati del 25%; si evidenzia una notevole variabilità ($Cv = 0,30$) dipendente sia dalla produzione agricola che dall'andamento del mercato del prodotto fresco.

Agrumi trasformati (10^3 t)

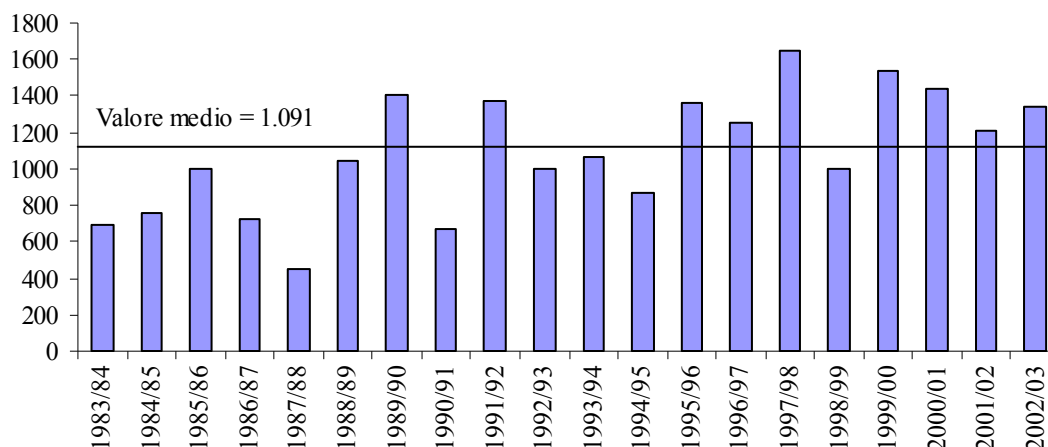


Figura 1 – Quantitativi annui di agrumi avviati alla trasformazione industriale

L'industria di trasformazione degli agrumi, come gran parte delle industrie agro-alimentari, opera soltanto in alcuni mesi dell'anno. Nella figura 2 viene riportata una tipica distribuzione mensile della quantità di agrumi avviati alla trasformazione in una industria di medie dimensioni (40.000 t/anno); si evidenzia che oltre il 70% della produzione risulta concentrata nel trimestre febbraio-aprile. La produzione di acque reflue agrumarie risente ovviamente della variabilità dei quantitativi lavorati; la figura 3 evidenzia una tipica distribuzione mensile della produzione di acque reflue ricavata dai dati in figura 2, assumendo un consumo idrico unitario costante di 1 m^3 per tonnellata di prodotto trasformato (prossimo al consumo medio di impianti privi di processi produttivi secondari quali l'essiccazione scorze e con processi di minimizzazione dei consumi quali il raffreddamento con acqua ricircolata).

L'accentuata stagionalità della produzione di acque reflue permane anche in quelle industrie che, oltre alla trasformazione degli agrumi in succo, effettuano nei mesi estivi-autunnali una rilavorazione del prodotto che in genere non comporta consumi idrici rilevanti.

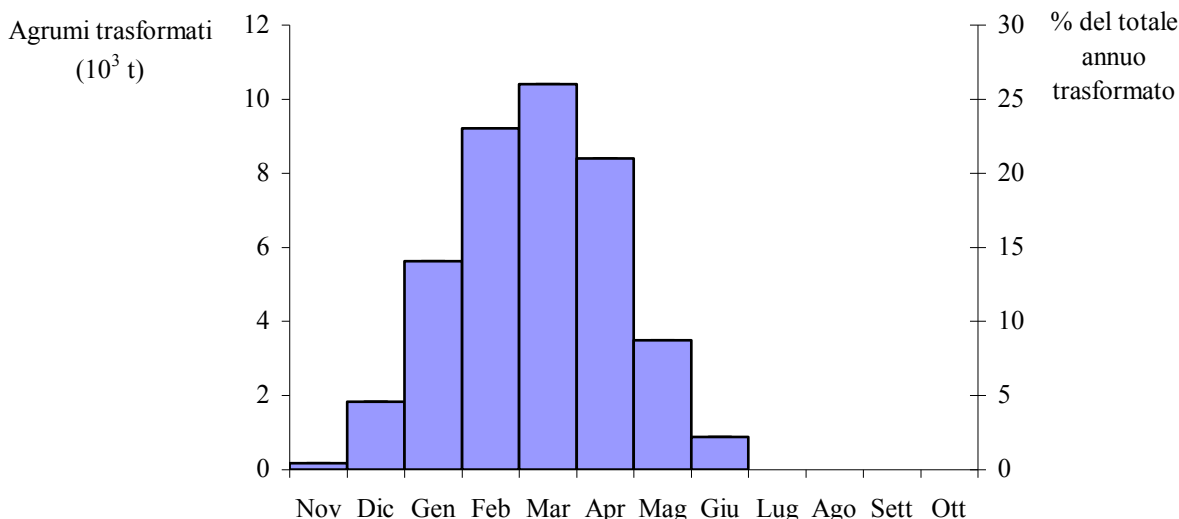


Figura 2 – Tipica distribuzione mensile della quantità di agrumi trasformati (40.000 t annue complessive)

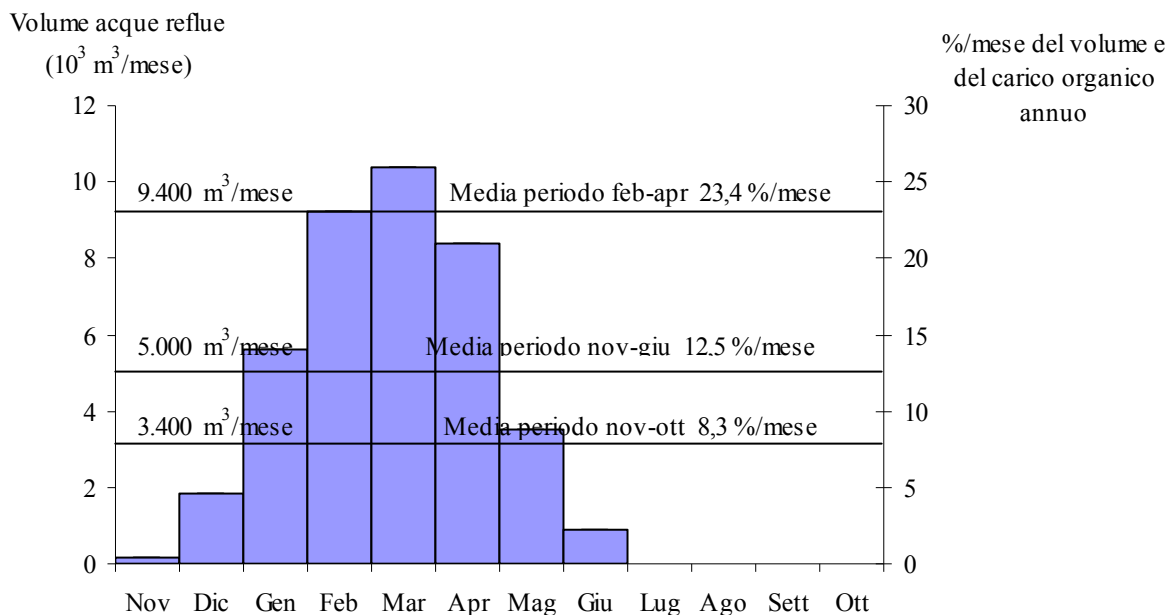


Figura 3 – Tipica distribuzione mensile della produzione di acque reflue in una industria di trasformazione degli agrumi (40.000 m³ complessivi)

In Italia la portata di acque reflue agrumarie presenta anche una elevata variabilità intra-settimanale (figura 4) per la inattività notturna e nel fine settimana. Tale variabilità può essere quantificata mediante un coefficiente di punta valutato come rapporto tra la portata media nelle ore lavorative (in genere 12 ore) nel giorno di massima produzione e la media sull'intera settimana; utilizzando i dati riportati in fig. 4 tale coefficiente risulta pari a 3,3 contro un valore pari a 13 che si otterrebbe sulla base della definizione normalmente adottata per effluenti urbani (Masotti, 1991), ovvero facendo il prodotto tra il coefficiente di punta trovato e quello relativo alle 12 ore lavorative (in cui le portate nell'ora di punta risultano in genere pari a circa 4 volte la portata media).

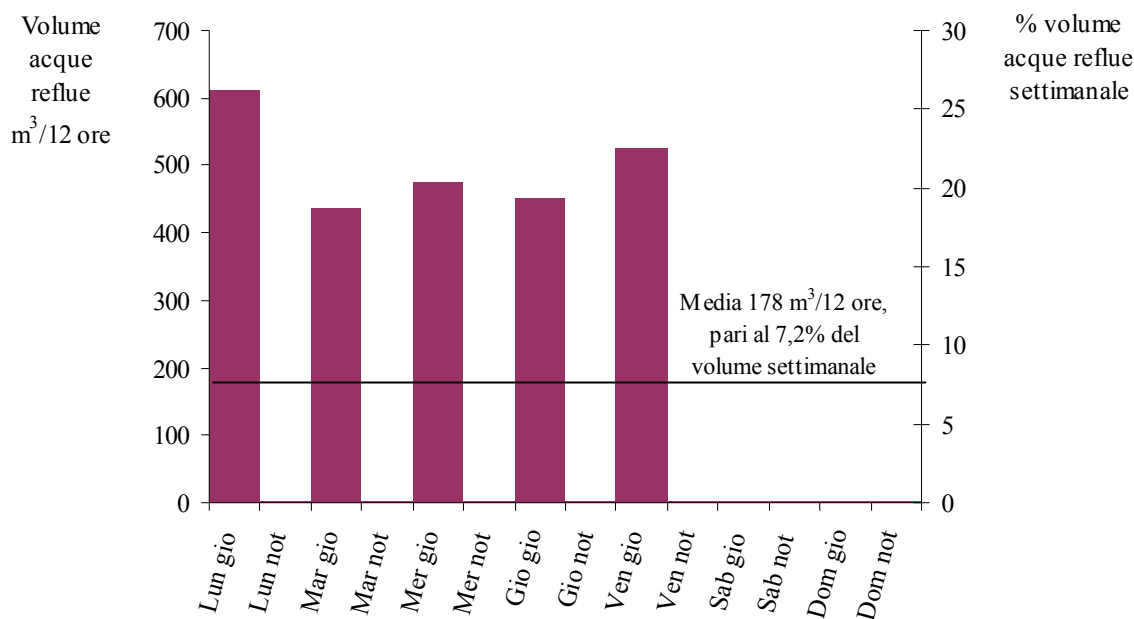


Figura 4 – Distribuzione giornaliera della produzione di acque reflue nella settimana di punta (2.500 m³)

La variabilità dei valori settimanali di portata di acque reflue nell'arco dell'anno, valutati con i dati in figura 3 come rapporto tra il volume della settimana di massima produzione e la media dell'intero anno, risulta pari a 3,3. Nel complesso la portata nell'ora di punta è pari a circa 43 volte quella media dell'anno (13x3,3).

Come già detto la variabilità delle portate dipende, oltre che dalla variabilità del quantitativo di agrumi trasformati, anche dalla variabilità dei consumi unitari (qui assunti costanti e pari a 1 m³/t di prodotto trasformato). L'analisi di questa seconda variabilità, che esula dal presente lavoro, risulta alquanto complessa anche se effettuata su un'industria ben definita (in termini di processi, impianti, ecc.) in quanto le valutazioni presentano un significativo grado di incertezza (dovuto a variabili residue quali la qualità della materia prima trasformata, le modalità di esercizio degli impianti, ecc.)

2.1.2 Variabilità qualitativa

Le acque reflue agrumarie provenienti dalle diverse linee di lavorazione presentano caratteristiche qualitative e quantitative molto differenziate e variabili anche nell'arco della giornata; pertanto le caratteristiche qualitative dell'effluente composito finale possono essere molto variabili.

Tra le molteplici cause di tale variabilità si possono ad esempio citare:

- lo svuotamento della vasca di alimentazione delle linee (che ha una capacità di 80-150 m³) in cui vengono scaricati gli agrumi trasportati alla rinfusa, che in genere avviene nell'arco di un'ora a fine giornata o a fine settimana lavorativa, determinando una punta di carico idraulico;
- lo scarico a fine giornata lavorativa dell'acqua della linea degli oli essenziali, in gran parte invasata nelle vasche di disoleazione comunemente dette "vasi fiorentini" e che ha un carico organico dell'ordine delle decine di g/l di COD ed elevate concentrazioni di oli essenziali;
- lo scarico prodotto dal lavaggio degli impianti con soluzione di soda caustica che a fine giornata comporta in genere una punta del valore del pH.

La variabilità qualitativa degli effluenti agrumari può essere causata anche dalle diverse tipologie di impianto adottate. A titolo di esempio per quanto riguarda l'acqua di raffreddamento si può avere:

- il ciclo aperto, in cui vengono prelevate grandi portate di acqua che dopo aver raffreddato gli impianti (grazie all'elevato calore specifico dell'acqua), vengono scaricate (o parzialmente riciclate in altri processi) con significativi effetti di diluizione dell'effluente finale;
- il ciclo chiuso con torri evaporative, in cui l'acqua che ha raffreddato gli impianti, viene fatta transitare attraverso torri di evaporazione (dove cede calore principalmente per evaporazione) per poi essere rimessa in circolo; ad ogni ciclo, in seguito al consumo di una piccola quantità di acqua, aumenta la concentrazione salina e, per evitare con il tempo l'acqua diventi incrostante per gli impianti da raffreddare, occorrono operazioni di spurgo per stabilizzare il valore della salinità a livelli tollerabili; in questo caso le portate utilizzate sono molto modeste essendo limitate al reintegro dell'acqua consumata e di quella spurgata.

La quantità e la qualità delle acque provenienti dalla linea degli oli essenziali incidono notevolmente sulla qualità dell'effluente finale e variano significativamente da industria a industria in relazione al grado di ricircolo, alle caratteristiche delle centrifughe e dei filtri impiegati, ecc..

Anche l'esercizio dell'impianto di essiccazione delle scorze è causa di variabilità delle caratteristiche qualitative dell'effluente agrumario; nel caso in cui le scorze vengono lavate ai fini dell'estrazione di pectine o per la produzione di fibre per l'alimentazione umana, si registrano valori elevati di inquinamento (fino a oltre 60 kg di COD per ogni tonnellata di frutto lavorato); nel caso in cui le scorze vengono vendute fresche come alimento zootecnico o vengono essiccate previa calcitazione, con il recupero e la concentrazione del liquido di pressatura, si registrano valori molto più bassi di carico organico (mediamente 12 kg di COD per ogni tonnellata di frutto lavorato con un elevato grado di variabilità ed incertezza); ulteriore elemento di variabilità è la quota di scorze prodotte (raramente il 100 %) che viene sottoposta ad essiccazione.

In tabella 1 sono sintetizzati i risultati di un'indagine, condotta dalla Stazione Sperimentale per l'Industria delle Essenze e dei Derivati agrumari di Reggio Calabria, sulle caratteristiche qualitative delle acque reflue agrumarie in Sicilia e Calabria che evidenzia l'estrema variabilità delle caratteristiche qualitative degli effluenti.

Tabella 1 - Caratteristiche qualitative degli effluenti di diverse fasi di lavorazione dell'industria agrumaria (Di Giacomo e Calvarano, 1987, modificata)

Prodotto lavorato	Linea di lavorazione	CAMPO DI VARIAZIONE PARAMETRO			
		pH	Solidi sospesi (mg/l)	COD (mg/l)	Residuo secco a 105 °C (mg/l)
<i>Arance</i>	Lavaggio agrumi	3,5-6,7	17-1.195	59-3.723	392-5.237
	Reparto essenze	4,4-5,0	815-22.319	4.525-171.045	4.234-28.692
	Reparto succhi	4,2-5,5	1.531-3.578	3.570-9.570	4.196-6.048
	Reparto scorze	12	39.887	17.119	52.297
<i>Limoni</i>	Lavaggio agrumi	4,8-6,4	40-270	123-1.189	970-1.600
	Reparto essenze	2,5-4,5	5.000-73.000	27.000-68.000	8.000-58.000
	Reparto succhi	3,8	2.635	3.820	8.700

Analogamente a quanto detto per gli aspetti quantitativi, le valutazioni sulle caratteristiche qualitative dell'effluente agrumario rimangono affette da un significativo grado di incertezza e di ciò occorre tener conto nella progettazione del sistema depurativo.

2.1.3 Acidità, scarsità di nutrienti e presenza di oli essenziali

Negli impianti di depurazione biologica, il pH deve essere compreso nel campo di valori 6.0 – 8.5, con variazioni molto gradualmente nel tempo per non interferire negativamente sull'andamento dei fenomeni depurativi (Masotti, 1991). Gli effluenti agrumari, come si evince anche dalla tabella 1, sono caratterizzati da valori del pH bassi e molto variabili nonché dalla tendenza, in carenza di ossigeno, alla fermentazione dei carboidrati ad opera di ceppi batterici acido-resistenti, con la produzione di acidi organici che inducono ulteriori abbassamenti del pH (Indelicato et al., 1997).

Le acque reflue agrumarie presentano basse concentrazioni di nutrienti (in particolare azoto e fosforo) che possono essere all'origine di disturbi anche molto gravi nei processi depurativi specialmente se a fanghi attivi (difficile sedimentabilità del fango). Normalmente per un equilibrato sviluppo dei microrganismi si richiedono rapporti COD/N/P dell'ordine di 200/5/1, da raggiungere aggiungendo nutrienti; nel caso di sviluppo in condizioni endogene (stagni biologici e aerati, fanghi attivi con elevata età del fango) si possono tollerare anche rapporti 400/5/1 (Masotti, 1991). Anche adottando tale rapporto, date le elevate concentrazioni di COD negli effluenti agrumari, si dovrebbero aggiungere nutrienti fino a concentrazioni alquanto elevate (ad es. 100 mg/l di azoto per un effluente con 8000 mg/l di COD) che richiedono un accurata regolazione dell'impianto per evitare che l'effluente finale superi i limiti di accettabilità per lo scarico (in genere concentrazioni di azoto dell'ordine dei 10-15 mg/l).

Una ulteriore peculiarità degli effluenti agrumari è rappresentata dalla presenza (in concentrazioni molto incerte e variabili) di oli essenziali (in gran parte d-limonene) che con la loro azione batteriostatica (Lane, 1983; Lane, 1984) possono disturbare e rallentare in modo significativo i processi di depurazione biologica (Ratcliff, 1990), specialmente se intensivi. Solo nel caso di essenze pregiate (mandarino, bergamotto, limone) risulta conveniente spingere il recupero dell'essenza fino a livelli tali da rendere trascurabile la concentrazione nell'effluente finale.

2.2 Problematiche di depurazione

2.2.1 Considerazioni generali

Quanto discusso nel paragrafo precedente rende evidente che impianti di trattamento progettati senza tener conto delle peculiari caratteristiche quali-quantitative delle acque reflue agrumarie, non sono in grado di assicurare una efficace depurazione di tali effluenti. Peraltra i numerosi impianti di trattamento di reflui agrumari progettati secondo schemi progettuali e criteri di dimensionamento messi a punto per effluenti urbani evidenziano molteplici inconvenienti gestionali quali:

- lunghi tempi di avviamento per la piena funzionalità dell'impianto; affinché i processi biologici si svolgano con regolarità, è necessario un consistente periodo di tempo (settimane o mesi) che permetta la formazione di quantità significative di biomassa attiva nella vasca di aerazione degli impianti a fanghi attivi o sulle superfici dei filtri percolatori; tali tempi di avviamento, tanto più lunghi quanto maggiore è la concentrazione di solidi sospesi nella miscela aerata prevista dal progettista, possono essere ridotti solo con accorgimenti molto costosi quali l'inoculo di fanghi attivi prelevati da altri impianti o l'aggiunta di prodotti a base di enzimi (IASM-Breda, 1991);
- instabilità del processi e difficoltà nella regolazione dell'impianto in relazione alla notevole variabilità delle caratteristiche quali-quantitative dell'effluente, con il conseguente abbassamento dei livelli depurativi o della produttività dell'energia;
- frequenti fuori servizio dell'impianto, dovuti nella gran parte dei casi a punte di oli essenziali, squilibri nei valori del pH, del carico organico e dei nutrienti;
- elevati oneri di depurazione (fino al 2-3% del fatturato).

Un impianto di trattamento di reflui agrumari per essere affidabile, efficiente ed economico deve:

- assicurare una completa regolazione del carico organico nell'arco della settimana, evitando che il processo depurativo venga disturbato da lunghe interruzioni del flusso (come avviene nelle 60 ore del fine settimana);
- assicurare una completa equalizzazione delle caratteristiche qualitative dell'effluente, in modo che si limitino le variazioni di carico organico, pH, concentrazione di oli essenziali, ecc;
- regolare, almeno in parte, la variabilità del carico organico nell'arco dell'anno, eliminando i problemi connessi al riavvio dell'impianto all'inizio del ciclo di lavorazione degli agrumi;
- essere dotato di ampia flessibilità di esercizio per far fronte alle molteplici cause di variabilità e di incertezza indicate nei paragrafi precedenti;
- consentire una agevole regolazione degli input richiesti dal processo depurativo (in particolare dell'energia necessaria per l'aerazione), in modo da assicurare una produttività costantemente elevata ed una idonea affidabilità depurativa.

2.2.2 *Regolazione settimanale del carico organico ed equalizzazione*

La sollecitazione più gravosa dell'impianto di trattamento delle acque reflue agrumarie deriva dalla interruzione del carico organico nei 2 giorni e mezzo del fine settimana, con la conseguente riduzione di alimento per la biomassa microbica tanto maggiore quanto minore è il tempo di detenzione. Tale riduzione può essere contenuta entro il valore tollerabile del 20% se si adotta un tempo di detenzione di 3 settimane.

La riduzione di SOT risulta inversamente proporzionale al tempo di detenzione e scende al di sotto di 0.2 con $T_d > 3$, valore ottenibile ad esempio con impianti di depurazione con stagni aerati. In tali tipi di impianti viene inoltre assicurata, con un largo margine di sicurezza, una sufficiente equalizzazione delle caratteristiche qualitative dell'effluente; vengono anche limitati i problemi causati dagli oli essenziali la cui concentrazione, oltre ad essere resa costante (consentendo lo sviluppo di una flora microbica resistente), viene abbassata per effetto della diluizione dell'influente con i grandi volumi presenti nello stagno già parzialmente depurati degli oli essenziali per degradazione biologica o per strippaggio; in ogni caso il rallentamento dei processi biologici causato dagli oli essenziali ha effetti meno gravi in uno stagno aerato rispetto a quelli drastici che si riscontrano negli impianti a fanghi attivi con $T_d < 1-2$ settimane.

Nei casi in cui risulti impossibile, per mancanza di una sufficiente superficie di terreno, realizzare stagni con idoneo tempo di detenzione, una certa regolazione del carico organico (o meglio l'attenuazione degli effetti negativi connessi alla sua variabilità) può ottenersi in impianti a fanghi attivi a basso carico mediante l'aumento della concentrazione di fango nella miscela aerata; in tal modo si limita l'incidenza delle variazioni di sostanza organica entrante rispetto al totale di biomassa comprendente anche il fango attivo. Ciò comporta però maggiori consumi energetici per la più marcata mineralizzazione aerobica del fango e non assicura l'equalizzazione qualitativa e l'innocuizzazione degli oli essenziali. Inoltre il processo biologico risulta di lento avvio, dovendosi

raggiungere più elevate concentrazioni di fango attivo nella miscela aerata, poco stabile ed affidabile, essendo la concentrazione di fango facilmente perturbata dai già descritti numerosi fattori di disturbo presenti negli effluenti agrumari (oli essenziali, variabilità nel rapporto tra sostanza organica e nutrienti, ecc.).

Sebbene sia teoricamente possibile progettare impianti con tempo di detenzione inferiore a 3 settimane, va però tenuto presente che al ridursi di tale parametro occorre:

- predisporre idonei accorgimenti per l'equalizzazione dell'effluente (ad esempio laminazione degli effluenti alcalini e di quelli contenenti elevate concentrazioni di sostanza organica, stabilizzazione del pH a valori elevati, ecc.);
- effettuare la rimozione degli oli essenziali (per distillazione con recupero nel caso delle essenze pregiate come mandarino e limone, per strippaggio nel caso dell'arancia e del pompelmo);
- rendere più frequente il monitoraggio delle caratteristiche qualitative e quantitative dell'influente e la conseguente regolazione dell'impianto;
- predisporre costose procedure per l'avvio ed il riavvio dopo i periodi di fuori servizio dell'impianto (innesco con enzimi o fanghi attivi prelevati da altri impianti) al fine di ridurre i tempi di entrata a regime che altrimenti possono superare il mese (Masotti, 1991; IASM-Breda, 1991);
- accettare un più elevato rischio di fuori servizio dell'impianto e maggiori costi di esercizio.

2.2.3 Riduzione dei tempi di avvio e regolazione annuale del carico organico

I tempi di avvio dell'impianto di depurazione vengono annullati realizzando stagni aerati a tirante variabile con un tempo di detenzione di oltre 3 settimane rispetto alla portata di punta cui, assumendo la tipica distribuzione temporale di figura 3, corrisponde un volume di invaso pari a circa il 18% del volume annuo di acque reflue (essendo la portata della settimana di punta pari al 5,9% del totale annuo); anche ipotizzando un inizio "brusco" della stagione di lavorazione con una portata effluente che si incrementa a gradino fino al valore medio dell'intero periodo di lavorazione (2,85% /settimana del volume annuo), gli stagni così dimensionati saranno in grado di riempirsi progressivamente nell'arco di 6 settimane circa senza rilasci; tale periodo è largamente superiore a quello necessario affinché la concentrazione di fango in sospensione nello stagno raggiunga i valori, peraltro contenuti, previsti a regime (100 – 200 mg/l di solidi sospesi, quantità assai inferiore rispetto ai 2000 – 6000 mg/l degli impianti a fanghi attivi (Masotti, 1991)).

La regolazione del carico organico nell'arco dell'anno risulta un obiettivo più impegnativo che richiede volumi di invaso superiori.

La figura 3 evidenzia come, a causa dell'accentuata stagionalità di lavorazione, la portata ed il carico organico nel mese di punta (marzo) siano pari a quasi 3 volte il corrispondente valore medio dell'intero anno. E' perciò utile effettuare la regolazione annuale delle punte di carico organico, che, tenendo conto della distribuzione temporale di figura 3, può essere sostanzialmente ottenuta realizzando vasche di depurazione in grado di depurare e scaricare mensilmente un valore costante pari all'8,3% del volume annuo e di accumulare i volumi mensili in esubero prodotti nei mesi da gennaio a maggio. Complessivamente il volume di invaso necessario risulta pari a circa il 51% del volume annuo (21.000 m³ per l'esempio di figura 3). La convenienza ad effettuare la regolazione su base annua della portata è legata al costo di realizzazione degli invasi, notevolmente variabile sia in relazione al prezzo dei terreni che alla eventuale necessità di interventi di impermeabilizzazione artificiale.

In alcuni casi può risultare conveniente effettuare la regolazione annua del carico organico separando gli scarichi con più elevata concentrazione di carico organico da quelli con minore concentrazione.

Facendo sempre riferimento alla tipica distribuzione temporale della produzione di acque reflue e di carico organico di figura 3, ipotizzando che venga prodotto un inquinamento organico pari a 12 Kg di COD per ogni tonnellata di agrumi trasformati, si avrà un carico organico complessivo annuo che ammonta a 480 t di COD. In figura 5 viene evidenziata una distribuzione di tale carico organico che si avvicina ai valori medi registrati nella maggior parte delle industrie (3/4 ed 1/4 del carico

organico rispettivamente in 1/4 e 3/4 del volume complessivo di acque reflue); la concentrazione dello scarico più concentrato risulta pari a 36 Kg di COD per ogni m³, mentre quella dello scarico più diluito è pari a 4 Kg di COD per m³.

La regolazione del carico organico può essere effettuata attraverso la realizzazione di due vasche, una in grado di depurare un carico organico costante, l'altra di accumulare l'esubero di carico organico dei mesi da gennaio a maggio per complessive 245 t di COD (51% del totale annuo). Tale carico organico, essendo costituito esclusivamente da effluente con concentrazione di 36 Kg di COD/m³, potrà essere contenuto da una vasca con volume pari a 6.800 m³ (ovvero pari al 17% del volume totale annuo di reflui prodotti); in tale vasca i processi di degradazione biologica risulterebbero molto lenti (Indelicato et al., 1997) per il basso pH e l'elevata concentrazione iniziale di oli essenziali; lo sviluppo di cattivi odori sarebbe conseguentemente ridotto e l'eventuale aerazione potrebbe essere prevista con una bassa potenza specifica (< 0,5-1,0 W/m³) e limitata agli strati superiori dello stagno ed a poche ore del giorno.

In conclusione con la separazione degli scarichi si otterrebbe la regolazione annua del carico organico con un volume di invaso pari a circa il 31% del volume annuo di acque reflue prodotte (14% per la depurazione oltre al 17% per lo stoccaggio dell'effluente concentrato) contro il 51% necessario per invasare un effluente miscelato. Inoltre la regolazione annuale del carico organico consentirebbe di eliminare il problema degli oli essenziali anche ove presenti in elevate concentrazioni.

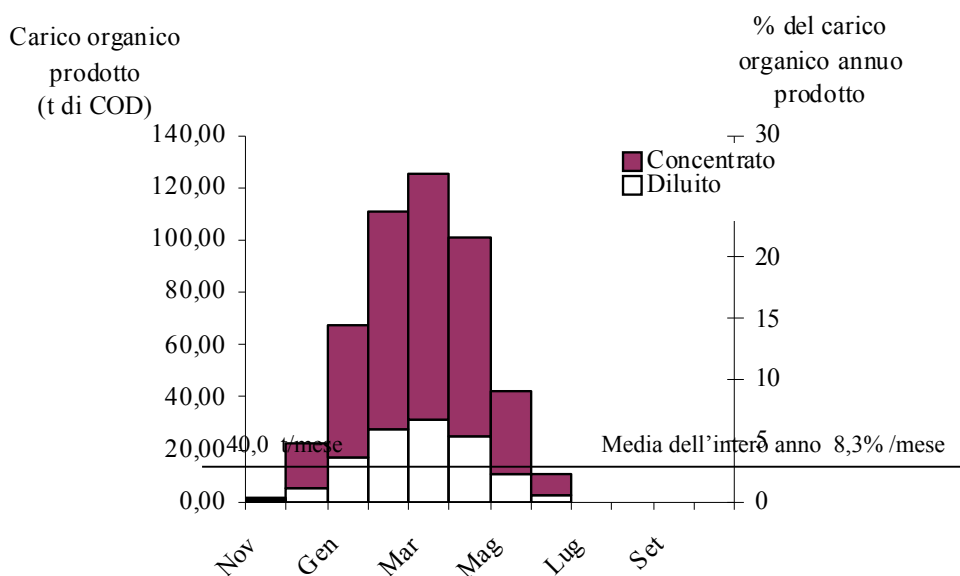


Figura 5 – Tipica distribuzione temporale del carico organico prodotto nella trasformazione degli agrumi (480 t di COD/annuo di cui 360 t in effluenti ad alta concentrazione e 120 t in effluenti a minore concentrazione)

2.2.4 Flessibilità di esercizio e produttività degli input del processo depurativo

Una volta soddisfatti i requisiti minimi in termini di tempo di detenzione (e quindi di volume) degli stagni derivanti dalle peculiari caratteristiche quali-quantitative dei reflui agrumari, è possibile procedere alla progettazione dell'impianto di trattamento secondo ben noti criteri (Masotti, 1991; Cirelli, 2003) che non occorre qui richiamare. Fissato il tempo di detenzione ed il volume degli stagni si ricava il fattore di carico volumetrico, generalmente compreso tra il valore di 0,05 kg di COD/m³x giorno (tipico di stagni aerati aerobici-anaerobici) e valori 10 volte superiori (stagni aerati aerobici e fanghi attivi a basso carico volumetrico), e si definiscono gli altri elementi progettuali (numero, profondità e sequenza degli stagni, modalità di rimozione dei solidi sospesi, potenza complessiva e numero degli aeratori galleggianti, ecc.). Nella progettazione dell'impianto di trattamento occorre comunque tenere presente l'esigenza di assicurare flessibilità ed economicità in fase di esercizio.

L'esigenza dell'economicità di esercizio imposta dall'elevato carico organico prodotto per unità di fatturato tipico dell'industria agrumaria, va assicurata sia prevedendo schemi di processo in grado di minimizzare gli input produttivi (personale, analisi delle acque, energia, calce, nutrienti, ecc.), sia prevedendo modalità di regolazione in grado di mantenere una produttività costantemente elevata di tali input (dell'energia in particolare).

In generale l'incidenza degli input produttivi di esercizio diminuisce e la flessibilità di esercizio aumenta all'aumentare del tempo di detenzione Td dell'effluente come si evidenzia dalle considerazioni che seguono.

Il costo del personale e delle analisi delle acque, sostanzialmente dipendente dalla frequenza di monitoraggio e d'intervento, scende dapprima rapidamente da valori dell'ordine di 6 eurocent per kg di COD abbattuto (tipico di impianti a fanghi attivi e/o percolatori mal progettati con Td < 0,5 settimane) a valori 5 volte inferiori in impianti con Td di 3 settimane, e poi lentamente con l'ulteriore crescita del Td fino a 10-12 settimane.

Il costo dell'energia rappresenta l'input più rilevante e maggiormente dipendente dal tempo di detenzione; si passa da una incidenza dell'ordine di oltre 8 eurocent per Kg di COD abbattuto, tipico di un impianto a fanghi attivi, a oltre 5 eurocent per Kg di COD abbattuto, in uno stagno aerato aerobico (grazie essenzialmente alla più agevole regolazione degli aeratori ed alle più basse concentrazioni accettabili di ossigeno disciolto), ad 1 eurocent per Kg di COD abbattuto (ottenibile con un sistema integrato di stagni anaerobici e di stagni aerati aerobici-anaerobici in cui la gran parte della sostanza organica venga abbattuta da processi di tipo anaerobico). I processi anaerobici, sebbene abbiano evidenziato capacità di abbattimento di oltre il 90% del carico organico delle acque reflue agrumarie (Indelicato et al., 1997), richiedono elevati tempi di detenzione e volumi di invaso (in genere superiori al volume annuo di acque reflue prodotte) e possono produrre cattivi odori in misura non accettabile.

In alcune situazioni un buon compromesso può ottenersi con stagni aerati aerobici-anaerobici, a tirante variabile con volumi di invaso dell'ordine del 50-100 % del volume annuo di acque reflue prodotte, con cui si può contenere l'incidenza dell'energia attorno ai 2 eurocent per Kg di COD abbattuto adottando accorgimenti di risparmio energetico quali:

- elevate profondità dello stagno (anche 10 metri) al fine di aumentare l'incidenza dello strato anaerobico profondo in cui la sostanza organica (in particolare quella dei fanghi) viene digerita senza consumi di energia pur mantenendo aerobico lo strato superficiale al fine di limitare l'emissione di odori molesti;
- regolazione ottimale del numero di ore di funzionamento in dipendenza del fabbisogno di ossigeno (molto variabile nel corso dell'anno con punte massime da metà primavera a fine estate);
- funzionamento degli aeratori solo nelle ore di minore costo dell'energia, come ad esempio quelle notturne (dalle 21,30 alle 6,30), in cui il prezzo del Kilowattora scende al 68,7% del prezzo medio e al 36% del prezzo delle fasce orarie di punta (9-11 e 17-19 nel periodo ottobre-marzo).

Nelle ore diurne, in cui viene interrotta l'aerazione, negli stagni verrebbero a sedimentare i fanghi consentendo così lo spillamento dell'effluente chiarificato per le successive fasi depurative o per lo scarico.

Il costo della calce dipende essenzialmente dal valore di pH da mantenere nella fase biologica (variabile da 3 eurocent per Kg di COD abbattuto a pH 8 fino a valori 10-20 volte inferiori a pH 7). Negli stagni aerati con Td > 3-6 settimane si possono raggiungere i maggiori risparmi in quanto la stabilizzazione del pH avviene naturalmente, sono meno importanti la velocità dei processi biologici e la sedimentabilità del fango e si può usare la più economica calce viva sfusa invece della calce idrata in sacchi.

Il costo dei nutrienti (azoto e fosforo) aggiunti sotto forma di concimi chimici varia tra 0,5 e 1,5 eurocent per Kg di COD abbattuto con i valori massimi riscontrabili in impianti a fanghi attivi (in cui è prioritario tutelarsi dal rischio di "bulking" del fango per carenza di nutrienti) ed i valori minimi ottenibili in stagni con Td > 10 settimane in cui, oltre alla più agevole regolazione dei

nutrienti ed al riciclo di quelli rilasciati dal fango in digestione, può accettarsi una minore velocità dei processi biologici ed una minore sedimentabilità dei fanghi.

Riferimenti bibliografici

ALLHANDS M.N., PROCHASKA J.F. (1991). *Double reuse of citrus processing effluent for treatment and conservation*. International Summer Meeting, Albuquerque, 23-26 giugno.

BOMBINO G, TAMBURINO V, ZEMA D.A, ZIMBONE S.M (2009). Depurazione di acque reflue agrumarie in stagni biologici aerati. In: IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria Ricerca e innovazione nell'ingegneria dei biosistemi agro-territoriali. Ischia Porto (NA), 12-16 settembre, ISBN: 978-88-89972-13-7

CALIFORNIA REGIONAL WATER QUALITY CONTROL BOARD (2001). *Waste discharge requirements for Ventura Coastal Corporation, Operator Indio Processing Plant – North of Indio – Riverside County, USA*.

DI GIACOMO A., CALVARANO I. (1987). *Il problema degli effluenti dell'industria agrumaria e le prospettive di utilizzazione degli scarti di lavorazione*. Atti del Convegno su "Ambiente e risorse alternative nell'industria agro-alimentare", Università della Calabria, 16 maggio.

KIMBALL D. (1991). *Citrus processing. Quality control and technology*. AVI Book, New York, USA.

IASM - BREDA (1991). *La depurazione delle acque di scarico delle industrie dei derivati agrumari*, Sintesi di un'indagine Iasm - Istituto Ricerche Breda.

INDELICATO M., TAMBURINO V., ZIMBONE S.M. (1997). *Prove di invaso ed irrigazione con acque reflue dell'industria agrumaria*. Atti del Convegno Nazionale di Ingegneria Agraria, Ancona, 11-12 settembre.

LANE A.G. (1984). *Anaerobic digestion of orange peel*. Food Technology in Australia, Vol. 36, 3 march.

LANE A.G. (1983). *Removal of peel oil from citrus peel press liquors before anaerobic digestion*. Environmental Technology Letters, Vol. 4 pp. 65-72

RATCLIFF M. W. (1990). *Citrus processing waste prevention, handling and treatment*. Citrus world, Lake Wales, Florida, USA.

TAMBURINO V. (2001). Relazione introduttiva, Atti del Convegno di Studi su "Valorizzazione a fini agricoli dei residui dell'industria agrumaria", Caltagirone, 26 - 27 aprile.

TAMBURINO V, ZEMA D.A, ZIMBONE S.M (2007). Depuration processes of citrus wastewater. In: Food and agricultural products: processing and innovations. Napoli, 26-27 Settembre

TAMBURINO V, ZEMA D.A, ZIMBONE S.M (2008). Il trattamento delle acque reflue agrumarie con stagni biologici aerati. *INFORMATORE AGRARIO*, vol. 28, p. 39-40, ISSN: 0020-0689

VINCIPROVA A., DE MARTINO R. (2001). *Indagini sull'accumulo e lo smaltimento sul suolo delle acque reflue agrumarie*. Atti del Convegno di Studi su "Valorizzazione a fini agricoli dei residui dell'industria agrumaria", Caltagirone, 26 - 27 aprile.

WOOD C. (1973). *Recycling citrus waste water*, Sunshine State Agriculture, USA.

ZEMA D.A., ANDILORO S., BOMBINO G., TAMBURINO V, SIDARI R., CARIDI A. (2011). Performance of aerated ponds in depurating citrus processing wastewater with high concentrations of essential oils. *ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*, ISSN: 0959-3330

Le acque reflue olearie: situazione attuale e prospettive della utilizzazione agronomica

3.1 Premessa

Lo smaltimento delle acque reflue dell'industria olearia rappresenta un problema con notevoli implicazioni di carattere ambientale. I rilevanti volumi di acque reflue prodotti dai processi di lavorazione delle olive, il loro elevato contenuto di sostanza organica, la stagionalità della lavorazione e la frammentazione e dispersione territoriale dei frantoi pongono notevoli difficoltà tecnico-economiche ai fini del loro smaltimento, anche in relazione al crescente interesse verso la tutela delle risorse naturali.

Le tecniche di gestione delle acque reflue olearie basate sulla depurazione in impianti convenzionali con scarico nel corpo idrico si sono dimostrate poco affidabili ed in molti casi economicamente insostenibili. E' pertanto necessario adottare modalità alternative di gestione che consentano di raggiungere obiettivi di riduzione dei costi di smaltimento e di contenimento dell'inquinamento ambientale.

Nella attesa che si sviluppi una rete significativa di digestori anaerobici per la produzione di biogas l'utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie mediante la loro somministrazione al terreno costituisce una soluzione percorribile in molte situazioni in cui consente di coniugare economicità e compatibilità ambientale mediante la ricostituzione dei cicli naturali della sostanza organica e dei nutrienti nel terreno e la valorizzazione a fini agronomici delle proprietà fertilizzanti delle acque reflue.

Nel seguito, dopo una breve analisi delle caratteristiche qualitative delle acque reflue olearie ed una sintetica rassegna dei principali sistemi per la loro gestione, si approfondiscono le problematiche e le prospettive riguardanti la loro utilizzazione agronomica mediante somministrazione al terreno.

3.2 Breve analisi della consistenza del comparto olivicolo ed oleario e della produzione di acque reflue

La produzione di olive e di olio si concentra nei Paesi del bacino del Mediterraneo, nei quali si rileva ben il 95% del totale mondiale annuo. L'Italia, come riscontrabile dalla Tabella 1, nella quale è riportata la produzione di olive ed olio nei principali Paesi, è ai primi posti di tale classifica dopo la Spagna.

Tabella 1 – Produzione di olive ed olio nei principali Paesi

<i>Paese</i>	Olive		Olio di oliva	
	Produzione annua* (10⁶ kg)	Incidenza percentuale sul totale mondiale	Produzione annua* (10⁶ kg)	Incidenza percentuale sul totale mondiale
<i>Spagna</i>	4.560	28,0	896	33,0
<i>Italia</i>	4.125	25,3	733	27,0
<i>Grecia</i>	2.394	14,7	394	14,5
<i>Turchia</i>	1.225	7,5	123	4,5
<i>Siria</i>	785	4,8	170	6,3
<i>Tunisia</i>	625	3,8	135	5,0
<i>Marocco</i>	498	3,1	86	3,2
<i>Altri Paesi</i>	2.074	12,7	181	6,7
<i>TOTALE mondiale</i>	16.286	100	2.717	100

* Dati FAOSTAT (media anni 2004 e 2005)

L'olivicoltura italiana viene esercitata principalmente in aziende di piccole dimensioni (il 40% delle aziende olivicole dispone di superfici coltivate inferiori ad un ettaro), prevalentemente concentrate in comprensori collinari e montani (più dell'80% del numero totale di aziende ricade in tali zone); la quasi totalità della produzione olivicola è destinata alla produzione di olio. La frammentazione

aziendale si rileva anche per il comparto di trasformazione, costituito da circa 5800 frantoi, quasi metà dei quali concentrati in tre regioni (Puglia, Calabria e Sicilia) (Tabella 2).

Tabella 2 – Ripartizione geografica del numero di frantoi e della produzione annua di olio di oliva nelle principali regioni italiane

<i>Regione</i>	Frantoi		Produzione
	Numero*	Incidenza percentuale sul totale nazionale	annua di olio di oliva* (10⁶ kg)
<i>Puglia</i>	1162	19,1	339
<i>Calabria</i>	1120	18,4	312
<i>Sicilia</i>	677	11,1	53
<i>Campania</i>	505	8,3	48
<i>Altre regioni</i>	2303	37,9	139
TOTALE Italia	5767	100	891

* Dati Agecontrol (2005)

Numerose realtà produttive sono tecnologicamente arretrate e non sempre servite da un'adeguata rete infrastrutturale; tali caratteristiche si traducono in una bassa capacità operativa di molte aziende e, di conseguenza, nella loro scarsa competitività nei confronti di altre realtà produttive, quali ad esempio la Spagna. In Italia il 50% del numero totale di aziende estrae l'olio con il sistema continuo a tre fasi (che produce, oltre alla sansa ed all'olio, anche notevoli quantità di acqua), il 39% ricorre al sistema a due fasi (nel quale vengono prodotti olio, sansa con elevato tenore di umidità e volumi di acqua molto ridotti), mentre il restante 11% utilizza il sistema tradizionale di estrazione per pressione.

In Calabria l'olivicoltura costituisce un settore di primaria importanza, rappresentando il 35% dell'intera produzione agricola regionale. Le aziende olivicole, prevalentemente di piccole dimensioni (la SAU è mediamente inferiore ad un ettaro), ricadono per il 12% del numero totale in pianura, per il 67% in collina e per il restante 21% in montagna. Le circa 1.100 aziende olearie calabresi utilizzano prevalentemente il sistema di estrazione continuo a tre fasi, con rese in olio mediamente pari al 20%.

Tabella 3 – Ripartizione per province della produzione di acque reflue olearie in Calabria

<i>Provincia</i>	Produzione annua di acque reflue olearie	
	Volume (10³ m³)*	Incidenza percentuale sul totale regionale
<i>Reggio Calabria</i>	319	35,4
<i>Cosenza</i>	203	22,5
<i>Catanzaro</i>	202	22,3
<i>Crotone</i>	127	14,1
<i>Vibo Valentia</i>	52	5,7
TOTALE Calabria	902	100

* ARSSA, 2005 (dati relativi agli ultimi 4 anni di carica)

Gli scarichi delle attività di estrazione dell'olio contengono le acque di costituzione delle olive, le acque utilizzate per il lavaggio delle olive e delle attrezzature e le acque di diluizione delle paste, utilizzate in alcuni sistemi di estrazione dell'olio. La quantità di acque reflue prodotte dipende fortemente dal sistema di estrazione: a fronte di una resa in olio pari mediamente al 20% per tutti i

sistemi menzionati, la trasformazione di 100 kg di olive comporta una produzione di acque reflue variabile da 10 litri per il sistema di estrazione a due fasi a 40 per il sistema tradizionale a pressione fino a 100 litri per il sistema continuo a tre fasi.

In Calabria la campagna di trasformazione olearia, concentrata nei mesi invernali, produce annualmente in media 900.000 m³ di acque reflue olearie; più di un terzo di tale produzione si concentra nella provincia di Reggio Calabria (Tabella 3).

3.3 Principali caratteristiche qualitative delle acque reflue olearie

Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque reflue olearie cambiano notevolmente in relazione alla varietà ed allo stato di maturazione delle olive trattate, al sistema di estrazione dell'olio ed all'eventuale diluizione del mosto oleoso con acqua.

La numerosità e la complessità dei fattori che influiscono sulla qualità delle acque reflue olearie non ne consentono una univoca caratterizzazione chimico-fisica. Il campo di variabilità dei principali parametri qualitativi delle acque reflue olearie, desunto da dati di letteratura, è riportato in Tabella 4.

Tabella 4 – Campo di variazione dei principali parametri qualitativi delle acque reflue olearie (da Tamburino et al., 1999)

<i>Parametro</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Campo di variazione</i>	
<i>pH</i>	-	5,0	5,5
<i>BOD₅</i>	g l ⁻¹	20	55
<i>COD</i>	g l ⁻¹	60	180
<i>Acqua</i>	%	88	97
<i>Composti organici</i>	%	2	10
<i>Composti inorganici</i>	%	1	2

In generale le acque reflue olearie presentano:

- valori di pH tendenzialmente acidi, poco influenzati dal processo di trasformazione e condizionati dallo stadio di maturazione delle olive;
- un elevato contenuto di elementi nutritivi minerali (in particolare potassio ed, in quantità inferiore, calcio e magnesio), che le rende apprezzabili come fertilizzante;
- una significativa quantità di polifenoli, caratterizzati da una lenta biodegradabilità e da un'azione anti-microbica, che rallenta sensibilmente la naturale degradazione del contenuto organico delle acque reflue ed inibisce temporaneamente la germinazione, la crescita e lo sviluppo di diverse piante erbacee;
- elevate concentrazioni di BOD₅ e COD, indici di un alto contenuto di sostanza organica di origine vegetale, che viene trasferita dalle olive agli scarichi nelle varie fasi del processo di estrazione dell'olio.

Dal punto di vista microbiologico nelle acque reflue olearie sono presenti lieviti, funghi e soprattutto batteri, mentre sono assenti i nitrificanti; esse non contengono microrganismi patogeni, come invece può verificarsi per i liquami urbani, ma sono caratterizzate da un elevato potenziale inquinante per i corpi idrici superficiali a causa dell'alto contenuto in sali e sostanza organica e dell'elevata acidità.

3.4 Cenni ai principali sistemi di gestione delle acque reflue olearie

Fra le diverse modalità di gestione delle acque reflue olearie sviluppate negli ultimi anni rientrano:

- la depurazione con scarico nel corpo idrico;
- l'utilizzo di pannelli evaporativi con successiva utilizzazione agronomica del concentrato;
- l'utilizzazione a fini agronomici mediante somministrazione al terreno.

La scelta della soluzione gestionale più adeguata deve naturalmente tener conto sia delle dimensioni aziendali, sia del contesto (rurale, urbano od industriale) in cui il frantoio è ubicato.

In alcune realtà produttive, quali ad esempio la Spagna, si è tentato di risolvere il problema intervenendo direttamente sul sistema di estrazione dell'olio con la progressiva sostituzione del sistema continuo a tre fasi con quello a due fasi: tale soluzione da un lato elimina o riduce drasticamente i volumi di acque reflue da smaltire, dall'altro comporta, oltre a costi maggiori, difficoltà per lo smaltimento dei residui solidi nei sansifici, a causa del maggior tenore di umidità rispetto al residuo solido prodotto dagli altri sistemi di estrazione dell'olio.

La depurazione delle acque reflue olearie preliminare allo scarico nel corpo idrico, tentata con svariate tecniche negli ultimi decenni (generalmente basate sull'utilizzo di processi fisici, fisico-chimici, biologici o misti), si è rivelata quasi sempre costosa, energeticamente dispendiosa e poco affidabile; ad eccezione delle lagune areate con lunghi tempi di detenzione.

Per frantoi inseriti nel contesto urbano una delle soluzioni praticabili è costituita dallo scarico in fognatura, che richiede la preliminare laminazione degli scarichi in vasche di accumulo, nonché l'adeguamento degli impianti comunali di depurazione.

Per la miriade di frantoi che ricadono in ambito rurale il lagunaggio delle acque reflue seguito dalla somministrazione al terreno o la riduzione dei volumi delle acque reflue effettuata con l'utilizzo di pannelli evaporativi si configurano come sistemi capaci di coniugare ridotti costi di impianto ed affidabilità di gestione.

Per le realtà rurali, qualora la disponibilità di terreni e le loro caratteristiche morfologiche e pedologiche lo consentano, l'opzione ottimale può essere rappresentata dalla valorizzazione delle acque reflue olearie mediante la loro utilizzazione agronomica, che consente in molti casi di coniugare i bassi costi di gestione con lo sfruttamento delle proprietà fertilizzanti e con la minimizzazione dei rischi ambientali.

3.5 L'utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie

3.5.1 Cenni alla normativa italiana

In Italia l'utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie è regolamentata dalla Legge 574/96 (*"Nuove norme in materia di utilizzazione delle acque di vegetazione e di scarichi dei frantoi oleari"*), che prevede quanto segue:

- è consentita l'utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie che non abbiano subito alcun trattamento o ricevuto alcun additivo (ad eccezione delle acque per la diluizione delle paste e per il lavaggio degli impianti) (art. 1);
- devono essere rispettati i limiti quantitativi da somministrare ($50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ per anno per le acque reflue provenienti da frantoi con sistema di estrazione tradizionale ed $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ per anno per quelle prodotte da frantoi con sistema continuo) (art. 2);
- è obbligatoria la comunicazione all'Autorità competente preliminare alla somministrazione al terreno (art. 3);
- è fatto obbligo di osservare le prescrizioni in merito alle caratteristiche morfologiche e pedologiche dei terreni (art. 3) (le indicazioni normative dell'art. 4 prevedono per la somministrazione delle acque reflue un'orografia ed una composizione dei terreni tali da garantire un'adeguata incorporazione delle sostanze ed una uniforme distribuzione del carico idraulico), nonché alla localizzazione ed alla destinazione dei terreni ricettori (l'art. 5 vieta la somministrazione nei terreni situati in prossimità dei centri abitati e delle aree di salvaguardia delle captazioni di acqua destinata al consumo umano, nonché in quelli in cui siano presenti coltivazioni orticole e falde suscettibili di inquinamento);
- è sancito il divieto di accumulare le acque reflue olearie per periodi superiori a 30 giorni (art. 6), il che impedisce la scelta del periodo più opportuno per la distribuzione, generalmente diverso da quello di produzione, e limita la possibilità di somministrazioni frazionate e ripetute;

- le Regioni possono redigere appositi “*piani di spandimento*” delle acque reflue olearie, che tengano conto delle caratteristiche dell'ambiente ricettore e dei limiti di concentrazione delle sostanze organiche (art. 7).

L'art. 108 del D.Lgs. 152/06 (“*Norme in materia ambientale*”) fa esplicito rimando alla L. 574/96 per le attività di utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie e prevede all'art. 112, inoltre, che:

- venga decentrata a livello regionale la regolamentazione delle attività di utilizzazione agronomica nell'ambito dei principi generali e delle linee-guida stabilite dall'ordinamento giuridico generale;
- le Regioni disciplinino le modalità di attuazione e le norme tecniche di effettuazione delle attività di utilizzazione a fini agronomici delle acque reflue olearie (secondo le prescrizioni della L. 574/96), i tempi e le modalità della comunicazione della somministrazione al terreno all'Autorità competente, i criteri e le procedure di controllo, nonché le sanzioni amministrative pecuniarie.

Tali previsioni normative erano state peraltro introdotte dai precedenti Decreti Legislativi n. 152/99 (c.d. “*Decreto acque*”) e n. 258/00 (“*Decreto acque bis*”), oggi abrogati dal D.Lgs. 152/06 per le norme contrarie o incompatibili con quest'ultimo.

La Calabria si è recentemente dotata della normativa prevista dall'art. 112 del D.Lgs. 152/99: con Deliberazione G.R. del 16/01/2006 sono state, infatti, emanate le “*Norme tecniche regionali per l'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e delle sanse umide dei frantoi oleari*” contestualmente all'adozione del c.d. “*Piano di spandimento*” delle acque reflue olearie, cui si farà cenno nel prosieguo. Il regolamento esclude alcune categorie di terreni per la somministrazione delle acque reflue olearie al suolo, prevede vincoli per le attività di stoccaggio e trasporto delle acque, disciplina la periodicità e la modalità di controllo delle attività di utilizzazione agronomica, oltre a richiamare l'art. 8 della L. 574/96 riguardo alle sanzioni irrogabili per l'inosservanza delle norme tecniche.

3.5.2 Modalità di somministrazione al terreno delle acque reflue olearie

La somministrazione al terreno delle acque reflue olearie può essere effettuata secondo diverse modalità alternative (Tabella 5).

Tabella 5 – Quadro delle modalità alternative di somministrazione al terreno delle acque reflue olearie (da Tamburino et al., 1999)

	Fasi	Trasporto	Accumulo* B: a breve termine (1-30 giorni) M: a medio termine (1-9 mesi) L: a lungo termine (10-24 mesi)	Pretrattamento	Distribuzione
		A: autobotti C: carribotte T: condotte tubate		F: filtrazione o microstaccatura D: diluizione con acque convenzionali	S: solchi in pendenza C: carro-botte I: impianto irriguo tubato R: reti irrigue collettive
M O D A L I T A'	A	A	-	-	S
	L	C	-	-	C
	T	A	-	-	C
	E	A	B o M	-	C
	R	A	B o M	-	S
	N	A	M o L	F	I
	A	T	B o M	-	C
	T	T	B o M	-	S
	I	T	M o L	F	I
	V	T	M o L	F + D	I
E	T	M o L	F + D	R + I	

* l'accumulo può essere effettuato nel frantoio o nell'azienda agricola

Il processo si articola in quattro fasi operative: trasporto, accumulo (o stoccaggio), pretrattamento e distribuzione; l'accumulo ed il pretrattamento possono eventualmente essere assenti. La fase di accumulo prolungata (ove si trovasse una soluzione di conformità normativa), svolge un ruolo di pretrattamento delle acque reflue olearie, in quanto i processi di digestione anaerobica determinano una stabilizzazione della sostanza organica ed una riduzione della concentrazione; in ogni caso l'accumulo in vasche conferisce un'utile flessibilità al sistema di distribuzione, permettendo la somministrazione di volumi variabili nei più opportuni periodi dell'anno.

L'efficienza tecnica ed economica dell'utilizzazione agronomica delle acque reflue dipende sensibilmente dalla fase di trasferimento dal frantoio al luogo di somministrazione al terreno. Il sollevamento e l'adduzione delle acque mediante tubazioni ad una vasca di accumulo all'interno dell'azienda agricola costituisce la soluzione più economica per trasportare le acque reflue su distanze medio piccole, quando le condizioni d'uso e di proprietà dei terreni non pongano particolari difficoltà; tale soluzione risulta in genere agevole nel contesto di aree rurali, ma difficilmente praticabile per frantoi inseriti all'interno dei centri abitati.

Quando le distanze tra frantoio ed azienda agricola sono piccole può essere conveniente, compatibilmente con le condizioni del terreno, effettuare il trasporto e la successiva distribuzione alle colture mediante carro-botte trainato da trattrice. Se le distanze crescono, può essere conveniente effettuare il trasporto su strada mediante autobotte; occorrerà disporre di una vasca di accumulo in azienda o tenere immobilizzata l'autobotte ai bordi del campo per rifornire il carro-botte. In terreni con adeguata sistemazione ed accessibilità la distribuzione delle acque reflue può essere effettuata mediante solchi in pendenza alimentati direttamente dall'autobotte con tubazioni spostabili: il sistema presenta tuttavia un'elevata disuniformità di distribuzione e può essere utilizzato solo per colture arboree. L'impiego di impianti di irrigazione, oltre a consentire rilevanti risparmi (se già esistenti), garantisce somministrazioni graduali e pressoché uniformi, offrendo anche la possibilità di diluizione con acque convenzionali, particolarmente opportuna nei periodi asciutti.

3.5.3 Principali risultati delle ricerche condotte sull'utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie

Numerose ricerche, condotte negli ultimi trent'anni su diverse colture arboree ed erbacee mediante somministrazione al terreno di volumi variabili di acque reflue olearie, hanno evidenziato benefici e limiti agronomici di tale modalità di smaltimento. Nel complesso i risultati delle indagini evidenziano nel medio termine effetti positivi od assenza di danni a colture e terreno anche alle dosi più elevate (fino a $800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, cioè 10 volte i limiti normativi) tra quelle oggetto delle sperimentazioni. Temporanei effetti di fitotossicità possono evidenziarsi solo a breve termine (20÷50 giorni) e solo su colture erbacee con apparato radicale diffuso negli strati superficiali del terreno.

Da tempo gruppi di ricercatori dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria hanno condotto ricerche multidisciplinari sull'utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie.

Particolare rilevanza ha assunto il progetto dal titolo "*Sistemi e metodi per la valorizzazione a fini agricoli dei residui dell'industria agroalimentare nel Mezzogiorno d'Italia*", finanziato dall'ex Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca Scientifica nell'ambito dei "*Piani per il potenziamento della ricerca scientifica e tecnologica*", del quale si riportano sinteticamente alcuni risultati.

Studi quinquennali sulla risposta agronomica di colture erbacee in avvicendamento a somministrazioni di acque reflue olearie in dosi fino a $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, hanno evidenziato l'assenza di conseguenze sfavorevoli sullo sviluppo e sulle rese produttive delle colture, qualora i volumi somministrati non eccedano i $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Tre anni di rilievi bio-agronomici successivi all'irrigazione con acque reflue olearie su uliveti non hanno fatto rilevare influenze significative sull'accrescimento, sulla produzione e sullo stato fito-sanitario delle piante; solo trattamenti

effettuati in dosi massicce su giovani piante di ulivo allevate in mastello hanno determinato un rallentamento dello sviluppo vegetativo.

Anche dal punto di vista prettamente pedologico ed idrologico le indagini condotte su suoli di differente tessitura e granulometria hanno confermato che la somministrazione al terreno delle acque reflue olearie determina, oltre ad incrementi del contenuto in sostanza organica, fosforo e potassio, un miglioramento delle proprietà fisiche ed idrauliche del suolo. Esperienze di irrigazione condotte su uliveti calabresi hanno indicato, infatti, che la distribuzione irrigua di volumi anche superiori ai limiti della normativa vigente produce l'incremento dell'infiltrabilità del suolo e della stabilità dei suoi aggregati.

L'utilizzazione agronomica è attualmente l'orientamento prevalente della maggior parte delle aziende olearie per la gestione delle acque reflue; più dell'80% delle aziende olearie siciliane e calabresi smaltisce le acque reflue mediante la somministrazione al terreno, mentre la restante parte scarica gli effluenti in fognatura dopo la depurazione od in fosse biologiche. I carichi idraulici massimi di somministrazione al terreno, generalmente effettuata previo trasporto con carro-botte e distribuzione mediante solchi in pendenza su terreni investiti a coltivazioni arboree, rispettano nella maggior parte dei casi i limiti previsti dalla L. 574/96; sovente le acque reflue vengono distribuite con impianti di irrigazione previo accumulo in vasche o serbatoi di stoccaggio presenti all'interno delle aziende.

In prospettiva l'accumulo e la successiva distribuzione al terreno potrebbe rappresentare in particolari contesti, quali i piccoli frantoi in ambito rurale, la soluzione più efficiente da un punto di vista economico ed ambientale; ciò anche in considerazione della possibilità di utilizzare comuni impianti ad aspersione o di microirrigazione con spruzzatori, qualora si provveda alla prefiltrazione delle acque reflue prima dell'immissione nell'impianto.

3.6 Pianificazione della utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie in Calabria

La Calabria ha proceduto recentemente ad un'attività conoscitiva finalizzata all'individuazione dei suoli che presentano vocazione allo smaltimento delle acque reflue olearie. E' stata redatta a tal fine la "Carta di attitudine dei suoli allo spargimento delle acque di vegetazione della Regione Calabria" su scala 1:250.000 ed adottata dall'Ente quale "Piano di spandimento dei reflui oleari", parte integrante del regolamento relativo alle "Norme tecniche per l'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione degli scarichi di vegetazione di frantoi oleari", cui si è fatto cenno in precedenza. Si tratta, dunque, di un indispensabile approccio pianificatorio al problema della gestione delle acque reflue olearie mediante utilizzazione agronomica, con il quale vengono analizzate su grande scala le caratteristiche geo-morfologiche ed idrologiche dei terreni potenziali ricettori delle acque reflue olearie, al fine di valutarne l'attitudine a tale pratica agricola.

La classificazione in aree omogenee è stata effettuata facendo riferimento ai seguenti cinque parametri connessi agli aspetti pedologici, idrologici e morfometrici:

- capacità di accettazione delle acque reflue senza rischi di ruscellamento superficiale (in funzione dell'infiltrabilità del suolo e della pendenza);
- capacità protettiva e depurativa dei suoli (funzione di capacità di ritenzione idrica, pH, contenuto percentuale di calcare attivo, drenaggio interno e conducibilità elettrica);
- profondità della falda acquifera;
- altitudine;
- pendenza.

La lettura combinata dei suddetti parametri ha consentito di distinguere all'interno del territorio regionale, mediante un'apposita "matrice di valutazione", i suoli adatti da quelli non adatti o meno idonei alla somministrazione delle acque reflue olearie. Le classi individuate delineano il grado di attitudine e, nell'ambito dei territori adatti, indicano i suoli senza limitazioni, i suoli con limitazioni moderate, i suoli con limitazioni elevate ed infine i suoli con limitazioni severe; le sottoclassi specificano i tipi di limitazione e le eventuali prescrizioni nelle modalità di somministrazione delle acque reflue.

Le successive elaborazioni hanno consentito di evidenziare che:

- una parte rilevante del territorio regionale risulta "adatta" allo spargimento delle acque reflue olearie (una superficie complessiva di 541.000 ha, pari al 36% del territorio calabrese, ricade, infatti, nelle classi corrispondenti a suoli adatti con diversi gradi di limitazione);
- l'utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie appare una soluzione praticabile in ambito calabrese, in quanto il rapporto fra il volume annuo di acque reflue prodotte e la superficie di suolo adatta allo spargimento, pari al massimo a 3,13 m³ ha⁻¹ per la provincia di Reggio Calabria, è di gran lunga inferiore ai pur restrittivi limiti imposti dalla normativa.

Tale classificazione, che necessita naturalmente di ulteriori approfondimenti, fornisce gli elementi conoscitivi necessari alla razionalizzazione degli interventi in materia. Ciò consente di pervenire al duplice obiettivo di avere un controllo di tale pratica agricola da parte dell'Ente Locale istituzionalmente competente e di rispondere contestualmente alle esigenze degli imprenditori locali interessati ad una soluzione ottimale sul piano economico e normativo.

Riferimenti bibliografici

- ANDILORO S., ARAMINI G., COREA A.M., TAMBURINO V, ZEMA D.A., ZIMBONE S.M (2010). Planning agricultural utilization of olive oil mill wastewater: a framework model and implementation example in a Mediterranean area. *Olive Oil mill Wastewater in the Mediterranean Area . TERRESTRIAL & AQUATIC ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY*, ISSN: 1749-0324
- ANDILORO S, TAMBURINO V, ZEMA D.A, ZIMBONE S.M (2008). Infiltrabilità di suoli trattati con acque reflue olearie. *INFORMATORE AGRARIO*, vol. 28, p. 12-13, ISSN: 0020-0689
- ANDILORO S, TAMBURINO V, ZEMA D.A, ZIMBONE S.M (2009). Recent Research Outcomes concerning Agricultural Utilisation of Olive Oil Wastewater. In: XXXIII CIOSTA - CIGR V Conference 2009 Technology and management to ensure sustainable agriculture, agro-systems, forestry and safety. vol. 3, p. 1811-1815
- CAPRA A., TAMBURINO V, S.M. ZIMBONE (2010). Irrigation system for land Spreading of Olive Oil Mill Wastewater. *TERRESTRIAL & AQUATIC ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY*, vol. 4(SI), p. 65-74, ISSN: 1749-0324
- Tamburino V., Zimbone S.M., Quattrone P. (1999): Storage and land application of olive oil mill. *Olivae*, 76: 36-45.
- Tamburino V., Zema D.A., Zimbone S.M. 2007: Situazione attuale e prospettive della utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie. In "L'olio di oliva vergine della provincia di Reggio Calabria prodotto da cultivar autoctone: caratteristiche merceologiche e qualitative". Laruffa Editore, Reggio Calabria, 512-523.
- TAMBURINO V, ZEMA D.A, ZIMBONE S.M (2008). Agricultural recycling of olive oil mill wastewater and experiences on citrus wastewater lagooning in southern Italy. In: Proceedings of the 5-th International Conference Cooperation for Waste Issues. Kharkiv (Ukraine), April 2-3., ISBN: 966-8337-10-7
- A.R.S.S.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura della Calabria) (2005): *Carta di attitudine dei suoli allo spargimento delle acque di vegetazione della Regione Calabria (scala 1:250.000)*. Monografia divulgativa del Servizio Agropedologia, Editrice Cerbone s.r.l., Napoli.

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
(Generalità - Il bilancio territoriale dell'acqua e la disponibilità della risorsa – I prelievi, la distribuzione e gli usi)	
2. CENNI AL CICLO IDROLOGICO	5
3. CLASSIFICAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE	8
4. CARATTERIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE	9
4.1. Generalità	9
4.2. Quantità	9
4.3. Qualità	9
(Salinità totale/conducibilità elettrica - macroelementi e microelementi - macronutrienti - solidi sospesi - sostanza organica - ossigeno disciolto - microrganismi patogeni)	
4.4. Spazio	12
4.5. Tempo	13
5. UTILIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE (approvvigionamento, trasporto e regolazione)	13
5.1. Generalità	13
5.2. Approvvigionamento	13
5.3. Derivazione	14
(Prese da corsi d'acqua naturali - Prese da laghi e serbatoi - Emungimento da falde idriche)	
5.4. Trasporto e distribuzione	18
5.5. Utenze	19
5.6. Usi, prelievi, consumi e fabbisogni	20
6. MODIFICHE DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE	21
6.1. Generalità	21
6.2. Depurazione intensiva	22
6.2.1 Trattamenti meccanici (Grigliatura - Dissabbiatura e disoleatura – Sedimentazione)	23
6.2.2 Trattamenti biologici	24
(Impianti a biomassa sospesa (fanghi attivi) - Impianti a biomassa adesa (Filtri percolatori e Dischi biologici) - Digestione anaerobica)	
6.2.3 Trattamenti chimici, fisici e chimico-fisici	28
(Filtrazione - Membrane di separazione - Flocculazione - Precipitazione chimica)	
6.3 Trattamenti naturali in ambiente idrico	28
6.3.1 Lagunaggio	29
6.3.2 Lagune areate	29
6.3.3 Fitodepurazione	31
(Sistemi a flusso superficiale (FWS) - Sistemi a flusso subsuperficiale orizzontale (H-SSF) - Sistemi a flusso subsuperficiale verticale (V-SSF))	

6.4	Somministrazione al suolo	33
6.4.1	Generalità	33
6.4.2	Effetti sul suolo	34
	(Contenuto di sostanza organica - sodio ed altri macroelementi non nutritivi - microelementi - macroelementi nutritivi - Modifica delle proprietà idrauliche)	
6.4.3	Effetti sulle colture e sulla produttività agricola	37
6.4.4	Rischio igienico-sanitario	37
6.4.5	Depurazione acque reflue di singole utenze o piccoli nuclei	39
	Approfondimenti bibliografici	40

APPENDICE: LA GESTIONE DELLE ACQUE REFLUE AGRO-ALIMENTARI (CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AI REFLUI OLEARI ED AGRUMARI) **42**

1.	Generalità	42
2.	Le acque reflue agrumarie	44
2.1	Caratteristiche quali-quantitative degli effluenti agrumari	44
2.1.1	Variabilità quantitativa	44
2.1.2	Variabilità qualitativa	47
2.1.3	Acidità, scarsità di nutrienti e presenza di oli essenziali	48
2.2	Problematiche di depurazione	48
2.2.1	Considerazioni generali	48
2.2.2	Regolazione settimanale del carico organico ed equalizzazione	49
2.2.3	Riduzione dei tempi di avvio e regolazione annuale del carico organico	50
2.2.4	Flessibilità di esercizio e produttività degli input del processo depurativo	51
	Riferimenti bibliografici	53
3.	Le acque reflue olearie: situazione attuale e prospettive della utilizzazione agronomica ..	54
3.1	Premessa	54
3.2	Breve analisi della consistenza del comparto olivicolo ed oleario e della produzione di acque reflue	54
3.3	Principali caratteristiche qualitative delle acque reflue olearie	56
3.4	Cenni ai principali sistemi di gestione delle acque reflue olearie	56
3.5	L'utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie	57
3.5.1	Cenni alla normativa italiana	57
3.5.2	Modalità di somministrazione al terreno delle acque reflue olearie	58
3.5.3	Principali risultati delle ricerche condotte sull'utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie	59
3.9	Pianificazione della utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie in Calabria	60
	Riferimenti bibliografici	61