

STUDIO TECNICO DI INGEGNERIA

AMBIENTE - INGEGNERIA - SICUREZZA

Ing. Francesco Coda

via del Giubileo 2000, 2 84095 Giffoni Valle Piana (SA) - via Fangarelli Zona Industriale 84131 Salerno
tel. 333 1706995 - Ing.coda@tiscali.it - www.omniatimg.it - P.Iva 04785490659



COMUNE DI SANZA
PROVINCIA DI SALERNO

*LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO
COMUNALE PER GRAVE DISSESTO
IDROGEOLOGICO - TRASFERIMENTO DEPURATORE
COMUNALE*

- PROGETTO ESECUTIVO -

Committente: COMUNE DI SANZA (SA)
C.F.: 83002260657

ELABORATO:
RELAZIONE SPECIALISTICA IMPIANTI TRATTAMENTO ACQUE

ALLEGATO n.:

R.02

Pagine: 67

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Per dichiarazioni rese, ricevuta e
autorizzazione al trattamento dati
personali L. 196/03

IL TECNICO:

Ing. Francesco Coda

VISTO:

Data	Rev.	Descrizione
02/08/2021	0	Emissione

Indice

PREMESSA 3

1. IMPIANTO DI DEPURAZIONE 4

2. IMPIANTO PRIMA PIOGGIA 25

3. IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE 28

PREMESSA

La realizzazione del nuovo impianto di depurazione a servizio del Comune di Sanza (SA) è parte integrante dei lavori di messa in sicurezza del territorio Comunale, in quanto l'attuale depuratore insiste su un'area interessata da grave dissesto idrogeologico oltre a non essere sufficiente a soddisfare le esigenze dell'intero territorio Comunale.

Si riportano di seguito i criteri delle scelte operate al fine della realizzazione del sistema depurativo comunale (PROGETTO ESECUTIVO).

Gli interventi previsti si riferiscono a:

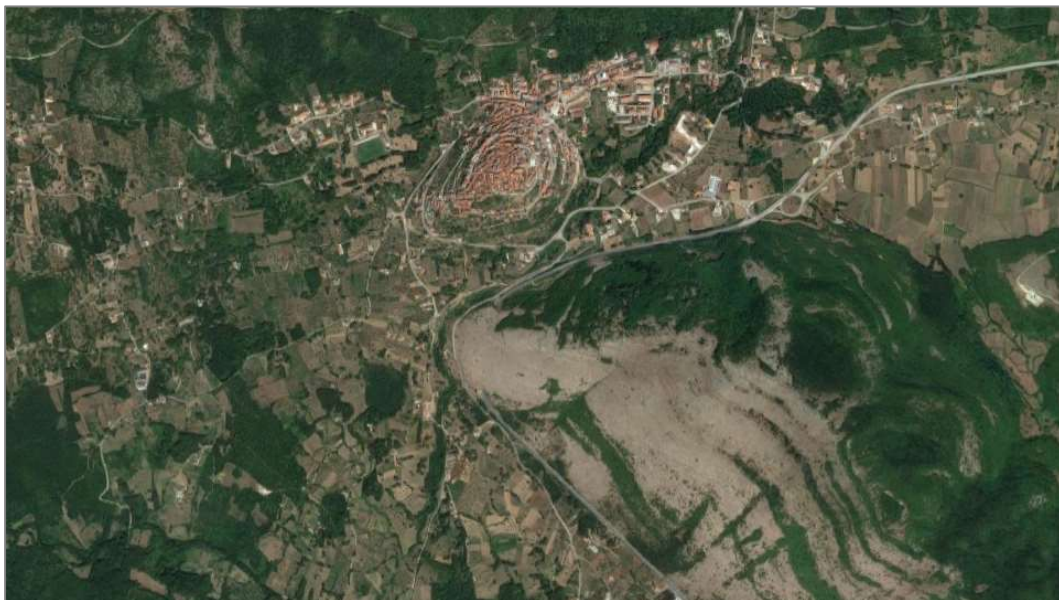
- Realizzazione nuovo impianto di depurazione Comunale.
- Realizzazione impianto di trattamento acque di prima pioggia (acque dilavanti su superfici impermeabili delimitate dall'area dell'impianto di depurazione) e derivazione da bypass impianto di depurazione.
- Realizzazione impianti di fitodepurazione:
 - Fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale e verticale;
 - Fitodepurazione a flusso superficiale (Free Water Surface).

1. IMPIANTO DI DEPURAZIONE

INQUADRAMENTO

Il Comune di Sanza (SA) sorge in una caratterizzata da due catene montuose.

Il Monte Cervati ben delineato tra Cozzo della Croce, Monte Forcella, Monte Motola, Monte Faitella e la Raia del Pedale ed il gruppo Monte Centaurino. Monte Cervati con i suoi 1898 m è il più alto della Campania.



Ortofoto

La forte permeabilità del suolo, a causa di fenomeni carsici presenti, rende l'intera area del Cervato un importantissimo bacino idrografico da cui scaturiscono corsi d'acqua di notevole importanza, quali il fiume Bussento, il fiume Mingardo, il fiume Calore Lucano. Il suo paesaggio infatti appare modellato dalle forme carsiche che rappresentano la caratteristica geologica, dalle grandi forre scavate dai torrenti permanentemente in piena e dalle numerose sorgenti di cui due captate, la sorgente di Varco dell'Abete e di Monte Menzano, utilizzate per alimentare il fabbisogno della popolazione sanzese e altri paesi del basso Cilento. Il paesaggio assume particolare bellezza nelle località Ponte Inferno e Varco dell'Abete, che è il nome dell'albero omonimo. In queste località le acque impetuose delle sorgenti diventano artefici di rapide e di cascate di rara bellezza.

In vetta al Cervato, le fasi tettoniche quaternarie hanno lasciato diverse tracce, forme interessanti si rilevano appena a est del Santuario della Madonna della Neve, ove si apre una cavità di origine carsica che è la dimora della Madonna della Grotta. Quest'aspetto geomorfologico è riscontrabile in tutta l'area del massiccio del Cervato e si manifesta in maniera eclatante con la formazione di una grava, 'la Grava del Festolarò, nonché l'Inghiottitoio di Vallevona. Al margine Nord-Est della conca di Vallevona, infatti, le acque si sono aperte la strada scavando un inghiottitoio di vaste proporzioni e di notevole profondità. Si tratta di una depressione semicircolare con pareti verticalizzate dall'erosione carsica, di forma ellittica, larga più di 50 metri e profonda circa 90 metri la quale si restringe al fondo, ove le acque alimentano un laghetto stagionale. L'inghiottitoio è collegato con l'esterno da un tunnel lungo circa 500 metri, realizzato negli anni '50 per consentire il rapido deflusso delle acque piovane che altrimenti andrebbero a influire sulla qualità dell'acqua della sottostante sorgente di Varco dell'Abete. E' attraverso questo tunnel che, nel periodo estivo, i visitatori accedono all'interno dell'inghiottitoio. Anche nelle zone basse del paese il territorio risulta model-

lato da fenomeni carsici osservabili nella località Lago dove si trovano tre inghiottitoi, il più noto è quello di Rio Torto, costituito da un ampio varco alto circa trenta metri.

Il Monte Centaurino prende il nome dalla cima più alta in cui gli antichi scorgevano la forma di un piccolo Centauro). Il territorio del Centaurino ha una pendenza che oscilla da un minimo del 10% alla località Varco del Carro e del 20% in località Acquaruli, Ciòrciari, Decollata, Serra Jardino, Acquasparta, fino ad un massimo del 50% a Farna Petrone, Pezza la Quercia e Stennecchia. Anche l'altitudine varia, toccando la punta minima in località Piano dei Ciorciari, Acquasparta, Tempa la Scanna, dove tocca i 250 – 430 m., per raggiungere i 1275 m. ed oltre in località Stennecchia, un alternarsi di pianura e montagna. Il Centaurino è attraversato da numerosi corsi d'acqua, tutti affluenti del fiume Bussento e da molti altri torrenti e fontane, quali Vallone della Giumenta, Vallone Rosso, Vallone Persico, Fontana del Panniere, Fontana La Rosa, Fontana del Curillo. Il fiume assume un aspetto particolarmente suggestivo nelle località Ponte l'Abate, caratterizzato da un ponte di origine medioevale, la cui costruzione è da attribuire ai predecessori degli abati della 'Badia di San Pietro Apostolo'. Il ponte aveva la funzione di collegare, attraverso la 'strada regia', Sanza a Caselle in Pittari e il sentiero di Brancato che conduce al vecchio mulino comunale, di cui si possono ammirare i ruderi, tra i quali le due grandi macine di pietra nelle quali veniva convogliata l'acqua del fiume Bussento, che alimentava il Mulino e le Ferriere.

Architettura rurale

Un vero e proprio unicum del territorio sanzese è il consistente patrimonio di architettura rurale, costituito prevalentemente da case di campagne di ricche famiglie locali, i cosiddetti "casini", strutture costruite quasi sempre al centro di estese tenute terriere. Questi edifici spesso contrassegnati da vistosi elementi di carattere difensivo (torri, feritoie) sorsero soprattutto nel corso dell'Ottocento quando i galantuomini del posto, dopo l'eversione della feudalità, si accaparrarono i migliori terreni.

Costruzioni di maggiore importanza ricordiamo il "casino" dei Barzelloni in contrada Sirippi, quello appartenuto ai Campolongo in contrada Verlingieri, dei Cozzi in contrada Cioccolo, quelli dei Bonomo ai Farnetani, a San Vito o anche quello dei De Stefano in contrada Petraro. Quest'ultimo ebbe anche un laboratorio farmaceutico, come si evince dal bel portale architravato del 18.... sul quale compaiono la bilancia e il mortaio.

Un'altra peculiarità del vasto territorio di Sanza sono i mulini e, soprattutto, le ferriere sorte lungo il corso del Bussento forse già a partire dal XIV secolo, anche questi appartenuti alle principali famiglie locali (Barzelloni, Campolongo, Bonomo, Eboli). Tra i mulini l'esempio maggiormente significativo è quello dei Campolongo in contrada Ponte Nuovo, edificato verso la metà dell'Ottocento; tra le ferriere invece va segnalata quella appartenuta ai Bonomo in contrada Cavarretta, di cui rimangono imponenti resti.

Per quanto concerne le fabbriche religiose è da rilevare la presenza degli importanti ruderi dell'abbazia di San Pietro, nella contrada omonima. Qui il "casino" appartenuto ai Giuliano, oggi diviso fra vari proprietari, riutilizza in parte i resti di un complesso medievale già esistente nel primo Trecento. Della chiesa abbaziale più antica, distinta da quella sorta nel Settecento a poca distanza, rimangono i ruderi di un campanile a vela e alcune arcate ogivali murate nei sotterranei del "casino". A poca distanza, sul fiume Bussento, si trova l'antico ponte dell'abate, forse risalente ad epoca tardo medievale, con peculiarità costruttive ricorrenti in altre strutture simili realizzate nel territorio cilentano.

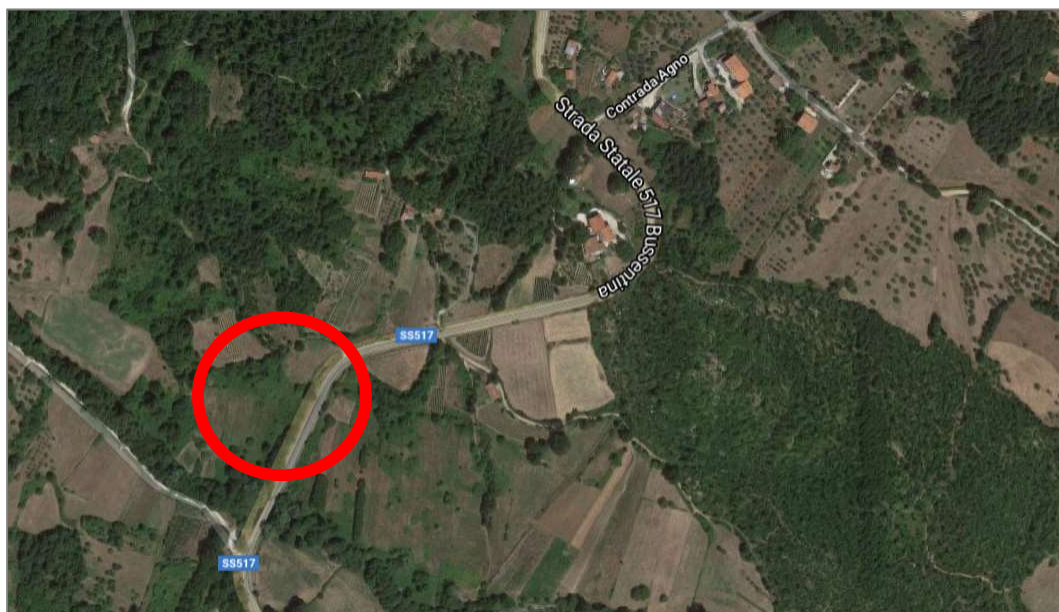
Di notevole importanza è la cappella della Madonna della Neve situata sul Monte Cervato. Un documento settecentesco custodito presso l'archivio dell'Arciconfraternita di Santa Maria della Neve ci informa che il sacello già esisteva prima del Novecento. La struttura assai semplice di pianta rettangolare è costituita da due corpi, uno interno di origine altomedievale, anteriore al X secolo, l'altro esterno decisamente più tardo, forse settecentesco. Non lontano dalla cappella si trova una grotta con un antico simulacro in malta della Madonna col Bambino, forse di epoca medievale ma di difficile datazione a causa dei vistosi rifacimenti.

DESCRIZIONE DEI LUOGHI

L'abitato di Sanza, il cui vasto territorio è parte notevole della Comunità Montana "Vallo di Diano" e del Parco del Cilento e del Vallo di Diano per le sue ricchezze floro-faunistiche e storico-ambientali, rappresenta la porta d'ingresso del Cilento meridionale per chi vi giunga attraverso la S.S. 517 dopo aver lasciato l'Autostrada del Sole (A3) all'uscita di Padula-Buonabitacolo.

Il Comune conta 2.414 abitanti (01/01/2021 - Istat) ha una superficie di 128,74 chilometri quadrati per una densità abitativa di 18,75 abitanti per chilometro quadrato.

L'area da occupare con l'impianto di depurazione di nuova realizzazione è raggiungibile dalla SS517 (Strada Statale 517 Bussentina).



L'area indicata per la realizzazione dell'impianto di depurazione si presenta con morfologia per lo più pianeggiante, incolto per lo più privo di piante o arbusti, confinante a Sud-Ovest con un canale idrico naturale affluente del fiume Bussento e a Sud-Est con la Strada Statale 517 Bussentina.

CLASSIFICAZIONE SISMICA E CLIMATICA

Sanza è classificata come zona a pericolosità sismica 2 (medio) secondo la classificazione sismica indicata nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274/03 aggiornata al 16/01/2006 con le comunicazioni delle Regioni. Il territorio Comunale ricade in Zona climatica D con 1.854 GG (Gradi Giorno). La stazione meteorologica di Sanza, in riferimento ad una media di piovosità riferita al periodo 1930 ÷ 1900 (Anni disponibili 34) fornisce dati riportati nella tabella 1.



Stazione: Sanza
Codice Hydronline: 15197
Codice Ente gestore:
Strumento: Pluviometro
Regione: Campania
Provincia: Salerno
Altitudine: 499,0
Serie 5-30 minuti: SI
Serie 1-24 ore: SI
Serie 1-5 giorni: SI

Serie: 1 ora
Anni disponibili: 34
Primo anno: 1930
Ultimo anno: 1990
Valore minimo: 18
Valore massimo: 50
Coeff. di variazione: 0.272
Coeff. di asimmetria: 1.266

Tabella 1 - Dati pluviometrici della stazione metereologica di Sanza (SA)

In base alla media trentennale di riferimento, la temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta a +4°C; quella del mese più caldo, agosto, è di +25°C, così come indicato nel grafico seguente.

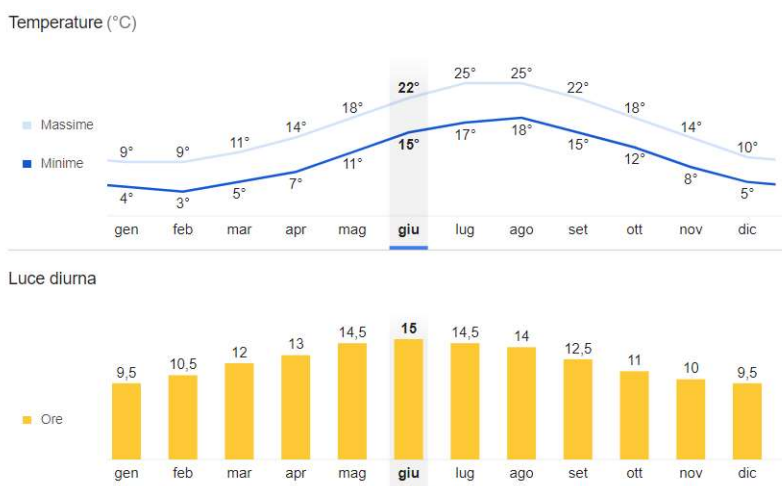


Grafico Temperature medie (C°) e ore di luce diurna

GEOMORFOLOGIA

L'area interessata dall'impianto di depurazione ricade nell'ambito del territorio del Comune di Sanza, con dati geografici:

- Altitudine: 558 m s.l.m. (quota in metri sopra il livello del mare del punto in cui è situata la Casa Comunale)
- Quota minima: 350 m (quota minima del territorio comunale elaborata dall'Istat sul modello digitale del terreno (DEM) e dai dati provenienti dall'ultima rilevazione censuaria)
- Quotata massima: 1.898 m (quota massima del territorio comunale elaborata dall'Istat sul modello digitale del terreno (DEM) e dai dati provenienti dall'ultima rilevazione censuaria)
- Coordinate Geografiche: sistema sessagesimale 40° 14' 44,16" N 15° 33' 12,60" E
- Coordinate Geografiche: sistema decimale 40,2456° N 15,5535° E.

Le coordinate geografiche sono espresse in latitudine Nord (distanza angolare dall'equatore verso Nord) e longitudine Est (distanza angolare dal meridiano di Greenwich verso Est).

I valori numerici sono riportati utilizzando sia il sistema sessagesimale DMS (Degree, Minute, Second), che il sistema decimale DD (Decimal Degree).

Il territorio del comune risulta compreso tra i 350 e i 1.898 metri sul livello del mare.

L'escursione altimetrica complessiva risulta essere pari a 1548 metri.

1.1. CARICO ANTROPICO POPOLAZIONE RESIDENTE E FLUTTUALE

Analisi demografica

L'analisi demografica di un territorio rappresenta il pilastro fondamentale su cui poggiano le basi di ogni tipo di strategia di programmazione e pianificazione del territorio.

La demografia studia, infatti, le caratteristiche della popolazione sia di tipo statico che dinamico: con le prime si rileva la struttura della popolazione in un determinato momento (struttura per sesso e per età); con le seconde si mettono in evidenza le modificazioni della popolazione nel tempo per effetto di cause interne quali nascite e decessi (movimento naturale) oppure cause esterne quali i movimenti migratori. Le informazioni demografiche sono di grande utilità per una corretta pianificazione dello sviluppo del territorio con particolare riferimento all'attenta risposta ai bisogni della popolazione nonché al razionale impiego delle risorse e rappresenta, inoltre, un supporto alla valutazione degli interventi da eseguirsi nel tempo.

Nell'ambito dello studio della popolazione, si distingue una analisi di lungo periodo e una analisi di breve periodo.

Analisi di lungo periodo

La valutazione dell'andamento della popolazione nel tempo può essere eseguita sfruttando i dati demografici resi disponibili dall'Istat, che vanno dal 1861 al 2021. I comportamenti demografici assumono particolare importanza in quanto forniscono gli elementi che determinano, nel lungo periodo, le caratteristiche della popolazione in termini di struttura e di flussi.

Si esegue un'analisi di lungo periodo che ha l'obiettivo di evidenziare lo sviluppo e i comportamenti della popolazione del comune di Sanza. Dal 2006 la popolazione decresce da circa 2.831 abitanti a circa 2.414 abitanti nel 2021.

Analisi di breve periodo

L'analisi di breve periodo è condotta con riferimento ad un periodo temporale di dieci anni basandosi sui dati dell'anagrafe comunale e dei dati Istat, con in evidenza un decremento della popolazione del 14,73 %.

Carico antropico

In riferimento all'andamento demografico si considera, in fase di progettazione esecutiva, una distribuzione della popolazione residente e di quella fluttuante con picco massimo di 2.500 AE

1.2. CRITICITÀ DELL'ATTUALE SISTEMA DEPURATIVO - STATO DI FATTO

Il centro abitato del Comune di Sanza allo stato attuale è dotato di un impianto di depurazione, che insiste su di un'area interessata da grave dissesto idrogeologico, caratterizzato da strutture e tecnologie non più sufficienti a realizzare costantemente una depurazione ottimale adeguata ai nuovi valori tabellari delle acque di scarico e ai mutati carichi inquinanti sia per quantità che per qualità, in più sulla base della programmazione dei lavori di riqualificazione delle reti di scarico e smaltimento delle acque reflue, con passaggio da fogna mista a separata, è nata la necessità di potenziare l'impianto, in quanto saranno intercettati i reflui provenienti da porzioni di territorio non servite dal depuratore esistente.

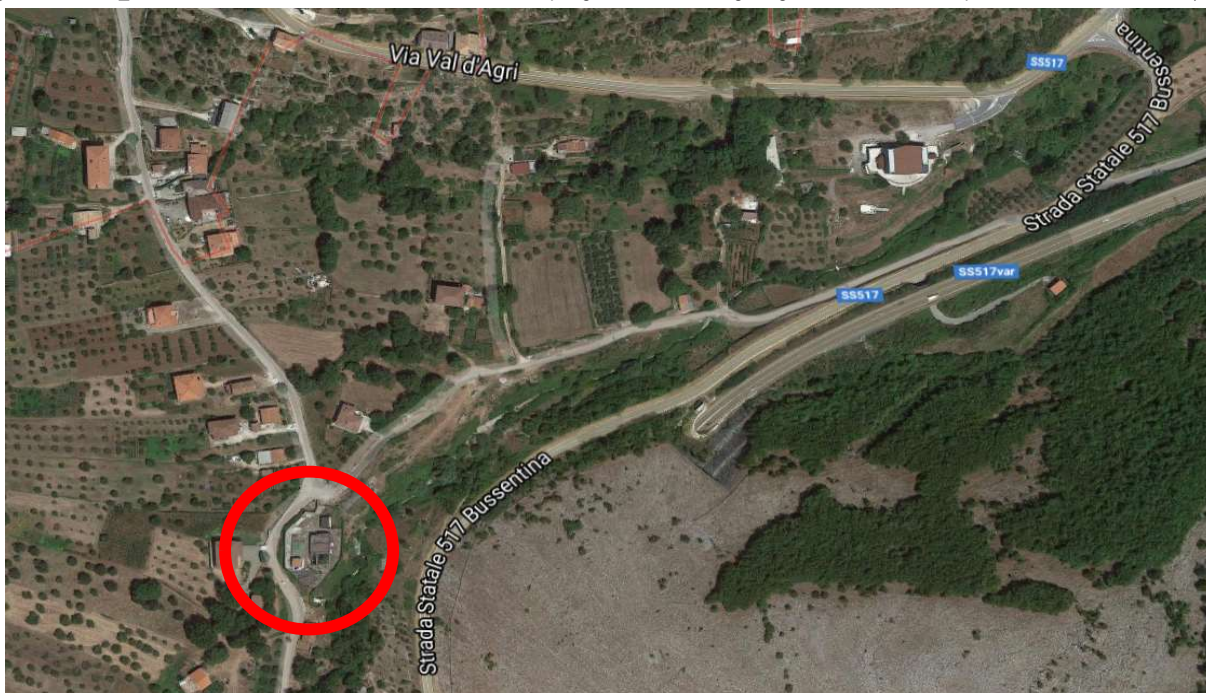


Foto 01 - Impianto di depurazione (vista d'insieme)



Foto 02 - Impianto di depurazione (vista d'insieme)

1.3. INTERVENTI DI PROGETTO

Al fine della progettazione del nuovo impianto di depurazione del Comune di Sanza, si prevede, in riferimento alla ottimizzazione del ciclo depurativo la realizzazione di comparti per il trattamento dei reflui, e nello specifico:

1. Canale d'ingresso;
2. Grigliatura;
3. Dissabiatura;
4. Equalizzazione/Pre-denitrificazione;
5. Ossidazione/Nitrificazione_Post-denitrificazione;

6. Sedimentazione;

7. Ispessimento (Trattamento fanghi);

8. Comparto di Disidratazione fanghi con Nastropressa;

9. Microfiltrazione e Deatterizzazione;

10. Trattamento acque di pioggia e/o derivazione bypass impianto di depurazione;

11. Fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale e verticale;

12. Fitodepurazione a flusso superficiale (Free Water Surface);

13. Dispositivo di Campionamento effluente.

1. Canale di ingresso ai comparti di depurazione

Gli interventi previsti si riferiscono alla realizzazione del canale d'ingresso all'impianto caratterizzato da:

- Vasca bypass idrico portata derivata all'impianto, realizzato mediante vasca in c.a. in opera con soglia a stramazzo. La portata in eccesso ($5Q_n-3Q_n$) sarà derivata in un impianto per il trattamento di sedimentazione e disoleatura con filtro a coalescenza, e successivamente derivato in un impianto di fitodepurazione. La scelta progettuale consente di trasferire il reflu eccedente la portata di progetto al corpo idrico ricettore abbattendo parzialmente gli inquinanti.
- Realizzazione di soglia a stramazzo per la regolazione della portata in ingresso all'impianto di depurazione. La soglia a stramazzo consentirà di derivare direttamente al corpo idrico ricettore le portate in eccesso ($5Q_n-3Q_n$).
- Realizzazione di canale di ingresso del refluo con bypass della grigliatura dinamica mediante la costruzione di un setto interno in c.a. e griglia statica.
- Installazione di sistema di grigliatura dinamica caratterizzata da "Filtro Coclea".
La filtro coclea consente di rimuovere le parti solide e filamentose presenti nel refluo da trattare, permettendo l'ottimizzazione sia del ciclo depurativo che della manutenzione dell'impianto.
- Installazione di paratie manuali per la regolazione del flusso d'acqua da trattare all'impianto.
- Installazione di un misuratore di portata ad ultrasuoni sul canale di ingresso al dissabbiatore per la regolazione della portata inviata al trattamento biologico, effettuata mediante regolazione con una paratoie manuali.
- Installazione di corpo scala, passerelle e parapetti in acciaio zincato, al fine di consentire un facile accesso, in sicurezza, così da ottimizzare le condizioni di manutenzione e gestione del comparto.

2. Comparto grigliatura

Nell'ambito della progettazione dell'impianto di depurazione si prevede l'installazione di una griglia del tipo "Filtro Coclea", allo scopo di eliminare i solidi sospesi nelle acque in ingresso che potrebbero depositarsi nelle successive sezioni dell'impianto, riducendo il contenuto in BOD dei reflui stessi (circa 20%), ottimizzando il rendimento depurativo dell'impianto e riducendo le attività di manutenzione grazie alla possibilità di programmare cicli automatici di funzionamento.

3. Comparto Dissabbiatura

Nell'ambito della progettazione dell'impianto di depurazione si prevede l'installazione di un

“Dissabbiatore a pista”, per la rimozione delle sabbie, delle ghiaie e di altri solidi pesanti caratterizzati da una velocità di sedimentazione o peso specifico notevolmente superiore a quello dei solidi organici putrescibili presenti nelle acque reflue. La realizzazione del comparto di dissabbiatura è finalizzato a:

- Proteggere gli equipaggiamenti meccanici dall’abrasione e dai fenomeni di usura;
- Ridurre la formazione di depositi nelle tubazioni, nei canali e nei condotti;
- Ridurre la frequenza degli interventi di pulizia dei comparti, resi necessari a causa dell’eccessivo accumulo delle sabbie;

e di conseguenza, l’ottimizzazione/riduzione delle attività di manutenzione.

Le sabbie estratte dal dissabbiatore vengono indirizzate in un **“Classificatore di sabbie”**, ottimizzando le successive fasi depurative, allontanando parte degli inquinanti, allo stato solido e/o liquido che potrebbero influire negativamente sul ciclo depurativo e le sabbie riducendo la corrosione e l’usura dei materiali e aumentando la durabilità delle apparecchiature.

A servizio del classificatore di sabbia sarà installata una soffiante a canale laterale al fine di consentire l’estrazione delle sabbie.

4. Comparto di Equalizzazione/Pre-Denitrificazione

Nell’ambito della progettazione dell’impianto di depurazione si prevede una fase di omogeneizzazione del refluo in termini di carico organico e idraulico, mediante la realizzazione di un “comparto di equalizzazione in linea” al fine di limitare le oscillazioni, sia in termini di portate volumetriche che di caratteristiche chimico-fisiche, dei reflui in ingresso al trattamento biologico, ottenibile mediante l’installazione di **“N°2 pompe sommergibili”**.

I principali benefici conseguibili con l’inserimento del bacino di equalizzazione delle portate riguardano:

- L’aumento dell’efficienza dei processi biologici, per effetto dell’eliminazione o della riduzione degli shock di carico, della diluizione subita da eventuali sostanze inibenti presenti e della stabilizzazione del pH;
- il miglioramento sia delle caratteristiche di qualità dell’effluente che di ispessimento nei sedimentatori secondari dovuto alla maggiore costanza dei carichi solidi inviati al trattamento;
- la riduzione della superficie richiesta per i trattamenti di filtrazione dell’effluente;
- l’ottimizzazione, nel caso di trattamenti chimici, dei reattivi in termini sia quantitativi sia di efficienza di processo per gli effetti di regolazione del carico influente;
- l’installazione di elettropompe e mixer sommergibili in acciaio inox, con giranti aventi proprietà medie di resistenza alla corrosione e ottime proprietà di resistenza all’usura. Di conseguenza un aumento della durabilità delle apparecchiature.

Allo stesso tempo, all’interno della vasca viene installato un mixer (miscelatore sommergibile) al fine di attivare un processo di pre-denitrificazione, a monte del reattore a fanghi attivi all’interno del quale viene introdotto il refluo (grezzo o pretrattato) e ricircolata parte dei fanghi di supero e miscela areata in diverse quantità.

Nella denitrificazione saranno immessi sia i liquami grezzi, provenienti dall’equalizzazione, sia i nitrati che vengono ricircolati dalla sedimentazione finale con i fanghi attivi.

La denitrificazione è necessariamente ubicata anteriormente alla nitrificazione (predenitrificazione) perché, per svolgersi efficacemente, deve aver integralmente a disposizione la sostanza

organica riducente presente nei liquami grezzi, prima che essa subisca una qualsiasi demolizione.

Per meglio assicurare il mantenimento costante di condizioni anossiche (mancanza di ossigeno disciolto) la necessaria agitazione e miscelazione dei liquami e dei fanghi all'interno del comparto di denitrificazione è realizzata, come detto, tramite agitatore sommerso che esegue il proprio compito senza provocare scambi di ossigeno con l'atmosfera.

5. Comparto di Ossidazione/Nitrificazione_Post-Denitrificazione

Nell'ambito della progettazione dell'impianto di depurazione si prevede la realizzazione di n. 2 vasche di Ossidazione/Nitrificazione_Post-Denitrificazione, al fine di ottimizzare sia l'efficienza dell'impianto in riferimento alle portate di reflu in ingresso e sia la manutenzione, garantendo la continuità di funzionamento del comparto. Le vasche sono caratterizzate dall'installazione di un ***"sistema di diffusione aria a bolle fini"***, con flusso alimentato da ***"n. 2 soffianti a lobi rotanti (1+1R)"***, con portata $Q=700\text{mc/h}$ dotate di cabina di insonorizzazione con ventilatore e valvola di non ritorno, funzionanti sotto inverter, e l'installazione di un ***"misuratore di ossigeno disciolto"***, che consente di modulare il flusso dell'aria immesso in vasca (regolazione portata e potenza soffianti), ottenendo notevoli risparmi in termini di consumi energetici. Inoltre, il funzionamento alternato delle soffianti, sotto inverter, aumenta la durata delle apparecchiature riducendo, nel contempo, gli interventi di manutenzione.

Il misuratore di ossigeno disciolto collegato ad un sistema di ***"telecontrollo"***, consentirà di conoscere, in tempo reale, la concentrazione dell'ossigeno immesso in vasca, ottimizzando il processo biologico.

Al fine di ottimizzare il ciclo depurativo il progetto prevede, l'installazione di una ***"pompa sommergibile per il ricircolo della miscela areata"***, che miscelando il reflu in ingresso all'impianto con il fluido, opportunamente ossigenato dalla vasca di ossidazione, permetterà il miglioramento dell'intero ciclo depurativo determinando una pre-areazione del liquame da trattare e lo strippaggio di eventuali gas maleodoranti presenti.

Al fine di consentire un facile accesso, e in sicurezza, alla vasca di equalizzazione, si prevede la realizzazione di un corpo scala, passerelle e parapetti in acciaio zincato a caldo. Così facendo sarà consentito un rapido accesso alle apparecchiature elettromeccaniche installate, ottimizzando le condizioni di manutenzione e gestione del comparto.

Nell'ambito del comparto di ossidazione si prevede l'installazione di n. 2 mixer (miscelatori sommergibili) al fine di migliorare il ciclo depurativo attivando a ciclo alternato un processo di Ossidazione/Nitrificazione e Post-Denitrificazione, ottimizzando la natura del reflu da trasferire al comparto di sedimentazione.

6. Comparto di sedimentazione con ponte raschiatore a trazione periferica

Nell'ambito della progettazione dell'impianto di depurazione si prevede l'installazione di un ***"ponte raschiatore a trazione periferica"*** con diametro 8,00 m.

Il ponte viene posto su un sedimentatore cilindrico a flusso ascensionale con base formata da un cono rovesciato. La miscela di acqua e fanghi entra in un apposito cilindro centrale di diffusione. I solidi sedimentabili per gravità tendono a precipitare sul fondo dove, mediante apposite raschie poste su di una travata ancorata al centro del sedimentatore e con trazione periferica, vengono inviati nella parte centrale del cono ed estratti mediante pompa. L'acqua pulita tracima da un apposito profilo posto nella parte periferica del sedimentatore. Le sostanze

galleggianti, sono trattenute da una apposita lama posta all'interno del profilo dove tracima l'acqua e convogliate, tramite la lama superficiale, in una vaschetta di raccolta ed evacuazione (Scumbox).

I vantaggi derivanti dall'installazione:

- Migliori caratteristiche di sedimentabilità del fango
- Elevata capacità di rimozione del fango biologico e dei surnatanti
- Installazione rapida
- Alta efficienza nella riduzione di contenuto di acqua.

7. Comparto ispessimento fanghi a picchetti

Nell'ambito della progettazione dell'impianto di depurazione si prevede l'installazione di un comparto di ***"ispessimento dei fanghi di supero a picchetti"*** in maniera tale da aumentare la concentrazione in secco e ridurre, di conseguenza, la portata volumetrica iniziale. Per impianti di piccola potenzialità le efficienze sono soddisfacenti con concentrazioni del fango in uscita tra il 4% e il 6%.

La riduzione in volume dei fanghi mediante ispessimento risulta vantaggiosa, ai fini del successivo trattamento di disidratazione, sotto molteplici punti di vista: potenzialità delle apparecchiature impiegate e quantità degli agenti chimici necessaria al condizionamento del fango. Pertanto, sarà realizzata una vasca circolare in c.a.v., del diametro di 3,00 m, all'interno della quale saranno installati picchetti verticali e componentistica. Il fango sarà rilanciato dal pozzetto di accumulo, in prossimità del sedimentatore, nella parte centrale dell'ispessitore. I picchetti verticali, che producono una blanda miscelazione del fango, consentiranno in tal modo la migrazione dell'acqua verso l'alto e favoriranno la compattazione del solido che sarà raccolto nella parte conica inferiore della vasca. Il surnatante sarà ricircolato in testa al trattamento biologico.

8. Comparto di Disidratazione fanghi con Nastropressa

Nell'ambito della progettazione dell'impianto di depurazione si prevede l'installazione di una ***"Nastropressa"***.

A valle dell'ispessimento sarà installata una nastropressa per la disidratazione meccanica dei fanghi, corredata da pompa di alimentazione, stazione di preparazione e dosaggio polimero, da cilindro reattore, da addensatore dinamico, nastro trasportatore per lo scarico del disidratato in apposito cassone e struttura di copertura in lamiera grecata, il tutto come riportato sulla Tavola di progetto. La disidratazione a mezzo nastropressa consente la:

- Riduzione del volume dei fanghi
- riduzione delle superfici impiegate
- l'aumento degli standards ambientale

L'intero comparto sarà protetto, dagli agenti atmosferici, mediante realizzato all'interno del locale tecnologico come deducibile dalle tavole grafiche al fine di garantire

- Riduzione dei processi di deperimento delle parti elettriche e meccaniche dell'impianto di disidratazione fanghi.
- Miglioramento del processo di disidratazione dei fanghi non influenzabile dagli agenti atmosferici.

9. Comparto di Microfiltrazione e debatterizzazione a raggi UV

Nell'ambito della progettazione dell'impianto di depurazione si prevede l'installazione di:

- ***“Micro filtrazione a tamburo con vasca”***

È un sistema filtrante per la separazione delle particelle solide in sospensione nell’acqua mediante tele filtranti. L’acqua contenente le particelle solide in sospensione entra all’interno del tamburo filtrante e per effetto della pressione idrostatica attraversa le membrane depositando su di esse le impurità. In questo modo si occludono i fori della membrana, aumenta la resistenza al passaggio del liquido e il livello dell’acqua a monte del filtro, sale fino a far intervenire il sistema di comando della rotazione del tamburo per offrire tele filtranti pulite al passaggio dell’acqua. Contemporaneamente entra in funzione il dispositivo di contro-lavaggio delle tele occluse ristabilendone le originali capacità selettive. L’installazione consente di massimizzare la qualità del refluo da derivare al debatterizzatore a raggi UV.

- ***Sterilizzatore acqua a raggi UV***

La piccola porzione di spettro elettromagnetico avente lunghezze d’onda comprese tra i 100 e i 400 nm (millesimi di micron) viene definita come intervallo della radiazione ultravioletta; gli UV-C fanno parte del sottointervallo caratterizzato dalle lunghezze d’onda comprese tra i 100 e i 280 nm. Onde elettromagnetiche di diversa lunghezza d’onda ed ampiezza inducono interazioni con la materia di varia natura, particolarmente interessante, grazie al suo spiccato potere germicida, è la radiazione UV-C con $\lambda = 254\text{nm}$.

L’elevato potere germicida di questa lunghezza d’onda va ricercato nel DNA e nel legame dei suoi componenti fondamentali (nucleotidi). Il DNA è una macromolecola presente in ogni organismo vivente nella quale risiedono tutte le informazioni necessarie per la vita e la riproduzione. L’alterazione, indotta da radiazione UV-C, di alcuni legami chimici presenti tra i nucleotidi è in grado di cambiare l’informazione contenuta e trasmessa dal DNA, tali modificazioni ne impediscono la normale attività il che conduce irreversibilmente alla morte cellulare.

Per risultare efficace ai fini della sterilizzazione un’onda elettromagnetica, oltre che essere di un certo tipo ($\lambda = 254\text{nm}$), deve possedere anche un valore minimo d’intensità per potere assicurare un dosaggio minimo all’acqua. Questo dosaggio dipende molto dal tipo di contaminazione presente nell’acqua ma in generale un impianto deve avere sempre un dosaggio superiore a 300 J/m^2 . Un impianto di disinfezione UV correttamente dimensionato è in grado di impartire all’acqua un dosaggio sufficiente ad abbattere la quasi totalità dei più comuni microrganismi presenti nell’acqua.

In natura i raggi UV-C fanno parte della radiazione cosmica secondaria la quale, interagendo con gli strati alti dell’atmosfera terrestre, genera ozono e con energia minore arriva al suolo sotto forma di radiazione UV (A+B) abbronzante. Artificialmente i raggi UV-C si producono con l’ausilio di speciali lampade a fluorescenza contenenti vapori di mercurio, tali lampade sono costruite con quarzo purissimo ($>99.99\% \text{ SiO}_2$) trasparente alla luce UV-C che emettono in forma quasi monocromatica ($>95\% \text{ di } \lambda = 254\text{nm}$).

Tra i numerosi vantaggi offerti da questo tipo di tecnologia ricordiamo: trattamento ecologico (senza aggiunta di prodotti chimici), senza alterazioni del gusto, nessun pericolo di sovradosaggio e nessuna alterazione delle caratteristiche dell’acqua, azione veloce (senza nessuna vasca di stoccaggio): il tempo è quello di passaggio nello sterilizzatore, compatibilità con le altre tecnologie (filtrazione, addolcimento, etc) per un trattamento completo

dell'acqua, economicità e praticità grazie al basso consumo di energia elettrica ed alla poca manutenzione richiesta.

Sterilizzatori UV serie LCD, con scheda a microprocessore idonea a controllare e visualizzare lo stato delle lampade, la durata di vita residua, le ore totali di utilizzo dell'impianto, la percentuale di irraggiamento (se presente la sonda opzionale), la temperatura lampada (se presente la sonda opzionale) ed i relativi allarmi con set point regolabili; possibilità inoltre, per il rivenditore di impostare il proprio numero telefonico sul display LCD per la chiamata d'assistenza da parte del proprio cliente. Nella morsettiera sono previste anche 2 uscite a relè per gestire l'allarme da remoto ed una eventuale valvola di blocco erogazione acqua in caso di allarme impianto. Prodotto italiano certificato a norma del D.M. 174/04 e con un quadro elettrico a norme UNI, certificato CE.

- **"Misuratore di portata ad ultrasuoni"**, da installare all'uscita dal debatterizzatore UV, al fine di rilevare in tempo reale, mediante sistema di telecontrollo, la portata inviata al corpo idrico ricettore.

10. Trattamento acque di pioggia (acque dilavanti su superfici impermeabili delimitate dall'area dell'impianto di depurazione) e derivazione bypass impianto di depurazione.

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto di regolazione e di trattamento con portata non inferiore a 7 l/s e l'installazione di n.1 filtro a coalescenza da 20 l/s.

Le apparecchiature proposte consentono di limitare il trasferimento di inquinanti, oli e grassi nel corpo idrico ricettore. L'installazione, in relazione ai materiali utilizzati "ACCIAIO INOX", garantisce una ottimizzazione della durata delle apparecchiature installate.

11. Fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale e verticale

La fitodepurazione è un processo naturale per depurare le acque reflue che sfrutta i processi di autodepurazione tipici delle aree umide. L'etimologia della parola fitodepurazione (dal greco phito = pianta) può trarre in inganno nel far ritenere che siano le piante gli attori principali nei meccanismi di rimozione degli inquinanti. In realtà le piante hanno il ruolo di favorire la creazione di microhabitat idonei alla crescita della flora microbica, vera protagonista della depurazione biologica. Al fine di affinare il refluo trattato proveniente dall'impianto di depurazione biologico a fanghi attivi, riducendo gli inquinanti recapitati al corpo idrico superficiale, si prevede la realizzazione di un impianto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale e verticale avente superficie di 220 mq.

12. Fitodepurazione a flusso superficiale (Free Water Surface)

Considerate le modeste dimensioni del lotto interessato dalla realizzazione dell'impianto di depurazione Comunale, l'effluente dal letto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale è convogliato in un bacino artificiale, di forma irregolare, realizzato con teli HDPE, quale sistema di fitodepurazione a flusso superficiale con macrofite galleggianti.

Questo impianto riprodurrà un'area umida naturale per l'affinamento delle acque trattate provenienti da un sistema a flusso sub-superficiale, limitando i rischi di odori molesti e la proliferazione di insetti nelle zone circostanti.

Per il dimensionamento, visti i trattamenti depurativi a monte dell'impianto (biologico a fanghi attivi + fitodepurazione a flusso sub-superficiale), si limita la superficie del bacino artificiale a 55 mq.

13. Dispositivo di Campionamento effluente

Il progetto prevede l'installazione di un campionatore automatico VERSIONE AUTOSVUOTANTE ED AUTOPULENTE con doppia bottiglia da 10 litri in PE e prelievo mediante VUOTO/PRESSIONE idoneo per liquidi conduttivi in genere con pompa standard per capacità di aspirazione fino a 5 mt. Versione in cabina coibentata per installazione fissa con refrigerazione interna attiva ventilata e termostata, completa di programmatore di automazione con display e tastiera di configurazione per esercizio proporzionale a tempo, volume o evento, con menu logico intuitivo in lingua Italiana. Il campionatore automatico sarà installato in uscita agli impianti di fitodepurazione, con controlli programmabili completo di display LCD conforme alla EN16479, EN ISO 5667-2/3/10 e NEN6600-1. L'installazione consentirà di campionare in tempo reale l'effluente, così da consentire le regolazioni e i dosaggi di apparecchiature e prodotti così da ottimizzare il processo depurativo e l'impatto dello stesso sull'ambiente esterno.

1.4. DATI DI PROGETTO

I dati progettuali considerati nell'elaborazione del progetto dell'impianto sono si riferiscono alla popolazione del Comune di Sanza (SA) - (2500 AE).

Le tabelle 1.1 ed 1.2 mostrano i valori di progetto utilizzati; mentre la tabella 1.3 riporta i limiti allo scarico imposti dalla normativa vigente.

Tab. 1.1 – Caratteristiche quantitative delle acque reflue da trattare

Parametro	UM	PROGETTO
abitanti serviti	AE	2500
dotazione idrica	l/ab · giorno	200
coefficiente di afflusso in fogna	--	0,8
Portata media giornaliera (Qd)	m ³ /giorno	400,00
Portata media oraria (Qmn) in 16 ore	m³/h	25,00

Tab.1.2 – Caratteristiche qualitative delle acque reflue da trattare

Parametro	UM	PROGETTO
Potenzialità		
abitanti serviti	AE	2500
Portata		
Portata media giornaliera (Qd)	m ³ /giorno	400,00
Portata media oraria (Qmn)	m ³ /h	25,00
BOD₅		
specifico	g/ab · giorno	65
totale	Kg/giorno	162,50
SST		
specifico	g/ab · giorno	90
totale	Kg/giorno	225,00
Azoto totale (TKN)		
specifico	g/ab · giorno	12
totale	Kg/giorno	30,00
Fosforo totale P		
specifico	g/ab · giorno	1,5
totale	Kg/giorno	3,75

Tab. 1.3 – Valori limite di emissione applicabili per scarico in corpo idrico superficiale

Parametro	UM	VALORE	RIFERIMENTO
SST	mg SST/l	≤ 80	Tabella 3 Allegato 5 parte terza D. Lg.vo 152/2006
BOD ₅	mg O ₂ /l	≤ 40	
COD	mg O ₂ /l	≤ 160	
Fosforo totale	mg P/l	≤ 10	
Azoto totale	mg N/l	≤ 15	
Escherichia coli	UFC 100/ml	< 5000	

1.5. NORME SPECIFICHE

Nella stesura della presente relazione si sono seguite le indicazioni contenute nella normativa vigente.

In particolare si sono considerate le seguenti normative:

- *D. Lgs. 18 aprile 2016, n. 50 e succ. modif. ed integr. – Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE;*
- *D. Lgs. 152/2006 – Testo Unico Ambientale.*
- *D. Lgs 81/08 - Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro*

1.6. PRINCIPI DI CARATTERE GENERALE A BASE DELLA PROGETTAZIONE

Per quanto riguarda gli obiettivi della progettazione, essa si è ispirata ai seguenti principi di carattere generale:

- affidabilità di funzionamento;
- flessibilità operativa;
- contenimento dei costi di gestione;
- minimizzazione dell'impatto ambientale;
- sicurezza dell'impianto e del personale addetto.

Affidabilità di funzionamento

Per quanto riguarda l'affidabilità di funzionamento, essa è demandata alle seguenti dotazioni tecniche e progettuali previste per l'impianto:

- adozione di tecnologie robuste con provato successo applicativo;
- adeguata scelta dei coefficienti di sicurezza applicati al calcolo della volumetria delle vasche e alla scelta delle macchine in relazione alle portate e ai carichi previsti.

Flessibilità operativa

Per quanto riguarda la flessibilità operativa, essa è da mettere in relazione ai seguenti accorgimenti progettuali:

- possibilità di by-passare le diverse unità di impianto;
- le diverse apparecchiature elettromeccaniche sono state dimensionate anch'esse con particolare attenzione alla modularità, al rendimento e alla previsione di riserve installate;
- controllo automatico di processo (sia in relazione ai flussi idrici che in relazione ai principali parametri operativi).

Contenimento dei costi di gestione

Per quanto riguarda il contenimento dei costi di gestione e manutenzione, esso è stato ricercato:

- privilegiando le soluzioni a maggiore efficienza energetica;

- utilizzando compressori a portata variabile (mediante inverter);
- utilizzando motori di classe di efficienza 1.

Minimizzazione dell'impatto ambientale

Per quanto riguarda la minimizzazione dell'impatto ambientale, adeguato risalto è stato dato:

- alla scelta di tecnologie depurative in grado di garantire i valori limite di emissione previsti dalla Tab. 3 dell'Allegato V della L. 152/06;
- alla mitigazione degli impatti tipici degli impianti di depurazione biologica con l'utilizzo di macchine totalmente racchiuse in carter di protezione ed insonorizzazione delle macchine più rumorose.

Sicurezza dell'impianto e del personale addetto

Per quanto riguarda la sicurezza del personale addetto e dell'impianto, si è curata in modo particolare la progettazione di adeguate soluzioni tecniche relativamente a:

- realizzazione di scale di accesso e parapetti;
- adeguata protezione di impianti e componenti elettrici.

1.7. PROGETTAZIONE

SCHEMA DI PROCESSO

Per il conseguimento dei limiti allo scarico, si prevede uno schema di processo della linea liquami con i seguenti trattamenti:

- grigliatura grossolana;
- dissabbiatura-disoleatura;
- equalizzazione-denitrificazione
- ossidazione biologica a CF = 0,75 Kg BOD₅/Kg SS • d;
- sedimentazione secondaria;
- microfiltrazione e debatterizzazione a raggi UV;

Al fine di ottenere un fango disidratato (palabile), il trattamento dei fanghi sarà effettuato con:

- ispessimento con sistema a picchetti
- disidratazione meccanica con nastropressa.

Si veda lo schema di flusso sull'elaborato grafico .

LINEA LIQUAMI

Calcolo delle portate

Portata giornaliera, nell'ipotesi di un coefficiente di afflusso in fognatura $\varphi = 0,8$:

$$Q_d = 0,200 (m^3/ab \cdot d) \cdot 2500 (ab) \cdot 0,8 = 400 m^3/d$$

Portate orarie (media):

$$Q_{media} = 400 (m^3/d) / 16 (h/d) = 25,00 m^3/h$$

Portate orarie (punta):

$$Q_{punta} = 400 (m^3/d) / 16 (h/d) 1.10 = 27,50 m^3/h$$

Calcolo delle concentrazioni medie e dei carichi:

- Concentrazioni medie di BOD₅, nutrienti e SS:
Assumendo quali produzioni procapite

BOD ₅	65 g BOD ₅ /ab · d
Azoto	12 g TN/ab · d
Fosforo	1,5 g P _{tot} /ab · d
Solidi Sospesi	90 g SS/ab · d

risultano i seguenti carichi giornalieri e le seguenti concentrazioni medie:

- Carico giornaliero di BOD₅: 2500 (ab)·0,065 Kg BOD₅/ab · d = 162,50 Kg BOD₅/d
- Carico giornaliero di TN: 2500 (ab)·0,012 Kg TN/ab · d = 30,00 Kg TN/d
- Carico giornaliero di P_{tot}: 2500 (ab)·0,0015 Kg P_{tot}/ab · d = 3,75 Kg P_{tot}/d
- Carico giornaliero di SS: 2500 (ab)·0,090 Kg SS/ab · d = 225 Kg SS/d

Calcolo del volume V del reattore biologico

Si ipotizza che, a CF = 0,07 Kg BOD₅/Kg SS · giorno, corrisponda un rendimento di depurazione biologica η (BOD₅) = 95%. Si ipotizza, inoltre, una concentrazione di biomassa nel reattore X = 3,50 Kg SS/m³

$$V = \frac{Q \cdot S_o}{X \cdot C_F} = 663,27 m^3$$

Calcolo della portata di ricircolo q

Si ipotizza:

$$X_r = 7 \text{ Kg SS/m}^3$$

Rapporto di ricircolo R:

$$R = \frac{q}{Q_h} = \frac{X}{X_{r-X}} = 25,00 m^3/h$$

Calcolo della produzione di fango di supero biologico

- Produzione specifica di fango di supero: W · X_r/Q · ΔS

Si ipotizza l'applicabilità della formula di calcolo:

$$W \cdot X_r / Q \cdot \Delta S = \epsilon \cdot [Y - (b / \eta \cdot C_F)]$$

con

$$\epsilon = 1,2 - 0,28 \cdot C_F;$$

$$Y = 1;$$

$$b = 0,05.$$

$$W \cdot X_r / Q \cdot \Delta S = 0,55 \text{ KgSS/KgBOD}_5 \text{ rimosso}$$

- Produzione di fango di supero:

$$W \cdot X_r = 0,55 \cdot Q \cdot \Delta S \cdot S = 0,55 \cdot \eta \cdot Q \cdot S_o = 84,91 \text{ KgSS/d}$$

- Portata di fango di supero:

$$W = W \cdot X_r / X_r = 84,91 \text{ (Kg SS/d)} / 7 \text{ (Kg SS/m}^3\text{)} = 13 \text{ m}^3/\text{d}$$

Verifica della nitrificazione con il criterio dell'età minima del fango

Al carico di fango prescelto (CF = 0,07), si ha la certezza della nitrificazione dell'ammoniaca in tutte le condizioni di temperatura del mixed-liquor (inverno: 10 - 12°C; estate: 20°C).

Comunque, volendo effettuare la verifica con il criterio dell'età minima del fango ($\theta_{c,min}$), alla T estiva di 20°C si ha:

$$\frac{1}{\theta_{c,min}} = 0,321 \cdot \frac{OD}{K_{O_2} + OD} \cdot [1 - 0,833 \cdot (7,2 - pH)] \cdot 1,123^{(T-20)}$$

$$\frac{1}{\theta_{c,min}} = 0,321 \cdot \frac{2}{1,3 + 2} = 0,19 \text{ d}^{-1} \Rightarrow \theta_{c,min} = 5,1 \text{ d}$$

Nel calcolo si è ipotizzata una concentrazione di ossigeno disciolto nel reattore di 2 ppm e l'ininfluenza del pH ($pH \geq 7,2$).

L'età del fango di progetto θ_c , corrispondente al valore CF = 0,07, vale:

$$\theta_c = \frac{V \cdot X}{W \cdot X_r} = 28 \text{ d}$$

risulta ampiamente superiore a $\theta_{c,min}$ e, conseguentemente, si ha nitrificazione.

Pertanto, nel calcolo del consumo di ossigeno, si dovrà tener conto anche di questo contributo.

Analogamente, può essere calcolata l'età minima del fango alla temperatura invernale: per T = 10°C, risulta $\theta_{c,min} = 28,00 \text{ d}$, a conferma del fatto che la nitrificazione ha luogo anche a questa temperatura.

Calcolo della fornitura di Ossigeno

▪ Carico di TKN nitrificato:

Il carico di TKN rimosso per sintesi biologica è stimabile sulla base del classico rapporto ponderale $BOD_5 / N/P = 100/5/1$.

Quindi, essendo il consumo di BOD_5 pari a 162,50 kg/d, il consumo di N (TKN) risulta pari a:

$$(BOD_5 \text{ h rendimento}): N = 100 : 5 = 30 - (162,50 \cdot 0,95) / 20 = 22,28 \text{ kg/d.}$$

Il carico di TKN nitrificato risulta pertanto:

carico di TKN alimentato – carico di TKN ($NH_4^+ - N$) rimosso per sintesi biologica = 30,00 – 22,28 = 7,72 kg/d.

Questo carico, pari a 7,72 kg/d, si ritroverà in uscita dal processo, tutto sotto forma di azoto nitrico (salvo modesti residui di azoto ammoniacale e di azoto organico).

La concentrazione media sarà:

$NO_3 - - N = (7,72 \text{ kg/d} \cdot 1.000 \text{ g/kg}) / 400 \text{ m}^3/\text{d} = 19,30 \text{ mg/l}$ di azoto nitrico (valore prossimo allo scarico per l'azoto nitrico $\Rightarrow$ occorrerà un trattamento spinto di rimozione dei nitrati in fase terziaria).

▪ Fabbisogno di ossigeno, da parte della flora batterica, in condizioni di punta:

$$F'O_2 = K \cdot \alpha' \cdot Q \cdot \Delta S + \beta' \cdot X \cdot V + K \cdot 4,57 \cdot N$$

Si assumono i seguenti valori per i coefficienti:

- $\alpha' = 0,5$ (Kg O_2 /Kg BOD_5);
- $\beta' = 0,1$ (Kg O_2 /Kg SS · d);
- $K = 1,3$ (coefficiente di punta).

Si ha, pertanto:

$$F'O_2 = K \cdot \alpha' \cdot Q \cdot \Delta S + \beta' \cdot X \cdot V + K \cdot 4,57 \cdot N = 429,06 \text{ KgO}_2/d = 17,88 \text{ KgO}_2/h$$

- Fabbisogno di ossigeno in condizioni standard:

$$(F'_{O_2})_{c.s.} (\text{kg/d}) = \frac{F'_{O_2} (\text{kg/d})}{1,024^{(T-20)} \cdot \frac{(C_s - C)_T}{(C_s - C)_{c.s.}} \cdot \phi}$$

Si ipotizza:

- Massima temperatura di esercizio: 20°C (condizione più critica; a T = 20°C, si ha Cs = 9,2 mg/l);
- C = 2 mg/l (concentrazione di ossigeno nella vasca di ossidazione biologica in condizioni di regolare esercizio);
- $\phi = 0,8$ (rapporto tra le costanti di trasferimento dell'ossigeno di mixed-liquor e acqua pulita a 20°C).

$$(F'_{O_2})_{cs} = \frac{429,06}{\frac{7,2}{9,2} \cdot 0,8} = 685,30 \text{ KgO}_2/d = 28,55 \text{ KgO}_2/h$$

- Fornitura di aria

Sapendo che in 1m³ di aria contiene in condizioni normali 0,28 Kg di O₂ e adottando un sistema di trasferimento mediante diffusori a tappeto poroso con rendimento assunto pari a r = 15%, si ottiene il seguente fabbisogno di aria:

$$Q_{aria} = \frac{(F'_{O_2})_{cs}}{0,28 \cdot r\%} = 680 \text{ Nm}^3/h$$

pertanto si installeranno soffianti con portata di 700Nm³/h > 680Nm³ → **(VERIFICA POSITIVA)**

Verrà installato un sistema di diffusori porosi con membrana elastica anti intasamento disposti sul fondo della vasca.

Per l'alimentazione del sistema di diffusione dell'aria verrà installata una soffiante a lobi rotanti avente portata idonea, funzionante sotto inverter grazie ad un misuratore di ossigeno disciolto posto nella vasca.

Calcolo della denitrificazione

Il procedimento che porta al dimensionamento di tale comparto è il seguente:

1. Calcolo della velocità di denitrificazione alla temperatura di esercizio prevista:

$$(V_D)_T = (V_D)_{20} \cdot K^{(T-20)}$$

in cui:

- (VD)_T = velocità di denitrificazione espressa dalla relazione kgN-NO₃/kgSST · h alla temperatura di progetto
- (VD)₂₀ = 0,0021 kgN-NO₃/kgSST · h velocità di denitrificazione a 20°C
- K = 1,15°C⁻¹ coefficiente di correzione della temperatura
- T=5°C (inverno) - 25°C (estate) temperatura di progetto.

2. Nota la velocità di denitrificazione e la quantità di azoto da denitrificare si ricava la biomassa necessaria in denitrificazione:

$$(X_D)_T = \frac{(TKN)_{RD}}{24 \cdot (V_D)_T}$$

dove:

- $(X_D)_T$ = biomassa in denitrificazione espressa in Kg SST alla temperatura di progetto
- $TKNRD$ = frazione denitrificata espressa in kg SST/d

3. Avendo prefissato la concentrazione C_a di SST in vasca di ossidazione il volume teorico del reattore di denitrificazione risulta

$$(Vol_D)_T = \frac{(X_D)_T}{C_a}$$

In definitiva il volume utile considerato è di 35,00 m³ → **(VERIFICA POSITIVA)**

Calcolo della sedimentazione secondaria

▪ *Calcolo di superficie e volume complessivi:*

Sulla base dei riscontri sperimentali (impianti alla scala reale), per il conseguimento nell'effluente finale di $BOD_5 \leq 40$ mg/l e di $SS \leq 80$ mg/l, occorre fissare un CIS di progetto $\leq 1,00$ m/h alla Q_{punta} .

Nel caso specifico, si fissa un CIS di 0,7 m/h alla Q_{punta} .

Risulta:

$$S = Q_{punta} / CIS = 27,50 \text{ (m}^3\text{/h)} / 0,7 \text{ (m/h)} = 39,29 \text{ m}^2$$

Si fissa un'altezza utile d'acqua di 2,20 m.

Risulta, conseguentemente, un volume:

$$V = 39,29 \text{ (m}^2\text{)} \cdot 2,20 \text{ (m)} = 86,44 \text{ m}^3$$

Si verifica:

$$Tr = V/Q_{punta} = 86,44 \text{ (m}^3\text{)} / 27,25 \text{ (m}^3\text{/h)} = 3,14 \text{ h (rispettoso del } Tr \text{ limite)}$$

▪ *Verifica del Flusso Solido:*

Si ha:

$$FS = (Q_{punta}) \cdot X / S = (27,50+25,00) \cdot 3,50 / 39,29 = 4,68 \text{ Kg SS/m}^2 \cdot \text{h} \rightarrow \textbf{(VERIFICA POSITIVA)}$$

▪ *Scelta del numero e della tipologia di decantatori:*

Si suppone di adottare un decantatore circolare meccanizzato, per il quale il diametro della vasca risulta 8 m.

Calcolo della lunghezza di stramazzo:

Si suppone di realizzare uno stramazzo a denti di sega lungo tutta la circonferenza esterna del decantatore.

Si ha, pertanto:

$$L \text{ stramazzo} = 4 \cdot 2\pi = 25,13 \text{ m}$$

Si verifica:

$$\text{Carico sullo stramazzo} = 27,50 \text{ (m}^3\text{/h)} / 25,13 \text{ (m)} = 1,09 \text{ m}^3\text{/h} \cdot \text{m} \rightarrow \textbf{Il carico limite è rispettato}$$

In definitiva si prevede di installare:

- n. 1 decantatore circolari a flusso radiale, meccanizzato;
- diametro decantatore: $D = 8 \text{ m}$;
- altezza utile d'acqua: $2,20 \text{ m}$;
- volume del singolo decantatore: $86,43 \text{ m}^3$;
- superficie decantatore: $39,29 \text{ m}^2$.

Si prevedono, quindi, le seguenti condizioni operative:

- Tr alla Q_{punta} : $V / Q_{\text{punta}} = 86,43 / 27,50 = 3,14 \text{ h}$;
- CIS alla Q_{punta} : $Q_{\text{punta}} / S = 27,50 / 39,29 = 0,70 \text{ m/h}$;
- FS alla $Q_{\text{punta}} + q_{\text{ricircolo}}$: $(Q_{\text{punta}} + q) \cdot X / S = (27,50 + 25,00) \cdot 3,50 / 39,29 = 4,68 \text{ Kg SS} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$.

Debatterizzazione

Il trattamento di debatterizzazione verrà eseguito a mezzo di sterilizzatore a raggi UV con lampade ad amalgama a bassa pressione idoneo a trattare una portata di $30 \text{ m}^3/\text{h}$ con dosaggio UV pari a $35 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ a 254 nm .

LINEA FANGHI

I fanghi di supero dal trattamento biologico saranno rilanciati, a mezzo pompe sommergibili, su un ispessitore a picchetti a pianta circolare con diametro $3,00 \text{ m}$ e da qui, a mezzo pompa monovita, alla nastropressa per la disidratazione dei fanghi.

Calcolo dell'Ispessitore

Scopo dell'ispessimento è l'addensamento del fango, la cui concentrazione di solidi viene incrementata dall'3% circa in alimentazione ($\approx 30 \text{ Kg SS}/\text{m}^3$) al 6% circa in uscita ($\approx 60 \text{ Kg SS}/\text{m}^3$).

Gli ispessitori vengono dimensionati in analogia ai sedimentatori. Tuttavia, il parametro che ha maggior incidenza è il Flusso Solido FS, mentre ha scarso significato il Carico Idraulico Superficiale CIS ed importanza relativa ha lo stesso Tempo di Ritenzione Idraulica Tr.

Nel caso specifico (solo fango attivo), si sceglie il valore di $FS = 40 \text{ Kg SS} / \text{m}^2 \cdot \text{d}$.

Si ha:

- *Carico di solidi in alimentazione:*

$$\text{Carico}_{\text{in}} = Q_{\text{in}} \cdot \text{Conc.}_{\text{in}} = 13,00 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 30 \text{ Kg SS}/\text{m}^3 = 390,00 \text{ Kg SS}/\text{d}$$

- *Calcolo di Superficie e Diametro dell'ispessitore:*

$$S = \frac{\text{Carico}_{\text{in}}}{FS} = \frac{390 \text{ KgSS}/\text{d}}{40 \text{ KgSS}/\text{m}^2 \cdot \text{d}} = 9,75 \text{ m}^2$$

Si suppone di installare $N = 1$ ispessitore del tipo a picchetti meccanizzato (rastrelliera interna) del Diametro $D = 3,00 \text{ m}$.

- *Calcolo del Volume:*

Si fissa un'altezza utile d'acqua $H = 3,00 \text{ m}$.

Risulta, conseguentemente:

$$V = 29,25 \text{ m}^3.$$

Calcolo della nastropressa

Scopo della nastropressa è quello di disidratare il fango, riducendone il volume con concentrazioni i uscita di SS al 25% della massa in ingresso.

Si ha:

▪ *Calcolo larghezza nastro:*

Noti i dati:

- Carico in ingresso (KgSS/d) = 390
- Carico lineare nastropressa (KgSS/h.m) = 100

definito:

- Tempo di funzionameto (h/d) = 6,00
- Portata in alimentazione alla nastropressa (mc/d) = 6,50
- Concentrazione SS in alimentazione = 3%
- Concentrazione SS in uscita = 25%

Si definisce la larghezza del nastro

$$L_{\text{nastro}} = Q_{\text{in}} / (Q_{\text{lin}} \cdot T_f) = 390,00 \text{ kgSS/d} / (100 \text{ Kg SS/h.m} \cdot 6,00 \text{ h/d}) = 0,65 \text{ m}$$

$$L_{\text{nastro}} = 1,00 \text{ m} > 0,65 \text{ m} \longrightarrow \text{(VERIFICA POSITIVA)}$$

1.8. CONCLUSIONI

L'impianto di depurazione, per come progettato, garantisce la possibilità di trattare i reflui prodotti da una popolazione corrispondente a 2500 abitanti equivalenti, nel rispetto dei parametri di cui alla Tab. III parte III Allegato V del D. Lgs. N. 152/2006 per scarico in corpo idrico superficiale.

2. IMPIANTO PRIMA PIOGGIA

2.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO DEFINIZIONI

L'art. 113 della parte III del D. Lgs. n°152 del 3 Aprile 2006, che recepisce le disposizioni comunitarie sulla tutela delle acque 91/271/CEE (Trattamento delle acque reflue urbane) e 91/676/CEE (Acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia), sancisce che lo smaltimento degli scarichi delle acque meteoriche di dilavamento va disciplinato "al fine della prevenzione dai rischi idraulici ed ambientali", rimandando alle Regioni, previo parere del Ministero dell'Ambiente, l'autorità in materia.

La prima Regione a dotarsi di una regolamentazione in tal senso è stata la Lombardia, che con la L.R. n°4 del 24/03/06, relativa alla "Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne" in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della Legge Regionale n°26 del 12/12/03, fornisce una definizione di acque di prima pioggia e precisa le modalità di smaltimento di quelle derivanti da alcune particolari attività tra cui i centri di raccolta e trasformazione dei rifiuti.

Le acque di prima pioggia sono definite dalla citata legge regionale come quelle corrispondenti, nella prima fase di un evento meteorico, ad una precipitazione di 5 mm uniformemente distribuita sull'intera superficie scolante; tale misura corrisponde a 50 m³ per ha di superficie. Inoltre si stabilisce che, ai fini del calcolo della portata, tale altezza d'acqua si ottenga in 15 min di pioggia e si precisa come due eventi meteorici debbano essere separati da almeno 48 ore di secco per considerare le piogge di nuovo potenzialmente inquinanti.

Le precipitazioni successive classificate come "acqua di seconda pioggia" non necessitano, in generale, di essere trattate (fanno eccezione alcuni siti industriali o zone aeroportuali dove vige la prescrizione di trattare tutte le acque superficiali).

Il D. Lgs. n°152/2006, negli allegati alla parte III, fissa inoltre le concentrazioni limite degli scarichi; in particolare, per quanto riguarda gli idrocarburi, deve risultare:

- per immissioni in fogna il tenore di idrocarburi deve essere <10 ppm (o mg/l)
- per scarichi in acque superficiali, come nel caso in oggetto, la quantità di idrocarburi deve essere invece <5ppm.

In particolare vanno trattate le acque di prima pioggia e/o dilavamento provenienti da aree in cui si svolgono attività potenzialmente inquinanti come i piazzali di sosta, i parcheggi, le aree di servizio, i siti industriali, ecc.

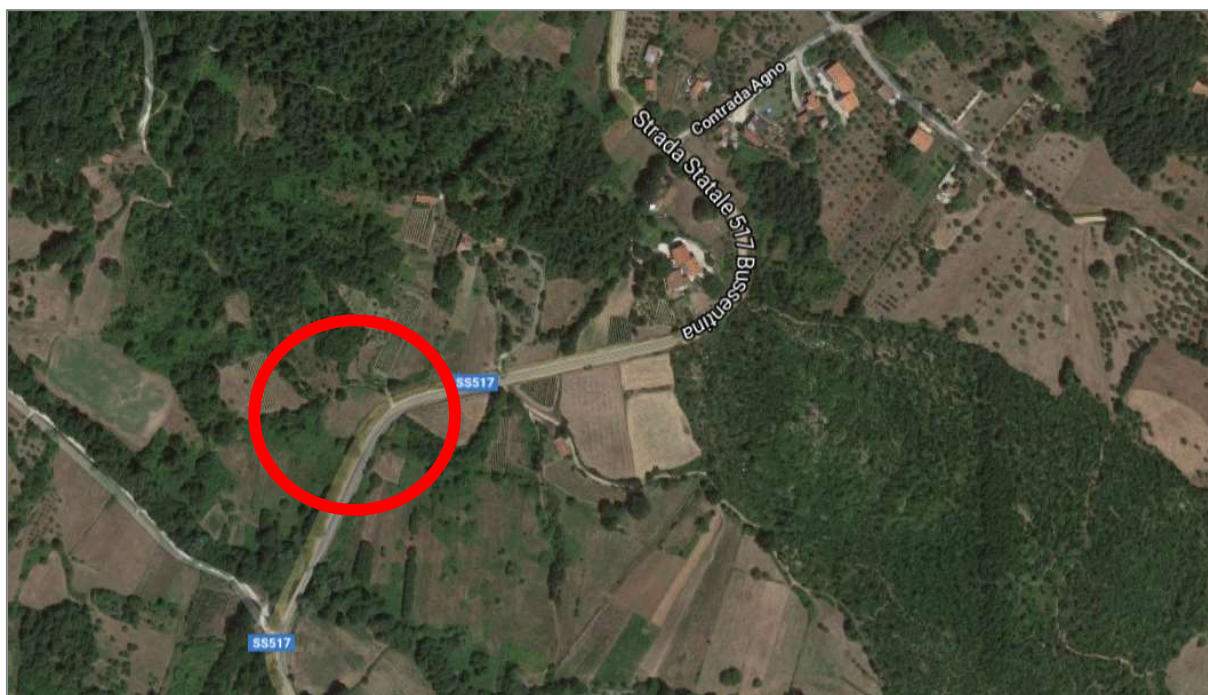
2.2. INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DEI LUOGHI

Il Comune conta 2.414 abitanti (01/01/2021 - Istat) ha una superficie di 128,74 chilometri quadrati per una densità abitativa di 18,75 abitanti per chilometro quadrato.

L'abitato di Sanza, il cui vasto territorio è parte notevole della Comunità Montana 'Vallo di Diano' e del Parco del Cilento e del Vallo di Diano per le sue ricchezze floro-faunistiche e storico-ambientali, rappresenta la porta d'ingresso del Cilento meridionale per chi vi giunga attraverso la S.S. 517 dopo aver lasciato l'Autostrada del Sole (A3) all'uscita di Padula-Buonabitacolo.

L'area da occupare con l'impianto di depurazione di nuova realizzazione è identificata al NCT con dati catastali: Foglio 57, Particelle 25 - 27 -31 - 32, e risulta caratterizzata da una morfologia per lo

più pianeggiante, incolta e per lo più priva di piante o arbusti, confinante a Sud-Ovest con un canale idrico naturale affluente del fiume Bussento e a Sud-Est con la Strada Statale 517 Bussentina.



A seguito della realizzazione del nuovo impianto si prevede, in riferimento alle tavole di progetto la creazione di superfici impermeabili (coperture, piazzali e viabilità interna all'impianto) con superficie di circa 500 mq

2.3. PROGETTAZIONE IMPIANTO IN CONTINUO

Il progetto prevede l'installazione di una vasca con filtro a coalescenza dimensionato secondo la norma UNI 858-I, per il trattamento delle acque meteoriche che investono le superfici impermeabili esterne del depuratore.



L'impianto ha la specifica funzione di trattare in continuo in maniera statica, senza ausilio di organi elettromeccanici, le acque di prima pioggia che dilavano superfici scoperte al fine di smaltirle al riceettore finale. Nel modulo di separazione statica si ottiene, quindi, una sedimentazione delle frazioni solide (terre e sabbie, materiale fangoso in genere), che si depositano sul fondo sino al mo-

mento della pulizia della vasca e, una fase di disoleazione a coalescenza in cui avviene la separazione di oli e idrocarburi non emulsionati mediante flottazione in superficie. L'effluente dall'impianto di prima pioggia sarà convogliamento al letto di fitodepurazione per ulteriore affinamento prima dello scarico al corpo idrico superficiale.

Considerando una precipitazione massima oraria pari a 50mm/h, come riscontrato da dati pluviometrici della stazione di Sanza ed una superficie scolante di 500 mq, l'intensità di pioggia istantanea è pari a $NS = 6,94 \text{ l/s} \approx 7 \text{ l/s}$.

Come previsto dalla Norma UNI 858-I i separatori di liquidi leggeri - impianti di prima pioggia in continuo - possono essere del tipo prefabbricati, quando sono realizzati interamente o in parte presso l'officina del fabbricante, o gettati in opera per dimensioni nominali uguali o maggiori di NS 150.

In ogni caso le dimensioni nominali e la classe dei separatori prefabbricati sono determinate in base alle loro prestazioni, quando sottoposti a prova in conformità a 8.3.3.1 (punto 6.5.6. della Norma UNI 858-I).

Per quanto detto, si prevede la fornitura di una vasca monoblocco in c.a.v., con opportuni setti di separazione, rispondente alle Norme UNI 858/1 e 858/2, di classe I, con due filtri in schiuma di poliuretano, con capacità di 50 mc.

L'effluente dall'impianto rispetterà i parametri per lo scarico in corpo idrico superficiale - Tab.III All.V D. Lg. 152/2006.

Dimensionamento separatore in linea per impianto di prima pioggia "in continuo"

Secondo quanto previsto al punto 6.5.6.2 della Norma UNI 858-1, il separatore di liquidi leggeri per il trattamento "in continuo" della acque di prima pioggia dovrà avere le seguenti dimensioni:

$$A_{\min} = 0,2 \times NS = 0,2 \times 7 \text{ l/s} = 1,40 \text{ mq}$$

$$V_{\min} = 0,5 \times NS = 0,5 \times 7 \text{ l/s} = 3,50 \text{ mc}$$

3. IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE

3.1. INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DEI LUOGHI

L'area da occupare con l'impianto di fitodepurazione, è marginale rispetto all'area occupata complessivamente dall'impianto di depurazione di nuova realizzazione (secondo il NCT con dati catastali: Foglio 57, Particelle 25 - 27) e risulta caratterizzata da una morfologia per lo più pianeggiante, incolta e per lo più priva di piante o arbusti, confinante a Sud-Ovest con un canale idrico naturale affluente del fiume Bussento e a Sud-Est con la Strada Statale 517 Bussentina.

3.2. INTRODUZIONE

La fitodepurazione è un processo naturale per depurare le acque reflue che sfrutta i processi di autodepurazione tipici delle aree umide. L'etimologia della parola fitodepurazione (dal greco phito = pianta) può trarre in inganno nel far ritenere che siano le piante gli attori principali nei meccanismi di rimozione degli inquinanti. In realtà le piante hanno il ruolo di favorire la creazione di microhabitat idonei alla crescita della flora microbica, vera protagonista della depurazione biologica.

Gli impianti di fitodepurazione vengono definiti a livello internazionale con il termine "constructed wetlands" che si riferisce a sistemi umidi costruiti artificialmente in modo tale da ottimizzare gli effetti della depurazione sulle acque reflue. Il trattamento naturale dei reflui di scarico di origine domestica ha origini antiche. A Roma, nel periodo imperiale, si usava scaricare la cloaca massima nelle paludi Pontine con il preciso scopo di sfruttarne il loro potere autodepurante. In Cina ancora oggi è comune l'usanza millenaria di creare stagni di lagunaggio destinati alla itticoltura nei quali, al fine di incrementare la produzione ittica, vengono immessi periodicamente in quantità opportuna liquami domestici, contenenti un'alta concentrazione di nutrienti (fosforo e azoto).

Le zone umide naturali sono caratterizzate da una estrema variabilità delle loro componenti funzionali. E' quindi praticamente impossibile prevedere le conseguenze dell'apporto di acque inquinate e la traslazione dei risultati da una zona geografica all'altra. Sebbene si osservino significativi miglioramenti nella qualità delle acque reflue durante il loro scorrimento in zone umide naturali, non si possono quantificare in modo preciso le capacità di trattamento (Brix 1993). Le aree umide artificiali offrono invece un maggior grado di controllo, permettendo una precisa valutazione della loro efficacia sulla base della natura del substrato, delle tipologie vegetali e dei percorsi idraulici. Oltre a ciò le zone umide artificiali offrono vantaggi aggiuntivi rispetto a quelle naturali, come ad esempio la scelta del sito, la flessibilità nelle scelte di dimensionamento e nelle geometrie, e, più importante di tutto, il controllo dei flussi idraulici e dei tempi di ritenzione. E' per questo motivo che a partire dalla metà degli anni '70 si sono sviluppate svariate esperienze di utilizzo pianificato e ben controllato del potere autodepurativo di alcune zone umide per il raggiungimento di precisi obiettivi di qualità delle acque e, soprattutto, di "ricostruzione" o "creazione" di sistemi umidi studiati proprio per il trattamento di acque reflue. La tendenza è infatti stata quella di preservare le aree naturali esistenti e di progettare e costruire apposite aree umide per il trattamento depurativo (Masi, 2000).

L'applicazione delle constructed wetlands per il trattamento delle acque reflue rappresenta ormai una scelta ampiamente diffusa nella maggior parte d'Europa e del mondo.

Da più di vent'anni molteplici attività di ricerca sono state effettuate da Università ed Enti inglesi, danesi, tedeschi, austriaci, svizzeri, francesi, statunitensi, australiani ecc. La rapida diffusione di

questa tecnica è legata alla possibilità di ottenere elevati standard qualitativi negli effluenti a costi di costruzione, e soprattutto di gestione, più bassi rispetto alle tecnologie tradizionali (Camuccio & Barattin, 2001).

In Italia solo da pochi anni sono stati realizzati sistemi naturali costruiti per la depurazione di acque reflue, dimensionati applicando modelli americani ed europei o, in alcuni casi, improvvisando senza porsi il problema di un corretto dimensionamento; si sono create quindi da una parte nuove prospettive di approccio al problema della depurazione delle acque ma d'altro canto gli impianti mal progettati hanno generato alcune perplessità causate da malfunzionamenti o basse rese depurative rispetto a quelle attese. La sezione italiana dell'IWA (International Water Association), gruppo specialistico sull'utilizzo di macrofite per il controllo dell'inquinamento delle acque, ha recentemente svolto un'indagine sugli impianti di fitodepurazione italiani. Dall'analisi emerge l'assenza frequente di un approccio metodologico - scientifico in fase di progettazione e una scarsa documentazione dei dati di monitoraggio degli impianti. In futuro sarà quindi necessario, come di seguito riportato in questo testo, affrontare le scelte impiantistiche attraverso un approccio pluridisciplinare (chimico, biologico, idraulico e paesaggistico) evitando approssimazioni e standardizzazioni.

3.3. ASPETTI NORMATIVI

La corretta gestione e la tutela dall'inquinamento della risorsa idrica in Italia sono garantite dalla legge n° 36 (Legge Galli) del 5 gennaio 1994 e dal Decreto Legislativo del 11.05.99 n. 152 e successive modifiche (D. Lgs. 258, 18 agosto 2000) che detta disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepisce la Direttiva n. 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane, e la Direttiva n. 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

Il D. Lgs. 11 maggio 1999, n°152, pubblicato nel supplemento ordinario n° 101/L alla Gazzetta Ufficiale 29 maggio 1999, n° 124, ed entrato in vigore il successivo 13 giugno, contiene una complessiva revisione della disciplina per la tutela delle acque, e si può a ragione intendere come una legge quadro per la tutela delle acque dall'inquinamento.

La principale innovazione apportata dal D. Lgs. 152/99 rispetto alla normativa previgente sta nell'aver spostato l'attenzione dal singolo scarico alla tutela dell'intero corpo recettore, in base ad obiettivi sia di carattere ambientale che di tipo più specifico, che dovranno essere applicati dalla Regione, dopo la ricognizione e la classificazione di tutti i corpi idrici recettori, entro il 31/12/2001. Gli obiettivi minimi di qualità ambientale saranno definiti in funzione della capacità dei corpi idrici di mantenere i processi naturali di autodepurazione e di supportare comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate. Gli obiettivi specifici, invece, saranno individuati per assicurare l'idoneità del corpo idrico ad un particolare utilizzo da parte dell'uomo e/o alla vita dei pesci o dei molluschi. Successivamente a questa definizione, la Regione potrà fissare, per i particolari corpi recettori individuati, limiti di emissione più restrittivi di quelli definiti dalla legge nazionale, al fine di raggiungere o mantenere gli obiettivi previsti.

Il D.L. n. 152 oltre a recepire le direttive comunitarie, aggiorna il quadro normativo sulla tutela delle acque abrogando diverse leggi precedenti tra cui la legge 319/76, nota come Legge Merli, che ha disciplinato questo settore per oltre 20 anni affidando alle Regioni il compito di programmare le opere per la depurazione attraverso il Piano Regionale di Risanamento delle Acque (PRRA).

Lo strumento pianificatorio introdotto dal D.L. n. 152 è il “Piano di Tutela”, che si distingue dal PRRA perché non ha il compito di individuare le opere necessarie alla depurazione, compito che con la Legge 36/94 è di competenza di Autorità d’Ambito ed Enti gestori. Il Piano di Tutela, di competenza delle Regioni, che devono redigerlo di concerto con l’Autorità di Bacino, ha il compito di definire i seguenti aspetti:

- gli obiettivi di qualità per ciascun corpo idrico, in base ai criteri e ai parametri di cui all'allegato 1 (Monitoraggio e classificazione delle acque in funzione degli obiettivi di qualità ambientale);
- i carichi accettabili da ciascun corpo idrico, sulla base della sua capacità di diluizione e autodepurazione, perché sia garantito il raggiungimento dell’obiettivo di qualità;
- le concentrazioni ammissibili degli scarichi che insistono su un determinato corpo idrico, perché non sia superato il carico massimo accettabile;
- le eventuali strategie di interventi per ridurre l'impatto delle fonti inquinanti diffuse e aumentare la capacità autodepurativa dei corpi idrici e del territorio (rinaturalizzazione, fasce tampone o filtro (buffer zones), casse di espansione, stagni di depurazione naturale, gestione delle acque di prima pioggia, ecc.).

L’obiettivo principale del piano di tutela delle acque sarà quello di garantire il raggiungimento di obiettivi di qualità dei corpi idrici, attivando strategie differenti in ragione delle diverse caratteristiche ecologiche e degli eventuali usi: ad esempio, le acque sensibili all’eutrofizzazione, come i laghi, dovranno essere tutelate dall'eccesso di nutrienti, mentre quelle utilizzate per l’approvvigionamento idrico di acqua potabile richiederanno protezione dagli agenti patogeni.

Le finalità del decreto (elencate all’articolo 1, comma 1), sono quelle di prevenire e ridurre l’inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici inquinati; conseguire il miglioramento dello stato delle acque ed adeguate protezioni di quelle destinate a particolari usi; perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili; mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici nonché la capacità di sostenere comunità ampie e ben diversificate.

Tecnologie di tipo naturale per la depurazione dei reflui ed il risanamento dei corpi idrici sono pertanto perfettamente compatibili per la corretta applicazione delle finalità del decreto. Per ottenere quanto sopra specificato, vengono elencati alcuni strumenti sia di tipo generale (art. 1 comma 2), sia di tipo più specifico. Tra questi ultimi, ricordiamo la possibilità, per i consorzi di bonifica ed irrigazione, “anche attraverso appositi accordi di programma con le competenti autorità, di realizzare azioni di salvaguardia ambientale e di risanamento delle acque, anche al fine della loro utilizzazione irrigua, della rinaturalizzazione dei corsi d’acqua e della fitodepurazione” (art. 3 comma 6). Tale strumento risulta essere di notevole importanza e di elevato impatto per le sinergie che comporterebbe. Il D. Lgs. 152/99 (art. 31), definisce alcune scadenze per sottoporre a depurazione le acque reflue prima dello scarico. In particolare, le acque reflue urbane dovranno subire un trattamento secondario entro il 31/12/2000 se gli scarichi provengono da agglomerati con oltre 15.000 abitanti equivalenti, ed entro il 31/12/2005 se gli scarichi provengono da agglomerati con un numero di abitanti equivalenti compreso tra 10.000 e 15.000, o da agglomerati con un numero di abitanti equivalenti compreso tra 2.000 e 10.000, nel caso in cui gli scarichi recapitino in acque dolci e di transizione. Si ricorda che per trattamento secondario si intende un sistema che garantisca le percentuali di abbattimento di BOD, COD e solidi sospesi rispettivamente del 80%, 75% e 90% (vedi la tabella 1 dell’allegato 5). Sempre entro il 31/12/2005, gli scarichi provenienti da ag-

glomerati con meno di 2.000 abitanti equivalenti e recapitanti in acque dolci e di transizione, nonché gli scarichi provenienti da agglomerati con meno di 10.000 abitanti equivalenti e recapitanti in acque marino-costiere, dovranno essere sottoposti ad un trattamento appropriato. Per trattamento appropriato si intende un sistema che, dopo lo scarico, garantisca la conformità dei corpi idrici recettori ai relativi obiettivi di qualità. I trattamenti appropriati devono essere individuati con l'obiettivo di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico ed organico, semplificare la manutenzione e la gestione e minimizzare i costi gestionali. A questo scopo, nelle sue indicazioni generali (allegato 5, punto 3), il legislatore auspica il ricorso a tecnologie di depurazione naturale, quali il lagunaggio o la fitodepurazione, oltre che a tecnologie come i filtri percolatori o impianti a ossidazione totale. In particolare lo consiglia per:

- insediamenti con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2.000 abitanti;
- insediamenti in cui la popolazione equivalente fluttuante è superiore al 30% della popolazione residente e laddove le caratteristiche territoriali e climatiche lo consentano;
- insediamenti di maggiori dimensioni con popolazione equivalente compresa tra i 2.000 e i 25.000 abitanti, anche in soluzioni integrate con impianti a fanghi attivi o a biomassa adesa, a valle del trattamento, con funzione di affinamento.

Quanto detto sin qui si riferisce ad acque di tipo domestico od urbano, ma per analogia si ritiene valido il ricorso a metodi naturali di depurazione anche per reflui di tipo industriale, come trattamento di depurazione unico, oppure integrato con altri, oppure ancora utilizzato come affinamento finale.

D'altra parte è importante ricordare che nell'applicazione della Legge n. 36 del 5 gennaio 1994 al fine di garantire una buona qualità dei servizi erogati, l'Autorità di Ambito Territoriale Ottimale, oltre a tenere presente parametri quali la qualità delle acque potabili, il grado di copertura del servizio, le riduzioni delle perdite, l'efficienza degli impianti di trattamento, le tariffe, è necessario operi in un'ottica di tutela della risorsa idrica in modo che gli equilibri idrologici e degli ecosistemi acquatici non siano danneggiati.

Infatti fra i principi generali della suddetta legge si sottolineano concetti come: "qualsiasi uso delle acque è effettuato salvaguardando le aspettative ed i diritti delle generazioni future a fruire di un integro patrimonio ambientale" (art. 1, comma 2) e "gli usi delle acque sono indirizzati al risparmio e al rinnovo delle risorse per non pregiudicarne il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici" (art. 1, comma 3).

In quest'ottica i sistemi di depurazione naturale, sia per il trattamento secondario che terziario (finissaggio) dei reflui, rappresentano delle valide soluzioni impiantistiche capaci, attraverso una gestione semplice e poco onerosa, di ottime rese depurative (soprattutto per parametri quali COD, BOD5, solidi sospesi e sedimentabili e Azoto) con impatto ambientale e consumo energetico nettamente ridotti rispetto ad altri sistemi depurativi

La Regione Emilia – Romagna non ha ancora recepito in toto il Decreto 152/99. Esiste per ora solo una Delibera della Giunta regionale 651/2000, direttiva concernente i primi indirizzi per l'applicazione del D. Lgs 11 maggio 1999, n°152 e della L.R. 22/2000 (Norme in materia di territorio, ambiente e infrastrutture).

3.4. TIPOLOGIE IMPIANTISTICHE

Le tecniche di fitodepurazione esistenti possono essere classificate in base all'ecologia delle piante acquatiche (vedere par. 6.9 specie vegetali) utilizzate (Brix, 1993): – Sistemi a idrofite galleggianti (pleustofite) – Sistemi a idrofite radicate sommerse – Sistemi a macrofite radicate emergenti (elofite) – Sistemi a microfite (alghe unicellulari)

I sistemi di fitodepurazione a macrofite radicate emergenti possono essere poi suddivisi in base alla direzione di scorrimento dell'acqua in:

a) sistemi a flusso superficiale (FWS- Free water surface)

Consistono in vasche o canali dove la superficie dell'acqua è esposta all'atmosfera ed il suolo, costantemente sommerso, costituisce il supporto per le radici delle piante. La loro costruzione prevede la realizzazione di bacini idrici e/o canalizzazioni aventi il più lungo percorso possibile in relazione alla geometria dell'area a disposizione e aventi una profondità dell'acqua, per favorire i processi biologici utili, dai 40 ai 60 cm (fig. 1).

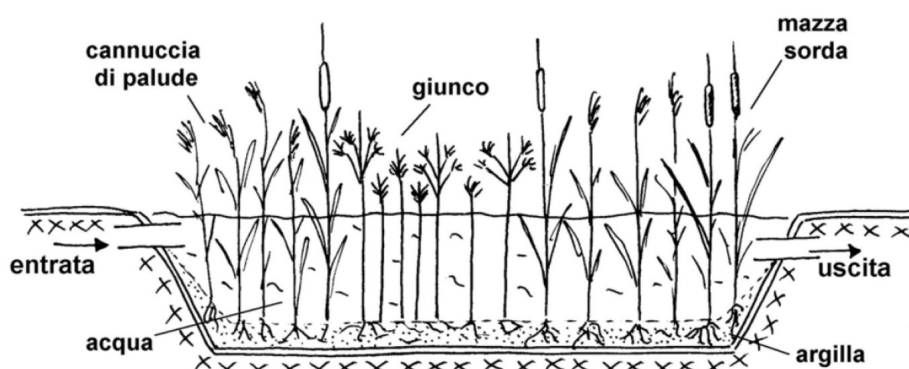


Fig. 1 - Schema impianto a flusso superficiale

Sono più adatti per il trattamento terziario dei reflui a valle di sistemi a flusso sommerso o di fanghi attivi. L'ambiente in un sistema FWS è in genere aerobico vicino alla superficie dell'acqua e tende ad essere anossico fino a diventare anaerobico man mano che ci si avvicina al fondo. Il livello di aerazione raggiunto dipende da diversi fattori, alcuni controllabili (grado di miscelazione, stratificazione della colonna d'acqua, canalizzazioni, turbolenza, turn over, ecc.) altri non controllabili (temperatura, disponibilità e penetrazione della luce, velocità del vento, fauna). Nei FWS la colonna di acqua è a contatto con diverse parti della pianta, a seconda delle specie presenti; il film biologico si svilupperà quindi su tutte le superfici delle piante disponibili e questo sarà il meccanismo principale di rimozione degli inquinanti: la rimozione diretta di alcuni specifici inquinanti attraverso le radici è limitata solamente alle specie galleggianti o sommerse. La mineralizzazione dei nutrienti e di altri componenti a carico della macrofite radicate emergenti può avvenire solo quando tali sostanze si ripartiscono nel sedimento in prossimità delle radici.

b) sistemi a flusso sommerso (SSF- Subsurface Flow)

In questi sistemi l'acqua scorre al di sotto della superficie e quindi non c'è un diretto contatto tra la colonna d'acqua e l'atmosfera. L'acqua scorre attraverso il medium di riempimento (ghiaia, sabbia, ecc.) in cui si trovano le radici delle piante radicate emergenti. Questi impianti stanno incontrando sempre più interesse rispetto ai FWS in virtù dell'aumento delle rese depurative a parità di superficie occupata. Sono sistemi particolarmente adatti e utili per il trattamento secondario di reflui provenienti da situazioni lontane dalla pubblica fognatura a valle di una fossa settica o fossa Imhoff e/o per il trattamento di acque grigie e meteoriche.

A loro volta i sistemi a flusso sommerso si distinguono in:

- Orizzontale (HF) in cui l'acqua si depura in una o più vasche della profondità di 70-80 cm contenenti materiale inerte su cui si sviluppano le radici delle macrofite. Il flusso dell'acqua rimane costantemente al di sotto della superficie del medium e scorre in senso orizzontale grazie ad una leggera pendenza del fondo del letto. Il flusso è continuo e l'ambiente è saturo d'acqua, perciò sono sistemi misti che funzionano soprattutto in anaerobiosi (fig. 2).

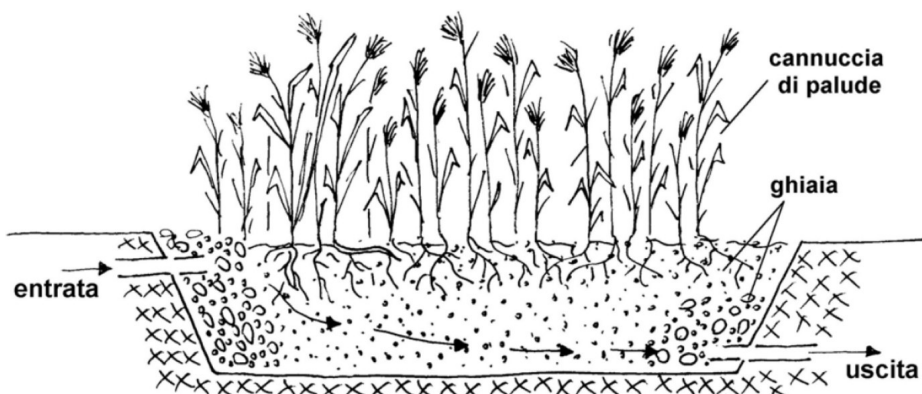


Fig. 2 - Schema impianto a flusso sommerso orizzontale

- Verticale (VF) dove il refluo da trattare è immesso con carico alternato discontinuo e percola verticalmente in un filtro di materiali inerti profondo in genere 1 m in cui si sviluppano le radici delle macrofite. Sono sistemi prevalentemente aerobici (fig. 3).

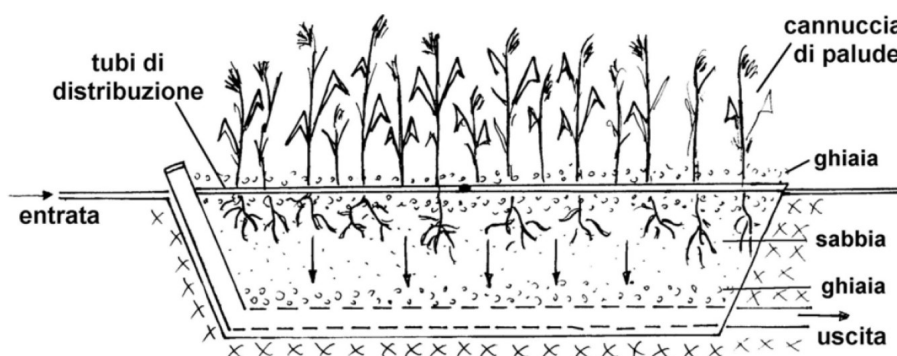


Fig. 3 - Schema impianto a flusso sommerso verticale

L'ambiente interno al letto dei sistemi SSF-h risulta essere prevalentemente anaerobico. Direttamente sulle radici e sui rizomi delle elofite tuttavia, si creano delle microzone ossidate, a cui aderisce il film batterico, che creano quindi microzone aerobiche che non si diffondono però lungo la colonna d'acqua. Nei sistemi orizzontali prevarranno quindi processi di denitrificazione mentre in quelli verticali (SSF-v), in cui il carico discontinuo favorisce un richiamo di ossigeno dall'ambiente esterno al medium di riempimento, prevarranno i processi di nitrificazione. I Sistemi SSF progettati correttamente possono essere molto affidabili. Nei sistemi SSF-h incorrono spesso però problemi di intasamento che causano un corto circuito del flusso e un allagamento della superficie dei letti. I problemi sono dovuti soprattutto a :

- Insufficiente progettazione idraulica soprattutto nella fase di previsione delle quantità di reflui nella loro distribuzione temporale;
- insufficiente distribuzione del flusso in ingresso ;

- scelta inappropriata della dimensione del medium di riempimento all'ingresso e/o nell'intero sistema.

Anche nei sistemi SSF-v si possono riscontrare sul lungo periodo problemi di intasamento, in questo caso dovuti soprattutto all'erronea scelta del medium di riempimento o della portata idraulica o, infine, del carico organico distribuito su unità di superficie nell'unità di tempo (superando i 25 gr COD/m² per giorno si sono rilevati nelle esperienze tedesche ed austriache frequenti problemi di intasamento superficiale dovuto alla formazione di una crosta organica che può arrivare a diminuire di tre ordini di grandezza la quantità di ossigeno trasferita 30-40 cm al di sotto della superficie dei letti rispetto a letti non intasati, diminuendo di conseguenza le capacità ossidative caratteristiche dei sistemi verticali).

Esistono poi anche i sistemi multistadio che prevedono la combinazione delle tipologie sopra citate e i sistemi integrati o misti in cui le tecniche fitodepurative vengono affiancate ad impianti di depurazione tradizionali.

Gli Stati Uniti hanno da sempre preferito orientarsi verso i sistemi a flusso superficiale data la grande disponibilità di spazio. In Europa al contrario la tendenza è quella di usare una combinazione dei due tipi con preferenza però per i sub-superficiali che richiedono minori superfici.

3.5. STATO DELL'ARTE IN EUROPA E IN ITALIA

Attualmente esistono in Europa circa 5600 impianti di varie tipologie, la cui diffusione è visualizzata nel grafico di fig. 4 (Vymazal, 1998). Si tenga presente che per alcuni paesi europei, come la stessa Italia, insieme a Grecia, Spagna, Estonia ed Ucraina, si hanno pochi riferimenti bibliografici pur essendo certa la presenza di numerose esperienze applicative delle tecniche di fitodepurazione. Si noti che in Germania, soprattutto bassa Sassonia, si contano circa 8.000 impianti contro 150 censiti in Italia (Masi, 2000).

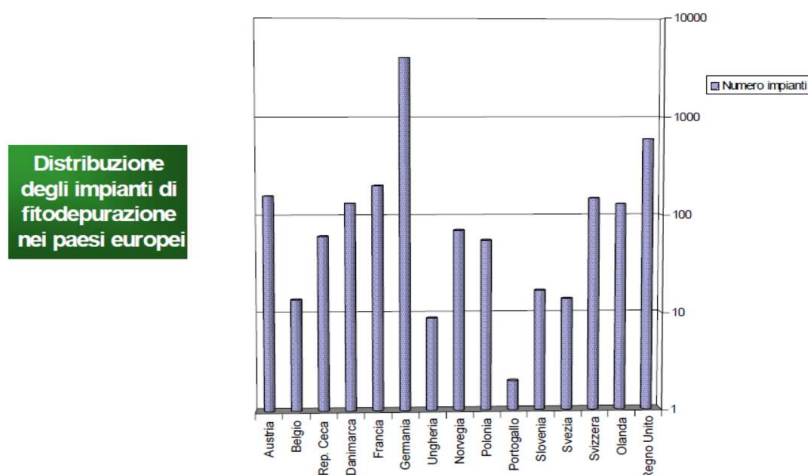


Fig. 4 - Distribuzione impianti di fitodepurazione in Europa, (dati estratti da Vymazal et al. 1998)

Nella fig. 4 si può inoltre visualizzare la distribuzione delle varie tipologie impiantistiche in vari paesi europei: la tecnica più diffusa a livello europeo è il flusso sommerso orizzontale (SFS-h o HF), la cui conoscenza in termini di rendimenti risulta quindi adeguatamente approfondita in situazioni differenti. Nei paesi di lingua tedesca (Germania, Austria e Svizzera) si sono diffuse invece tipologie impiantistiche a flusso sommerso verticale con tecniche progettuali diverse da quelle del mondo anglosassone come sarà discusso nei prossimi paragrafi.

Distribuzione per tipologie impiantistiche

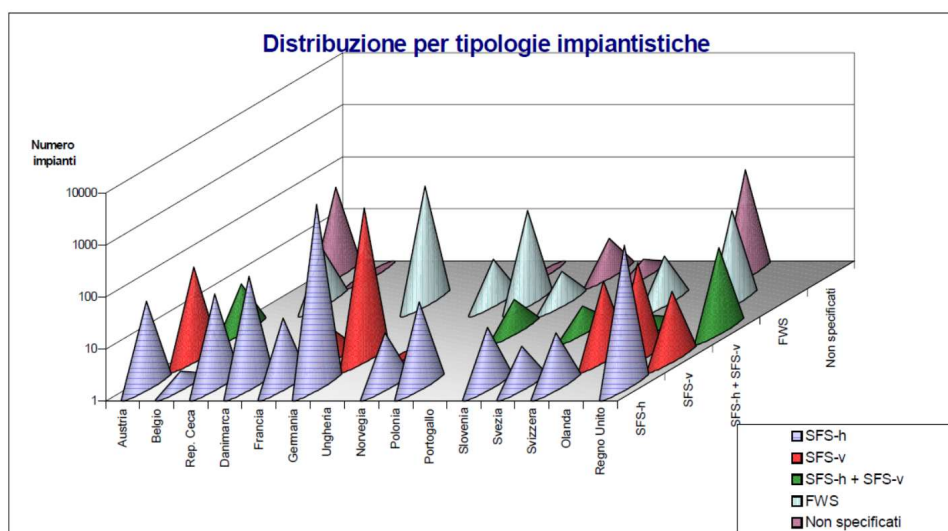


Fig. 5 - Distribuzione degli impianti di fitodepurazione in Europa suddivise per tipologie impiantistiche: flusso sommerso orizzontale (SFS-h), flusso sommerso verticale (SFS-v), SFS-h + SFS-v e flusso libero o free water (FWS)

In Italia ormai da una decina di anni gruppi di ricerca, enti pubblici e società private, hanno incominciato a verificare, sulla base delle esperienze europee e nordamericane, l'applicabilità della fitodepurazione per il trattamento delle acque. Nonostante una prima fase che ha portato, per mancanza di esperienze applicative, alla costruzione di impianti mal progettati e in alcuni casi scarsamente funzionanti, il ricorso a tali impianti non si è arrestato. L'azione coordinata di organismi come l'ANPA - Agenzia Nazionale Protezione Ambientale, l'ENEA Ente Nazionale per l'Energia e l'Ambiente, i gruppi di ricerca universitari (Ferrara, Bologna, Milano, Padova, Pavia, Firenze, Venezia, Catania, Roma, Torino, Pisa) alcune Agenzie per l'ambiente regionali, sta portando alla realizzazione di criteri progettuali comuni e all'istituzione di una rete di controllo e monitoraggio estesa a tutto il territorio. Quest'ultimo passaggio risulta fondamentale per ottenere dati che potranno essere comparati ed elaborati per comprendere le dinamiche di funzionamento indispensabili per la redazione di linee guida progettuali mirate al bacino del Mediterraneo, evitando in questo modo il ricorso a modelli americani o nord europei.

Il censimento effettuato nel corso del 1999 – 2000 dall'Università di Torino, in sinergia con le attività del gruppo specialistico IWA (International Water Association), ha prodotto una lista di circa 150 impianti.

I dati raccolti riguardano l'ubicazione, i parametri progettuali e le rese depurative. Come è possibile visualizzare nel seguente grafico la loro distribuzione sul territorio è tutt'altro che regolare: la maggior parte è infatti concentrata nel nord del Paese.

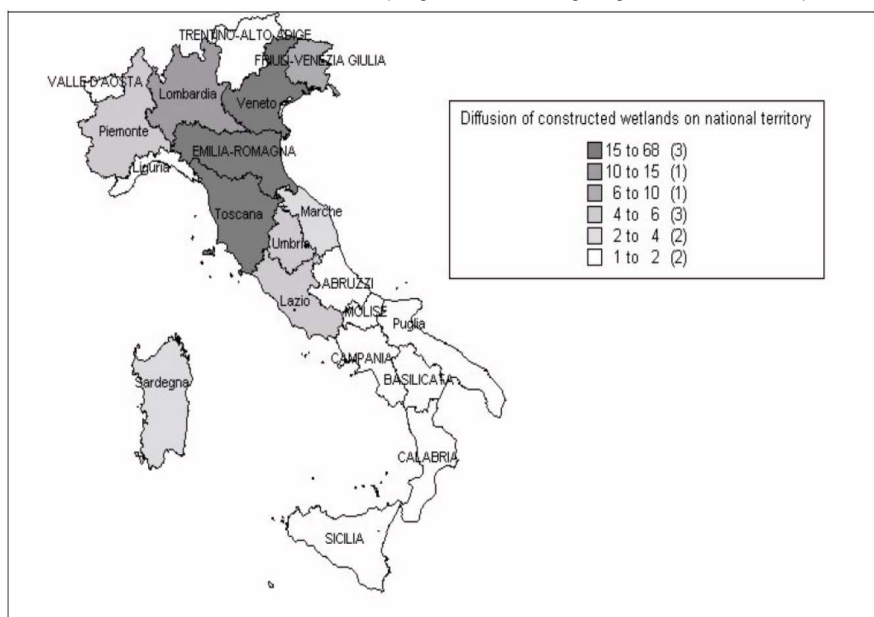


Fig. 6 - Distribuzione degli impianti di fitodepurazione sul territorio italiano

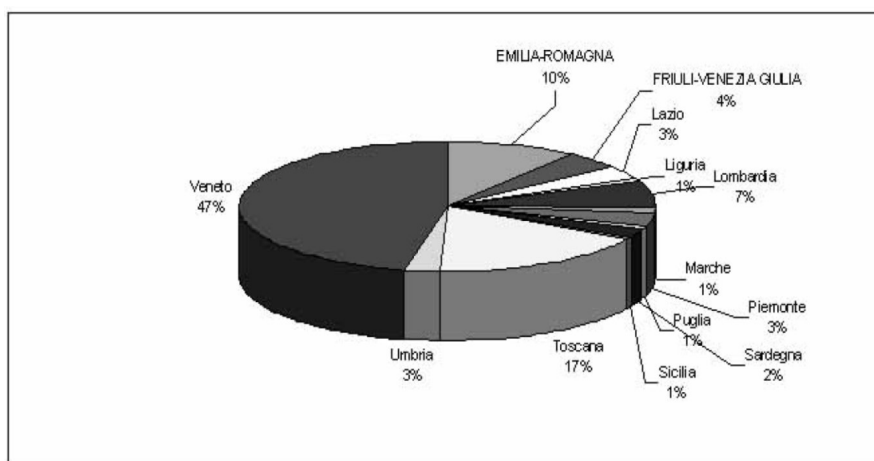


Fig. 7 - Presenza degli impianti sul territorio in percentuale

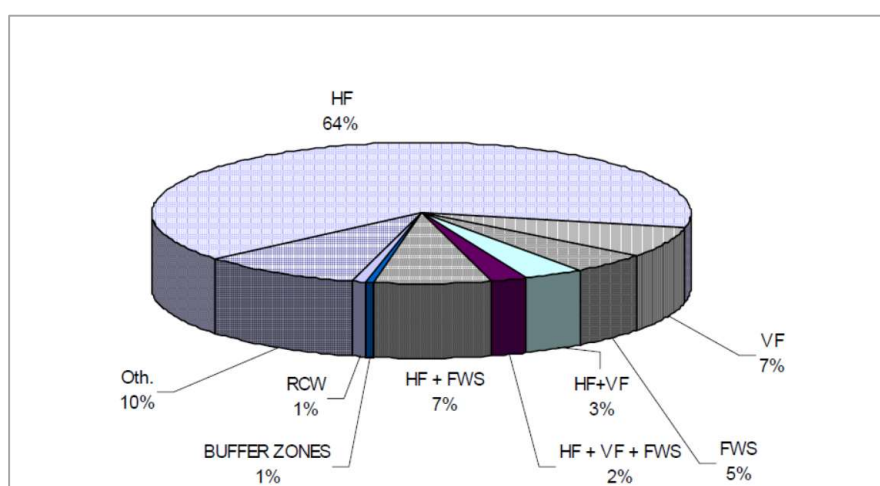


Fig. 8 - Tipologie impiantistiche adottate in Italia: flusso sommerso orizzontale (HF), flusso sommerso verticale (VF), flusso libero o free water (FWS), zone tampone (BUFFER ZONES), altre tipologie (Oth.)

Le tipologia impiantistiche adottate sono diverse, anche se prevalgono nettamente gli impianti a flusso sommerso orizzontale.

3.6. VANTAGGI

Il successo dei sistemi di fitodepurazione è imputabile a fattori economici e pratici. Se non vi sono grandi differenze nei costi di realizzazione rispetto alla depurazione tradizionale lo stesso non si può dire per i costi di esercizio e manutenzione. Il funzionamento prescinde dal massiccio e costante impiego di energia elettrica e la manutenzione, limitata a periodici controlli, può essere eseguita da personale non specializzato. La sorgente esterna di energia è spesso solo quella solare (la tendenza è infatti quella di minimizzare al massimo l'utilizzo di pompe idrauliche). Sono sistemi molto flessibili che rispondono bene alle variazioni di carico organico e idraulico e possono essere concepiti come moduli aggregabili a seconda delle esigenze del caso. Il loro impatto paesaggistico non è nullo, ma addirittura positivo. Questo comporta la rapida accettazione, vista anche la funzionalità, da parte dell'opinione pubblica. In ultima analisi sono tecniche in grado di diminuire decisamente l'effetto antropico sull'ambiente, sia dal punto di vista dell'immissione di sostanze inquinanti sia come creazione di aree verdi (Masi et al. 2001).

Da quanto detto risulta evidente come i trattamenti di fitodepurazione rientrino perfettamente nei requisiti di "trattamento appropriato" enunciati nell'allegato 5 del D.L. 152/99 e successive modifiche: "gli scarichi provenienti da agglomerati con meno di 2000 abitanti recapitanti in acque interne e quelli provenienti da agglomerati con meno di 10.000 abitanti recapitanti in acque costiere, devono essere sottoposti ad un trattamento appropriato. I trattamenti appropriati devono essere individuati con l'obiettivo di: a) rendere semplice la manutenzione e la gestione; b) essere in grado di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico e organico; c) minimizzare i costi gestionali. In quest'ottica i sistemi di depurazione naturale dei reflui, sia per il trattamento secondario che terziario (finissaggio), rappresentano delle valide soluzioni impiantistiche capaci, attraverso una gestione semplice e poco onerosa, di ottime rese depurative (soprattutto per parametri quali COD, BOD5, solidi sospesi e sedimentabili e Azoto) con impatto ambientale e consumo energetico nettamente ridotti rispetto ad altri sistemi depurativi.

Definizione di trattamento appropriato (D.Lg. 152/99, All. 5 "Limiti di emissione degli scarichi idrici", par. 3): "I trattamenti appropriati devono essere individuati con l'obiettivo di: a) rendere semplice la manutenzione e la gestione ; b) essere in grado di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico ed organico; c) minimizzare i costi gestionali. Questa tipologia di trattamento può equivalere ad un trattamento primario o ad un trattamento secondario a seconda della soluzione tecnica adottata e dei risultati depurativi raggiunti. Per tutti gli insediamenti con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2000 a.e., si ritiene auspicabile il ricorso a tecnologie di depurazione naturale quali il lagunaggio o la fitodepurazione, o tecnologie come filtri percolatori od impianti ad ossidazione totale".

3.7. APPLICAZIONI

La fitodepurazione rappresenta un metodo semplice di trattamento secondario delle acque di scarico applicabile sia a scarichi di tipo domestico, sia ad alcune tipologie di scarico industriali o produttive, compreso il percolato di discarica e le acque di lavaggio di strade e autostrade. Può inoltre rappresentare un sistema terziario di finissaggio per un'ampia varietà di acque reflue, già precedentemente trattate con metodi differenti. I trattamenti terziari sono generalmente applicati a reflui, precedentemente depurati con impianti di tipo chimico-fisici e/o impianti ad ossidazione (impianti a fanghi attivi, impianti a biodischi con biomasse adese), le cui caratteristiche non soddi-

sfano i limiti imposti dalla normativa italiana ed europea per quanto riguarda abbattimento del fosforo, dell'azoto, di metalli pesanti, di sostanze organiche che hanno tempi di biodegradabilità lenti e necessitano quindi di tempi di ritenzione più lunghi, azione tampone agli eventuali malfunzionamenti degli impianti tecnologici, affinamento della qualità microbiologica e chimica dei reflui. La fitodepurazione può rappresentare un'efficiente ed economica tecnica depurativa sia dei reflui domestici, dalla casa singola fino a circa 2.000 abitanti, sia nelle attività agricole, zootecniche, di trasformazione alimentare o più in generale industriali, nelle quali comunque lo scarico sia caratterizzato da matrice prevalentemente organica e quindi richieda un trattamento di degradazione sostenuto essenzialmente da microrganismi.

Rappresenta inoltre la soluzione più vantaggiosa nel caso di scarichi discontinui o irregolari, come quelli derivanti da attività turistiche, campeggi, alberghi, agriturismi, o da produzioni agricole e di trasformazione di tipo stagionale, quali cantine e frantoi.

Rispetto ai sistemi di trattamento tradizionali, nella fitodepurazione può essere maggiormente assorbita la variabilità dei carichi idraulici, della temperatura, delle caratteristiche qualitative del reflu in entrata, raggiungendo comunque una discreta efficienza depurativa. Altra interessante applicazione di questa tecnica è quella di inserire bacini di fitodepurazione come fase di sicurezza rispetto ai possibili "sversamenti" accidentali di sostanze tossiche direttamente nei corpi idrici recettori (es. fenomeno di "bulking" negli impianti a fanghi attivi determinato da un improvviso deterioramento delle caratteristiche di sedimentabilità del fango che fa sì che questo tracimi copiosamente dall'impianto provocando danni ingenti nel corpo idrico nel quale si riversa).

La differenza sostanziale di questi sistemi rispetto alle tecnologie tradizionali, quali ossidazione prolungata, fanghi attivi, biodischi, è rappresentato principalmente dal fatto che nella fitodepurazione non è possibile "spegnere" il processo depurativo, per cui l'impianto funziona anche in situazioni accidentalmente sfavorevoli quali assenza di energia, sovraccarico idraulico ed organico, che al contrario inficerebbero i processi tradizionali (Camuccio & Barattini, 2000).

Tipi di reflu trattati in letteratura tramite la fitodepurazione (Cooper, 1996; Bowmer, 1985; Davies, 1993; Kadlec, 1996):

- Scarichi urbani
- allevamenti zootecnici
- acque di ruscellamento delle autostrade
- acque meteoriche
- run-off agricolo
- scarichi "industriali": percolato di discarica, acque acide di miniera, produzioni chimiche e farmaceutiche, raffinerie, cartiere, industria di trasformazione alimentare, tinture dalle industrie tessili.

Campi d'impiego per reflui domestici

- Siti abitativi rurali dove non sia possibile o sia troppo costoso il collegamento con la fognatura pubblica;
- come smaltimento di reflui civili in campeggi, agriturismi o gruppi di case sparse
- 3 come trattamenti appropriati fino 2000 a.e., come stabilito dal D.lg. 152/99 e successive modifiche
- 4 in progetti di recupero e ristrutturazione di edifici rurali realizzati in un'ottica di sostenibilità sfruttando i criteri della bioarchitettura

- 5 in progetti in cui si voglia inserire una gestione sostenibile del ciclo delle acque che prevede un risparmio idrico a monte, il riuso delle acque piovane e delle acque depurate con un trattamento naturale a impatto ambientale nullo e con scarso uso di tecnologie e di energia elettrica

3.8. MECCANISMI DI RIMOZIONE DEGLI INQUINANTI

Le acque inquinate sono tali perché contengono in eccesso alcune sostanze, oppure si trovano in uno stato tale che il loro naturale equilibrio biologico e chimico-fisico risulta alterato, generando condizioni inconvenienti all'uomo e agli altri esseri viventi (tossicità, patogenicità, odori sgradevoli). I sistemi umidi ricostruiti, o "constructed wetlands", sono capaci di rimuovere la maggior parte degli inquinanti compresi i metalli pesanti ed altri inquinanti tossici. La depurazione delle acque inquinate ha lo scopo di rimuovere le sostanze solide, sia sospese che disciolte, le sostanze chimiche sgradevoli o nocive, di eliminare o rendere inattivi i microrganismi patogeni e stabilizzare la sostanza organica. I meccanismi di rimozione riguardano la capacità autodepurativa tipica degli ambienti acquatici: gli inquinanti sono rimossi, trasformati o stoccati attraverso una combinazione di processi fisici, chimici e biologici. I sistemi acquatici forniscono infatti una diversità di nicchie e microambienti i quali giocano tutti un ruolo importante nei processi sopracitati. L'efficienza di tutti questi processi varierà ovviamente con il tempo di residenza. Lunghi tempi di residenza hanno benefici effetti sulla rimozione degli inquinanti a patto però che non diventino troppo lunghi e cambino il potenziale redox dei sedimenti facendo in modo che i nutrienti e gli inquinanti ritornino nella colonna d'acqua. Normalmente esistono tempi di residenza ottimali che permettono al reflu di ottenere il massimo grado di depurazione (DLWC, 1998).

La parola fitodepurazione se vista dal punto di vista etimologico (dal greco phito = pianta) può trarre in inganno nel far ritenere che siano le piante gli attori principali nei meccanismi di rimozione. In realtà negli impianti di fitodepurazione gli inquinanti vengono naturalmente rimossi attraverso processi fisici, chimici e biologici tra cui filtrazione, adsorbimento, assimilazione da parte degli organismi vegetali, degradazione batterica ed antibiosi sono le maggiormente efficaci (Brix, 1993). Il reflu viene quindi depurato da una pluralità di meccanismi di tipo fisico, chimico - fisico e biologico in cui la parte predominante spetta alla flora microbica. Le piante svolgono un ruolo importante trasferendo ossigeno dalle parti aeree a quelle sommerse: la penetrazione delle radici all'interno del substrato permette la creazione di microhabitat aerobici in ambiente anaerobico, che favoriscono lo sviluppo di una ricca e varia flora batterica, che esplica la vera azione degradativa. Con l'ampio apparato radicale esse consentono di mantenere costante la permeabilità idraulica del terreno, mentre la capacità di rimuovere i nutrienti per assimilazione diretta è da ritenersi minima (Adcock 1994; Brix, 1994).

PROCESSI BIOLOGICI

I principali processi biologici coinvolti nei processi di depurazione sono:

- Fotosintesi (processo attuato da alghe e piante che apporta carbonio e ossigeno utili nei processi di nitrificazione e respirazione; le parti aeree delle piante trasferiscono ossigeno alle radici e quindi alla rizosfera);
- respirazione (l'ossidazione del carbonio organico è a carico degli organismi eterotrofi e porta alla formazione di biossido di carbonio e acqua); -fermentazione (è la decomposizione della sostanza organica in assenza di ossigeno attuata da alcune specie di microrganismi che produce composti come metano, ammoniaca, acido solfidrico, alcoli e acidi grassi volatili);

- nitrificazione/denitrificazione (processo mediato da microrganismi che descrive il passaggio dell'azoto ammoniacale al massimo stato ossidato, come azoto nitrico, e quindi la rimozione per gassificazione con il successivo passaggio dei nitrati ad azoto elementare N₂);
- rimozione del fosforo a carico del biofilm e/o delle macrofite.

Le piante assumono i nutrienti e gli inquinanti disciolti dall'acqua per poi utilizzarli per la creazione di nuova biomassa. I nutrienti e gli inquinanti vengono poi trasferiti dal corpo della pianta agli organi di stoccaggio sotterranei per poi passare al sedimento attraverso l'accrescimento della lettiera quando la pianta muore. I microrganismi, inclusi batteri e funghi, rimuovono la materia organica decomponendola in molecole più semplici utilizzando ossigeno. Diversi microrganismi hanno una specifica sensibilità per l'ossigeno disciolto, range di temperatura e nutrienti. Alcuni composti azotati vengono trasformati dall'attività microbica in altre molecole (nitrificazione - denitrificazione) e perse nell'atmosfera attraverso il processo di massificazione. Molti dei microrganismi che si riscontrano nelle aree umide sono gli stessi che si ritrovano nei sistemi tradizionali di trattamento delle acque.

PROCESSI CHIMICI

Le reazioni chimiche che avvengono tra determinate sostanze, in special modo i metalli pesanti, possono portare alla loro precipitazione come componenti insolubili, mentre l'esposizione alla luce e ai gas atmosferici possono invece rompere le molecole organiche dei pesticidi o uccidere organismi patogeni (EPA, 1995). Certi componenti organici che entrano nell'area umida si disperdono direttamente nell'atmosfera per volatilizzazione. Questo effetto è molto importante nelle fitodepurazione a flusso superficiale. I meccanismi di ossido-riduzione che avvengono nell'acqua e nei sedimenti risentono della concentrazione di ossigeno. Il potenziale di riduzione, infatti, che è una misura del potenziale redox, determina la solubilità o l'insolubilità dei nutrienti e dei metalli. Il pH dell'acqua e dei sedimenti esercita una forte influenza sulla direzione di molte reazioni, incluse le trasformazioni biologiche, e sulla separazione delle forme ionizzate e non-ionizzate di acidi e basi, scambio cationico, solubilità di gas e parti solide.

PROCESSI FISICI

I processi fisici riguardano la filtrazione meccanica e la deposizione di sostanze per sedimentazione, dal momento che la velocità dell'acqua è sufficientemente bassa da permettere ai solidi sospesi, spesso associati a nutrienti ed altri inquinanti, di depositarsi.

INQUINANTI	MECCANISMI DI RIMOZIONE
Materia organica (misurata come BOD)	Degradazione batterica aerobica e anaerobica
microinquinanti organici (es. pesticidi, tricloroetano, cloroformio, PCB, ecc)	Adsorbimento sedimentazione volatilizzazione evaporazione fotosintesi degradazione biotica / abiotica
Solidi sospesi	Sedimentazione Filtrazione
Azoto	Ammonificazione / nitrificazione / denitrificazione Assorbimento radicale Adsorbimento (assorbimento nel substrato)
Fosforo	Adsorbimento, assorbimento radicale Precipitazione
Microrganismi patogeni	Sedimentazione filtrazione predazione degradazione con UV adsorbimento, morte naturale azione degli antibiotici emessi dalle radici
Metalli pesanti	Adsorbimento Complessazione Precipitazione Assorbimento radicale Ossido - riduzione batterica

Tab. 1 - Meccanismi di rimozione dei principali inquinanti in un impianto di fitodepurazione (da Cooper 1996, modificato)

Di seguito si riporta la descrizione dei principali inquinanti e relativi meccanismi di rimozione in un impianto di fitodepurazione (tab. 1):

Il **materiale particolato** rappresenta una componente significativa (circa il 25-30%) del carico inquinante presente nel refluo. La sua rimozione deve avvenire soprattutto nel pretrattamento (fossa settica, vasca di sedimentazione tricamerale, Imhoff, ecc.) per non occludere la porosità del medium di riempimento della vasca di fitodepurazione. Il particellato sospeso che non viene rimosso in questa fase preliminare è separato dalle acque mediante filtrazione e sedimentazione nello strato ghiaioso. La capacità di sedimentazione è relazionata alla velocità di flusso del refluo all'interno del medium ed agisce sinergicamente con il processo di filtrazione da parte del film biologico (pellicola batterica) adeso al materiale di riempimento.

La **sostanza organica** è costituita da sostanze quali carboidrati, grassi, proteine, saponi, detersivi, ecc. che possono trovarsi in forma solida, in sospensione, in soluzione, nel sedimento o parzialmente metabolizzate. I composti organici disciolti presenti nel refluo subiscono un processo di decomposizione prevalentemente aerobica per opera dei microrganismi (batteri, funghi) adesi alla superficie dei rizomi delle elofite del substrato. L'ossigeno necessario per questi processi proviene sia direttamente dall'atmosfera per diffusione nel liquame sia indirettamente dalla piante attraverso il rilascio da parte delle radici delle elofite o dall'attività fotosintetica di microfiti e pleustofiti. Nei sistemi a flusso sub-superficiale l'efficienza di rimozione risulta sensibilmente maggiore rispetto alle altre tipologie di fitodepurazione, per la presenza di un'elevata area di contatto tra liquame e il film batterico adeso alla superficie del medium. La degradazione anaerobica predomina su quella aerobica quando la quantità di ossigeno viene ad essere limitante, ad esempio in presenza di alti carichi organici o in relazione all'elevata profondità del letto sommerso (Cooper, 1996). Poiché questo processo è legato all'attività batterica, esso dipende fortemente dalle condizioni climatiche e quindi dalla temperatura del liquame. I sistemi a flusso sub-superficiale risultano essere, sotto questo aspetto, i più stabili in quanto lo strato di ghiaia e la lettiera sovrastante il flusso idrico agiscono da coibentante mantenendo la temperatura interna sempre superiore ai 0°C, anche quando all'esterno la temperatura dell'aria risulta di molto inferiore.

Nelle acque reflue l'**azoto**, pur potendo essere presente in varie forme chimiche che corrispondono a diversi stati di ossidazione dell'elemento, compare in percentuale maggiore sotto forma di ammoniaca. I composti azotati derivano dalla demolizione delle proteine presenti nei liquami ad opera della comunità batterica (ammonificazione). L'abbattimento dell'ammoniaca è legato principalmente ad un processo di ossidazione (nitrificazione) dello ione ammonio che avviene nei microsciti aerobici adiacenti alla superficie radicale delle elofite (Reed, 1995). I composti che si producono, i nitrati, diffondendo verso le zone anaerobiche, subiscono un processo di riduzione (denitrificazione) e vengono trasformati in azoto gassoso, che si libera nell'atmosfera. Tutti i processi descritti si realizzano ad opera di alcune specie di batteri che utilizzano i composti azotati come fonte di energia (es. nitrosomonas, nitrobacter).

Nei sistemi a flusso sommerso verticale l'ambiente risulta essere prevalentemente aerobio a causa dell'alimentazione discontinua che provoca un richiamo di aria dall'esterno al mezzo: qui prevarranno i processi di nitrificazione. Nei sistemi a flusso sommerso orizzontale invece il medium è sempre saturo di acqua e quindi anaerobico tranne che nelle microzone ossidate aderenti alle radici delle elofite. Oltre che per nitrificazione e denitrificazione la rimozione dell'azoto avviene ad opera di processi secondari quali la volatilizzazione dell'ammoniaca, l'assorbimento da parte delle

piante e l'adsorbimento da parte del substrato. La liberazione dello ione ammonio sotto forma di gas (volatilizzazione) avviene a valori di pH superiori a 8 e l'entità del processo dipende da quanto azoto ammoniacale riesce a raggiungere la superficie dell'acqua (McIntyre, 1991). L'assunzione dell'azoto da parte delle piante avviene per assorbimento tramite l'apparato radicale mentre l'ammoniaca viene utilizzata nei processi metabolici di costruzione delle sostanze proteiche: l'entità di questo processo è comunque limitata (Brix, 1994). Il substrato, in virtù della sua capacità di scambio, può adsorbire ioni ammonio: si ritiene tuttavia che il processo sia rapidamente reversibile quando la nitrificazione fa diminuire la concentrazione degli ioni ammonio nella soluzione acquosa (Cooper, 1996).

Il **fosforo** è presente nei liquami sotto forma di ortofosfato, polifosfato oppure in forma organica, soprattutto negli scarichi industriali. L'ossidazione batterica converte in ortofosfato tutte le forme di fosforo presenti. La rimozione dell'ortofosfato avviene principalmente attraverso fenomeni di adsorbimento da parte del substrato, in presenza di composti inorganici di ferro e alluminio e da parte del calcio e dei minerali presenti nell'argilla. Visto il ruolo importante svolto dal substrato sono soprattutto la qualità e la grandezza del materiale di riempimento che possono favorire una maggiore rimozione di fosforo. Per tale motivo la tipologia tedesca dei flussi sommersi verticali utilizza la sabbia come substrato per il filtro in cui naturalmente sono presenti tracce di ferro che permettono la precipitazione dei fosfati. Secondo Cooper et al. (1996), oltre che con questi meccanismi la rimozione del fosforo avviene anche tramite la complessazione e la precipitazione. Come per l'azoto l'assunzione da parte delle piante risulta generalmente piuttosto limitata e può essere significativa solo in sistemi progettati con un basso tasso di carico per superficie (Breen, 1990).

CICLO ORGANICO DEL FOSFORO

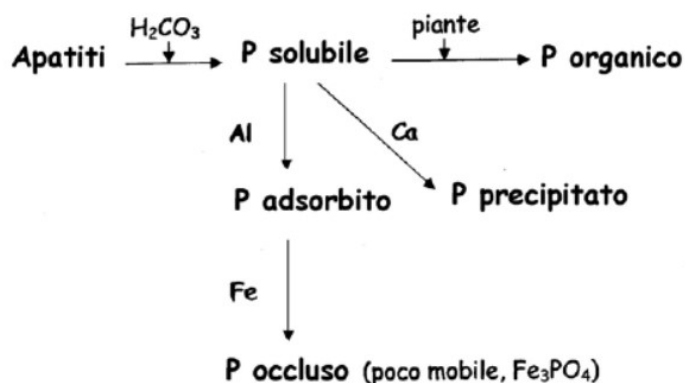


Fig. 9 - Ciclo del fosforo (biociclo)

I **metalli pesanti** possono essere presenti in concentrazioni significative negli scarichi industriali, ma elevate concentrazioni di rame, nichel, zinco, piombo e cadmio si possono ritrovare anche nei reflui domestici ed urbani. Tutti i microrganismi richiedono, per il loro normale metabolismo cellulare, la presenza, in concentrazioni molto basse, di alcuni metalli quali ad esempio potassio, magnesio, manganese, calcio, ferro, rame, zinco e molibdeno. Tuttavia, elevate concentrazioni di tali metalli risultano senz'altro tossiche per batteri e funghi. La rimozione dei metalli è legata a processi di sedimentazione, filtrazione, precipitazione chimico-fisica, adsorbimento sulla parete cellulare dei batteri, nonché a reazioni biologiche, in particolare ossidazioni, operate dalla biomassa adesa sui rizomi e sul medium di riempimento.

I sistemi di pretrattamento e quelli di depurazione tradizionali delle acque reflue urbane e domestiche hanno un'efficienza inadeguata alla rimozione di questi elementi. La fitodepurazione, in particolare quella sub-superficiale, ha invece una buona capacità di sequestro dei metalli. Si pensi che in un impianto a Santee in California, rame, zinco e cadmio sono stati rimossi con un'efficienza rispettivamente del 99, 97, 99% ed un tempo di ritenzione idraulico di 5,5 giorni (Gersberg, 1985). Nei sistemi a macrofite natanti si è segnalata la capacità del giacinto d'acqua (*Eichornia crassipes*) di assimilazione e bioaccumulo con valori variabili dal 18% per l'arsenico al 68% per il rame. Le piante possono assorbire una certa quantità di metalli, ma la loro assunzione si accompagna a danni strutturali del tessuto (Volterra et al., 1994). Il substrato, invece, trattiene i metalli in funzione della sua capacità di scambio cationica (Cossu, 1984).

Di recente applicazione è la phytoremediation o fitodecontaminazione che prevede l'adozione di particolari specie di piante, utilizzate come bioaccumulatori, per risanare aree industriali dismesse, ex discariche o terreni contaminati da metalli pesanti o radionuclidi. Le strategie impiegate nel biorecupero sono: rizofiltrazione, fitoestrazione, fitostabilizzazione, fitodegradazione. Alcune specie utilizzate sono: *Medicago sativa* (Cd, Ni, CU, Cr, Pb, Zn), *Silene vulgaris* e *Brassica juncea* (Zn, Cd), *Populus spp* (Cd, arsenico, tricloroetilene), *Helianthus annuus* (radioattività) (Brooks, 1998). Le piante "esauste" a fine ciclo vengono disidratate e trattate come rifiuto speciale: da esse è possibile riestrarre i metalli accumulati e utilizzarli come materia prima industriale.

Gli scarichi industriali ed urbani contengono in quantità variabile diversi **microinquinanti organici** provenienti da composti di sintesi (benzene, tricloroetano, PCP-pentaclorofenolo, cloroformio, ecc) che normalmente resistono alla depurazione nei sistemi tradizionali di trattamento e persistono nell'ambiente per lunghi periodi, accumulandosi nelle catene alimentari degli ecosistemi, ed in particolare nei predatori e nei superpredatori. I sistemi naturali hanno una notevole capacità di rimozione di questi composti, soprattutto per degradazione biologica, anche se i processi chimico-fisici di adsorbimento, sedimentazione ed evaporazione e i processi chimici o fotochimici possono avere una rilevanza significativa (Giger, 1978). Se nei sistemi di trattamento ipertecnologici si utilizzano particolari colonie batteriche in grado di degradare specifiche catene organiche stabili, nella fitodepurazione, dove la popolazione microbica risulta ecologicamente molto più complessa, si arriva, per via molto più naturale, ad un buon trattamento anche di composti molto stabili come il catrame. I sistemi a flusso sub-superficiale hanno evidenziato una rimozione pari al 99% di composti organici, dal PCP(pentaclorofenolo) al cloroformio, anche se i sistemi con il giacinto d'acqua possono risultare altrettanto efficienti (Reed, 1987).

La rimozione dei **microrganismi patogeni** risulta particolarmente efficace con la fitodepurazione, fornendo valori di abbattimento del 99%. Il passaggio del liquame attraverso micrositii aerobici alternati agli anaerobici nella rizosfera comporta uno stress per microrganismi non metabolicamente adattati a tenori diversi di ossigeno e quindi porta ad una loro elevata mortalità. A questo si devono aggiungere i processi fisici di filtrazione e sedimentazione che avvengono durante il passaggio attraverso il substrato, la predazione da parte di nematodi e protozoi e la morte naturale (Gersberg 1987). Il tasso di rimozione sembra essere legato con proporzione diretta non solo al tempo di residenza, che deve essere almeno superiore a 1 o 2 giorni, fino a 6 giorni, ma anche alle condizioni di umidità relativa dell'aria, con una maggiore efficienza di rimozione in ambiente secco (Green, 1997).

3.9. RENDIMENTI DI DEPURAZIONE

Si riportano di seguito, a titolo di esempio, i rendimenti di depurazione, per alcuni parametri chimico-fisici e microbiologici, delle principali tipologie impiantistiche situate nella regione Emilia-Romagna:

- 1) Lugo di Baiso (RE) - trattamento secondario reflui urbani, 50 ae (Pergetti, 1995).
- 2) Poggio Antico, Montespertoli (FI) - trattamento secondario reflui agro-industriali, 20 ae (Masi, 2000).
- 3) Moscheta, Firenzuola (FI) - trattamento secondario reflui domestici, 150 ae (Conte, 2000).
- 4) Az. S. Lucia, Casina (RE) - trattamento secondario reflui sala di mungitura + domestici, 38 ae (Mantovi, 2001).
- 5) A.M.G.A Cesena – trattamento secondario acque reflue urbane, 25 ae (Piraccini, 1998).
- 6) Az. La Collina, Codemondo (RE) – trattamento secondario reflui domestici, 30 ae (Romagnoli, 2001).
- 7) Gorizia – trattamento terziario reflui urbani, 1000 ae (Vecchiet, 2000) .
- 8) Bobbio (PC) – trattamento terziario reflui urbani, 6000 ae (Malcevschi, 1988).
- 9) Bentivoglio (BO) – trattamento terziario di reflui urbani, 3000 ae.
- 10) Viano (RE) – trattamento secondario reflui urbani, 100 ae (Pergetti, 2001).

			BOD ₅			COD			NH ₄			Pt			SST		
1°	2°		in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%
1	I	H	96	30	69	267	102	62	52,9	42,3	20	4,3	2,4	46	93	16	83
2	ID	H	-	-	-	908	73	92	33	15	55	18	14	20	145	28	81
3	ID	H	64	30	53	543	30	95	52	8	85	11	6	44	308	5	98
4	I	H	505	32	94	105	1,4	99	22	23	-6	14	5	64	0,8	0,1	91
5	I	V _i	199	9	95	323	52	84	48	5	90	11	2	78	279	23	92
6	I	V _t	71	2	97	246	23	91	55	0,3	99	4,2	2,5	41	97	10	90
7	FA	V _i	260	12	95	633	34	95	13	0,9	94	-	-	-	-	-	-
8	FA	F	3	2	50	15	14	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	B	FH	-	-	-	335	44	87	39	8	80	5	1	80	56	20	64
10	I	HV _i	178	3	98	421	44	90	44	7	84	6,3	0,91	85	250	16	94

Legenda tabella:

1° = Trattamenti primari

I - Fossa Imhoff

D - Degrassatore

FA - Fanghi attivi

B - Biodischi

2° = Trattamenti secondari

F - Sistemi a flusso superficiale

H - Sistemi a flusso sommerso orizzontale

V_i - Sistemi a flusso sommerso verticale tip. inglese

V_t - Sistemi a flusso sommerso verticale tip. tedesca

In = refluio ingresso

Out = refluio uscita

% = rimozione percentuale

Tab. 2 - Rendimenti di depurazione per alcuni parametri chimico -fisici (espressi in mg/l) in alcune tipologie impiantistiche.

Attualmente i limiti allo scarico degli impianti al servizio di piccoli agglomerati sono regolamentati dalla Tab. II della legge regionale vigente (L.R.7/83 dell'Emilia Romagna); si riportano i limiti degli inquinanti più significativi:

Parametri	u. m.	Tabella II L.R. 7/83
BOD ₅	mg/l	250
COD	mg/l	500
MST	mg/l	200
N-NH ₄	mg/l	50
N- NO ₂	mg/l	0.6
N – NO ₃	mg/l	30
P tot	mg/l	15

- 1) Lugo di Baiso (RE) - trattamento secondario reflui urbani (Pergetti, 1995)
- 2) Poggio Antico, Montespertoli (FI) - trattamento secondario reflui agro-industriali, 20 ae (Masi,

2000)

3) Moscheta, Firenzuola (FI) - trattamento secondario reflui domestici, 150 ae (Conte, 2000)

4) Borca di Cadore (BL) – trattamento secondario reflui urbani, 600 ae (Egaddi,

5) Pentolina (SI) – trattamento terziario reflui domestici, 500 ae (Conte, 2000)

6) Az. La Collina, Codemondo (RE) - trattamento secondario reflui domestici, 30 ae (Romagnoli, 2001)

7) Gorizia – trattamento terziario reflui urbani, 1000 ae (CETA Vecchiet, 2000)

8) Bobbio (PC) – trattamento terziario reflui urbani, 6000 ae (Malcevschi, 1988)

	1°	2°	BOD ₅			COD			NH ₄			Pt			SST		
			in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%
1	I	H	96	30	69	267	102	62	52,9	42,3	20	4,3	2,4	46	93	16	83
2	ID	H	-	-	-	908	73	92	33	15	55	18	14	20	145	28	81
3	ID	H	64	30	53	543	30	95	52	8	85	11	6	44	308	5	98
4	I	H	505	32	94	105	1,4	99	22	23	-6	14	5	64	0,8	0,1	91
5	I	Vi	199	9	95	323	52	84	48	5	90	11	2	78	279	23	92
6	I	Vt	71	2	97	246	23	91	55	0,3	99	4,2	2,5	41	97	10	90
7	FA	Vi	260	12	95	633	34	95	13	0,9	94	-	-	-	-	-	-
8	FA	F	3	2	50	15	14	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	B	FH	-	-	-	335	44	87	39	8	80	5	1	80	56	20	64
10	I	HVi	178	3	98	421	44	90	44	7	84	6,3	0,91	85	250	16	94

Legenda tabella:

1° = Trattamenti primari

I - Fossa Imhoff

D - Degrassatore

FA - Fanghi attivi

B - Biodischi

2° = Trattamenti secondari

F - Sistemi a flusso superficiale

H - Sistemi a flusso sommerso orizzontale

Vi - Sistemi a flusso sommerso verticale tip. inglese

Vt - Sistemi a flusso sommerso verticale tip. tedesca

In = reflu ingresso

Out = reflu uscita

% = rimozione percentuale

Tab. 3 - Rendimenti di depurazione in alcune tipologie impiantistiche per alcuni parametri microbiologici espressi in mpn/100ml.

3.10. SPECIE VEGETALI

Le specie vegetali utilizzate in fitodepurazione sono piante acquatiche superiori e/o alghe (macrofite e microfite), che vivono normalmente nelle zone umide naturali (laghi, stagni, paludi, ecc.). In un lago è possibile individuare in relazione alla profondità dell'acqua tre zone (Fig. 10):

- Litorale;
- pelagica (zona eufotica caratterizzata da organismi che fluttuano passivamente, plancton);
- bentonica (zona afotica, priva di luce, corrisponde al fondo del lago ed è popolata solo da specie animali come il macrobenthos).

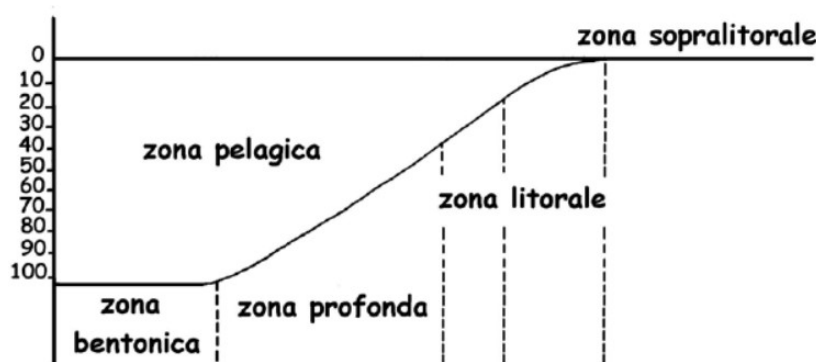


Fig. 10 - Sezione trasversale di un lago e sua zonazione in base alla profondità.

In un ecosistema lacustre le piante acquatiche tendono ad occupare diverse nicchie ecologiche a

seconda della profondità dell'acqua. Nella zona litorale (Fig. 11) troveremo quindi a partire dall'esterno:

- Macrofite emergenti o elofite (cariceto, fragmiteto, tifeto, giuncaia), radicate al fondo con fusto e foglie totalmente emergenti;
- idrofite sommerse (potameto e careto), radicate al fondo sommerso e presenti solo all'interno della massa d'acqua;
- idrofite flottanti o pleustofite (lemneto e nufareto), liberamente natanti sul pelo dell'acqua o radicate al fondo ma con le foglie in emersione.

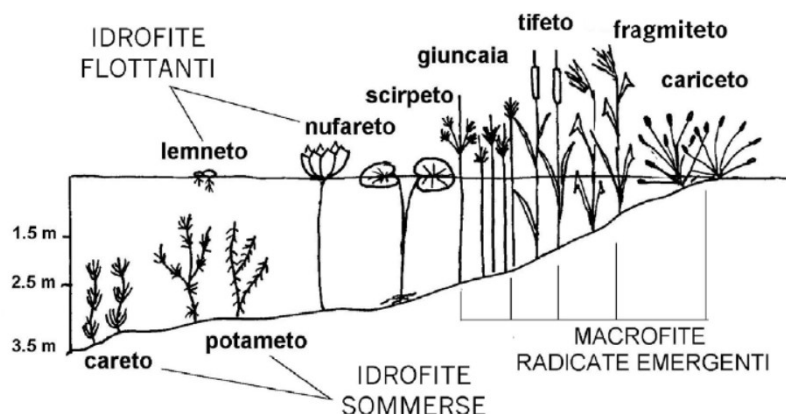


Fig. 11 - Colonizzazione della zona litorale di un lago

Nella zona pelagica vivranno specie fitoplanctoniche come le microfite o microalghe. Queste sono organismi unicellulari caratterizzati da un breve tempo di vita e da una rapida crescita. Possono formare colonie molto estese sulla superficie dell'acqua ed hanno una notevole capacità di assimilare nutrienti dalla massa idrica. Esigono però condizioni di temperatura elevata e costante per garantire una buona efficienza depurativa durante l'intero arco dell'anno. Le microalghe che sono coinvolte nella fitodepurazione appartengono alla famiglia delle Cloroficee (o alghe verdi) come Chlorella, Scenedesmus e Coelastrum, alle Cianoficee (o alghe azzurre) come Spirulina, ed alle Diatomee (o alghe silicee) come Dunaliella (Camuccio & Barattin, 2001).

Nome scientifico	Nome comune
<i>Phragmites australis</i>	Cannuccia di palude
<i>Typha latifolia</i>	Mazza sorda
<i>Juncus effusus</i>	Giunco comune
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Lisca lacustre o giunco da stuoie
<i>Carex elata</i>	Carice spondicola
<i>Trapa natans</i>	Castagna d'acqua
<i>Lemna spp, Spirodela sp, ecc.</i>	Lenticchie d'acqua
<i>Nymphaea alba</i>	Ninfea comune
<i>Nuphar lutea</i>	Ninfea gialla
<i>Potamogeton crispus</i>	Lattuga ranina

Tab. 4 - Nome scientifici e comuni delle più comuni piante acquatiche.

La funzione della vegetazione

Negli impianti di fitodepurazione le piante hanno un ruolo attivo e non puramente estetico ai fini della depurazione. Il trattamento delle acque si basa infatti sulla crescita cooperativa delle macrofite e dei microrganismi ad esse associati, che svolgono una buona parte del processo di degradazione della materia organica. Le piante acquatiche rimuovono parte delle sostanze indesiderate attraverso l'assimilazione diretta nei tessuti e forniscono superficie e ambiente idoneo ai micr-

ganismi che trasformano gli inquinanti e ne riducono la concentrazione.

Nell'ambiente acquatico naturale lo sviluppo eccessivo di formazioni vegetali, soprattutto se monospecifiche, è indice di una elevata condizione trofica (eutrofizzazione) generata da fenomeni di inquinamento soprattutto organico e da nutrienti (composti azotati e fosfati). Ciò che risulta essere uno stato di degrado dell'ecosistema si rivela per gli organismi vegetali una situazione vantaggiosa, che incentiva la crescita e la proliferazione di alghe e piante acquatiche. Queste si comportano da filtri biologici, rimuovendo le sostanze inquinanti dall'acqua e contemporaneamente rifornendola di ossigeno.

Alcune elofite come *Phragmites* e *Typha*, mediando il trasferimento di ossigeno dalle parti aeree alla rizosfera attraverso la perdita di ossigeno dalle radici stesse, incrementano la degradazione aerobica delle sostanze organiche e la nitrificazione. Particolarmente importante è *Phragmites australis* che non solo funziona come pompa di ossigeno, ma è anche in grado di costruire intorno ai suoi fusti un microecosistema molto efficiente in grado di eliminare gli elementi estranei (ad esempio microrganismi patogeni) (Brix, 1994; Vretare, 2000). Le piante acquatiche hanno la caratteristica di possedere un tessuto spugnoso, il parenchima aerifero, particolarmente sviluppato nei fusti e nelle radici caratterizzato da grandi spazi intercellulari pieni d'aria. Le radici delle piante acquatiche sono infatti normalmente immerse nei sedimenti, cioè in un ambiente poverissimo di ossigeno che impedisce loro di respirare per procurarsi l'energia necessaria all'assorbimento degli ioni. La pianta quindi per sopravvivere trasporta l'ossigeno dagli organi aerei (fusto e foglie) attraverso la rete di canali del parenchima aerifero.

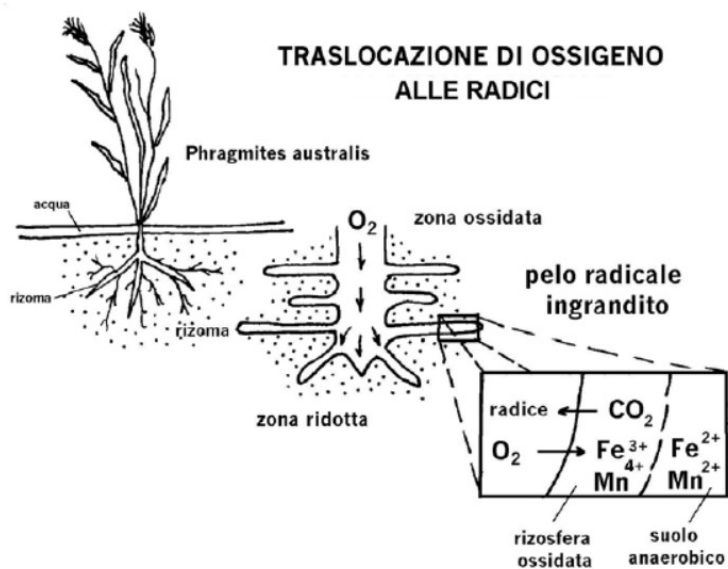


Fig. 12 - Trasferimento di ossigeno in *Phragmites australis*

Il trasferimento di ossigeno all'interno della pianta avviene per diffusione passiva secondo il gradiente di concentrazione del gas negli spazi interni (Fig. 12) e per flusso convettivo guidato dal gradiente di pressione che si genera per i diversi processi fisici presenti. Diversi autori indicano come cause del gradiente di pressione le differenze di temperatura e di tensione di vapore dell'acqua attraverso i setti porosi dei tessuti vegetali, oppure l'effetto Venturi-indotto (fig. 13) che si genera dal gradiente della velocità del vento attorno alla pianta (Armstrng & Armstrng, 1990; Brix, 1993). L'effetto Venturi-indotto consente il passaggio di ossigeno nelle piante danneggiate o morte anche durante l'inverno, e di notte, perché non dipende dalla temperatura esterna.

Sulla quantità di ossigeno trasferito alle radici non esistono valori uniformi in letteratura, probabilmente a causa delle differenti condizioni sotto le quali sono stati condotti gli esperimenti. In letteratura è segnalato un rilascio di ossigeno da parte delle radici di *Phragmites australis*, che oscilla da 0,02 g/m²/d a valori tra 5 e 45 g/m²/d (Reed & Brown, 1992), variabili secondo la densità delle piante, la richiesta di ossigeno da parte del suolo saturo e le caratteristiche di permeabilità delle radici.

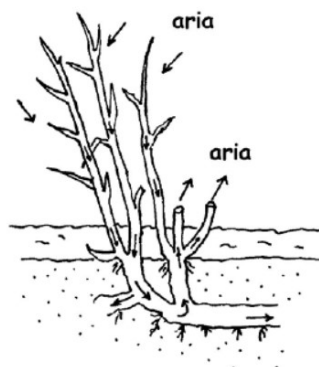


Fig. 13 - Flusso convettivo di gas in Phragmites australis (Brix 1993, modificato)

Le funzioni più importanti che le macrofite svolgono nella depurazione sono legate agli effetti fisici di trasferimento dell'ossigeno. Sviluppando un apparato radicale fitto e intrecciato esse stabilizzano la superficie del substrato garantendo delle buone condizioni per i fenomeni di filtrazione fisica prevenendo così l'intasamento del medium. Inoltre forniscono un'ampia superficie e un ambiente ideale per la crescita microbica; mediano il trasferimento di ossigeno negli spazi in prossimità delle radici, accelerando i processi di degradazione aerobica di sostanza organica e di nitrificazione; assorbono nutrienti; detossificano composti organici tossici e possono essere utilizzate per accumulare metalli pesanti. Infine, la lettiera che si deposita sulla superficie del substrato durante il periodo invernale, isola dal gelo il refluo, consentendo alla popolazione batterica di continuare la sua attività.

Giunto alle radici, l'ossigeno che non viene utilizzato dal metabolismo della pianta va ad ossidare i composti organici presenti nelle vicinanze delle radici, oppure viene usato dai batteri presenti nella rizosfera (Camuccio & Barattini, 2001).

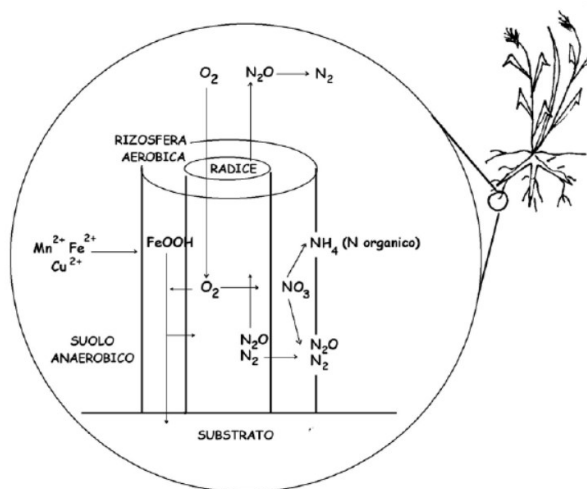


Fig. 14 - Ossidazione di composti organici nei pressi di una radice di Phragmites australis

Il tipo e l'estensione dello sviluppo radicale sono parametri importanti perché influenzano da un lato la profondità a cui può essere trasferito l'ossigeno e dall'altro la quantità di superficie di con-

tatto tra acque reflue e rizosfera. In particolare per *Phragmites australis* il processo di trasferimento dell'ossigeno risulta particolarmente efficiente perché i rizomi di questa macrofita penetrano in profondità, mediamente attorno ai 70 - 80cm (Gersberg, 1986).

Scelta della vegetazione

La scelta delle piante da utilizzare (macrofite galleggianti, sommerse ed emergenti) deve essere effettuata tenendo conto dell'efficacia depurativa delle differenti specie, della loro ecologia, della compatibilità con l'ambiente e della loro disponibilità sul territorio. Inoltre il tipo e l'estensione dello sviluppo radicale sono parametri importanti da tenere in considerazione in fase progettuale perché influenzano da un lato il trasferimento d'ossigeno e dall'altro la superficie di contatto tra il refluo e la rizosfera. Nei sistemi a flusso superficiale la scelta delle piante si baserà sull'altezza dell'acqua mentre su quelli a flusso sub-superficiale sulla penetrazione radicale (tab. 7). Le piante più studiate per la depurazione dei reflui sono per lo più quelle largamente diffuse all'interno dei sistemi umidi adiacenti ai luoghi di realizzazione degli impianti. Esse sono adatte a crescere in un suolo saturo di acqua, o direttamente a contatto con l'acqua stessa e tendono a popolare abbondantemente tali sistemi (Masi, 2000).

	Macrofite emergenti	Macrofite flottanti	Macrofite sommerse
PRINCIPALI SPECIE UTILIZZATE	<i>Carex elata</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Typha latifolia</i>	<i>Eichhornia crassipes</i> <i>Lemna</i> spp.(minor, major, trisulca, ecc.) <i>Nymphaea alba</i> <i>Nuphar lutea</i>	<i>Elodea canadensis</i> <i>Potamogeton</i> spp.
ALTRE SPECIE UTILIZZABILI	<i>Alisma plantago-aquatica</i> <i>Bolboschoenus maritimus</i> <i>Caltha palustris</i> <i>Cladium mariscus</i> <i>Cyperus</i> spp. <i>Glyceria maxima</i> <i>Holoschoenus</i> spp. <i>Iris pseudacorus</i> <i>Juncus effusus</i> <i>Sagittaria</i> spp. <i>Scirpus</i> spp. <i>Schoenoplectus lacustris</i> <i>Sparganium erectum</i> <i>Typhoides arundinacea</i>	<i>Hydrocharis morsus ranae</i> <i>Salvinia natans</i> <i>Spirodela polirrhiza</i> <i>Trapa natans</i> <i>Wolffia arrhiza</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i> <i>Ceratophyllum submersum</i> <i>Myriophyllum spicatum</i> <i>Myriophyllum verticillatum</i>

Legenda: specie = specie esotiche

Tab 5 - Principali specie di macrofite utilizzate in fitodepurazione

	Macrofite emergenti	Macrofite flottanti	Macrofite sommerse
SPECIE ACCESSORIE (utilizzabili con valenza "ecologica" per la ricostruzione dell'ambiente umido)	<i>Berula erecta</i> <i>Butomus umbellatus</i> <i>Carex</i> spp. (flava, fusca, ecc) <i>Eleocharis</i> spp. <i>Hottonia palustris</i> <i>Mentha aquatica</i> <i>Menyanthes trifoliata</i> <i>Nasturtium officinale</i> <i>Oenanthe aquatica</i> <i>Juncus conglomeratus</i> <i>Rhynchospora alba</i> . * <i>Rhynchospora fusca</i> . * <i>Typha angustifolia</i> <i>Triglochin palustre</i> *	<i>Hydrocotyle vulgaris</i> <i>Nimphoides peltata</i> <i>Polygonum amphibium</i> <i>Sparganium minimum</i> * <i>Sparganium angustifolium</i> *	<i>Apium nodiflorum</i> * <i>Berula erecta</i> * <i>Najas marina</i> <i>Ranunculus aquatilis</i> <i>Ranunculus tricoophyllus</i> <i>Vallisneria spiralis</i> *

Legenda: * Specie oligotrofe (di acque pulite povere di nutrienti).

Tab.6 - Principali specie di macrofite accessorie utilizzabili in fitodepurazione

Pianta acquatica	Profondità acqua	range ottimale	Penetrazione radici
<i>Phragmites australis</i>	1 m	5-15 cm	70 cm
<i>Typha latifolia</i>	1 m	15-60 cm	30 - 40 cm
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	1-1.5 m	-	76 cm
<i>Juncus effusus</i>	1-1.5 m	5-15 cm	60 - 90 cm
<i>Sparganium spp</i>	-	60-120 cm	-
<i>Scirpus acutus</i>	-	60-200 cm	-
<i>Carex elata</i>	50 cm	-	60 cm

Tab. 7 -Profondità dell'acqua tollerata in ambiente naturale, range ottimale e penetrazione delle radici nel substrato negli impianti di fitodepurazione per alcune piante acquatiche (Matthey, 1992; Nuttal 1997).

Le macrofite hanno una serie di proprietà intrinseche che le rendono una componente essenziale in relazione al trattamento delle acque di scarico:

- Stabilizzano la superficie dei letti;
- forniscono buone condizioni per la filtrazione fisica;
- influenzano la conduttività idraulica del medium di riempimento;
- prevengono fenomeni di intasamento nei sistemi a flusso verticale;
- creano un sistema isolante contro il gelo delle stagioni invernali;
- forniscono un'enorme area superficiale come substrato per la crescita batterica.

Propagazione della vegetazione

Le piante presenti in un sistema di fitodepurazione possono provenire da aree umide dove crescono in modo spontaneo, oppure essere acquistate presso un vivaista. In generale il prelievo dovrebbe essere effettuato da zone naturali con caratteristiche ambientali simili alle aree di destinazione, così da utilizzare piante già adattate alle particolari condizioni ambientali che interessano, ovviamente nel rispetto della L.R. 2/77 di salvaguardia della flora regionale. Nel caso specifico delle macrofite radicate come *Phragmites*, la tecnica d'impianto principale prevede l'interramento di una sezione di rizoma, con o senza l'apparato aereo, della lunghezza di circa 15-20 cm in modo che comprenda almeno un internodo e due nodi integri. I pezzi di rizoma vanno interrati ad una profondità di circa 20 cm, alla distanza di 25-30 cm uno dall'altro. Nel caso di *Carex elata*, che presenta una crescita cespitosa, si provvede a dividere il cespo in più parti, avendo cura di lasciare in ogni porzione un'adeguata quantità di radici. La densità della messa a dimora è compresa tra 4-5 piante per mq. In genere vengono interrati rizomi in numero leggermente superiore al necessario, in modo da supplire un eventuale non attecchimento di parte delle piante messe a dimora. Successivamente il letto va inondato per stimolare la crescita dei germogli ed evitare la propagazione di specie infestanti non acquatiche. Il migliore periodo per l'impianto è l'inizio della primavera (marzo-aprile); le gemme presenti sui rizomi possono così germogliare subito, evitando di andare incontro a marciumi o gelate riscontrabili nel caso in cui l'interramento avvenga in autunno. La pianta impiega circa 3 anni per arrivare allo sviluppo completo e perché l'apparato radicale raggiunga la massima profondità. Una maggiore crescita delle radici può essere favorita da un regime idraulico con alternanza di secco/umido. Lo sviluppo di rizomi orizzontali consente la totale copertura dell'impianto di fitodepurazione già tra il secondo e il terzo anno vegetativo, sempre che il substrato venga periodicamente ripulito dalle erbacce e il carico idraulico sia attentamente controllato.

Gestione della vegetazione

Una volta cresciute, le macrofite radicate sono più resistenti ad eventuali periodi siccitosi rispetto

alle altre piante considerate. Il problema maggiore è rappresentato dalla presenza di malerbe che competono con le macrofite per le risorse nutritive: la più frequente è l'ortica (*Urtica dioica*), ma possono insediarsi anche diverse specie di graminacee; il vilucchio comune (*Convolvulus arvensis*) è noto anche in agricoltura per essere una pericolosa infestante a causa della sua propagazione stolonifera. Per tale motivo si rende necessario provvedere all'eliminazione manuale delle erbacce cresciute all'interno dell'impianto, operazione che andrebbe effettuata almeno ogni 6 mesi nei primi 3 anni e successivamente solo in caso di bisogno. Anche il perimetro dell'impianto deve essere mantenuto libero da erbe o alberi.

3.11. PROGETTAZIONE

I trattamenti di fitodepurazione sono sistemi progettati per simulare una zona umida naturale allo scopo di depurare le acque reflue. Sono sostanzialmente sistemi di tipo biologico in cui avvengono complesse interazioni chimiche e microbiologiche.

Le soluzioni impiantistiche che possono essere adottate per il trattamento secondario e/o terziario di acque inquinate dipendono sostanzialmente dai seguenti fattori:

- Natura dei reflui da trattare in termini chimici e fisici;
- obiettivi di depurazione prescelti;
- disponibilità di spazio;
- inserimento ambientale .

Sebbene gli impianti di fitodepurazione siano semplici da progettare da un punto di vista "ingegneristico", tuttavia sono ecosistemi complessi se considerati da un punto di vista ecologico e quindi il progettista dovrà possedere una certa familiarità non solo con nozioni di ingegneria idraulica ma anche con i processi fisici, chimici, biologici e con le interazioni ecologiche tipiche di questi ambienti. Il ruolo del progettista varierà a seconda della scala del progetto. Piccoli progetti a basso budget non necessiteranno di un vero team di progettisti: un solo progettista si prenderà la responsabilità del progetto e in questi casi sarà soprattutto necessaria una buona esperienza. Progetti più grandi al di sopra dei 50 abitanti equivalenti richiederanno invece un approccio multidisciplinare di più esperti. E' importante sottolineare che la qualità dell'impianto di fitodepurazione (se funzionerà e soddisferà gli obiettivi del progetto) dipenderà strettamente dalle capacità del progettista, dalla sua esperienza e da una attenta direzione lavori.

Step importante, prima ancora del progetto preliminare è la definizione degli obiettivi. Obiettivo principale è quello di definire parametri qualitativi per la qualità dell'acqua (tab. 8). Per il trattamento di acque reflue civili o industriali gli obiettivi dipenderanno in primo luogo dal corpo idrico recettore nel caso di recapito in acque superficiali, dalla tipologia di suolo e della falda nel caso di sub-irrigazione e nel caso invece l'acqua finale voglia essere riutilizzata bisognerà considerare la destinazione d'uso (domestico, agricolo, industriale).

<i>Principali parametri per la definizione degli obiettivi di qualità:</i>

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Domanda di ossigeno (BOD e COD) • Fosforo (Pt) • Azoto (N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂) • Solidi sospesi (SSt) • Patogeni (Coliformi fecali, Escherichia coli) |
|--|

Tab. 8 - Principali parametri per la definizione degli obiettivi di qualità

Si procederà, quindi, come indicato in tab. 9 al dimensionamento (vedere paragrafo 6.10.2), al calcolo del tempo di residenza e alla scelta e valutazione dei dettagli costruttivi.

Guida alla progettazione	
1°	definizione degli obiettivi
2°	dimensionamento per un particolare afflusso, carico organico, % rimozione degli inquinanti (geometria, area, profondità dei letti)
3°	Tempo di ritenzione
4°	Scelta del medium di riempimento
5°	Scelta dell'impermeabilizzazione
6°	Struttura di ingresso ed uscita per il controllo del livello dell'acqua, riciclo dell'acqua, distribuzione e suddivisione del flusso
7°	configurazione del percorso dell'acqua (serie e/o in parallelo, ecc.)
8°	variazione della profondità dell'acqua entro e tra le celle per garantire biodiversità degli habitat (se richiesto), per migliorare la distribuzione del flusso e la rimozione degli inquinanti
9°	dettagli sulla piantumazione, inclusa la selezione delle specie, densità di piantumazione e spettro specie
10°	piano di avviamento, gestione e manutenzione

Tab. 9 - Guida alla progettazione

Di seguito vengono analizzati i criteri di progettazione riassunti in tab. 10

Criteri di progettazione
Idrologia
Tempo di ritenzione idraulica
Carico idraulico
Medium di riempimento
Condizioni aerobiche/anaerobiche
geometria
impermeabilizzazione
Strutture ingresso e uscita reflu
Configurazione letti
Vegetazione
Rimozione degli inquinanti

Tab. 10 - Criteri di progettazione

Idrologia

I fattori che influenzano l'idrologia sono: precipitazione, infiltrazione, evapotraspirazione, carico idraulico, tipologia del medium di riempimento, profondità dell'acqua. Essi possono influenzare la rimozione dei composti organici, dei nutrienti non solo variando i tempi di residenza ma anche agendo sulla concentrazione del reflu da trattare.

Tempo di ritenzione idraulica

I tempi di residenza possono variare da qualche ora a più giorni. Nella progettazione degli impianti sarà importante massimizzare il contatto tra l'acqua da depurare e i vari componenti dell'ecosistema come biofilm, piante, inerti e così via. L'efficacia del contatto è in relazione al percorso dell'acqua nell'impianto che è strettamente legato al dimensionamento e al tempo di residenza (tempo di permanenza dell'acqua nel sistema). Il contatto del biofilm con il substrato (ghiaia e sabbia, steli di piante, radici e sedimento) è particolarmente importante perché la maggior parte della rimozione degli inquinanti è mediata dall'attività microbica. Quindi la progettazione dovrebbe mirare all'ottimizzazione del tempo di residenza teorico e poi assicurarsi che questo si avvicini il più possibile nella pratica al tempo di residenza reale (DLWC, 1998). Il tempo di residenza è controllato dalla pendenza del letto, dalla vegetazione, dall'area e dalla forma del letto. In estate, l'evapotraspirazione può aumentare in maniera significativa i tempi di ritenzione, mentre il gelo invernale può diminuirli. In una fitodepurazione a flusso sommerso l'acqua si muove attraverso un

medium di riempimento e il tempo di residenza è in funzione della percentuale di afflusso e della conducibilità idraulica del medium stesso (Nuttal et al., 1997).

Carico idraulico

Questa fase della progettazione risulta essere la più complessa, poiché portate e carichi possono subire sensibili variazioni giornaliere e stagionali a seconda del tipo di utenza allacciata, delle condizioni climatiche e del regime delle precipitazioni, delle infiltrazioni di acque superficiali o di falda in rete, ecc. Il carico idraulico è strettamente legato ai fattori idrologici del sito in cui verrà realizzato l'impianto (le condizioni climatiche, la conducibilità del medium, il carico organico, ecc.). Il regime di flusso, continuo o discontinuo, così come la durata tra un carico e l'altro e la perdita d'acqua dovuta all'evapotraspirazione può influenzare le performance durante il periodo estivo. Sono i fattori idraulici insieme alle percentuali di rimozione che si vuole ottenere a determinare, nella progettazione, la geometria e la profondità dell'impianto di fitodepurazione.

Questi fattori mettono in risalto l'importanza di conoscere esattamente le caratteristiche del reflu in entrata, e i relativi carichi di inquinanti, per un calcolo anche approssimato dei tempi minimi di ritenzione idraulica e quindi delle dimensioni dell'impianto. Al fine di limitare gli effetti delle eventuali variazioni di portata, soprattutto in quei siti dove la probabilità di tali eventi è elevata, è frequente il ricorso alla disposizione in parallelo degli impianti a flusso sub-superficiale. La loro disposizione in serie è invece giustificata dall'esigenza di aumentare l'efficacia di alcuni processi che traggono vantaggio dall'aumento del tempo di residenza e quindi di contatto fra liquame e microrganismi.

Medium di riempimento

Il substrato ha un ruolo importante nell'efficienza depurativa dell'impianto perché, oltre a fare da supporto alla vegetazione, rappresenta un filtro meccanico e chimico per alcune sostanze contenute nel reflu. Per questo la scelta del tipo di medium va valutata secondo le caratteristiche dello scarico che si deve depurare. Viene comunemente utilizzato materiale inerte pulito e lavato (ghiaia e sabbia), così da eliminare i rischi d'intasamento del letto con conseguente deviazione del flusso sommerso verso la superficie. Per individuare le miscele più adatte vengono effettuate delle prove di porosità e di conducibilità idraulica, oltre al calcolo della curva granulometrica. Lo spessore del letto sarà ovviamente collegato alla profondità massima raggiungibile dalle radici delle essenze vegetali utilizzate (vedere tab. 7) .

Nei sistemi a flusso sommerso il medium di riempimento è il luogo principale in cui avvengono i processi di depurazione del reflu. Inizialmente il medium è costituito solamente da ghiaia, sabbia o altro materiale: ogni tipologia di materiale scelto avrà la sua propria conducibilità idraulica (vedi tab. 11). Trascorso un certo periodo dall'avviamento dell'impianto, il medium si arricchisce dei microrganismi, solidi sospesi e del particolato organico cosicché si ha un aumento delle dimensioni dei grani con una conseguente diminuzione degli spazi interstiziali. Sarà quindi opportuno scegliere in maniera oculata la dimensione di sabbia e ghiaia onde non incorrere in fenomeni di intasamento.

tipologia	dimensione grani (mm)	porosità (%)	conducibilità idraulica ($K_f = m \cdot d^{-1}$)
Sabbia	1-2	30-32	420-480
Ghiaia	8-16	35-38	500-800
Pietrisco	32-128	40-45	1200-1500

Tab. 11 - Caratteristiche di alcuni tipici medium di riempimento usati per impianti a flusso sommerso (da Nuttal et al., 1997, modificato)

I primi impianti a flusso sommerso orizzontale venivano progettati usando la terra (conducibilità idraulica $0.86 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$) come medium di riempimento: si pensava che questa avrebbe, nel giro di 2 o 3 anni, aumentato la sua conducibilità idraulica col crescere delle piante e delle radici. Al contrario invece accadde che in questi impianti si creavano zone con un flusso superficiale e con ristagni d'acqua, proprio a causa della scarsa permeabilità, e zone prive di acqua in cui la vegetazione stentava a crescere (EC/EWPCA, 1990). Ora è internazionalmente accettato l'uso di ghiaia e sabbia come materiale di riempimento. In particolare negli impianti a flusso orizzontale è consigliabile usare del pietrisco di almeno 50 -100 mm per evitare fenomeni di intasamento in ingresso e in uscita. Nei sistemi a flusso verticale di tipo anglosassone si utilizza ghiaia media (8–16 mm) mentre in quelli di tipo tedesco sabbia grossolana (0-3 mm) preferibilmente di fiume e lavata per evitare che le parti fini intasino gli interstizi. Nei sistemi anglosassoni viene spesso messo uno strato di sabbia (5-15 mm) proprio sulla superficie del letto per favorire la distribuzione dell'effluente: in Galles al CAT (Center for Alternative Technology) è stato sperimentato però che questa sabbia nel tempo è percolata nello strato sottostante di ghiaia andando a bloccarne gli interstizi.

Come substrato possono essere utilizzati anche materiali artificiali come il LECA (light expanded clay aggregate), argilla espansa molto leggera con grani delle dimensioni 1- 32 mm creati ad alte temperature in forni specializzati, oppure i BIOBLOCK, matrici modulari di polietilene autopulenti e ad alta porosità in cui vengono piantumate le radici delle piante. Ancora poco sperimentato è invece l'uso di materiali di scarto come ceneri di combustione (PFA), segatura, scarti di miniera, scarti inerti dell'edilizia. È importante che la terra non entri mai all'interno dei letti durante la fase di realizzazione perché comprometterebbe la conducibilità idraulica del medium.

Condizioni aerobiche/anaerobiche

La differenza tra un suolo saturo e un suolo ben drenato è la disponibilità di ossigeno atmosferico. Nei suoli ben drenati gli interstizi tra le particelle di terreno sono riempite di aria con un determinato contenuto di ossigeno. Di conseguenza i microrganismi che vivono negli interstizi e attorno alle radici delle piante, in cui si creano microzone ossidate (vedere cap. 6.9), otterranno direttamente l'ossigeno a loro necessario per vivere in questi spazi: questi microrganismi sono detti aerobici (es. batteri aerobici). Nei sistemi a flusso sommerso orizzontale come in quelli a flusso superficiale, che sono ambienti saturi, gli interstizi del sedimento e del medium sono riempiti dall'acqua e quindi in essi si instaureranno condizioni prevalentemente anaerobiche (prive di ossigeno), tranne che nelle microzone ossidate adiacenti alle radici delle macrofite. Nei sistemi a flusso sommerso verticale gli interstizi del medium sono pieni d'aria a causa della distribuzione discontinua del refluo, di conseguenza in essi avremo condizioni aerobiche (fig. 15).

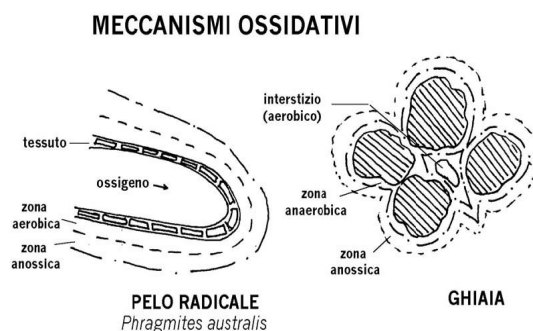


Fig 15 - Confronto tra i meccanismi ossidativi presenti in un impianto a flusso sommerso orizzontale e verticale

I sistemi a flusso superficiale e a flusso sommerso orizzontale riescono a mantenere le condizioni aerobiche necessarie al trattamento del refluo grazie allo scambio di ossigeno che avviene sulla superficie nell'interfaccia aria acqua e dal limitato (vedere cap. 6.9) apporto di ossigeno disciolto proveniente dalle radici e dai rizomi delle macrofite. Nei sistemi a flusso sommerso verticale le condizioni aerobiche sono mantenute, oltre che dalle piante, dalla alimentazione discontinua del refluo: quando l'acqua drena e fuoriesce dal filtro per "l'effetto Venturi" si ha un richiamo di aria dall'esterno che ossigena completamente il filtro. In questi sistemi si dovrà però porre attenzione ai problemi di intasamento del medium (clogging) (Nuttal et al., 1997).

Trattamenti preliminari

Allo scopo di ridurre i rischi di intasamento del medium ad opera dei solidi grossolani o sedimentabili presenti nel refluo, è necessario inserire a monte dell'impianto un comparto per la sedimentazione, che non deve, però, permettere l'innescio di processi di degradazione anaerobica. Essi sono infatti difficilmente gestibili nell'impianto, a causa degli odori sgradevoli e degli animali che vi si possono sviluppare. Mentre nelle vasche Imhoff tradizionali i processi di fermentazione anaerobica si instaurano sempre, a causa dell'elevato tempo medio di ritenzione, nelle vasche settiche a due o tre camere, nelle quali il tempo medio di ritenzione è più contenuto, è possibile ottenere un liquame fresco chiarificato in cui non sono ancora evidenti i segni del processo anaerobico. Se la composizione degli scarichi lo richiede a monte della fitodepurazione possono essere adottati anche trattamenti di grigliatura, dissabbiatura e disoleazione.

Strutture di ingresso e uscita

Aspetti importanti per la riuscita di un impianto di fitodepurazione sono rappresentati dal sistema di distribuzione del liquame e dalla regolazione del suo livello all'interno del letto. In un sistema a flusso sommerso orizzontale il liquame in entrata può essere distribuito in diversi modi, quali una canaletta superficiale, un tubo superficiale con elementi a T, un tubo sommerso forato oppure a ingresso libero. Tutti questi elementi hanno lo scopo di garantire un flusso uniforme lungo la larghezza del letto. Generalmente sono preferiti i sistemi a distribuzione superficiale perché riducono il rischio di intasamento e sono più facili da pulire. In ogni caso, sia in testa che in coda alla vasca, deve essere realizzata una striscia trasversale di materiale inerte di grossa pezzatura, larga almeno 1 m, in modo che non si creino linee di flusso preferenziali all'interno del letto (Pergetti, 1994). Prima dell'uscita, sul fondo, viene posto un tubo di drenaggio microforato per raccogliere le acque trattate che vengono poi convogliate in un pozzetto regolatore di livello tramite una tubazione a gomito: questo dispositivo garantisce la regolazione del livello idrico all'interno del sistema, permettendo lo svuotamento totale della vasca o il suo allagamento, utile per eliminare le eventuali piante infestanti.

Nei sistemi a flusso sommerso verticale la distribuzione uniforme del refluo sulla superficie del letto è ottenuta tramite tubi in PVC o PE, forati, posti sotto l'ultimo strato di inerti o alzati dieci cm sopra la superficie. Normalmente in questi sistemi l'alimentazione è discontinua e controllata da una pompa o da un sifone.

Impermeabilizzazione

Per evitare fenomeni di inquinamento della falda, i bacini di depurazione devono essere impermeabilizzati, utilizzando a tale scopo manti bentonitici o sintetici ed escludendo, invece, i manufatti in cemento per una questione di costi e di sicurezza di tenuta. La possibilità di utilizzare terreno argilloso, pur essendo la più economica, è limitata dalla permeabilità del terreno stesso che deve

essere molto bassa, indicativamente pari a $K_s < 10-8 \text{ m/s}$, e con la quota di falda a non meno di un metro sotto la base del letto (Cooper, 1993). In genere sono preferiti i manti sintetici come LDPE, HDPE (polietilene a bassa ed alta densità) o PVC, con spessore variabile da 0,5 a 2 mm, spesso protetti superiormente e inferiormente da un foglio di tessuto non tessuto. Le strisce di HDPE andranno saldate tra loro, garantendo un isolamento totale del fondo e delle pareti dell'impianto di fitodepurazione rispetto al suolo circostante.

Configurazione dei letti

La configurazione di un impianto di fitodepurazione si riferisce alla dimensione e alla forma dei singoli elementi o celle che dovranno essere progettati in modo tale da essere facili da costruire, minimizzare i lavori di scavo e favorire un facile accesso per la manutenzione. Le singole celle possono essere disposte in serie o in parallelo o con una combinazione di queste due configurazioni. La configurazione scelta deve essere basata su una chiara comprensione degli obiettivi prescelti, sulla qualità dell'acqua in ingresso, sulla qualità dell'acqua che si desidera in uscita, sul regime idraulico e su una valutazione preliminare del sito.

Il principale vantaggio di una disposizione delle celle in parallelo è la flessibilità del funzionamento poiché ogni singola cella può facilmente essere esclusa dal flusso in caso di guasto. In questi casi bisogna prestare attenzione durante la realizzazione che avvenga una adeguata suddivisione del flusso che in genere non deve essere complesso e sempre proporzionato alle dimensioni delle celle. Il principale vantaggio di una disposizione delle celle in serie è la riduzione del corto circuito idraulico. Altri vantaggi includono il favorire il riciclo tra le singole celle e di separare fisicamente le zone di trattamento per ogni inquinante (es. rimozione della materia organica precede la rimozione dell'azoto e così via). Le celle in serie possono essere progettate in modo tale che la rimozione della materia organica avvenga nel primo letto; poi il refluo può essere "riaerato" tra i due letti in modo da favorire la nitrificazione nel secondo letto, la denitrificazione nel terzo letto e così via.

3.12. DIMENSIONAMENTO

Nonostante la semplicità tecnologica degli impianti di fitodepurazione, le variabili da considerare per la loro corretta esecuzione sono varie e non sempre direttamente valutabili. Per la presenza di aspetti impiantistici, biologici e paesaggistici differenti è consigliabile che la progettazione venga condotta da professionisti provenienti da diversi settori (naturalistico, biologico, ingegneristico, chimico, geologico). E' sempre molto riduttivo affidarsi completamente ad un approccio basato esclusivamente sul dimensionamento superficiale (m^2 per abitante equivalente). Tuttavia ciò può risultare utile per un primo dimensionamento di massima e come verifica finale. Inoltre non bisogna dimenticare che la prima domanda che dobbiamo porci quando iniziamo a progettare un impianto di fitodepurazione è: "Qual è l'obiettivo che voglio raggiungere?".

Per i **sistemi a flusso superficiale e pelo d'acqua libero** i criteri da considerare durante la progettazione sono (Vismara, 2000 ; Borin & Marchetti, 1997):

- Carico organico in entrata;
- portata idraulica media giornaliera in entrata;
- profondità delle vasche;
- rapporto tra lunghezza e larghezza delle vasche;
- tempo di ritenzione idraulica nel/nei bacino/i;
- numero di sistemi depurativi posti in serie o in parallelo;
- rapporto tra specchio di acqua e area vegetata.

A titolo indicativo è possibile riferire dei valori progettuali medi tratti dalla bibliografia (Vismara, 2000 ; Crites, 1994):

Fattore	Valore medio
Tempo di permanenza, in <i>giorni</i>	5-14
Carico organico massimo (BOD), in <i>kg/ha per giorno</i>	80
Profondità dell'acqua, in <i>metri</i>	0,15 - 0,8
Superficie vasche, in <i>m²/abitante equivalente</i>	4- 40 m ² /ae (> 20 per tratt. 2°)
Rapporto lunghezza/larghezza vasche	2:1 – 10:1
Rapporto specchio d'acqua e area vegetata (%)	40-60

Tab. 12 - Criteri per la progettazione di sistemi a flusso superficiale

Un' indicazione di massima utile a definire l'area complessiva necessaria per la depurazione di un reflu di tipo domestico, in cui gli obiettivi di qualità da raggiungere riguardano solo il BOD e i solidi sospesi oppure un finissaggio, è di 20 -100 mq per mc di effluente giornaliero, che corrisponde a 4 -20 mq/ abitante equivalente (Kadlec & Knight, 1996). Questo preliminare approccio non è idoneo ad esempio per la nitrificazione per cui sono necessarie superfici maggiori di 20 mq/ abitante equivalente ed un'analisi progettuale più approfondita (vedere box: dimensionamento sistemi a flusso superficiale con macrofite radicate).

DIMENSIONAMENTO SISTEMI A FLUSSO SUPERFICIALE CON MACROFITE RADICATE

Il dimensionamento dei bacini di trattamento viene effettuato secondo metodi diversi, alcuni di tipo empirico ed altri legati ad equazioni di reazione cinetica. Per una fase preliminare si devono considerare valori di 2,5-5 m²/ab eq quando il BOD ed i solidi sospesi rappresentano i fattori limitanti, e 6-15 giorni per la completa nitrificazione dell'effluente. Dovendo giungere ad un dimensionamento più rigoroso si riportano alcune equazioni del metodo di Reed (Reed, 1995) rimandando alla bibliografia per un approfondimento completo dell'argomento. Le equazioni che seguono si basano sulla rimozione biologica di alcuni principali parametri (BOD, ammoniaca e nitrati).

$$\ln\left(\frac{C_i}{C_0}\right) = K_T * t$$

$$K_T = K_R * \theta^{(T_w - T_R)}$$

$$t = \frac{V_f}{Q} = \frac{A_z * y * n}{Q}$$

$$A_z = L * W = \frac{Q * t}{y * n} = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_i}{C_0}\right)}{K_T * y * n}$$

Dove:

A_s= area del bacino (m²)

C₀= concentrazione in uscita (mg/l)

C_i= concentrazione in entrata (mg/l)

K_R= costante alla temperatura di riferimento

K_T= costante alla temperatura T_w

L= lunghezza del bacino (m)

n= porosità

t= tempo di residenza idraulico (in giorni)

T_w= temperatura dell'acqua nel bacino (°C)

T_R= temperatura di riferimento (°C)

V_f= volume effettivo del bacino (m³)

W= larghezza bacino (m)

y= profondità bacino (m)

q_R= coefficiente di temperatura (θ_R)

Q= portata

Valori delle costanti e coefficienti di temperatura (Reed, 1995)

Parametro	BOD	Nitrificazione	Denitrificazione
TR (°C)	20	20	20
KR(d ⁻¹)	0,678	0,2187	1,000
qR	1,06	1,048	1,15

Per i **sistemi a flusso sommerso**, invece, i criteri sono sostanzialmente più complessi. Gli elementi che dovranno essere considerati nell'analisi sono:

- Determinazione del tipo di sistema idraulico (orizzontale, verticale o misto);
- scelta del pretrattamento;
- scelta del medium di riempimento e costante di permeabilità;
- scelta delle essenze vegetali;
- determinazione della profondità del letto;
- determinazione dell'area trasversale;
- determinazione dell'area superficiale necessaria alla rimozione del BOD₅;
- determinazione dell'area superficiale necessaria alla rimozione dell'azoto;
- carico idraulico superficiale;
- tempo di residenza;
- verifica idraulica.

Sistemi a flusso sommerso orizzontale con macrofite radicate emergenti

Anche in questo caso esiste la possibilità di un dimensionamento preliminare per approssimazione. Riportiamo nella tabella 13 le indicazioni contenute nelle principali linee guida e manuali internazionali.

parametri		Önorm	IOV	Crites Tchob.	Vymazal	WRC Cooper	Brix
Area	≥ 5 m ² /a.e. valore minimo superficiale totale 20 m ²	6 m ² /a.e. per BOD	5 m ² /a.e.		2°: 5 m ² /a.e. 3°: 1 m ² /a.e.	2°: 5 m ² /a.e. 3°: 0.5-1m ² /a.e.	
Materiale riempimento (Substrato)	U=d ₈₀ /d ₁₀ ≤ 5	Ghiaia ingresso 16-32 (4-8)mm principale 4-8 (2-4)mm		Ghiaia ingresso 50mm principale 3-32 mm	Ghiaia lavata 3-16 mm	Ghiaia lavata: 3-6 mm 5-10 mm 6-12 mm	U=d ₈₀ /d ₁₀ ≤ 4 d ₁₀ >0.3 mm
Permeabilità substrato	Kf ≈ 10 ⁻⁴ - 10 ⁻³ m/s				Kf ≈ 10 ⁻³ - 3*10 ⁻³ m/s	Kf ≈ 10 ⁻³ m/s	Kf ≈ 1*10 ⁻³ m/s
Carico idraulico superficiale	4 cm/d	5 cm/d				2°: < 5 cm/d 3°: < 20 cm/d	
Carico organico		112 kg/ha*d			<80 kg/ha*d		
profondità	□ 0.5 m			0.45-0.75m	0.6 - 0.8m	0.6 m	0.6

Legenda: 1° trattamento primario: filtrazione e sedimentazione

2° trattamento secondario: biologico

3° trattamento terziario: finissaggio (microbiologico, denitrificazione)

Tabella 13: criteri di dimensionamento preliminare di un sistema a flusso orizzontale

DIMENSIONAMENTO SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO ORIZZONTALE CON MACROFITE RADICATE

Un criterio più preciso utilizza la seguente equazione per la determinazione dell'**area superficiale**, ampiamente diffusa in Europa, proposta inizialmente da Kickuth e consigliata dall'European Design and Operations Guidelines (EC/EWPCA, 1990).

$$A_h = Q_d (\ln C_o - \ln C_t) / K_{BOD}$$

Dove:

A_h = area superficiale, m²

Q_d = portata media giornaliera del refluo, m^3/d

C_o = valore medio del BOD_5 in entrata, mg/l

C_t = valore medio del BOD_5 richiesto in uscita, mg/l

K_{BOD} = costante, m/d

In letteratura sono proposti diversi valori di K_{BOD} , il quale varia anche a seconda della temperatura o del tipo di trattamento, ottenendo così, per gli stessi dati di partenza, superfici che variano da 0,5 a 5 m^2/ab . eq. L'equazione di Kickuth rappresenta un tentativo di modellizzare i sistemi SF in modo da poterli dimensionare secondo criteri più o meno standard, utilizzando parametri fondamentali per le tecnologie depurative e valutabili oggettivamente.

$$K_{BODt} = K_{BOD20} (1,1)^{t-20}$$

Altro parametro di un certo significato è rappresentato dall'area trasversale che può essere calcolata con l'**equazione di Darcy**: $A_c = Q_s / [k_f \cdot dH/ds]$

Dove: A_c = area trasversale, m^2

Q_s = portata media del refluo, m^3/s

k_f = conduttività idraulica, m/s

dH/ds = pendenza della base del letto, m/m (dH = profondità media del letto; ds = lunghezza del letto).

Nell'applicazione di questo calcolo, Cooper consiglia di utilizzare materiale di riempimento caratterizzato da conducibilità idraulica non inferiore ai 10-3m/s, per limitare la possibilità di intasamento, con una profondità media del letto di 0,6 m e con pendenza non superiore al 1% (Cooper, 1993). Calcolata l'area trasversale, si può ottenere la larghezza minima del letto ($A_c/0,95 \cdot d_{min}$) così da definirne la geometria, ovvero il rapporto tra lunghezza e larghezza. Un valore adeguato di questo parametro elimina i rischi di corto circuito idraulico con possibile scorrimento in superficie del refluo, che comporta la riduzione dell'efficienza depurativa. Il rapporto tra la profondità del letto e la sua lunghezza permette di individuare il massimo gradiente idraulico disponibile, necessario affinché ci sia un movimento netto del liquame dall'entrata verso l'uscita senza ritorni o ristagni di flusso. Sulla base delle dimensioni reali ottenute dal progetto deve essere fatta una verifica del profilo idraulico (inteso come livello dell'acqua all'interno del letto, livello che deve essere sempre su una superficie orizzontale). Quest'ultimo aspetto è necessario per gestire in modo flessibile l'altezza dell'acqua, così da garantire, da un lato, la completa e uniforme immersione dell'apparato radicale lungo il letto e, dall'altro, la riduzione della possibilità che si instaurino condizioni di flusso superficiale all'inizio delle vasche. Le dimensioni del sistema influenzano il tempo di ritenzione del liquame nell'impianto e quindi l'efficienza di rimozione degli inquinanti. In letteratura sono indicati tempi di ritenzione idraulica molto differenti, da 2 a 60 giorni, ma per ottenere una buona nitrificazione ne sono consigliati almeno 4,3 (Kemp, 1997).

Sistemi a flusso sommerso verticale con macrofite radicate emergenti

Come si evince dalla tab. 14 esistono due scuole di pensiero riguardo agli impianti a flusso verticale:

- La scuola di lingua inglese tende ad utilizzare questa tipologia impiantistica in sistemi a più vasche collegate in serie e/o in abbinamento con i sistemi a flusso orizzontale. I materiali di riempimento privilegiati sono ghiaia a granulometria decrescente con uno strato di sabbia sulla superficie.
- La scuola di lingua tedesca utilizza invece come prevalente materiale di riempimento sabbia media con tendenza al ricircolo, per piccoli impianti, per l'abbattimento dell'ammoniaca.

parametri	ATV	Onorm	IOV	Reed	Vymazal	WRC Cooper
Area	2.5 m ² /ae valore minimo superficiale 10 m ²	5 m ² /a.e. per BOD	2-4 m ² /a.e.		2° sotto 100 ae: 1^vasca 0,8-2 m ² /ae 2^vasca: 50-60% della 1^ vasca 1 m ² /AE BOD 2-5 m ² /AE BOD+N 3° < 1-2 m ² /AE	2°: 1 m ² /ae BOD 2°: 2 m ² /ae BOD+N sotto 100 a.e.: 1^ vasca 3.5ae+0.6 a.e. 2^ vasca 50% della 1^
Materiale riempimento (Substrato)		Dall'alto al basso: 5 cm ghiaia 8/16 60 cm sabbia 0/4 15 cm ghiaia 40mm 20 cm ghiaia 16/32	sabbia	Dall'alto al basso: 8 cm sabbia 15 cm ghiaia 6mm 10 cm ghiaia 12mm 15 cm ghiaia 40mm	Sabbia e ghiaia (0-12 mm)	Dall'alto al basso: 8 cm sabbia 15 cm ghiaia 6 mm 10 cm ghiaia 12 mm 15 cm ghiaia 30-60mm
Permeabilità substrato			Sabbia Kf ≈ 10 ⁻³ -10 ⁻⁵ m/s d ₁₀ = 0.2-0.3 mm		Kf ≈ 10 ⁻³ -10 ⁻⁴ m/s d ₈₀ /d ₁₀ < 4.	
Carico idraulico superficiale	60 mm/d		30-60 mm/d	30 mm/d	20-80 mm/d	
Carico organico			10-20g BOD/m ² ·g			
T residenza						
profondità	□ 0.8 m	0.5-0.8 m	0.5-1.5 m			

Legenda: 1° trattamento primario: filtrazione e sedimentazione

2° trattamento secondario: biologico di ossidazione

3° trattamento terziario: finissaggio (per carico microbiologico, denitrificazione/nitrificazione)

Tabella14: criteri di dimensionamento preliminare di un sistema a flusso verticale

DIMENSIONAMENTO SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO VERTICALE CON MACROFITE RADICATE

Una metodologia per il dimensionamento dei bacini a flusso verticale utilizza le seguenti procedure: Si calcola il fabbisogno di ossigeno sulla base di 1.0 kg di O₂ per kg di BOD da rimuovere e di 4.3 kg di O₂ per kg di NH₃ da ossidare (Cooper, 1996); Si dimensiona il letto verticale considerando un coefficiente di aerazione superficiale pari a 30 grammi di O₂ per m² di superficie (Brix, 1998) e si fissa la sua altezza pari ad 0.9 m. Conoscendo quindi il fabbisogno di ossigeno ed il coefficiente di aerazione superficiale si ricava una superficie poi aumentata del 25% come fattore cautelativo. In riferimento alle Linee Guida tedesche per la realizzazione di sistemi verticali per utenze civili (ATV, 1997) si richiede il valore di 50 g/m² per giorno per il carico organico in ingresso al sistema espresso come COD.

(Platzer, 2000)

$$A_s = \frac{OD}{K_a} + \frac{OD}{K_a} \cdot 0.25$$

A_s = area superficiale

OD= domanda di ossigeno

K_a= costante

Richiesta di Ossigeno (OD) [g/d] = (0.85 · 0.7 · CODinf [g/d] + 4.3 · TKNinf [g/d] - 0.1 x 2.9 x TKNinf [g/d])

K_a = 30-56 gr O₂/m² · d.

Basata su:

- Rimozione del COD dell' 85 %
- Consumo di ossigeno di 0.7 g O₂/g COD.
- Richiesta di ossigeno per la nitrificazione è calcolata con 4.3 g O₂/g TKN.
- Recupero di ossigeno per denitrificazione di 2.9 g O₂/g NO₃-N_{denitr}

assumendo una denitrificazione del 10%.

SISTEMI A FLUSSO LIBERO

Con i sistemi a flusso libero (FW) si intende ricreare le caratteristiche idrauliche, vegetazionali, ambientali e i processi biologici propri delle zone umide naturali. Si tratta quindi di sistemi con un

forte indice di naturalità, difficilmente standardizzabili sia dal punto di vista delle metodiche di dimensionamento che del design.

Il design di un sistema a flusso libero deve essere elaborato caso per caso tramite un approccio multidisciplinare, in relazione alle condizioni climatiche ed edafiche del sito di intervento, oltre agli obiettivi depurativi ed alla tipologia di acqua da trattare.

Elementi di dimensionamento

Per i sistemi a flusso superficiale i criteri da considerare durante la progettazione sono riassunti nelle pubblicazioni di Vismara (2000) e Borin e Marchetti (1997), in cui sono sintetizzati i parametri esposti nelle principali pubblicazioni internazionali, in particolare i già citati Reed, Kadlec & Knight e USEPA.

In particolare devono essere considerati i seguenti parametri progettuali:

- Carico organico in ingresso;
- portata idraulica media giornaliera;
- profondità del bacino;
- rapporto tra lunghezza e larghezza del bacino;
- tempo di ritenzione idraulica nel sistema;
- rapporto fra aree piantumate e specchi d'acqua liberi (acqua profonda);
- configurazione del sistema (bacini in serie o in parallelo).

A titolo indicativo, in Tabella 15 sono riportati i valori indicati in letteratura per i principali parametri progettuali di questi sistemi (Vismara, 2000; Crites, 1994)

Parametro progettuale	U.D.M	Valore medio
Tempo di residenza idraulica	giorni	5-14
Carico organico massimo (BOD ₅)	Kg/ha/giorno	80
Profondità dell'acqua	m	0,15 – 0,8
Superficie del bacino	m ² / A.E.	4- 40 (> 20 -Trattamento secondario)
Rapporto lunghezza/larghezza	---	2:1 – 10:1
Rapporto specchio d'acqua/area vegetata	%	40-60

Tabella 15 – Valori caratteristici dei parametri progettuali per sistemi a flusso libero

L'utilizzo di sistemi a flusso libero come stadio di trattamento finale può avere uno o più obiettivi diversi, dai quali dipendono anche alcune scelte di design:

- Completamento della denitrificazione;
- disinfezione finale;
- ossigenazione del refluo, prima della sua restituzione all'ambiente;
- filtrazione per la rimozione dei solidi sospesi residui;
- adsorbimento metalli pesanti;
- miglior inserimento ambientale;
- ricreazione di habitat acquatici o fluviali;
- completamento della depurazione ed accumulo per scopi di riutilizzo (irrigazione, servizio antincendio, etc).

Geometria delle vasche

Le geometrie e le forme utilizzabili nel design di un sistema FW sono numerose , in quanto l'obiettivo primario è ricostruire un habitat che si evolverà in modo completamente naturale e au-

tonomo, garantendo l'instaurarsi progressivo di un'elevata biodiversità. Inoltre, molto spesso, ad influenzare la forma generale e la configurazione del sistema, è la morfologia dell'area di intervento.

Non esistono dati analitici che permettano di privilegiare una forma rispetto ad un'altra in termini di effetti depurativi. In ogni caso devono essere considerati attentamente gli effetti di ogni scelta di design in termini di perdite di carico, di cortocircuiti idraulici, di erosione o di interrimento delle sezioni longitudinali e trasversali del sistema.

In generale in un sistema a flusso libero si possono distinguere le seguenti zone funzionali:

- Zona di immissione;
- specchi di acqua libera più profondi privi di vegetazione;
- zona litoranea vegetata (anche isole) e argini;
- zone filtranti vegetate;
- soglie e stramazzi;
- zona di uscita.

Uno dei parametri di design più importanti in relazione al funzionamento idraulico ed agli effetti depurativi di questi sistemi è il rapporto tra lunghezza e larghezza della zona umida, definito generalmente come Aspect Ratio (AR). I sistemi FW esistenti presentano valori di AR compresi tra 1 e 90, ma il rapporto migliore è compreso tra 4:1 e 10:1, come sostenuto in diverse pubblicazioni scientifiche (Knights, 1987; Gearheart, 1992; Hammer, 1989; NSW, 1998). Rapporti maggiori di 10:1 possono essere adottati attraverso l'inserimento di zone di redistribuzione del flusso (ad esempio zone ad acqua profonda) e tramite un'accurata definizione del profilo idraulico del sistema. Spesso i sistemi a flusso libero sono costituiti da una serie di celle funzionali con lo scopo di minimizzare il rischio di cortocircuiti idraulici e quindi di migliorare le rese depurative del sistema. La realizzazione di diverse celle in serie, possibilmente con l'alternanza di sistemi filtranti a flusso sommerso, consente inoltre un miglior rendimento nell'abbattimento della carica batterica.

La pendenza di un sistema a flusso libero deve essere piuttosto costante lungo la direzione di scorrimento principale, compreso tra 0,3 e 2%. In senso trasversale, invece, si consiglia di adottare altimetrie e pendenze variabili, in modo da favorire l'attecchimento di specie vegetali diverse (che richiedono "altezze bagnate" diverse).

L'alternanza di zone ad acqua libera a zone vegetate è un fattore molto importante nel design di un sistema a flusso libero. Le zone ad acqua libera, prive di vegetazione emergente, servono per facilitare molti processi naturali tra cui la riduzione di cortocircuiti idraulici, la disinfezione tramite raggi UV, la riossigenazione, la sedimentazione delle particelle più fini, la miscelazione della colonna d'acqua e la riduzione di zone stagnanti. Se un sistema FW è applicato come post-trattamento finalizzato alla rimozione di SST, carico organico e microbiologico possono essere utilizzati rapporti compresi fra 1:3 e 1:5. Nel caso in cui l'obiettivo sia la rimozione dei nutrienti sono indicati rapporti più elevati, riducendo al minimo gli specchi d'acqua. Al contrario, se l'obiettivo principale è la riduzione della carica microbiologica, risulta conveniente massimizzare la superficie degli specchi d'acqua e prevedere l'alternarsi di settori a flusso libero con settori a flusso sommerso.

Le zone ad acqua libera dovranno avere profondità variabili tra 1,2 e 2,5 m per prevenire la colonizzazione di piante macrofite emergenti e favorire la diffusione di specie sommerse o galleggianti. La profondità dell'acqua delle zone vegetate deve tener conto dell'ecologia delle piante selezionate.

I letti filtranti vegetati sono realizzati seguendo la filosofia dei sistemi a flusso sommerso, particolarmente indicati per ottenere sia la sedimentazione dei solidi sospesi mediante filtrazione sia un'efficace abbattimento della carica batterica grazie all'alternarsi con zone a flusso superficiale.

L'inserimento di isole e zone emerse può migliorare l'efficienza idraulica del sistema e può funzionare come elemento di diversione dei flussi; il suolo dell'isola dovrà essere almeno 30 cm più alto del livello standard del pelo libero.

L'inserimento di soglie e stramazzi può essere un valido elemento di passaggio tra una zona e l'altra del FW, in quanto permette da un lato di guadagnare quota mantenendo pendenze più elevate nei vari settori e dall'altro di migliorare l'ossigenazione dell'acqua trattata.

Medium di riempimento

Il fondo di un sistema FW, una volta impermeabilizzato, deve essere ricoperto con uno strato di terreno vegetale dell'altezza di 20-40 cm la cui funzione è quella di consentire l'attecchimento delle essenze vegetali e di fornire una protezione meccanica al sistema di impermeabilizzazione.

Il terreno vegetale da utilizzare dovrà essere privo di radici, erbe infestanti, ciottoli e sassi; inoltre non deve contenere elevate quantità di argille. I suoli con tessitura da sabbiosa a limosa e con alto contenuto organico sono i più favorevoli allo sviluppo e alla rapida propagazione della vegetazione.

Per quanto riguarda invece gli inerti di riempimento da utilizzare nelle zone filtranti, valgono le stesse considerazioni formulate per i sistemi a flusso sommerso orizzontale.

Impermeabilizzazione

Nel caso di utilizzo di un sistema a flusso libero come post-trattamento di un impianto di depurazione, al fine di evitare l'infiltrazione delle acque nel suolo, si deve ricorrere a sistemi di impermeabilizzazione con gli stessi requisiti di permeabilità dei sistemi a flusso sommerso.

La realizzazione di questi sistemi su terreni argillosi a bassa permeabilità e/o l'utilizzo di un substrato argilloso se da una parte è la scelta più sostenibile, dall'altro deve essere limitata solo ai casi in cui la permeabilità del terreno è molto bassa, indicativamente con $K_s < 10^{-8}$ m/s e la quota della falda oltre 1 metro sotto la base del sistema.

Nel caso in cui comunque si utilizzi argilla per impermeabilizzare il sistema, questa deve essere posta in opera su due strati ben compattati, di altezza minima totale pari a 30 cm.

In genere il ricorso a manti sintetici, con spessore variabile da 0,5 a 2 mm, costituisce la scelta più economica (ma meno ecologica) e che garantisce una perfetta tenuta del bacino; la facilità della posa in opera dipende però dalle geometrie e dal design del sistema.

Nel caso di presenza della falda si deve comunque richiedere l'intervento di un geologo per quantificare la possibile sotto spinta idraulica e valutare le opere necessarie a mitigare gli effetti conseguenti.

Sistemi di alimentazione, regolazione e raccolta

L'immissione del refluo deve essere progettata con l'obiettivo di ottenere una buona distribuzione del flusso lungo l'intera larghezza della zona iniziale. Inoltre, la velocità del refluo in ingresso deve essere contenuta per facilitare lo sviluppo delle piante e limitare al massimo i fenomeni di erosione. Come sistemi di alimentazione si possono utilizzare:

- Tubazioni in PE o PVC per gli scarichi provviste di idonee sezioni di uscita (analoghe ai dispositivi di alimentazione di sistemi HF) superficiali o immerse in un letto ghiaioso;
- canalette di distribuzione con soglia stramazante;

- stramazzo da canale o tubazione su zona profonda.

La maggior parte dei solidi sospesi dovrebbe essere rimossa nella zona di ingresso del sistema. Per questo è consigliabile che sia progettata con profondità adeguata (le "Linee Guida" dell'EPA, al riguardo, consigliano profondità medie di 1 m) e con un tempo di ritenzione scelto in base ai valori in ingresso del parametro ed agli obiettivi depurativi.

I dispositivi di uscita dell'acqua in un sistema a flusso libero svolgono le seguenti funzioni:

- Regolazione dei livelli idrici,
- consentire i prelievi per il campionamento,
- consentire, se richiesto, lo svuotamento completo dell'area umida o delle celle che la compongono.

Al fine di minimizzare la possibilità che si verifichino fenomeni di intasamento del sistema di uscita è consigliabile prevedere una zona ad acqua profonda prima del dispositivo di uscita, per consentire una ridistribuzione dei flussi. Al fine di bloccare le biomasse vegetali contenute nell'effluente è opportuno prevedere un sistema di filtrazione finale realizzato con un letto di ghiaia grossolana (o con una griglia a maglie larghe).

La raccolta delle acque può essere realizzata ricorrendo a una tubazione microforata per il drenaggio o attraverso l'installazione di apposito pozzetto drenante o di una soglia a stramazzo.

Al fine di consentire lo svuotamento e la regolazione idraulica dei bacini e delle loro sottozone, necessari in fase di avvio del sistema e per la sua gestione, devono essere previsti manufatti di regolazione dei livelli e by-pass quali palancole, paratoie, stramazzi regolabili, scarichi di fondo, etc.

3.13. RISULTATI ANALITICI (IMPIANTI DI FITODEPURAZIONE)

Nell'ambito della progettazione del nuovo impianto di depurazione a servizio del Comune di Sanza (SA), in riferimento alla previsione di un processo di affinamento del refluo trattato con impianto di depurazione del tipo biologico o eventualmente nel trattare le portate eccedenti derivate allo stesso impianto (bypass idraulico), si prevede di affinare l'effluente mediante impianti di fitodepurazione:

- Fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale e verticale
- Fitodepurazione a flusso superficiale (Free Water Surface).

In ragione delle scelte progettuali di seguito si andranno a dimensionare gli impianti.

Dimensionamento impianto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale e verticale

Dati di progetto:

$$Q = 25 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{COD} = > 950 \text{ mg/l}$$

$$\text{BOD} = 200 \text{ mg/l}$$

$$\text{pH} = 6,50 - 9,00$$

$$\text{Pendenza} = 0,01$$

$$\text{Profondità medium} = 0,80 \text{ m}$$

$$\text{Valore limite} = 0,5 \text{ kgBOD}_5/\text{mq} \cdot \text{d}$$

$$\text{Carico organico} = 9,00 \text{ g BOD}_5/\text{mq} \cdot \text{d}$$

$$\text{Carico idraulico} = 0,10 \text{ m/d}$$

$$K_5 = 500 \text{ m/d}$$

$$T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$$

Si assume, quale mezzo filtrante, ghiaia lavata con granulometria 20÷30 mm.

Materiale	D10 (mm)	E (%)	Kf m/d	cm/s
Ciottoli	128	38÷45	50.000÷250.000	60÷290
Ghiaia grossa	32	36÷40	10.000÷50.000	12÷60
Ghiaia media	16	35÷38	1.000÷10.000	1,2÷12
Ghiaia fine	81	30÷35	500÷5.000	0,58÷5,8
Sabbia molto grossa	2	28÷32	100÷1.000	0,12÷1,2

Tabella - Caratteristiche materiale di riempimento

Come risulta dalla tabella sulle caratteristiche di riempimento, la sua conducibilità idraulica, in condizioni pulite, è di 10.000 m/d. seguendo le indicazioni dell'EPA, si prevede per un primo tratto del letto (30% della lunghezza) una conducibilità pari all'1% della conducibilità in condizioni pulite (e quindi pari a 100 m/d) e per il secondo tratto del letto (70%) una conducibilità pari al 10 % della conducibilità in condizioni pulite (e quindi pari a 1.000 m/d). Si assume altresì l'altezza del materiale filtrante di 80 cm nella zona iniziale del letto, la pendenza di fondo del letto pari a 0.01%, una differenza di quota fra la superficie del letto iniziale e il livello del liquido iniziale pari a 10 cm. Il livello liquido iniziale risulta pertanto di 70 cm. Assumendo come quota "0" quella iniziale del fondo del letto, risultano pertanto:

- Livello liquido iniziale = + 0,70 m
- quota del mezzo filtrante iniziale = +0,80 m

Determinazione della superficie complessiva del letto, "As"

Si applica la

$$As = Q \times (\ln Li - \ln Le) / K_{BOD(T)} \quad (1)$$

dove:

As = area superficiale del letto, m²;

Q portata media giornaliera, m³/d;

Li concentrazione media di BOD₅ in ingresso, mg/l;

Le concentrazione media di BOD₅ in uscita, mg/l;

nella quale:

$$Li = 200 \text{ mg/l} \quad \ln Li = 5,30$$

$$Le = 40 \text{ mg/l} \quad \ln Le = 3,69$$

La costante cinetica di biodegradazione del BOD₅ a 14 °C diventa, considerando la dipendenza di KBOD dalla temperatura è data dalla relazione: $KBOD(T) = KBOD_{20} \times \theta^{(T-20)}$. (1)

Nella quale per I coefficiente di attività microbica "θ" può essere assunto il valore 1,1 e per KBOD₂₀, costante cinetica di degradazione alla temperatura 20° C, un valore compreso fra 0,05 e 0,25 m/d, a seconda del tipo di liquame e delle condizioni ambientali. Le linee guida europee suggeriscono di assumere, per i liquami normali, un valore di KBOD₂₀ pari a 0,19 m/d, ma suggeriscono pure un valore prudenziale di 0,1 m/d.

Si assume KBOD(20) = 0,1 m/d

È da evidenziare che la (1) può essere ricavata dall'espressione: $Le/Li = \exp(-K_{1(T)} \times t_{det})$ (2)

dove "t_{det}" è il tempo di detenzione idraulica espresso in giorni e $K_{1(T)}$ il tasso di reazione nella rimozione del BOD legato a $K_{BOD(T)}$ dalla relazione: $K_{1(T)} = K_{BOD(T)}/H \times \varepsilon$ (4)

dove "H" è l'altezza liquida media del letto ed "ε" è la porosità del mezzo di riempimento. Per $K_{1(T)}$ vengono forniti valori compresi fra 0,8 e 1,1 d⁻¹.

$$K_{BOD(14)} = 0,1 \times 1,1^{(14-20)} = 0,1 \times 0,778 = 0,0778 \text{ m/d}$$

$$\text{Risulta quindi: } A_s = 50 \times (5,39-3,40)/0,0621 = 347,22 \text{ m}^2$$

Dove, considerando:

Coefficienti di progetto

$$K_{20} = 1,104 \text{ 1/d}$$

$$F_i = 1,06$$

$$T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K_t = 0,778 \text{ mq}$$

Carico organico ingresso e uscita

$$BOD_{in} = 200 \text{ mg/l}$$

$$BOD_{out} = 40 \text{ mg/l}$$

$$n \text{ (porosità del mezzo)} = 0,3$$

$$A_{Smin} \text{ (**Superficie minima dei letti**)} = (\ln BOD_{in} - \ln BOD_{out}) \times Q / (n \times K_t \times 0,95 \times dH) = 160,53 \text{ m}^2$$

$$A_{Smed} \text{ (**Superficie media dei letti**)} = (A_{Smin} + A_s) / 2 = 254 \text{ m}^2$$

Valutazione della larghezza "W" del letto L'area trasversale "A_c" viene calcolata con la formula di Darcy.

Altro parametro di un certo significato è rappresentato dall'area trasversale che può essere calcolata con l'**equazione di Darcy**: $A_c = Q_s / [k_f \times dH/ds] = 6,25 \text{ m}^2$

Dove: A_c = area trasversale, m²

Q_s = portata media del reflu, m³/s

k_f = conduttività idraulica, m/s

dH/ds = pendenza della base del letto, m/m (dH = profondità media del letto; ds = lunghezza del letto).

Nell'applicazione di questo calcolo, Cooper consiglia di utilizzare materiale di riempimento caratterizzato da conducibilità idraulica non inferiore ai 10-3m/s, per limitare la possibilità di intasamento, con una profondità media del letto di 0,6 m e con pendenza non superiore al 1% (Cooper, 1993).

Calcolata l'area trasversale, si può ottenere la larghezza minima del letto

$$W = (A_c / 0,95 \cdot d_{min}) = 8,23 \text{ m}$$

così da definirne la geometria, ovvero il rapporto tra lunghezza e larghezza. Un valore adeguato di questo parametro elimina i rischi di corto circuito idraulico con possibile scorrimento in superficie del reflu, che comporta la riduzione dell'efficienza depurativa. Il rapporto tra la profondità del letto e la sua lunghezza permette di individuare il massimo gradiente idraulico disponibile, necessario affinché ci sia un movimento netto del liquame dall'entrata verso l'uscita senza ritorni o ristagni di flusso. Sulla base delle dimensioni reali ottenute dal progetto deve essere fatta una verifica del profilo idraulico (inteso come livello dell'acqua all'interno del letto, livello che deve essere sempre su una superficie orizzontale). Quest'ultimo aspetto è necessario per gestire in modo fles-

sibile l'altezza dell'acqua, così da garantire, da un lato, la completa e uniforme immersione dell'apparato radicale lungo il letto e, dall'altro, la riduzione della possibilità che si instaurino condizioni di flusso superficiale all'inizio delle vasche. Le dimensioni del sistema influenzano il tempo di ritenzione del liquame nell'impianto e quindi l'efficienza di rimozione degli inquinanti. In letteratura sono indicati tempi di ritenzione idraulica molto differenti, da 2 a 60 giorni, ma per ottenere una buona nitrificazione ne sono consigliati almeno 4,3 (Kemp, 1997).

Dimensionamento impianto di fitodepurazione a flusso superficiale (Free Water Surface).

Considerate le modeste dimensioni del lotto interessato dalla realizzazione dell'impianto di depurazione Comunale, l'effluente dal letto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale è convogliato in un bacino artificiale, di forma irregolare, realizzato con teli HDPE, quale sistema di fitodepurazione a flusso superficiale con macrofite galleggianti.

Questo impianto riprodurrà un'area umida naturale per l'affinamento delle acque trattate provenienti da un sistema a flusso sub-superficiale, limitando i rischi di odori molesti e la proliferazione di insetti nelle zone circostanti.

Per il dimensionamento, visti i trattamenti depurativi a monte dell'impianto (biologico a fanghi attivi + fitodepurazione a flusso sub-superficiale), si limita la superficie del bacino artificiale a soli 55 mq.