BANDO 2005 – Gestione sostenibile delle acque: promuovere forme di gestione integrata e partecipata delle acque superficiali

TRATTAMENTO MEDIANTE FITODEPURAZIONE PER L'AFFINAMENTO DELLE ACQUE DEPURATE E PER LA SALVAGUARDIA AMBIENTALE DEL CORPO IDRICO RECETTORE: SPERIMENTAZIONE A SCALA PILOTA E APPLICAZIONE PROGETTUALE PER UNA GESTIONE INTEGRATA E PARTECIPATA

Rapporto finale

A cura di: Consorzio del Parco Lura, DIIAR Politecnico di Milano, DISAT Università degli Studi di Milano Bicocca, Lariana Depur, Comune di Guanzate, Comune di Bulgarograsso

1. Introduzione

Le ricerche condotte nell'ambito del progetto sono state ispirate dalla conoscenza della situazione del torrente Lura e del suo bacino imbrifero, che da anni risentono degli impatti di antropizzazione e industrializzazione diffuse, con conseguenze note e visibili sulla qualità dell'ambiente acquatico. Una delle principali fonti di carichi inquinanti risulta essere l'effluente degli impianti di depurazione, con particolare riferimento all'impianto Alto Lura (Bulgarograsso - CO), per via della sua posizione sul corso d'acqua: è, infatti, l'impianto ubicato più a monte e, nel quadro di generalizzata assenza portate naturali di base e, dunque, di potere diluente da parte del recettore, quello i cui effetti sono più visibili.
In questo scenario è stata proposta una ricerca finalizzata a valutare l'idoneità della fitodepurazione per un affinamento spinto degli effluenti di tale impianto.

2. Inquadramento

Il torrente Lura è un'asta fluviale della lunghezza di circa 45 km, che attraversa le province di Como, Varese e Milano (Fig. 2.1). Appartiene al complesso reticolo idrografico a Nord della metropoli milanese, i cui corsi d'acqua nascono nella zona prealpina, non lontano dal confine italo-svizzero, e scorrono con andamento pressoché parallelo verso il capoluogo lombardo. I comuni il cui territorio è attraversato dal torrente Lura, che nasce a circa 1 km dalla frontiera elvetica a quota 402 metri sul livello del mare, sono Uggiate Trevano, Faloppio, Olgiate Comasco, Gironico, Lurate Caccivio, Bulgarograsso, Guanzate, Cadorago, Lomazzo, Bregnano, Rovellasca, Rovello Porro (provincia di Como), Saronno, Caronno Pertusella (provincia di Varese), Lainate, Arese e Rho (provincia di Milano).
Il torrente Lura termina il suo corso in corrispondenza dell'abitato di Rho, dove confluisce nel fiume Olona. La superficie idrografica naturale del suo bacino imbrifero, chiuso alla confluenza con il recettore Olona, risulta essere di circa 130 km^2.
Il principale affluente, di sponda sinistra, è la roggia Livescia, che attraversa i comuni di Villaguardia, Cassina Rizzardi, Fino Mornasco e Cadorago, prima di confluire nel Lura in comune di Cadorago. Altri affluenti degni di menzione, sebbene di portata esigua, sono la roggia Lura di Albiolo, che nasce nel territorio comunale del paese omonimo e confluisce di sponda destra nel torrente all'altezza dei confini comunali tra Faloppio e Olgiate Comasco; il torrente Riale, affluente di sponda sinistra, che nasce in comune di Gironico e confluisce nel Lura in comune di Olgiate Comasco; il torrente Fossato, anch'esso di sponda sinistra, che riceve i contributi idrici di parte del territorio comunale di Villaguardia e Montano Lucino e confluisce nel Lura al confine tra i comuni di Lurate Caccivio e Bulgarograsso.
Il torrente Lura ha acquisito l'attuale conformazione dopo la fusione dei grandi ghiacciai alpini, in tempi che si possono definire geologicamente molto recenti. L'area del bacino idrografico del Lura attraversa trasversalmente, dalla sorgente alla confluenza con il fiume Olona, molte delle varie tipologie di apparati morenici e coltri di materiali alluvionali fluvioglaciali rinvenibili nella zona compresa tra l'arco alpino e la città di Milano: di conseguenza, l'alveo del corso d'acqua presenta caratteristiche diverse da Nord a Sud.
Nell'ideale transetto che si ottiene spostandosi dalla sorgente verso Sud, seguendo il corso del torrente, si attraversano in primo luogo gli anfiteatri collinari morenici che costituiscono i vasti apparati deposizionali pleistocenici delle colate glaciali principali del Ceresio e del Lario.
Lungo il primo tratto di torrente si possono rinvenire formazioni di *gonfolite* (conglomerati intercalati da arenarie grigie del substrato oligo-miocenico), affioranti in pochi tratti di scarpata, ma è indubbio che la caratterizzazione geomorfologica del territorio attraversato è data principalmente dalla deposizione

In particolare, si rinviene una cerchia di colline moreniche würmiane, nella zona che va dalla sorgente all'abitato di Olgiate Comasco, parzialmente sovrapposte ad un sottostante anfiteatro morenico più antico (rissiano) che si spinge più a meridione, fino ai territori comunali di Appiano Gentile, Guanzate, Cadorago e Lomazzo.
Il paesaggio è caratterizzato da terrazzamenti alternati a piccole scarpate, soprattutto nel territorio di Bulgorello (frazione di Cadorago) e Lomazzo, e coincide con le zone dotate di maggior naturalità, tutelate dal Parco della Valle del Torrente Lura.

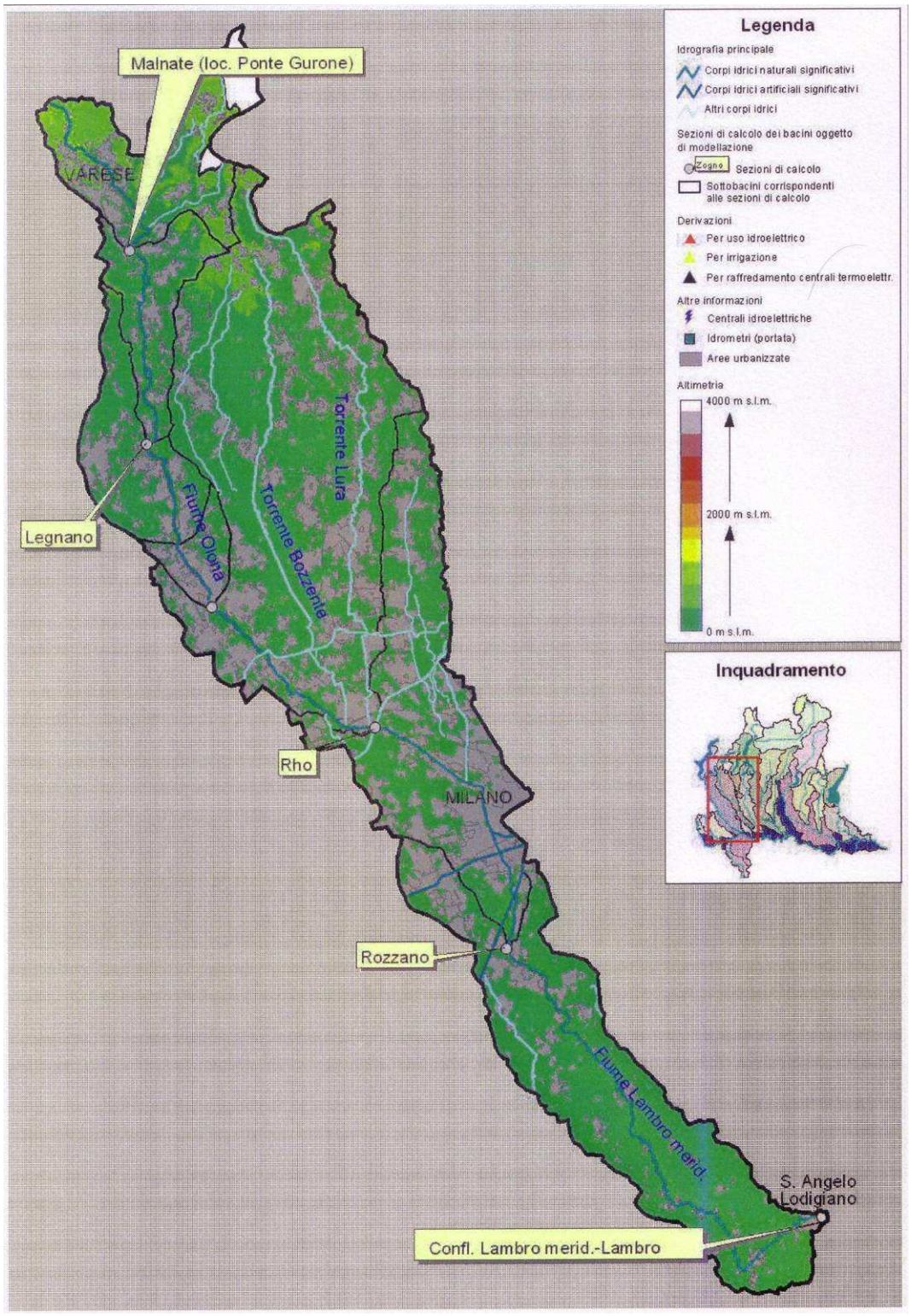

Fig. 2.1 – Il bacino imbrifero dell'Olona, con gli affluenti Bozzente e Lura.

In questa porzione di territorio il torrente attraversa soprattutto depositi morenici ghiaiosi e ciottolosi, ma anche conglomerati del Ceppo Lombardo, fortemente cementati e attribuibili al Pleistocene inferiore (interglaciale Günz-Mindel).
L'evoluzione dell'anfiteatro morenico comasco ha portato alla formazione, a meridione delle cerchie collinari, di superfici di deposito alluvionale e fluvioglaciale che, successivamente incorse in smantellamenti parziali, sono ora lembi terrazzati di forma subtriangolare e profondamente compenetrati tra loro. Sono correlati alle fasi glaciali quaternarie più antiche e pronunciate (Mindel e Riss), che hanno formato le due principali e più evidenti superfici di terrazzamento sopraelevato rispetto al "livello fondamentale della pianura" correlato con l'ultima glaciazione würmiana. Il torrente Lura attraversa un lembo di terrazzo intermedio (rissiano, altresì definito del *Diluvium medio*), mentre non si riscontrano terrazzi antichi mindeliani sufficientemente vicini al corso d'acqua da poter essere considerati in qualche modo influenti sulla caratterizzazione geomorfologica. Il terrazzo antico più vicino è il pianalto di Tradate-Appiano Gentile, a circa 3-4 km a Ovest del torrente Lura all'altezza dei comuni di Lurate Caccivio e Bulgarograsso.
Superato in direzione Sud il territorio comunale di Rovellasca, il terrazzo intermedio rissiano tende a dividersi in due lembi divergenti. Il lembo di sponda destra prosegue per alcuni chilometri, oltrepassando l'abitato di Saronno, parallelo e adiacente al letto del torrente, mentre il lembo di sponda sinistra si allontana verso oriente. Il torrente Lura scorre successivamente nel livello fondamentale della pianura compenetrato ai lembi di terrazzo intermedio. Il livello fondamentale della pianura è caratterizzato dai depositi del Pleistocene Superiore di ghiaie e sabbie fluvioglaciali würmiane. Le sponde del torrente Lura sono generalmente basse e il corso d'acqua scorre a livello del piano di campagna, con la possibilità di esondare e allagare la pianura circostante.
La porzione di territorio attraversata dal torrente Lura, dalla sorgente fino alla sua confluenza con il fiume Olona, è soggetta da secoli ad una pressione antropica massiccia e costante, che non si limita a palesare i suoi effetti sul regime e la qualità delle acque del torrente stesso, ma ha profondamente e irreversibilmente modificato la composizione vegetazionale e floristica della zona in esame. La vegetazione potenziale del territorio, in mancanza dell'azione perturbatrice dell'uomo, sarebbe costituita da foreste a dominanza di rovere nelle porzioni più elevate, e a dominanza di farnia con l'accompagnamento di carpino bianco, frassino e acero campestre nella parte più umida dell'incisione del torrente. Di fatto, la presenza dell'uomo ha non solo pressoché eliminato la copertura forestale, sostituendola con aree urbanizzate, seminativi e prati, ma anche modificato, al punto da renderle irriconoscibili, le superfici boscate superstiti, con l'introduzione di specie esotiche che, nel corso degli anni (o dei secoli) si sono diffuse notevolmente. Tra le aree urbanizzate spiccano per la massima vicinanza con il corso d'acqua i centri abitati di Lurate Caccivio, Bulgarograsso, Cadorago, Rovellasca e soprattutto la città di Saronno.
Per lunghi tratti del torrente, la fascia di vegetazione perifluviale è costituita da sottili addensamenti di robinia, con spessori che vanno dall'albero singolo a poche decine di metri, che separano il letto del torrente da costruzioni, seminativi e prati. Il robinieto costituisce circa il 90% della copertura arborea del territorio attraversato dal Lura: solo nelle zone a più alta naturalità dell'Olgiatese e del territorio del Parco del Lura si possono rinvenire in numero significativo, pur commiste alla robinia, altre specie arboree e arbustive, soprattutto quelle legate alla formazione vegetale del querco-carpineto, bosco misto di latifoglie subumido.
Studi condotti in anni passati hanno evidenziato chiaramente come il Lura risenta dell'impermeabilizzazione del territorio in termini di mancato apporto idrico dai prati umidi a monte, che ne alimentavano le sorgenti, nella zona di Uggiate Trevano, e come le condizioni idrologiche del torrente siano oggi tali da limitare fortemente la disponibilità di habitat per la fauna acquatica, nonché la disponibilità di portate per la diluizione dei carichi

inquinanti prodotti nel bacino (Canobbio e Mezzanotte, 2003; Mezzanotte et al., 2005; Mezzanotte e Canobbio, 2006; Canobbio et al., 2009), aspetti entrambi che entrano nella definizione concettuale del Deflusso Minimo Vitale nonché nei criteri stabiliti dalla Direttiva Europea 2000/60 e dal suo recepimento nazionale (D.Lgs.152/2006, DM 56/2009).

Gli effetti delle pressioni antropiche agenti sul torrente Lura possono essere schematicamente riassunte come segue (Canobbio & Mezzanotte, 2003):

1 – Alterazioni della qualità delle acque

- Scadimento generalizzato lungo l'asse longitudinale, in massima parte dovuto all'apporto continuo dato dal carico inquinante civile e industriale residuo proveniente dagli impianti di depurazione, in assenza di capacità diluenti da parte del recettore.
- Occasionali aumenti del carico inquinante dovuti a immissioni di refluo non trattato nelle aree urbane e per azione degli scaricatori di piena delle reti fognarie.

2 – Alterazioni del regime idraulico

- Estremizzazione delle caratteristiche torrentizie del corso d'acqua con diminuzione generalizzata delle portate a fronte dell'incremento dei colmi di piena.
- Perdite d'acqua per cause morfologiche nel passaggio, in area urbana, dalla zona collinare a quella basale.
- Presenza di zone in cui onde di piena con tempi di ritorno ragguardevoli potrebbero provocare danni per mancanza di una piana alluvionale libera o per la presenza di manufatti e strozzature che diminuiscono la sezione (o "luce" trasversale).

3 – Alterazioni della morfologia fluviale

- Presenza di arginature, manufatti, tombamenti e raddrizzamenti che diminuiscono la funzionalità ecosistemica del corso d'acqua e la varietà di *habitat* fluviali.
- Fenomeni erosivi diffusi, accentuati in alcune aree specifiche.

In questo quadro è stata proposta una ricerca finalizzata a valutare l'idoneità della fitodepurazione per un affinamento spinto degli effluenti degli impianti di depurazione.
Gli impianti di fitodepurazione sono normalmente ritenuti sistemi semplici, caratterizzati da bassi costi di investimento e da costi di esercizio trascurabili. In verità, il costo di investimento è fortemente condizionato dalle condizioni locali e, in particolare, dalla necessità di impermeabilizzazione delle vasche, dalla disponibilità e dal costo del suolo e va quindi valutato con attenzione. Il vero punto di forza della fitodepurazione consiste nella possibilità di rimuovere con un unico trattamento inquinanti anche molto diversi tra loro, grazie all'effetto simultaneo di diversi processi concomitanti: la separazione della fase solida da quella liquida (il sistema agisce meccanicamente come filtro), la trasformazione degli inquinanti tramite processi biologici (il sistema agisce chimicamente favorendo le reazioni di degradazione) e l'assorbimento degli inquinanti da parte delle piante (ANPA 2002, Verhoeven & Meuleman 1999) (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Tra le varie opzioni impiantistiche possibili, si è scelto di sperimentare un Sistema a flusso orizzontale sub-superficiale (H-SSF). In tali sistemi le vasche di fitodepurazione sono interamente riempite con una matrice ghiaiosa o sabbiosa, nella quale l'acqua scorre al di sotto della superficie. Questo fa sì che i microrganismi responsabili della degradazione degli inquinanti possano crescere in microfilm adesi, oltre che alle radici delle piante, anche alla superficie dei grani di matrice, e svilupparsi quindi in maniera più rapida ed intensa, con conseguenti effetti positivi sulla biodegradazione. L'assenza di acque esposte

alla luce solare, inoltre, impedisce la crescita di alghe e idrofite (in particolare *Lemna* spp.) che potrebbero provocare aumenti nei valori di BOD_5 durante la stagione estiva a seguito di una eccessiva proliferazione e conseguente morte della biomassa, con conseguenti variazioni nei cicli di azoto e fosforo dovuti alle condizioni anossiche e riducenti.

Tab.2.1 - Processi di rimozione degli inquinanti negli impianti di fitodepurazione (s = sedimentazione, f = filtrazione, a = adsorbimento, p = precipitazione, m. = microrganismi) (Borin 2003, modificato).

Processi / Inquinanti	Separazione fase solida/fase liquida	Degradazione	Assorbimento
SST	X (s, f, a)		
BOD	X	X (m.)	
N	X	X (m.)	X
P	X (a, p)	X (m.)	X
Metalli pesanti	X (a, p)		X
COD	X	X (m., piante)	X

Il refluo in ingresso viene immesso al fronte della vasca tramite tubazioni inserite nella matrice e scorre orizzontalmente lungo la vasca, che presenta una lieve inclinazione del fondo (0). Tale1. sistema permette un progressivo abbattimento degli inquinanti dal fronte alla fine della vasca grazie alla presenza di un'alternanza di zone anossiche (tra i grani della matrice) e zone con presenza di ossigeno (nella rizosfera).

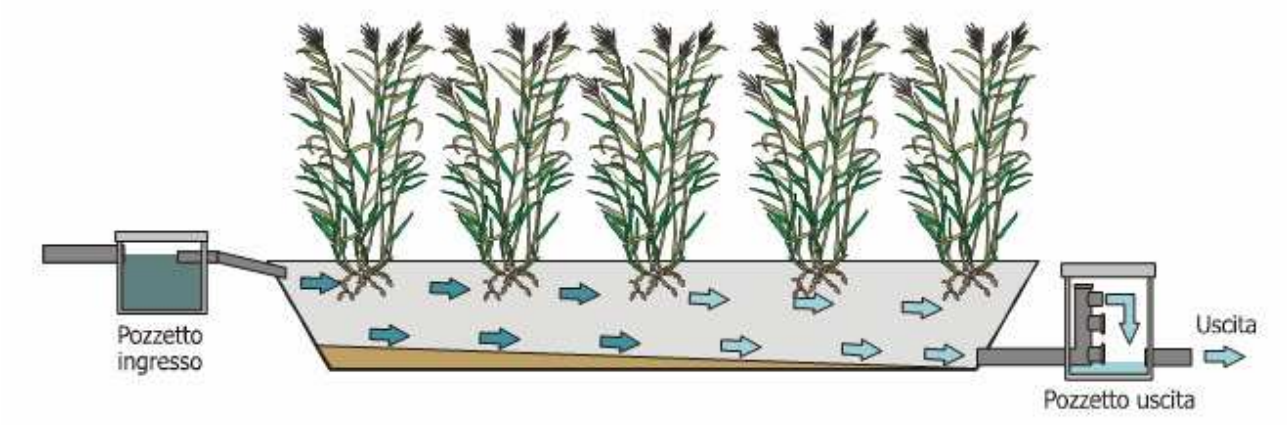

Fig.2.2 - Schema di un impianto a flusso sub superficiale orizzontale (ARPAT 2005).

Il lavoro svolto nell'ambito del progetto cofinanziato da Fondazione CARIPLO si è articolato in una serie di diverse attività, finalizzate allo scopo di valutare l'efficienza, la fattibilità, il costo e l'impatto ambientale di un impianto a scala reale destinato a trattare l'effluente dell'impianto di depurazione di Bulgarograsso, le cui caratteristiche sono del tutto analoghe a quelle dell'effluente dell'impianto Livescia che è stato utilizzato per la sperimentazione.

3. Attività sperimentali a scala pilota

Gli impianti pilota (3 vasche) sono stati localizzati all'interno di un edificio, inizialmente predisposto alla disidratazione dei fanghi, presso l'impianto Livescia.
Ciascuna vasca, realizzata in ferro verniciato, è caratterizzata da dimensioni di 2 x 0,5 x 0,5 m; in particolare in Fig.3.1 se ne mostra una rappresentazione schematica.

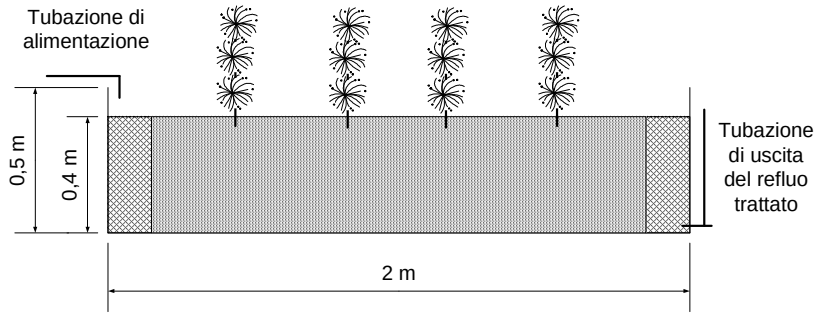

Fig.3.1 - Rappresentazione schematica delle vasche di fitodepurazione.

Il materiale di riempimento, presente per un'altezza di 0,4 m, è costituito da ghiaia di diametro medio 5 cm nelle sezioni di ingresso e di uscita (20 cm ciascuna) e 3 cm ca. nel resto del letto. Complessivamente la porosità media iniziale del letto di ghiaia è 0,38 per ciascuna vasca. Nelle Fig. 3.2 e 3.3 sono riportate immagini relative agli impianti pilota.

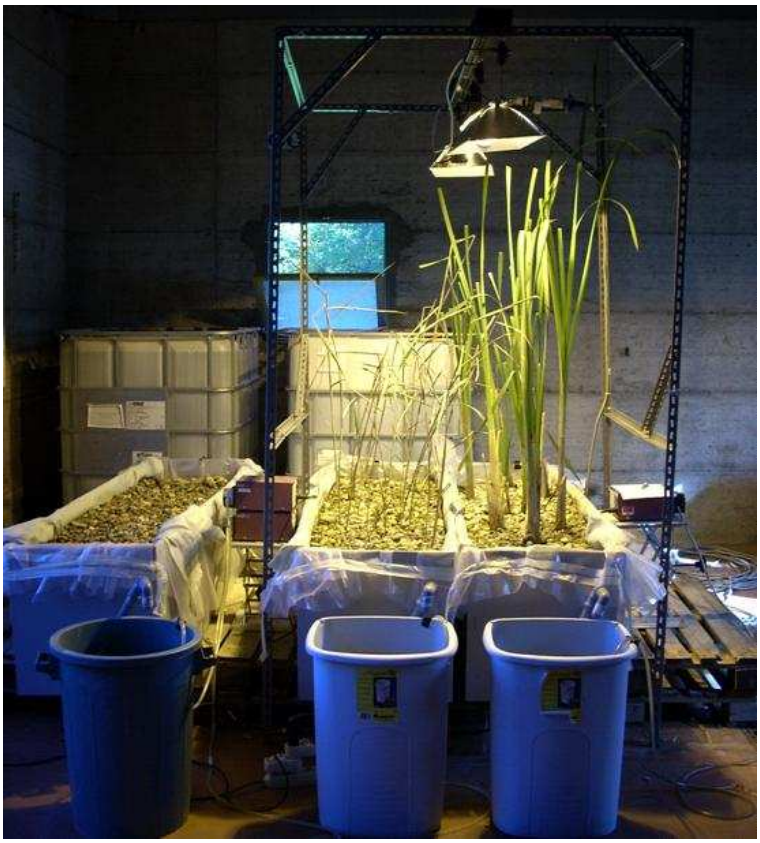

Fig. 3.2 - Immagine degli impianti pilota nella fase di alimentazione a ricircolo.

Fig. 3.3 - Immagine degli impianti pilota nella fase di alimentazione continua.

Due delle vasche sono piantumate rispettivamente con *Phragmites Australis* (vasca centrale) e *Typha Latifolia* (vasca più a destra) prelevate in ambienti naturali presso il Parco del Ticino (zona Vigevano). Si noti che nella fase sperimentale ad alimentazione continua con HRT 2 giorni *Iris pseudacorus* è stata utilizzata come essenza al posto di *Typha Latifolia*. La terza vasca (non piantumata) funge da controllo per poter effettuare un confronto tra l'entità dei meccanismi di rimozione dovuti od accentuati dalla presenza delle essenze vegetali (per esempio la biodegradazione batterica aerobica che si realizza a livello dei rizomi, reazioni enzimatiche ed assimilazione diretta) rispetto ai meccanismi di rimozione non connessi alla presenza delle essenze, quali l'adsorbimento, la filtrazione, la sedimentazione, che di fatto risultano essere i meccanismi prevalenti nella vasca non piantumata. Essendo l'impianto pilota all'interno di un edificio, l'illuminazione è fornita artificialmente, mediante 2 lampade HPS (High Pressure Sodium) da 400W (40.000 lux), le quali possono essere regolate in altezza. Le lampade sono programmate per un periodo di accensione giornaliero di 6–8 ore.
Dal punto di vista operativo si è operato considerando, nelle diverse fasi, tempi di residenza idraulici (HRT) pari a 1 e 2 giorni. Il valore della portata giornaliera da alimentare a ciascuna vasca è stata valutata in base alla relazione seguente, derivata dalla definizione formale di tempo di residenza idraulico teorico:

$$q_d = \frac{n \cdot V}{HRT}$$

dove V rappresenta il volume complessivo di letto interessato dal flusso del refluo (valutato mediante semplici considerazioni geometriche) ed n rappresenta la porosità del mezzo (valutata sperimentalmente).

Il principale obiettivo della sperimentazione è stato la valutazione delle efficienze di rimozione di specifiche sostanze pericolose (nonilfenoli ed ottilfenoli e, nell'ultima fase, anche di IPA e pesticidi) attraverso sistemi di fitodepurazione. In particolare sono stati realizzati impianti pilota a piccola scala per valutare le efficienze depurative in diverse condizioni operative (sia di alimentazione che di tempi di residenza idraulica) ed adottando distinte essenze vegetali (*Phragmites australis, Typha latifolia* ed *Iris pseudacorus*) così da individuare le condizioni operative ottimali e l'essenza più efficace.
Parallelamente al monitoraggio degli inquinanti sopra indicati sono stati analizzati i tensioattivi ed i principali macrodescrittori.
Le fasi di sperimentazioni condotte sugli impianti pilota hanno incluso:

- prove di breve durata con alimentazione a ricircolo;
- prove di lunga durata con diversi tempi di residenza idraulici e diverse essenze piantumate.

In Tab. 3.1 sono indicate le diverse fasi sperimentali, i periodi temporali di riferimento, le essenze piantumate (si noti che in tutta la sperimentazione è stata inclusa, oltre alle vasche piantumate, una vasca di controllo non piantumata) e le principali condizioni operative.

Tab. 3.1 - Piano delle attività sperimentali

Attività	Periodo	Essenze piantumate	Aggiunte	Condizioni operative
Prove di breve durata in condizioni di ricircolo	15/10/2007 – 16/11/2007	*Phragmites Australis, Typha Latifolia*	10 µg/l nonilfenolo	alimentazione discontinua (fase di carico con 210 ml/min per 15 minuti, assenza di flusso per i 45 minuti seguenti).
	22/11/2007 – 10/01/2008	*Phragmites Australis, Typha Latifolia*	500 µg/l nonilfenolo	
	21/01/2008 – 18/03/2008	*Phragmites Australis, Typha Latifolia*	500 µg/l nonilfenolo 1,4 mg/l nonilfenolo 9-etossilato	
Prove di lunga durata in condizioni di alimentazione in continuo	Giugno 2008 - Ottobre 2008	*Phragmites Australis, Iris pseudacorus*	-	HRT pari a 1 giorni
	Ottobre 2008 - Maggio 2009	*Phragmites Australis, Iris pseudacorus*	-	HRT pari a 2 giorni

Tenendo conto della prove di lunga durata ad alimentazione continua gli abbattimenti di COD e solidi sospesi totali sono stati significativi e leggermente superiori per HRT di 2 giorni (rispettivamente 40 e 80% in media) rispetto ad HRT di 1 giorno (rispettivamente 30 e 70% in media). Tuttavia tale dato è probabilmente in relazione all'età del sistema stesso (maggiore effetto filtrante del letto) ed al migliore stato vegetativo delle macrofite (ossigenazione dell'apparato radicale più efficace e promozione delle reazioni degradative della sostanza organica) per HRT di 2 giorni. Per il COD, si presume che buona parte della rimozione sia avvenuta per via fisica e per degradazione batterica, coinvolgendo in minima parte le macrofite (ridotta differenza di abbattimento con il controllo). In merito al

colore, non è possibile definire con chiarezza quale sia la condizione operativa migliore; dai dati disponibili, sembra che il mantenimento di un tempo di residenza di 1 giorno favorisca l'abbattimento di tale composto. A livello globale, la prestazione risulta comunque molto limitata (inferiore al 20% per entrambe le condizioni operative). La rimozione di parte dei nutrienti (fosforo, nitrati, nitriti ed in misura minore per l'azoto totale) è stata maggiore per HRT pari a 1 giorno: tale comportamento può dipendere anche in parte dall'influenza della temperatura del refluo alimentato al sistema, più elevata rispetto a quella caratteristica del periodo a 2 giorni di residenza (in particolare, accelerazione delle cinetiche degradative di nitrificazione e denitrificazione).
In Fig. 3.4 sono indicati i rendimenti di rimozione per i principali macrodescrittori nelle vasche piantumate nei due tempi di residenza idraulici considerati.

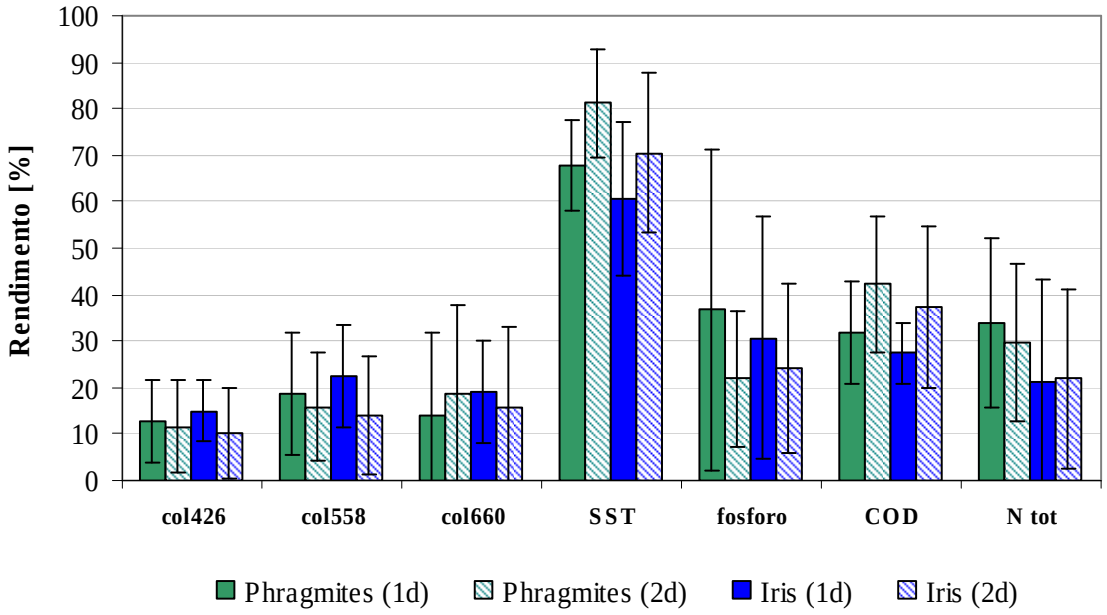

Fig.3.4 - Confronto dei rendimenti medi di rimozione delle macrofite impiegate in condizioni di alimentazione continua per HRT di 1 e 2 giorni.

Ad 1 giorno di residenza, il sistema non rimuove i nonilfenoli, contrariamente a quanto osservato a 2 giorni. Non è pertanto possibile effettuare un confronto significativo per tale parametro.
In relazione ai microinquinanti (nonilfenoli, pesticidi, IPA) non è sempre stato possibile il confronto tra le due condizioni operative mancando per molti le misure relative. Per i nonilfenoli è stata osservata una, parziale, rimozione a 2 giorni di HRT (circa 30%) mentre non si è riscontrata una rimozione significativa per HRT di 1 giorno. Si ricordi, tuttavia, l'età del sistema e lo stato vegetativo limitati per HRT di 1 giorno.
Confrontando le prove effettuate con alimentazione in continuo e quelle di breve periodo a ricircolo continuo si è osservato che - a parità di tempo di residenza idraulico - nella modalità a ricircolo il sistema raggiunge buone prestazioni sul colore (fino a 40%) e sui nutrienti (60% circa sia per l'azoto che per il fosforo) e superiori a quelli ottenuti con le prove ad alimentazione continua (+10÷15% per COD, SST; 10÷15% colore; +20% circa nutrienti). In particolare nelle prove a ricircolo si è osservato che l'equilibrio per i coloranti è stato raggiunto dopo 20 giorni di tempo di contatto con rendimenti tra il 60 e l'80% e miglioramenti del 10-20% in presenza di *Typha latifolia*. I tensioattivi anionici raggiungono

l'equilibrio dopo 4-8 giorni con rendimenti tra il 70 e l'80% e non è stata osservata alcuna influenza delle piante. I rendimenti dei tensioattivi non ionici sono stati tra l'80 e il 100% (nessuna influenza delle piante). Infine i nonilfenoli raggiungono l'equilibrio dopo 4-8 giorni (rendimenti tra 80 e 100%) e le piante di *Typha* accelerano il processo di rimozione dei gruppi etossilati.
Il dettaglio della sperimentazione e dei risultati ottenuti è riportato in Allegato 1

4. Attività sperimentali a scala dimostrativa

La progettazione dell'impianto dimostrativo è stata, naturalmente, il punto di partenza del lavoro svolto successivamente. L'impianto è stato realizzato e messo in funzione alla fine del 2007.
L'impianto pilota di fitodepurazione è composto da due vasche funzionanti in parallelo cui giunge una parte dell'effluente dell'impianto di depurazione tradizionale Livescia, prelevata presso l'ex vasca di clorazione e restituita, successivamente al trattamento, alla fine della stessa vasca (Fig. 4.1). Le due vasche hanno le stesse dimensioni e forma, indicate in Tab. 4.1.

Onde evitare possibili casi di contaminazione della falda e del suolo sottostante le vasche di fitodepurazione (Borin 2003), queste sono state impermeabilizzate con uno strato di membrana Firestone EPDM RubberGard di 1.15 mm di spessore, a cui è stato sovrapposto uno strato di tessuto non tessuto.

Le vasche sono state quindi riempite con una matrice a granulometria diversificata a seconda delle zone: ghiaia grossolana in testa e all'uscita dell'impianto e materiale più fine nella parte centrale. Per il riempimento della parte centrale della VASCA 2 è stata scelta una matrice a granulometria minore che per la VASCA 1 (Tab. 4.2) per testare eventuali differenze nella capacità di rimozione degli inquinanti tra i due mezzi (EPA 1993).

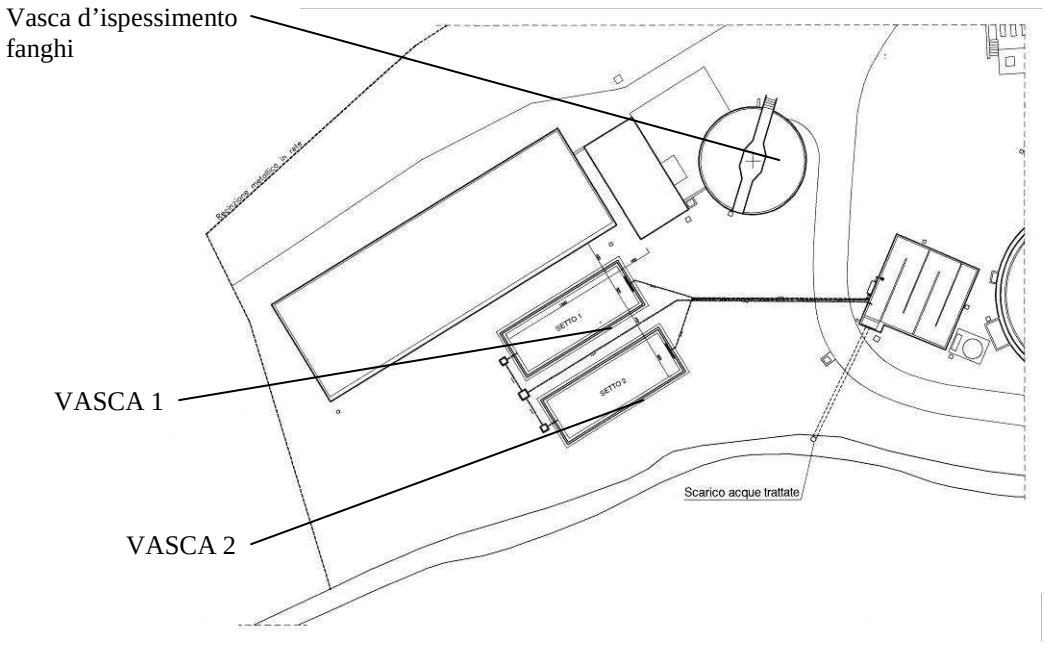

Fig. 4.1 - Posizionamento delle vasche di fitodepurazione a valle dell'impianto di depurazione tradizionale Livescia (Consorzio Parco del Lura 2005).

Tab. 4.1 - Dimensionamento di ognuna delle due vasche dell'impianto (per volume utile si intende il volume occupabile dall'acqua, cioè il totale sottratto del volume occupato dalla matrice di riempimento).

Lunghezza (m)	15.60
Larghezza (m)	4.60
Superficie (m^2)	71.76
Profondità all'ingresso (m)	0.75
Profondità in uscita (m)	0.90
Pendenza (%)	1
Volume utile (m^3)	12

Tab. 4.2 - Granulometria dei materiali di riempimento delle vasche.

Materiale	**Granulometria (mm)**	**Posizione**
Ghiaia grossa silicea	30-50	Ingresso e uscita
Ghiaia media silicea	20-30	Centrale VASCA 1
Ghiaia fine silicea	5-15	Centrale VASCA 2

L'approvvigionamento dei reflui alle vasche avviene grazie ad una pompa (potenza: 0.6 kW) che preleva acqua dalla ex vasca di clorazione. La regolazione della portata alle vasche avviene tramite due flussimetri (uno per vasca) con portata minima 200 l/h e portata massima 1000 l/h.

L'effluente depurato all'uscita delle vasche viene raccolto in due pozzetti tramite un tubo collegato al fondo delle due vasche (Fig. 4.2). Il livello del tubo di uscita dell'acqua, per il principio dei vasi comunicanti, determina il livello dell'acqua all'interno delle vasche. Questo è un parametro molto importante per la crescita delle piante, in quanto l'abbassamento del livello dell'acqua può stimolare la crescita delle radici verso il basso, ma anche avere effetti negativi durante i mesi più caldi. Inoltre, tenendo conto della profondità della colonna d'acqua e della portata in ingresso, è possibile determinare il tempo di residenza del refluo nelle vasche (Fig. 4.3).Il livello dell'acqua nelle vasche e la portata in ingresso sono quindi i due parametri in base ai quali è possibile regolare il funzionamento idraulico dell'impianto.

La Fig. 4.4 riassume le caratteristiche costruttive dell'impianto. Ulteriori dettagli sulla progettazione dell'impianto dimostrativo e sulle prove idrauliche effettuate prima della messa in funzione sono riportati negli Allegati 2 e 3.

Fig. 4.2 - Il pozzetto di raccolta di una delle due vasche (a destra).

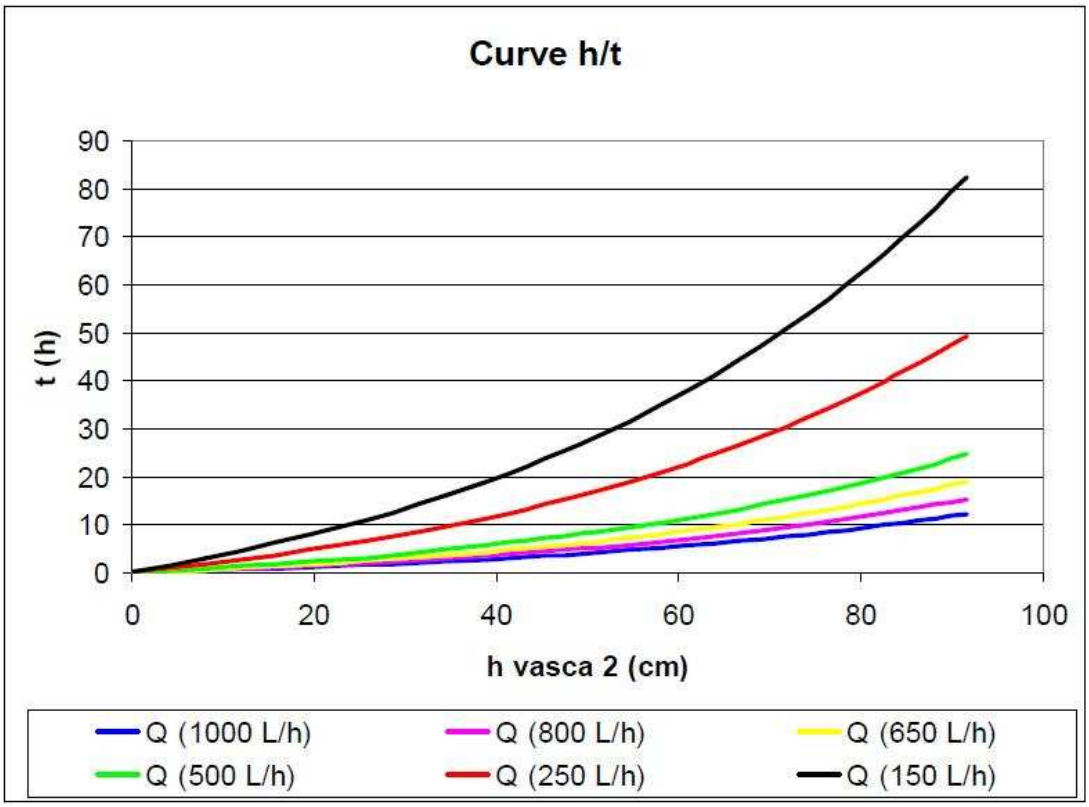

Fig. 4.3 - Curve per la determinazione del tempo di permanenza in base alla profondità dell'acqua e alla portata in entrata

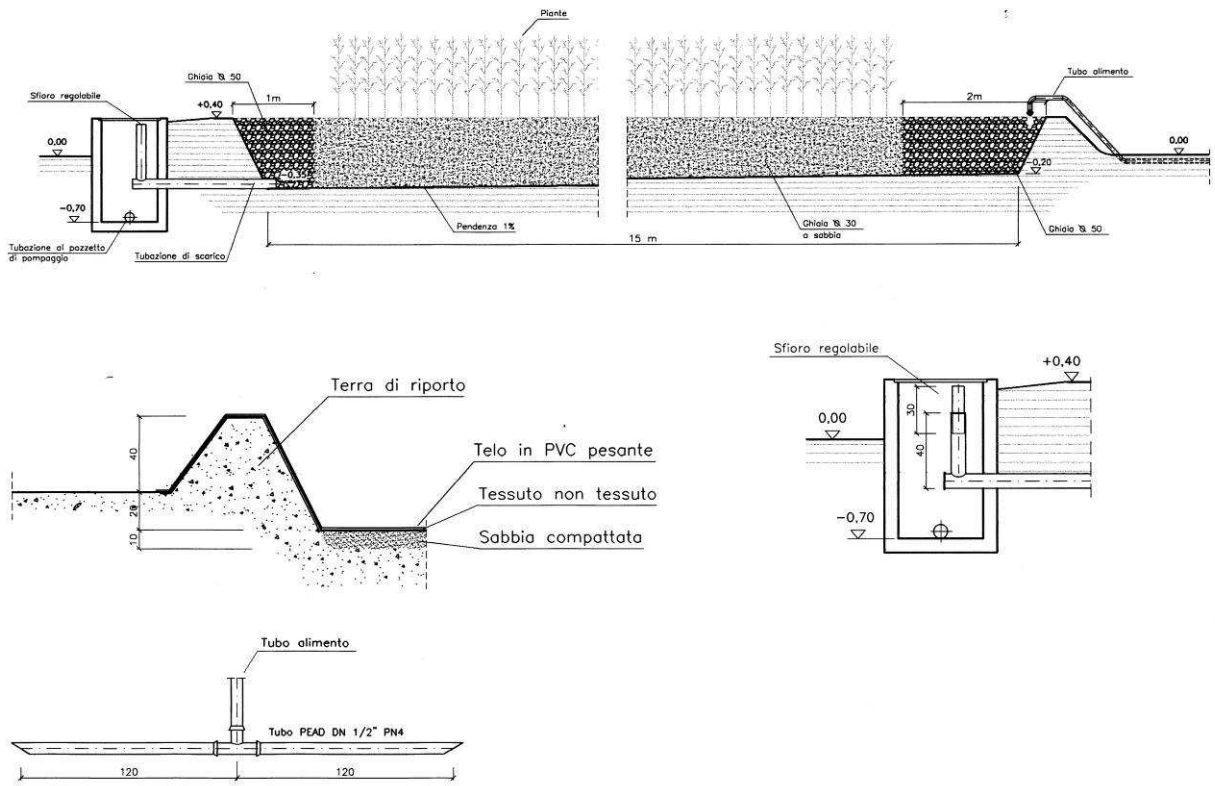

Fig. 4.4 - Particolari di dimensionamento, impermeabilizzazione, matrice di riempimento e sistemi di immissione e raccolta del refluo (Consorzio Parco del Lura 2005).

Nei primi due anni di funzionamento dell'impianto pilota la vegetazione è cresciuta notevolmente, ricoprendo quasi completamente la superficie delle vasche. Tale crescita, tuttavia, non è stata uniforme nel tempo e nello spazio, risultando significativamente differente in relazione a tutti i fattori utilizzati nell'analisi multivariata della varianza (MANOVA). Particolarmente variabile è risultata l'entità dell'espansione orizzontale (misurata come aumento del numero di culmi). Essa è maggiore nella VASCA 2 rispetto alla VASCA 1, per cui si può supporre che la granulometria minore della ghiaia possa favorire la crescita dei nuovi getti, e in generale presenta un gradiente decrescente dall'inizio alla fine delle vasche. Tale andamento potrebbe essere legato a un gradiente di concentrazione dei nutrienti nell'acqua tra l'inizio e la fine delle vasche (Founder & Xanthoulis 2007); il riconoscimento di questo pattern di crescita ha come utilità gestionale la consapevolezza che è necessario mettere a dimora un maggior numero di piante nelle zone terminali di un impianto per ottenere una copertura omogenea, soprattutto in impianti di dimensioni maggiori.

Esiste poi una variabilità legata ai singoli gruppi di piante sulla quale risulta difficile agire da un punto di vista gestionale.

Sebbene i risultati della MANOVA indichino l'esistenza di differenze significative nel numero di culmi e nell'altezza, tra piante di Cannuccia di Palude cresciute in presenza di diverse quantità di Lisca Maggiore, tali differenze non hanno un andamento facilmente interpretabile.

Le azioni volte a stimolare la crescita della vegetazione si sono dimostrate efficaci grazie all'elevata capacità di rigenerazione della Cannuccia di Palude. Tuttavia, va rilevato che la

completa copertura delle due vasche si è verificata solo nel periodo estivo del 2009 e che, pertanto, i risultati ottenuti in termini di depurazione vanno considerati come relativi alla fase di avviamento e legati, per lo più, all'effetto filtrante della matrice ghiaiosa. A conferma di ciò, le analisi relative all'ossigeno disciolto, che dovrebbe essere liberato dalle radici alla rizosfera, è risultato assente per l'intero periodo sperimentale.
Tali considerazioni portano a concludere che, nei nostri climi, l'attecchimento delle macrofite e la colonizzazione avvengono lentamente e che, pertanto, per ridurre i tempi morti, è necessario mettere a dimora un numero di piante maggiore a quello inizialmente previsto per l'impianto dimostrativo (circa 2 rizomi/m^2). Pertanto, nonostante sia stato possibile individuare, in base alle fasi di sviluppo delle piante, quattro distinti periodi di funzionamento dell'impianto, si è osservato un rendimento di rimozione degli inquinanti sostanzialmente analogo per l'intero periodo sperimentale, legato soprattutto all'effetto filtrante della matrice, della torba e degli apparati radicali, con un contributo delle piante pressoché trascurabile. Fa eccezione il periodo iniziale, definito nel seguito "Avviamento", relativo al primo mese, in cui la presenza delle piante e degli apparati radicali era estremamente limitata.
In Fig. 4.5 sono sintetizzati i rendimenti percentuali medi di rimozione dei principali macroinquinanti.

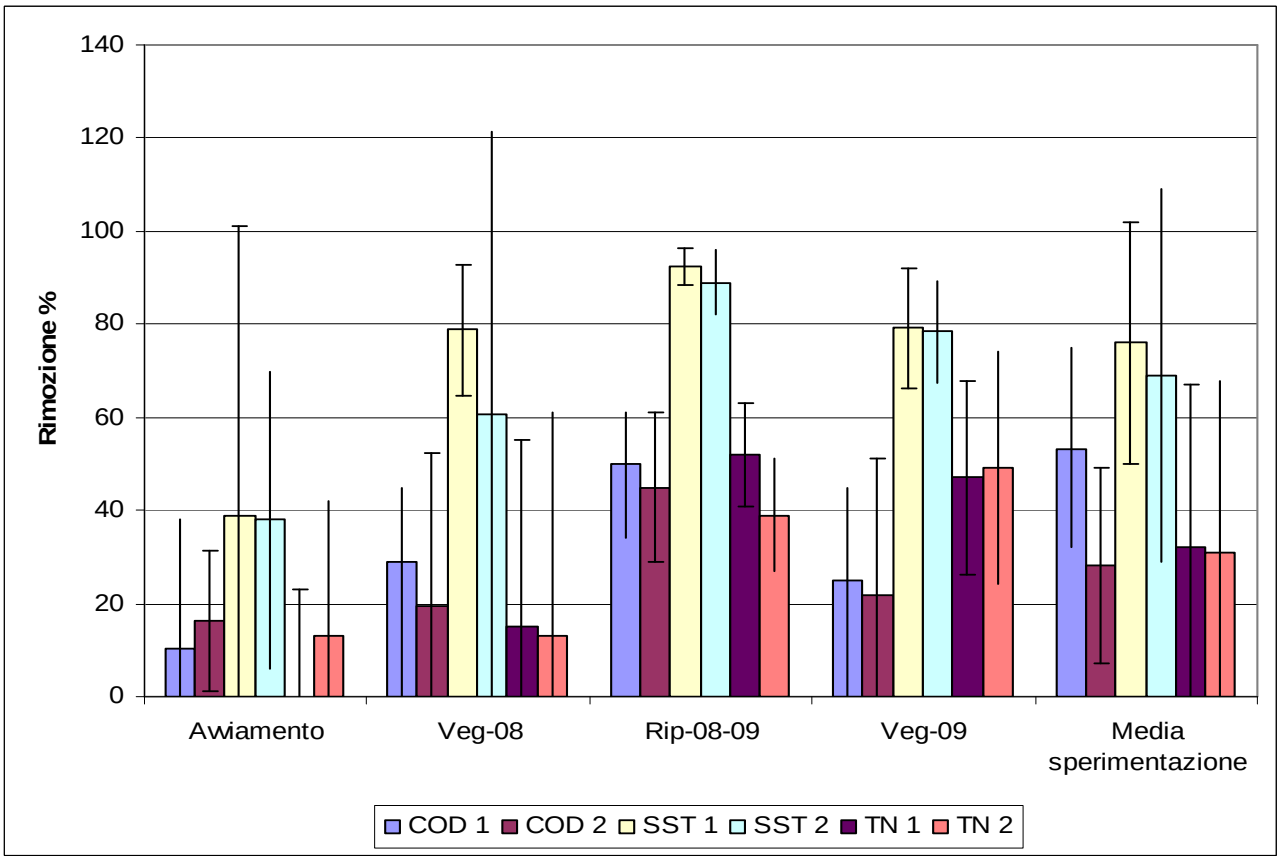

Fig. 4.5 - Percentuali di rimozione di COD, Solidi Sospesi Totali e azoto totale nelle due vasche, nei diversi periodi di sviluppo della vegetazione (Avviamento, Veg-08= Fase vegetativa 2008, Rip-08-09= Riposo vegetativo 2008-09, Veg-09 = Fase vegetativa 2009) e nell'intero periodo di lavoro

Per i tensioattivi la rimozione media calcolata per le due vasche per l'intero periodo è stata rispettivamente del 21 e del 16% per gli anionici e del 40 e 42% per i non ionici (Fig. 4.6).

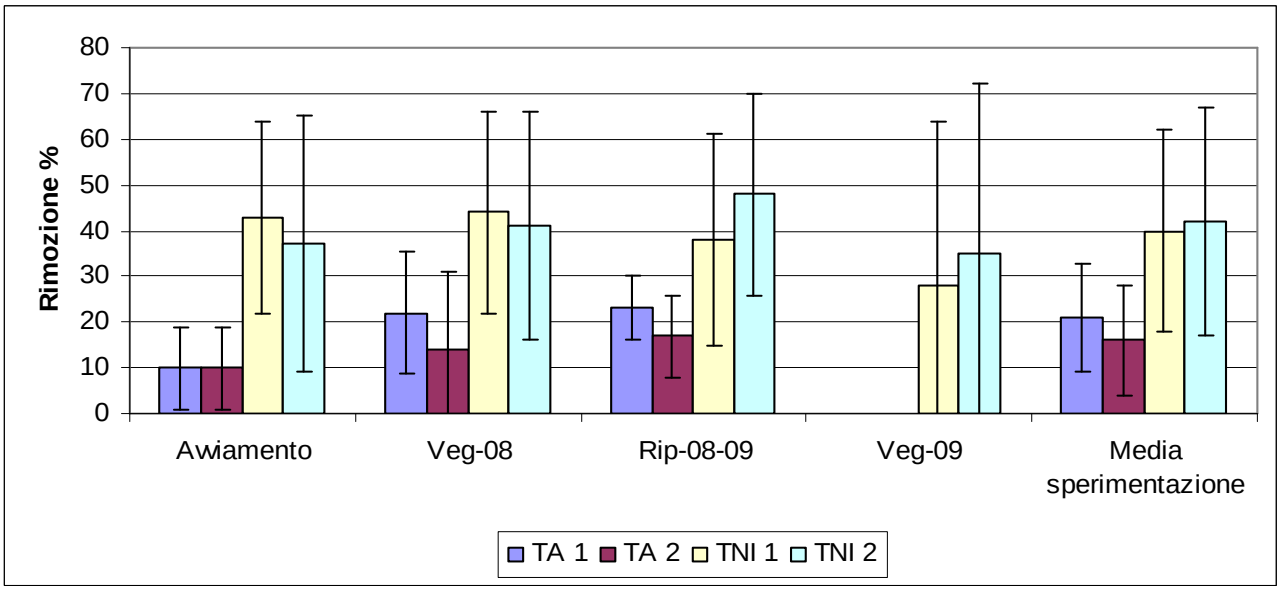

Fig. 4.6 - Rimozioni percentuali dei tensioattivi anionici e non ionici nei diversi periodi e nell'intero periodo di sperimentazione

Il colore è stato misurato a tre diverse lunghezze d'onda, ma solo per quella intermedia (558 nm) l'analisi statistica ha evidenziato differenze significative tra l'ingresso e le uscite. Nonostante una rilevate variazione, apprezzabile visivamente, le letture strumentali hanno evidenziato una rimozione modesta e molto variabile.

Le analisi relative ai metalli pesanti hanno evidenziato concentrazioni sempre molto inferiori ai limiti allo scarico nell'effluente alimentato all'impianto di fitodepurazione. Le concentrazioni di cadmio sono risultate al limite di rilevabilità dello strumento nella gran parte dei campioni (0.1 µg/L), per cui non è stato possibile apprezzare l'eventuale ulteriore rimozione dovuta alla fitodepurazione. Per gli altri metalli si è invece osservata una rimozione significativa, eccezion fatta per il nichel, per il quale le analisi effettuate hanno confermato un rilascio dalla ghiaia. Si tratta di valori comunque modesti, ma tali da suggerire particolare cautela nella scelta del materiale di riempimento dei letti. Per quanto riguarda zinco, rame e piombo, si è invece potuta osservare una rimozione significativa, come riportato in Fig. 4.7. Il dettaglio della sperimentazione e dei risultati ottenuti è riportato in Allegato 4.

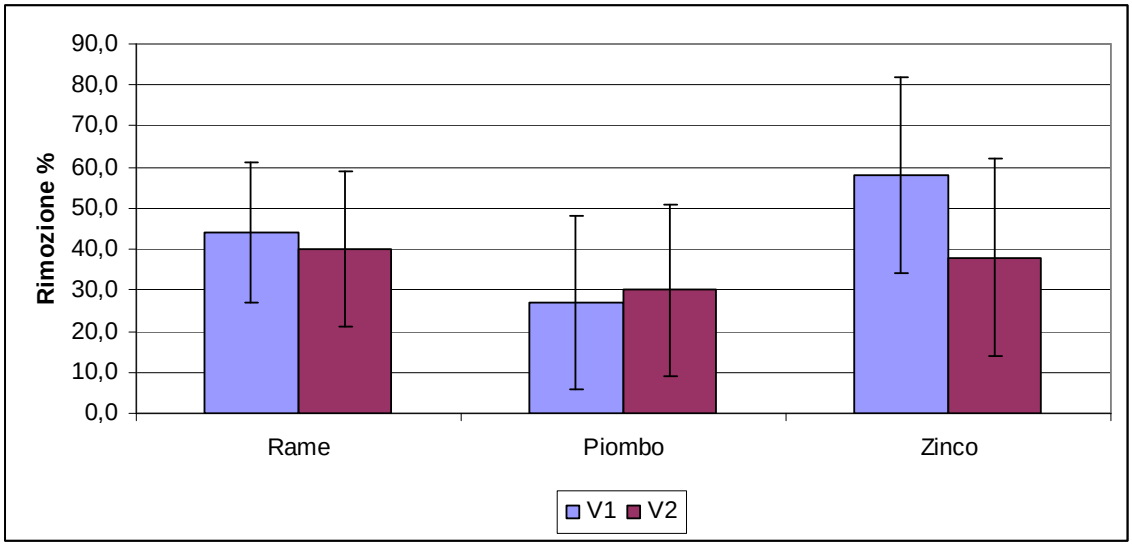

Fig. 4.7 - Efficienze percentuali di rimozione di rame, piombo e zinco calcolate per l'intero periodo della sperimentazione

5. Applicazione progettuale

Uno degli obiettivi della ricerca era quello di fornire elementi per la progettazione di un impianto in scala reale, destinato all'affinamento dei reflui dell'impianto di Bulgarograsso.
A tal fine, uno degli aspetti da considerare era l'impatto sull'ambiente di un impianto di questo tipo, in base alle caratteristiche specifiche dell'area interessata e alle fonti di pressione attualmente esistenti.
Il territorio compreso tra i comuni di Bulgarograsso e Guanzate (Fig. 5.1) si colloca nell'alta pianura lombarda posizionandosi allo sbocco delle grandi valli prealpine, al di sotto della linea insubrica. Il paesaggio geomorfologico si è modellato in seguito agli eventi verificatisi durante l'ultima era glaciale che hanno interessato tutta la Brianza. Il territorio, come tutta l'area della provincia di Como, è caratterizzato da una successione di strati geologici formatisi in seguito alle ultime glaciazioni di Mindel, Riss e Wurm, che hanno portato alla formazione dell'anfiteatro morenico del Lario. Testimoni di queste fasi glaciali sono i caratteristici circoli morenici, che spingendosi fino a Lomazzo e Cermenate evidenziano l'espansione massima raggiunta dalle lingue glaciali presenti fino a 10.000 anni fa, quando le stesse cominciarono a ritirarsi. I segni di questa espansione sono ben visibili nel Parco del Lura attraverso massi e tracce rocciose dei cordoni morenici.
All'interno delle varie cerchie moreniche che costituiscono gli anfiteatri derivanti dall'apertura a ventaglio delle lingue glaciali presenti durante l'età quaternaria nel settore pedemontanto della provincia di Como, sono presenti depositi terrazzati sciolti, di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa, ricollegabili all'azione degli scaricatori glaciali e dei corsi d'acqua attuali e caratterizzanti, con un'alternanza di pianure e colline, la conformazione geomorfologica del territorio. Il Torrente Lura nel corso dei secoli ha scavato il suo letto tra le morene glaciali per scendere verso sud, verso l'aperta pianura dove troviamo deposizioni sedimentarie di origine quaternaria. Buona parte del suolo si è poi trasformata, come conseguenza di cicli pedogenetici succedutisi durante gli ultimi interglaciali, in argille rosse o "ferretto".
Il territorio comunale di Bulgarograsso è caratterizzato dalla presenza di una falda freatica con andamento principale NW-SE delle linee isopiezometriche. La direzione di flusso delle acque sotterranee evidenzia la presenza di uno spartiacque sotterraneo probabilmente ricollegabile sia ad aspetti litostratigrafici, sia alla presenza di una zona di ricarica ricollegabile col torrente Lura.
Il territorio interessato dall'ubicazione dell'impianto di fitodepurazione ricade nel Parco del Lura; nell'area si distinguono due zone omogenee: la zona dei boschi, lungo il confine tra i comuni di Guanzate e Bulgarograsso; la zona delle colture agricole, la cui maggior estensione caratterizza la zona ad ovest dell'abitato di "Cinfù". Oltre alla fascia di rispetto del Torrente Lura sono presenti i vincoli relativi alla fascia laterale del torrente e alle aree boscate. Il rapporto relativo all'indagine territoriale è riportato in Allegato 5.
Le conoscenze relative all'ambiente del Parco del Lura sono state integrate da uno studio tecnico-naturalistico condotto dalla LIPU (Allegato 6), relativo all'area interessata dal progetto di fitodepurazione, che ha individuato i principali punti di interesse naturalistico nel bosco di querce, nelle fasce ecotonali e nell'ansa del torrente Lura. E' stato condotto un censimento dell'odonatofauna (libellule) presente nell'area settentrionale del Parco al fine di comprendere la composizione delle popolazioni locali e il possibile effetto positivo su di esse dato dall'introduzione di un nuovo ecosistema umido.
E' stata, dunque, descritta la valenza ambientale dell'area corrispondente all'impianto di fitodepurazione, segnalando l'opportunità di integrare l'intervento realizzando, per l'ottimizzazione della disponibilità di habitat, pozze d'acqua permanenti attorno alle vasche fitodepuranti, e strategie mirate alla protezione degli ecotoni esistenti e dell'ambiente ansa fluviale.

L'analisi ambientale è stata poi condotta nell'ambito della progettazione vera e propria, sulla base degli elementi raccolti precedentemente, nonché dei parametri progettuali (Allegato 7).

Fig. 5.1 – Territorio tra i Comuni di Guanzate e Bulgarograsso (sud verso l'alto).

Il dimensionamento dell'impianto è stato determinato dalla superficie disponibile nel sito considerato. La portata trattata, con tempo di ritenzione idraulico di 1 giorno, è di circa 10.500 m^3/d, pari al 37% della portata in tempo secco prevista per il bacino di depurazione Alto Lura + Livescia e al 43% di quella media (2006, 2007, 2008) scaricata dall'attuale impianto di depurazione.
L'impianto di fitodepurazione è destinato all'affinamento dello scarico dall'impianto di depurazione Alto Lura ubicato a Bulgarograsso, adeguato secondo quanto previsto dalla pianificazione regionale e dalla normativa vigente. I dati di progetto assunti per il nuovo impianto che prevede il trattamento delle acque reflue previste per il bacino dell'attuale impianto Livescia e per quello dell'attuale Impianto Alto Lura, sono:

abitanti equivalenti	n°ab	150.010
portata giornaliera totale in tempo secco	m^3/d	27.000
portata media in tempo secco	m^3/h	1.125
portata di punta totale in tempo secco	m^3/h	1.684
portata di punta totale in tempo piovoso	m^3/h	4.740

Per le caratteristiche delle acque trattate allo scarico finale, sono state considerate i limiti previsti dalla Tabella 5 dell'Allegato B del Regolamento Regionale Lombardia del 24 marzo 2006 n°3, e dalla Tabella 1 e Tabella 3 di Allegato 5 – Parte 3 del D.lgs 152/06. I limiti per i principali parametri sono così riassunti:

COD	mg/l	60
BOD_5	mg/l	10
Azoto totale*	mg/l	10
Azoto ammoniacale (come N)	mg/l	< 30% N tot
Fosforo totale*	mg/l	1
Solidi Sospesi Totali	mg/l	15
Tensioattivi totali	mg/l	2

* media annua

L'impianto previsto a seguito di adeguamento, è costituito dalle seguenti linee e fasi:

- linea trattamento acque
  - pretrattamenti: dissassatore, grigliatura grossolana, sollevamento, stacciatura, dissabbiatura;
  - trattamento biologico: predenitrificazione, ossidazione-nitrificazione, postdenitrificazione, postaerazione, sedimentazione secondaria;
  - trattamento chimico fisico: chiariflocculazione, filtrazione su sabbia, ozonazione;
- linea trattamento fango: digestione aerobica, ispessimento, disidratazione meccanica, stoccaggio fanghi disidratatati;
- sezioni di servizio.

In Fig. 5.2 sono rappresentate due possibili localizzazioni dell'impianto individuate nei terreni prossimi all'impianto di depurazione Alto Lura.
Non risultano ipotizzabili ulteriori localizzazioni in quanto le aree potenzialmente disponibili sono a quote sensibilmente superiori a quelle dell'impianto di depurazione o sensibilmente distanti dall'asta del Torrente Lura.

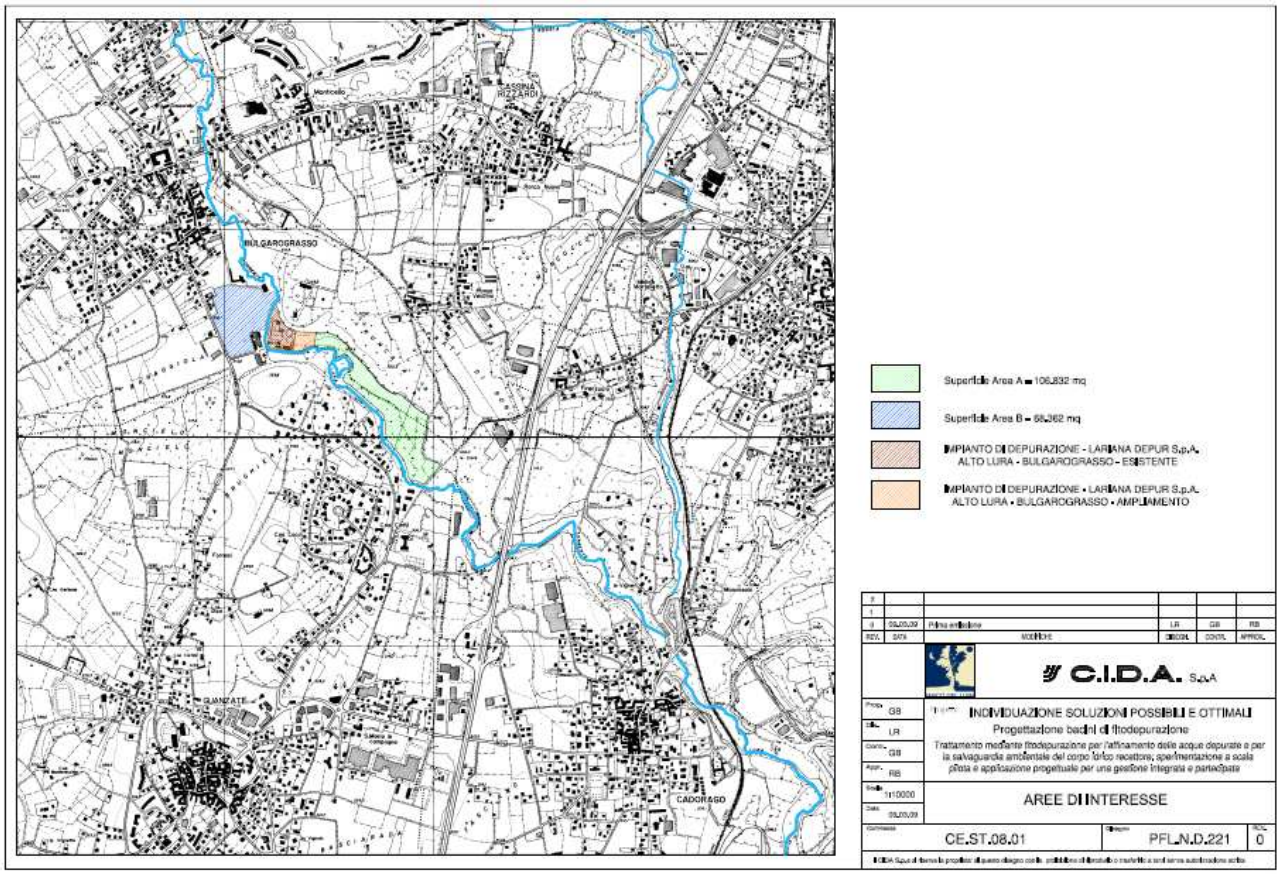

Fig. 5.2 – Aree per la localizzazione dell'impianto di fitodepurazione

L'area A è ubicata a Sud-Est dell'impianto sulla sponda sinistra del Torrente Lura parte nel Comune di Bulgarograsso e parte in quello di Guanzate. Il terreno è delimitato a Nord dall'impianto di depurazione (area di ampliamento), a Ovest dal Torrente Lura sulla cui sponda opposta è ubicato la zona residenziale "Cinfù", a Sud e a Est dal rilievo boscato detto "Runcaia". Dal PRG del Comune di Bulgarograsso, l'area interessata è identificata come Zona F1 (attrezzature collettive standard comunali). Dal PRG del Comune di Guanzate, l'area interessata è identificata come Zona E1 (attività agricole), Zona E2 (boschiva), Zona V2 (per attrezzature private sportive, ricreative e ricettive). Lungo il torrente Lura sussiste il vincolo di rispetto di 10 m dal ciglio superiore. La superficie totale dell'area è di circa 106.832 m^2 di cui 53.120 m^2 sono boscate, prevalentemente nel comune di Guanzate; e 53.712 m^2 a prato, di cui il 65% nel comune di Bulgarograsso.
L'area B è ubicata a Ovest dell'impianto sulla sponda destra del Torrente Lura nel comune di Bulgarograsso.
Il terreno è delimitato a Nord da alcune abitazioni civili, a Ovest dalla strada provinciale SP25 da Bulgarograsso a Guanzate, a Sud da insediamenti industriali e dalla strada di accesso agli stessi e a Est dal Torrente Lura sulla cui sponda opposta è ubicato l'impianto di depurazione. Dal PRG del Comune di Bulgarograsso, l'area interessata è identificata come Zona E1 (attività agricole). Parte dell'area è destinata alla realizzazione del sedime stradale di una nuova via di accesso al centro urbano di Bulgarograsso. Una porzione del terreno a Sud presenta un vicolo relativo all'area di rispetto di un pozzo, inoltre sussiste il vincolo di rispetto di 10 m dal ciglio superiore del torrente. La superficie totale dell'area è di circa 68.362 m^2 di cui quella utilizzabile si approssima a circa 50.000 m^2.
La valutazione delle due aree identificate è sintetizzata nella Tab. 5.1.

Tab. 5.1 – Valutazione aree individuate

Aspetti	Valutazione
Inserimento urbanistico:	l'Area A è situata a Sud dell'impianto di depurazione distante dalle zone urbanizzate e isolata da quelle più prossime (zona residenziale Cinfù, località Ronco Vecchio) da aree boscate; l'Area B si sviluppa fino a lambire la zona urbanizzata di Bulgarograsso.
Inserimento ambientale:	l'Area A si sviluppa in una zona a prati alternati con aree boscate tra l'alveo del Torrente Lura e il rilievo della Runcaia che consente un buon inserimento e mascheramento degli interventi impiantistici; l'Area B è costituita da un'area coltivata in fregio alla strada provinciale e alla zone residenziali e industriali.
Superficie utile e caratteristiche dei terreni	entrambe le aree sono costituite da terreni prevalentemente pianeggianti, l'Area A degrada leggermente verso Sud e verso l'alveo del Torrente Lura; la superficie utilizzabile, escludendo quella boscata, è approssimabile per entrambe le aree a circa 50.000 m^2, tuttavia l'Area A consente uno sviluppo superficiale fino a circa 100.000 m^2.
Collegamenti idraulici:	l'Area A si sviluppa sulla sponda sinistra consentendo l'alimentazione dall'impianto di depurazione senza l'attraversamento dell'alveo del Torrente Lura e lo scarico finale a valle dell'attuale; l'Area B necessità l'attraversamento del torrente e consente lo scarico in prossimità dell'attuale impianto di depurazione.

Sulla base delle considerazioni riportate, l'area A è risultata essere preferibile all'area B, e con buone caratteristiche per lo sviluppo dell'impianto di fitodepurazione.

5.1 Criteri progettuali

La tipologia di impianto di fitodepurazione prescelta è a flusso sub-superficiale orizzontale (H-SSF) con una configurazione in parallelo dei bacini, piantumati con *Phragmites australis* (cannuccia di palude). I bacini di fitodepurazione sono impermeabilizzati con una sequenza di tessuto non tessuto, membrana impermeabile e tessuto non tessuto. Il riempimento dei bacini è realizzato con ghiaia e ciottoli silicei.
Per il dimensionamento dei bacini di fitodepurazione sono assunti i seguenti parametri:

Tempo di ritenzione idraulico effettivo di esercizio (parte vegetata) HRT_{ee}	d	1,0
Tempo di ritenzione idraulico effettivo massimo (parte vegetata) HRT_{eM}	d	2,0
Tempo di ritenzione idraulico effettivo minimo (parte vegetata) HRT_{em}	d	0,75

5.2 Procedura di calcolo per il dimensionamento dell'impianto

Nel caso specifico il dimensionamento dell'impianto è vincolato dalla superficie di terreno disponibile ovvero è determinata la portata trattata dall'impianto di fitodepurazione in funzione della dimensione impiantistica realizzabile.

Dalla superficie disponibile si è determinata la superficie utile di tentativo considerando le necessità di superficie per la realizzazione dei collegamenti idraulici, dei percorsi per mezzi d'opera delle parte dei bacini destinate alla distribuzione e raccolta delle acque.

La superficie di fitodepurazione si calcola con la seguente equazione:

$$A_f = \frac{100\ 24\ Q\ HRT_e}{\varepsilon\ h_m}$$

con:
Q = portata di alimentazione (m^3/h)
HRT_e = tempo di ritenzione idraulico effettivo (d)
ε = porosità (%)
h_m = altezza liquida media (m)

ponendo come incognita la portata Q e come valore di tentativo un'altezza media si calcola:

Q_e = portata esercizio di alimentazione (m^3/h) con HRT_{ee} tempo di ritenzione idraulico effettivo di esercizio (d)
Q_m = portata minima di alimentazione (m^3/h) con HRT_{eM} tempo di ritenzione idraulico effettivo massimo (d)
Q_M = portata massima di alimentazione (m^3/h) con HRT_{em} tempo di ritenzione idraulico effettivo minimo (d)

La velocità teorica v (m/d) si calcola con:

$$v = \frac{24\ Q}{A_{ci}}$$

con:
A_{ci} = area trasversale bagnata (m^2)

Ponendo come incognita la superficie e come valore di tentativo una velocità, si calcola l'area trasversale.

La larghezza necessaria (somma della larghezze dei singoli bacini) si determina con:

$$\Sigma W = \frac{\Sigma A_{ci}}{hi}$$

con:
ΣW = somma larghezza bacino (m)
h_i = altezza liquida iniziale (m)

ponendo come valore di tentativo l'altezza liquida si calcola ΣW.

Numero dei bacini
Il numero dei bacini si calcola con:

$$n = \frac{\Sigma W}{W}$$

con:
W = larghezza bacino prevista (m)

Il gradiente idraulico si calcola con la formula del Darcy:

$$\frac{dh}{L} = \frac{24\ Q}{K_f\ A_c}$$

con:
K_f = conducibilità idraulica (m/d)
L = lunghezza letto (m)

Sulla base delle dimensioni, del numero di bacini e della portata di alimentazione assunte, si calcolano le perdite di carico effettive e quindi le altezze liquide nel letto.
Con l'altezza determinata si può calcolare il volume bagnato del bacino da cui si ottiene il tempo di ritenzione idraulica effettiva.

5.3 Valutazione dell'investimento
Per la valutazione dell'investimento è stato utilizzato il metodo del Valore Attuale Netto (VAN) che è la somma dei valori attuali della serie di flussi di cassa originati dall'investimento a partire dall'anno 0 fino all'anno n-esimo:

$$VAN = \Sigma t_0^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

con:

F = Flusso di cassa all'anno t
r = Tasso di sconto o del capitale o di attualizzazione
$(1+r)^{-t}$ = Fattore di attualizzazione

Con il metodo VAN, il criterio utilizzato per l'accettazione di un investimento è che lo stesso VAN sia maggiore o uguale a zero, infatti se il VAN è positivo significa che l'investimento ha reso più del costo del capitale necessario per la sua effettuazione.

Nel caso, il metodo del VAN è stato applicato per il confronto di diverse opzioni di un medesimo investimento, per le quali non è prevista la produzione di un diverso profitto: ne consegue che il VAN è pari alla differenza dei Costi Attuali Netti (CAN) delle opzioni proposte e che tale differenza rappresenta il "risparmio" di una opzione rispetto all'altra.

Il Tasso di sconto utilizzato per il calcolo del VAN è stato posto pari al Tasso d'interesse bancario medio sui prestiti a medio e lungo termine alle imprese (Banca d'Italia, Maggio 2009 – Indici mensili. 7 Sole 24 Ore, Luglio 2009) pari a 3,99%.

Per verificare la variabilità dei risultati del VAN al variare delle principali variabili economiche, è stata eseguita un'analisi di sensitività.
L'analisi ha considerato la variazione del tasso di interesse tenendo conto del:

- r1, Tasso d'interesse bancario medio sui prestiti a medio e lungo termine alle imprese (Banca d'Italia, Maggio 2009 – Indici mensili. 7 Sole 24 Ore, Luglio 2009) pari a 3,99%;
- r2, Tasso fisso nominale annuo per mutui trentennali della Cassa Depositi e Prestiti (Comunicato CDP SpA del 28 Agosto 2009) pari a 4,77%;
- r3, Rendimento lordo dei titoli di Stato – BTP trentennali (Banca d'Italia, Maggio 2009 – Indici mensili. 7 Sole 24 Ore, Luglio 2009) pari a 4,211%.

Per ogni tasso applicato è stato quindi calcolato il VAN al variare dei flussi di cassa per l'aumento di alcune voci di costo in diverse combinazioni.

Per la valutazione si è considerato un periodo di 25 anni.

5.4 Caratteristiche impiantistiche

L'impianto di fitodepurazione progettato, è costituito dalle seguenti linee e fasi:

- linea trattamento acque
  - sollevamento iniziale;
  - ripartizione e alimentazione bacini di fitodepurazione;
  - trattamento fitodepurazione;
  - scarico finale;
- sezioni di servizio.

Dal canale di scarico dell'impianto di depurazione le acque trattate sono addotte alla stazione di sollevamento alla fitodepurazione e quindi convogliate ai ripartitori di alimentazione dei bacini tramite pompe sommergibili.
Le acque addotte al singolo ripartitore, tramite lo stacco sul collettore di alimentazione equipaggiato con il complesso di misura di portata elettromagnetico e valvola di regolazione, confluiscono nella vasca di ripartizione a cui si attestano gli stramazzi di alimentazione dei singoli bacini.

Nel bacino le acque sono distribuite tramite un sistema costituito da una tubazione forata in posizioni idonee a garantire una distribuzione omogenea lungo la sezione trasversale.
Le acque attraversano i bacini di fitodepurazione dove, per effetto meccanico, sono trattenuti i solidi sospesi, permettendo di ottenere uno scarico trasparente ed il più possibile privo di residui, per effetto dei microrganismi e dei vegetali, sono rimosse le concentrazioni residue di inquinanti ancora presenti nelle acque trattate, in particolare il contenuto residuo di COD, azoto, fosforo, coloranti, tensioattivi e metalli.
Le acque in uscita dal bacino sono raccolte tramite una tubazione forata posta sul fondo lungo la sezione trasversale della zona terminale del bacino. Il terminale della tubazione di raccolta, posto in un pozzetto esterno al bacino, è equipaggiato con valvola telescopica per la regolazione del livello all'interno del bacino e valvola di scarico per lo svuotamento totale.
Le acque in uscita dalla fitodepurazione sono addotte al collettore di scarico e convogliate a gravità al Torrente Lura.
L'impianto è controllato da un sistema di automazione sviluppato su PLC.

Sulla base dei calcoli la portata di alimentazione dell'impianto di fitodepurazione è:

Q_e = 10.452 m^3/d portata esercizio di alimentazione con HRT_{ee} tempo di ritenzione idraulico effettivo di esercizio (d)

Q_m = 5.227 m^3/d portata minima di alimentazione con HRT_{eM} tempo di ritenzione idraulico effettivo massimo (d)

Q_M = 13.939 m^3/d portata massima di alimentazione con HRT_{em} tempo di ritenzione idraulico effettivo minimo (d)

Le principali caratteristiche dell'impianto (vedi Fig. 5.3) sono:

bacini	n°	88
ripartitori (vedi Fig.5.4)	n°	13
superficie vegetata impianto	m^2	48.400

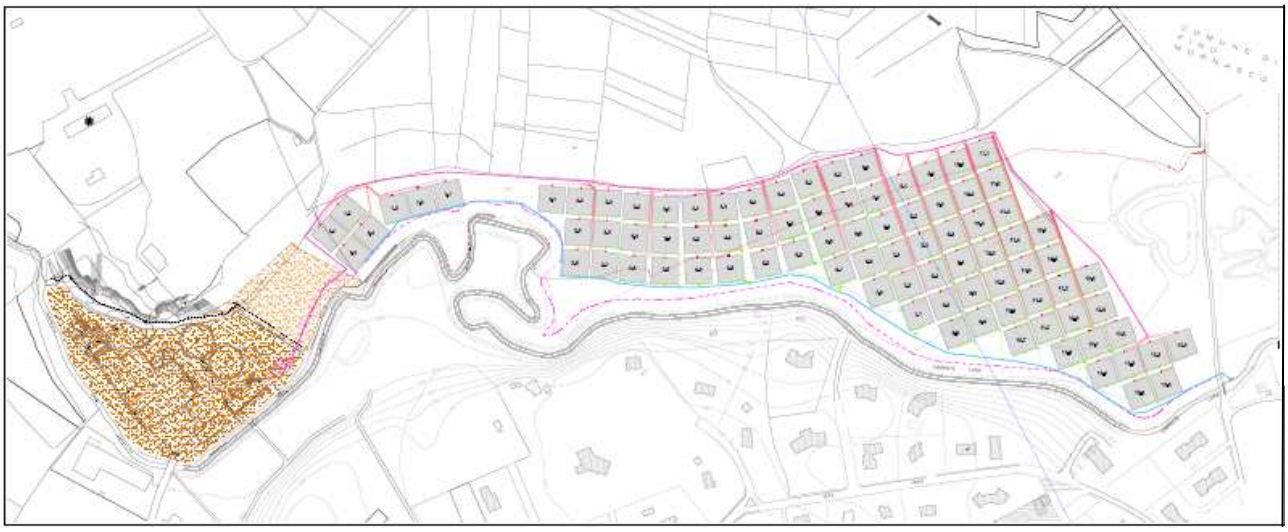

Fig. 5.3 – Planimetria generale impianto

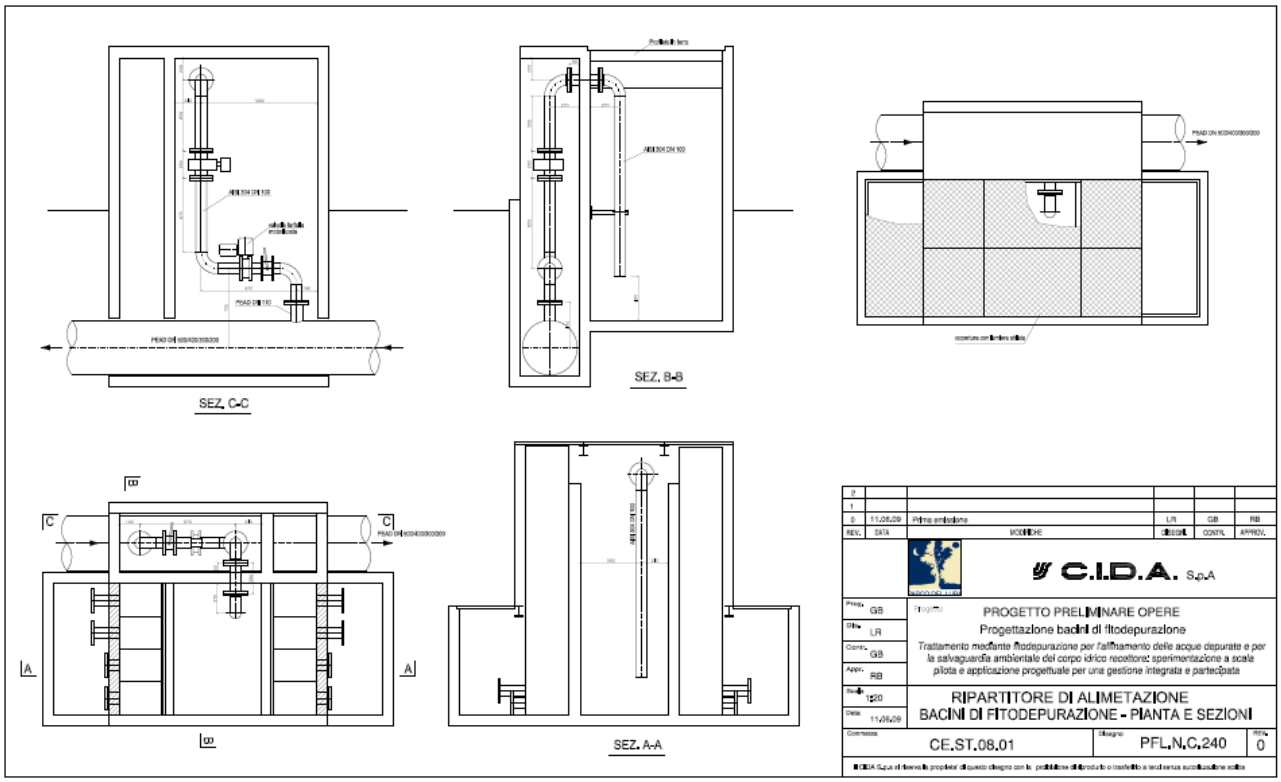

Fig. 5.4 – Ripartitore

Le principali caratteristiche del bacino (vedi Fig. 5.5) sono:

larghezza bacino W	m	25
lunghezza parte vegetata bacino L	m	22
lunghezza zona ingresso	m	1,5
lunghezza zona uscita	m	1,5
superficie vegetata bacino	m^2	550
altezza riempimento zona ingresso Hi	m	0,7
altezza media liquida hm	m	0,6
pendenza fondo	m/m	0,005
inclinazione sponde	°	60

velocità di attraversamento orizzontale trasversale con HRT_{ee}	m/d	7,92
tempo si ritenzione idraulica teorico della parte vegetata a letto vuoto con HRT_{ee}	d	3,5

I bacini di fitodepurazione sono impermeabilizzati con una sequenza di tessuto non tessuto (in PP con grammatura 180 g/m^2), membrana impermeabile (in EPDM con spessore 1,52 mm) e tessuto non tessuto.

Il materiale di riempimento per la zona vegetata ha le seguenti caratteristiche:

tipo	ghiaia silicea	
granulometria	mm	20÷30
porosità ε	%	36
conducibilità idraulica K_f	m/d	40.000
volume bacino	m^3	415

Il materiale di riempimento per le zone di ingresso e uscita ha le seguenti caratteristiche:

tipo	ciottoli silicei	
granulometria	mm	60÷100
porosità ε	%	40
conducibilità idraulica K_f	m/d	100.000
volume bacino (parte sciolto e parte ingabbiato)	m^3	49

La vegetazione prevista è costituita da:

tipo	*Phragmites australis* (cannuccia di palude)	
piantumazione	cespi / rizomi con pane di terra	
materiale aggiuntivo	torba	
periodo di piantumazione	autunno	
densità piantumazione	n° rizomi (o piante)/m^2	4
numero piante per bacino	n°	2.200

Lungo il perimetro dei bacini è prevista la piantumazione con piante con funzioni di corridoio ecologico e decorative.

La perdita di carico nell'attraversamento del letto è calcolata con la formula di Darcy assumendo:

Rapporto lunghezza prima zona (ad elevato intasamento) su lunghezza totale		0,3
Rapporto lunghezza seconda zona su lunghezza totale		0,7
Conducibilità idraulica prima zona su conducibilità materiale pulito	%	1
Conducibilità idraulica seconda zona su conducibilità materiale pulito	%	10

La perdita di carico (ingresso- uscita bacino) calcolata è:

h materiale pulito con HRT_{ee}	m	0,005
h materiale esercizio con HRT_{ee}	m	0,169

Sulla base delle concentrazioni di inquinanti previsti in uscita dall'impianto di depurazione si calcolano i seguenti carichi superficiali:

Carico superficiale COD con HRT_{ee}	g/m^2d	13,0
Carico superficiale BOD5 con HRT_{ee}	g/m^2d	2,2
Carico superficiale N con HRT_{ee}	g/m^2d	2,2
Carico superficiale P con HRT_{ee}	g/m^2d	0,2
Carico superficiale SST con HRT_{ee}	g/m^2d	3,2

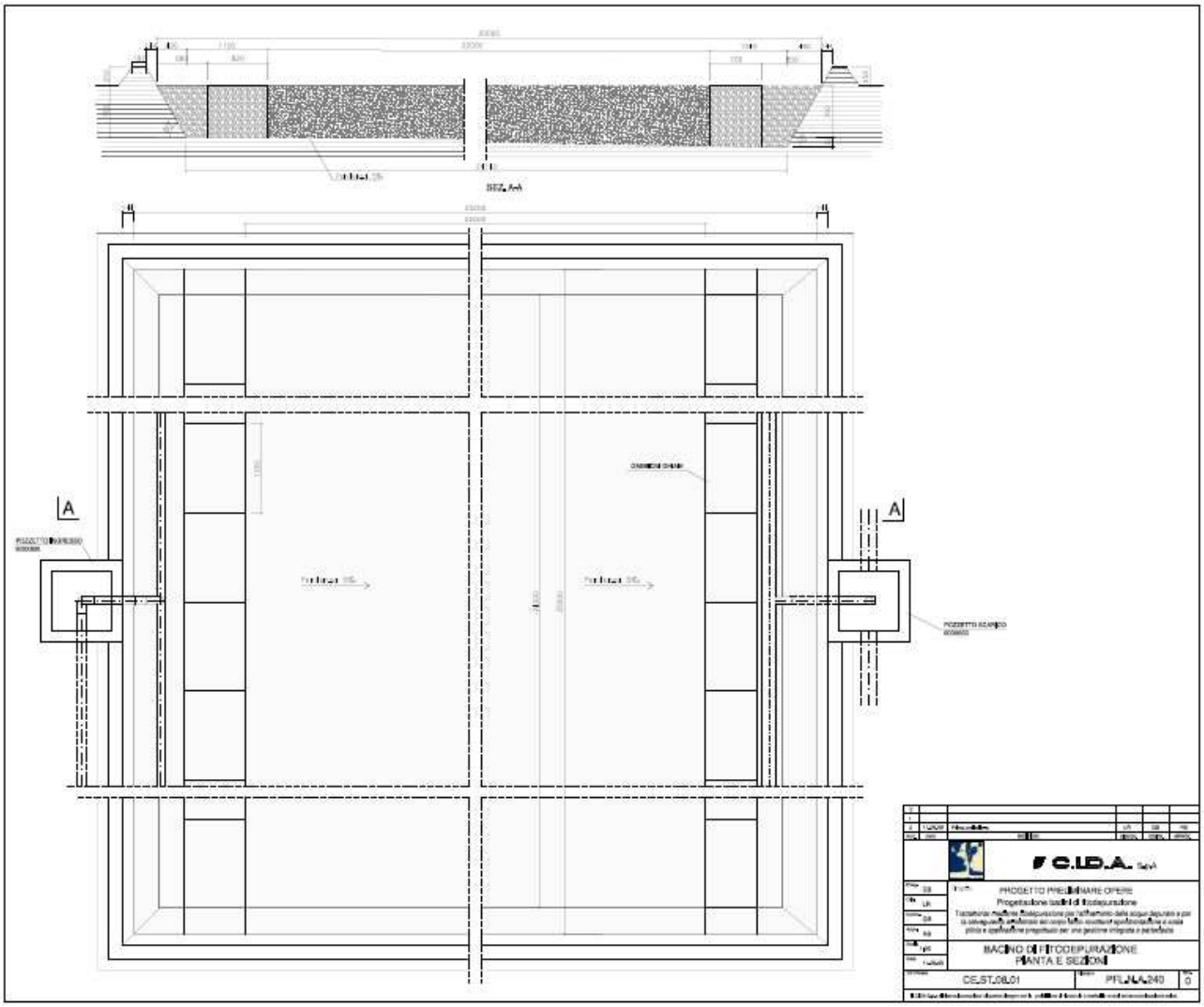

Fig. 5.5 – Bacino di fitodepurazione

5.5 Opere di inserimento ambientale

Per l'inserimento ambientale dell'impianto di fitodepurazione è stato previsto (vedi Fig. 5.6):

- la formazione di fasce tampone o ecotonali lungo il perimetro dell'impianto con messa a dimora di piantine forestali con una densità di 1600 unità per ettaro;
- la formazione di siepe variegata tra la fascia ecotonale e la strada carrabile di impianto;
- la sistemazione della fascia boschiva tra il torrente Lura e l'impianto di fitodepurazione.

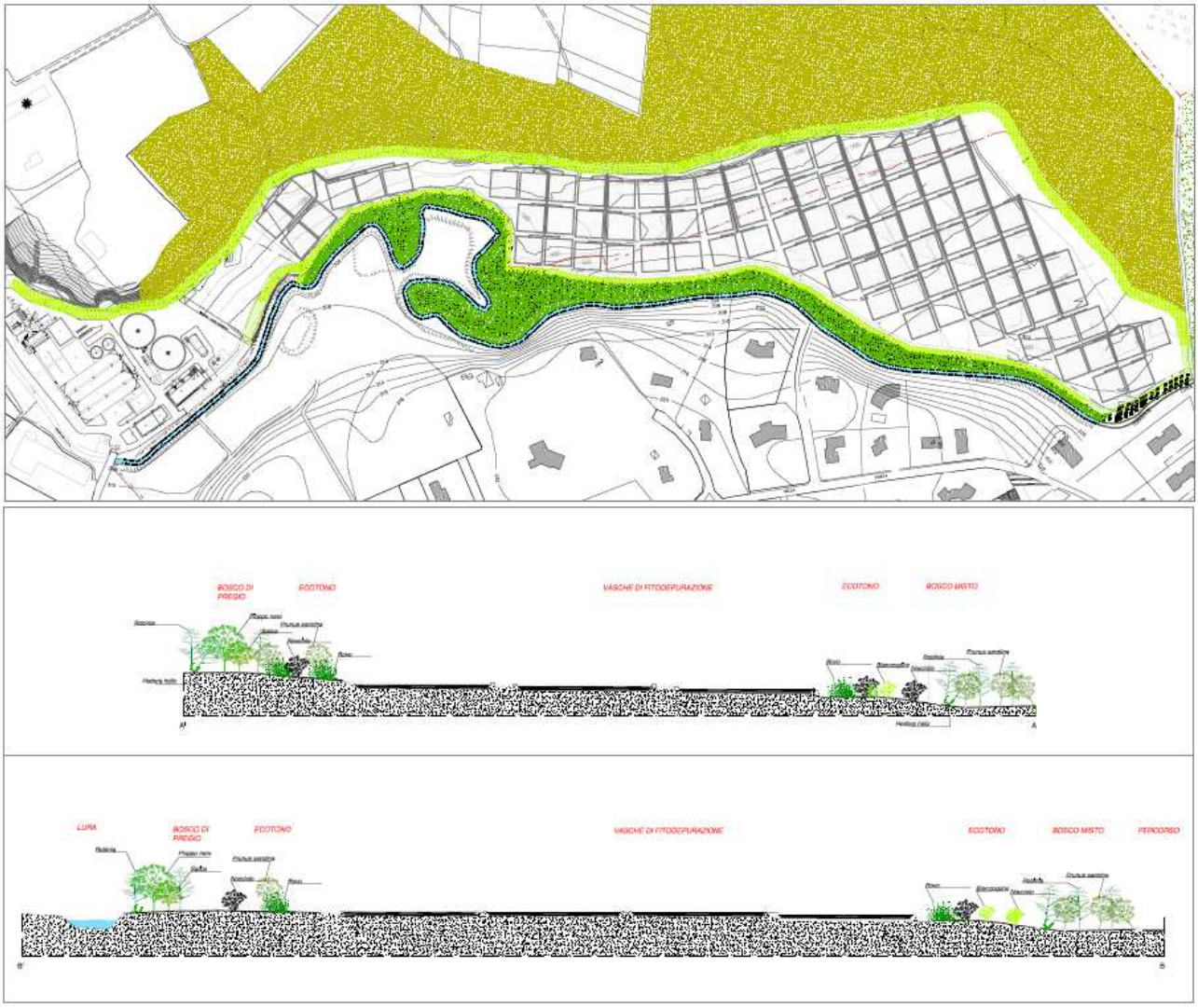

Fig. 5.6 – Inserimento ambientale impianto di fitodepurazione

5.6 Costi di investimento

La stima dei costi di realizzazione dell'impianto di fitodepurazione è riportata in Tab. 5.2 .

Tab. 5.2 – Costi di realizzazione

STIMA COSTI REALIZZAZIONE IMPIANTO FITODEPURAZIONE	
	Totale
Opere civili	6.720.000,00
Opere elettromeccaniche	456.400,00
Lavori a base d'asta	7.176.400,00
Oneri per la sicurezza non soggetti a ribasso (3% Lavori a base d'asta)	215.292,00
Spese tecniche	749.408,00
Importo totale dei lavori + Spese tecniche	**8.141.100,00**
Acquisto terreno	1.233.900,00
Importo totale dei lavori + Spese tecniche + acquisto terreno	**9.375.000,00**

5.7 Costi di esercizio

Per la stima dei costi di esercizio si sono considerate le seguenti voci:

- Energia elettrica.
- Produzione e smaltimento biomassa: per la conduzione dell'impianto è previsto uno sfalcio annuale della parti epigee delle piante con la rimozione del materiale dal bacino per evitare un interramento veloce del riempimento. La produzione è stimata sulla base dei dati di letteratura (*P.Mantovi, et al*. - La fitodepurazione applicata al trattamento delle acque reflue di caseificio – Ingegneria Ambientale vol XXXV n° 7/8 2006) assumendo una produzione di 2,5 kgSS/m^2 con una tenore di secco del 25%. Per lo smaltimento, in via cautelativa, è stato ipotizzato come destino l'incenerimento con i relativi costi assunti pari a 130 €/t di biomassa tal quale. In funzione della caratterizzazione dl rifiuto sono possibili altri destini: compostaggio, digestione per produzione biogas, combustione per teleriscaldamento, …, con costi di smaltimento inferiori a quelli previsti.
- Personale per conduzione e manutenzione.
- Manutenzione esterna - opere civili e elettromeccaniche: il costo della manutenzione è stato determinato come percentuale del costo di costruzione utilizzando le seguenti aliquote previste dal PRRA (Regione Lombardia, Maggio 1996):
- opere civili – depurazione 0,5 %
- opere elettromeccaniche 3,0 %
- Manutenzione esterna - sfalcio e pulizia bacino: lo sfalcio è eseguito annualmente con la rimozione e l'ammasso della biomassa all'interno dell'impianto. Per i primi due anni non è previsto lo sfalcio, ma il diserbamento dei bacini dalle specie non utili.
- Manutenzione esterna - area a verde: è prevista la manutenzione delle aree verdi (esclusi i bacini) costituenti l'impianto e le opere di inserimento ambientale con sfalcio dell'erba (3 volte all'anno per le zone a prato) e potatura degli arbusti.
- Manutenzione esterna - rimozione solidi: per garantire il mantenimento della permeabilità idraulica del riempimento limitando il progressivo intasamento conseguente ai solidi sospesi presenti nelle acque reflue, alla crescita di biomassa biologica e al materiale di degradazione delle parti vegetate, è previsto il lavaggio del riempimento tramite l'iniezione di acqua e l'aspirazione del flusso carico di solidi. Si è ipotizzato un lavaggio con una frequenza di 5 anni a partire dal quinto anno di esercizio.
- Ammortamento impianto: l'ammortamento delle opere è stato calcolato con una tasso annuo del 5% e con una durata di 15 anni per le opere civili e di 8 anni per le opere elettromeccaniche e per le spese tecniche.

I costi di esercizio sono riportati in Tab. 5.3 e sono così sintetizzabili:

costo giornaliero impianto senza ammortamento	€/d	656,90
costo specifico per m^3 di refluo trattato senza ammortamento	€/m^3	0,06
costo giornaliero impianto (nei primi otto anni)	€/d	3.358,74
costo specifico per m^3 di refluo trattato	€/m^3	0,32

Tab. 5.3 – Costi di esercizio

STIMA COSTI DI ESERCIZIO - IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE	€/m3
Energia Elettrica	0,0038
smaltimento biomassa	0,0165
Manodopera interna conduzione e manutenzione	0,0142
Ricambi e manutenzione esterna opere elettromeccaniche	0,0036
Manutenzione esterna opere civili	0,0088
Manutenzione esterna - taglio parti epigee e asportazione materiale di risulta	0,0032
Manutenzione esterna - area a verde	0,0027
Manutenzione esterna – pulizia bacini rimozione solidi	0,0101
TOTALE SENZA AMMORTAMENTO	**0,06**
Ammortamento (da anno 1 a anno 8)	0,2584
Ammortamento (da anno 9 a anno 15)	0,2008
TOTALE (da anno 1 a anno 8)	**0,32**
TOTALE (da anno 9 a anno 15)	**0,26**

5.8 Soluzione alternative per l'affinamento delle acque reflue

Sulla base delle prove sperimentali a scala di laboratorio e pilota condotte dal Politecnico di Milano e dall'Università degli Studi di Milano Bicocca – DISAT, presso l'impianto di depurazione Livescia (Lariana depur SpA), sono attese le seguenti caratteristiche del refluo in uscita dall'impianto di fitodepurazione con un tempo di ritenzione idraulica HRT di 1 giorno:

COD (rimozione 30%)	mg/l	42
BOD5 (rimozione 30%)	mg/l	7
Azoto totale* (rimozione 30%)	mg/l	7
Fosforo totale*(rimozione 10%)	mg/l	0,9
Solidi Sospesi Totali (rimozione 70%)	mg/l	5
Tensioattivi totali (rimozione 35%)	mg/l	1,3
Rame (rimozione 40-45%)		
Zinco (rimozione 40-50%)		

avendo ipotizzato, in ingresso alla fitodepurazione, le acque reflue scaricate dall'impianto di depurazione Alto Lura, a seguito di adeguamento, con caratteristiche del refluo nei limiti previsti da:

- Tabella 5 dell'Allegato B del Regolamento Regionale Lombardia del 24 marzo 2006 n°3 per impianti con potenzialità maggiore di 100. 000 abitanti equivalenti;
- Tabella 1 e Tabella 3 di Allegato 5 – Parte 3 del D.lgs 152/06.

In alternativa alla fitodepurazione per l'affinamento delle acque reflue in uscita dall'impianto di depurazione, è ipotizzabile un trattamento di filtrazione a carbone attivo granulare con attività biologica (BioGAC).

Il trattamento prevede l'adsorbimento su carbone attivo granulare in filtri a pressione; poiché il refluo in uscita dall'ozonazione è sovrasaturo di ossigeno e nel refluo è presente

una discreta carica batterica, all'interno del filtro si sviluppa una attività biologica che consente la degradazione delle molecole adsorbite sul carbone, liberando i siti e permettendo il prolungamento del periodo di esercizio tra una rigenerazione del carbone e la successiva. All'interno del filtro (in funzione dello spessore della pellicola biologica) sussiste una parziale attività di nitrificazione e denitrificazione in simultanea con la conseguente rimozione di azoto.
Sulla base dei dati sperimentali (Integrated Water Recycling and Emission Abatement in the Textile Industry - EC contract ENV4-CT95-0094) sono ipotizzate le seguenti caratteristiche del refluo trattato:

COD (rimozione 55%)	mg/l	27
BOD5 (rimozione 60%)	mg/l	4
Azoto totale* (rimozione 30%)	mg/l	7
Fosforo totale*(rimozione 20%)	mg/l	0,8
Solidi Sospesi Totali (rimozione 70%)	mg/l	5
Tensioattivi totali (rimozione 50%)	mg/l	1,0
Rame (rimozione 0-5%)		
Zinco (rimozione 0-5%)		

con i seguenti parametri di processo:

Tempo di contatto	min	30
Intervallo tra controlavaggi	d	12
Durata di esercizio carica di carbone	d	140

I principali vantaggi e svantaggi del trattamento di filtrazione a carbone rispetto al trattamento di fitodepurazione sono riportati in Tab. 5.4.

Tab. 5.4 – Vantaggi e svantaggi filtrazione a carbone

Vantaggi	**Svantaggi**
• compattezza del sistema e limitata occupazione di aree: circa 585 m^2 contro i 117.000 m^2; • ridotta sensibilità alle variazioni delle condizioni atmosferiche e stagionali; • nessuna produzione di residui (considerando la rigenerazione del carbone e il suo riutilizzo);	• maggiori consumi di energia elettrica: 603 kWh/d contro 332 kWh/d; • scarico di acque di controlavaggio da sottoporre a trattamento; • rigenerazione del carbone; • basso rendimento nella rimozione dei metalli.

5.9 Valutazione dell'investimento

E' stata eseguita la valutazione economica dell'investimento relativo alle due alternative per l'affinamento delle acque reflue in uscita dall'impianto di depurazione:

- Impianto di fitodepurazione con una portata giornaliera di acqua trattata pari a 10.454 m3/d sollevata dall'uscita dell'impianto di depurazione e scaricata nel Torrente Lura;
- Impianto di filtrazione a carbone attivo granulare (con attività biologica) con analoga portata sollevata dall'uscita dell'impianto di depurazione e scaricata nel Torrente Lura (non è previsto il riutilizzo).

Per le due alternative gli investimenti comprensivi di spese tecniche e di spese relative ai terreni, sono riportati Tab. 5.5.

Tab. 5.5 – Costi di investimento

	Alternativa fitodepurazione €	**Alternativa filtrazione a carbone €**
Totale Impianto di affinamento	**9.375.000,00**	**2.662.100,00**

Per le due alternative a regime, i costi di gestione considerati Flusso di cassa operativo, sono riportati Tab. 5.6.

Tab. 5.6 – Costi di gestione

	Alternativa fitodepurazione €	**Alternativa filtrazione a carbone €**
Energia elettrica	14.563,50	26.414,03
Smaltimento biomassa	62.920,00	
Manutenzione e conduzione interna	54.020,00	54.020,00
Manutenzione esterna	108.264,90	51.250,00
Rigenerazione carbone attivo		250.285,71
Trattamento acque di controlavaggio		43.800,00
Totale	**239.768,40**	**425.769,74**

Per l'analisi di sensitività della valutazione, si è considerata un incremento dei costi relativo a:

- energia elettrica;
- rigenerazione carbone;

con la combinazione indicata in Tab. 5.7.

Tab. 5.7 – Parametri per analisi sensitività

Incremento % sul costo previsto	A	B	C	D
energia elettrica	0	20	0	20
rigenerazione carbone	0	0	20	20

Nel confronto, l'alternativa di affinamento con impianto di filtrazione a carbone risulta essere vantaggiosa rispetto all'alternativa con impianto di fitodepurazione con un VAN variabile, in funzione del tasso di sconto applicato e dell'incremento dei costi considerati, sintetizzabili come indicato in Tab. 5.8.
L'Alternativa con impianto di fitodepurazione presenta un flusso di cassa inferiore rispetto a quello dell'Alternativa con impianto di filtrazione a carbone per circa 186.000 €/a, non sufficiente ad azzerare il VAN nell'orizzonte temporale considerato.
L'impianto di fitodepurazione è penalizzato dal costo di realizzazione in particolare per l'incidenza dei costi di impermeabilizzazione e del materiale di riempimento dei bacini.

L'utilizzo di materiali di riempimento alternativi o di recupero, con la conseguente riduzione dei costi, migliora la valutazione dell'investimento.

Tab. 5.8 – Risultati valutazione

	VAN (Tasso di sconto r=3,99%) €	**Analisi di sensitività Variazione VAN €**
Impianto di fitodepurazione – Impianto di filtrazione a carbone	**3.874.038,60**	$4,2 \div 3,1 * 10^6$

La documentazione completa in merito alla progettazione dell'impianto a scala reale è riportata in Allegato 8.

6. La partecipazione

All'interno del progetto sono stati organizzati tre incontri pubblici per presentare il progetto e i risultati che via via erano stati ottenuti. Il primo incontro si è tenuto nel comune di Bulgarograsso il 18 giugno 2007, il secondo nel comune di Guanzate il 13 novembre 2008 e il terzo nella sede del Consorzio Parco del Lura, a CAdorago, il 17 ottobre 2009.

6.1 Incontro a Bulgarograsso

Alla serata hanno partecipato gli amministratori comunali dei due paesi coinvolti nel progetto (Bulgarograsso e Guanzate) e i tecnici. Sono state spedite lettere invito alle associazioni locali, agli amministratori e ai rappresentati di enti presenti sul territorio.

Il programma dell'incontro prevedeva la presentazione del progetto di sperimentazione della fitodepurazione e comprendeva i seguenti interventi:

1. Inquadramento dei problemi ambientali del Torrente Lura
2. Descrizione dell'impianto di depurazione esistente a Bulgaro
3. Descrizione dei processi di fitodepurazione
4. Presentazione del progetto riguardante il Torrente Lura

Ai presenti è stato inoltre distribuito un questionario (Allegato 9.a) con il duplice obiettivo di valutare l'esaustività delle informazioni fornite durante la serata (e quindi programmare di conseguenza le azioni di comunicazione future, rispetto alle esigenze dei presenti), e di valutare le aspettative dei cittadini rispetto all'intero progetto. Alla riunione hanno partecipato circa 80 persone, 43 delle quali hanno restituito il questionario. I più numerosi sono stati i cittadini di Bulgaro (26 presenti), a cui seguono quelli di Guanzate (5) e Olgiate Comasco (3). Seguono persone residenti a Cadorago, Limido Comasco, Appiano Gentile, Lurate Caccivio, Bregnano e Villa Guardia. Per la maggior parte ultra-cinquantenni (19), con una forte presenza anche di 30-40enni e 40-50enni. Molti i pensionati (16), seguiti da impiegati (10), liberi professionisti (5), studenti e operai (4).

La maggior parte degli intervistati ha valutato l'introduzione e la presentazione del progetto di fitodepurazione "chiara e completa" (22 persone) o "esaustiva e interessante" (15). Solo una persona ha trovato la presentazione per niente chiara, e 4 abbastanza chiara ma non completa. Le spiegazioni sono state "chiare e complete" per 29 intervistati, "chiare ma non complete" per 10 e "non sempre chiare e complete" per 2 intervistati.

Gli intervistati hanno chiesto di chiarire o approfondire i seguenti aspetti del progetto: Depurazione, Effettiva funzionalità del progetto nel caso di gravi carenze idriche,

Piantumazione, Informazioni aggiornate sulla situazione del torrente, Gestione futura e migliorie, Scarichi non controllati, Parte tecnica (come avviene la depurazione dal punto di vista fisico-chimico), Tempi e costi, Vantaggi reali – effettiva funzionalità, Impatto del progetto su imprese agricole locali, Funzionamento. Molti non hanno chiesto chiarimenti, probabilmente per il fatto che ritenevano chiara e completa l'informazione, come dichiarato nella domanda precedente del questionario.
La maggior parte degli intervistati pensa che la ricaduta del progetto sarà importante (29); per 7 persone sarà nulla, e 8 non hanno risposto.
Alla domanda "Come pensa che il progetto possa migliorare o peggiorare la sua vita o la sua attività?" 27 intervistati non hanno saputo dare una risposta. Gli altri hanno scritto: Ricadute di costi attualmente non cari, Corso d'acqua risanato: miglioramento per tutti, Ripristinare un equilibro che già esisteva, Ambiente più pulito, Migliore impatto attività produttiva e degli insediamenti urbani.
La maggior parte degli intervistati pensa o è sicuro di partecipare a una visita guidata a impianti di fitoderupazione già attivi (41) se organizzata.
Ben 40 intervistati su 43 sono disponibili a partecipare ad altri incontri di approfondimento sul tema della fitodepurazione.
Per 13 intervistati è MOLTO IMPORTANTE partecipare ad altri incontri con esperti. Per 18 è ABBASTANZA IMPORTANTE e solo per 3 POCO IMPORTANTE.
Per 17 intervistati è ABBASTANZA IMPORTANTE partecipare a momenti di confronto con altri cittadini, per 10 lo è POCO, per 8 MOLTO e solo per 1 PER NIENTE IMPORTANTE.
Per 18 intervistati è ABBASTANZA IMPORTANTE acquisire maggiori informazioni tecniche, per 12 è MOLTO IMPORTANTE e per 5 POCO IMPORTANTE.
Per 20 persone è MOLTO IMPORTANTE visitare altri impianti di fitodepurazione, per 12 ABBASTANZA IMPORTANTE e solo per 3 POCO IMPORTANTE.
Durante il dibattito finale le domande emerse riguardavano: tempi e costi del progetto (come emerso anche dal questionario), la definizione dell'area su cui costruire il pilota e in seguito l'impianto vero e proprio, l'utilità del pilota, gli effetti negativi del progetto e la possibilità di valutare soluzioni alternative.
Le risposte al questionario sono riportate in Allegato 9b.

6.2 Incontro a Guanzate

Il programma di questa serata è stato lo stesso di quella precedente:

1. Inquadramento dei problemi ambientali del Torrente Lura
2. Descrizione dell'impianto di depurazione esistente a Bulgaro
3. Descrizione dei processi di fitodepurazione
4. Presentazione del progetto riguardante il Torrente Lura

In questo caso la presenza di pubblico è stata limitata, e anche la restituzione dei questionari non è stata significativa.
In occasione della serata è stata preparata una brochure (Allegato 9c) esplicativa della fitodepurazione e del progetto di sperimentazione. E' stato inoltre predisposto un manifesto formato A3 per pubblicizzare l'evento, e sono state spedite lettere invito alle associazioni locali, agli amministratori e ai rappresentati di enti presenti sul territorio.

6.3 Giornata di studio a Cadorago

In occasione della chiusura del progetto è stata organizzata una giornata di studio presso la sede del Consorzio Parco del Lura a Cadorago (Loc. Caslino al Piano) sabato 17 ottobre 2009. Sono state spedite lettere invito alle associazioni locali, agli amministratori e ai rappresentati di enti presenti sul territorio, ed è stata predisposta una seconda brochure

(Allegato 9d) con una sintesi dei risultati della sperimentazione e del progetto preliminare dell'impianto reale.
Il programma della giornata di studio era il seguente:

1. Saluti delle Autorità (sindaco di Cadorago e sindaco di Bulgarograsso) e del Presidente del Consorzio Parco del Lura
2. Il Contratto di fiume Olona, Bozzente, Lura - *Mario Clerici (Regione Lombardia)*
3. Esperienze di fitodepurazione - *Stefano Cortelezzi (biologo, Prealpi Servizi Srl)*
4. La fitodepurazione mediante elementi flottanti - *Francesca Oggionni (agronomo, Progetto Verde)*
5. Il progetto di sperimentazione - *Valeria Mezzanotte (Università degli Studi Milano Bicocca)*
6. La sperimentazione a scala pilota - *Francesca Malpei, Gianluigi Buttiglieri, Aronne Teli (Politecnico di Milano)*
7. I risultati sperimentali - *Valeria Mezzanotte, Sergio Canobbio, Francesca Salmaso (Università degli Studi di Milano Bicocca)*
8. Il progetto preliminare dell'impianto pilota - *Giovanni Bergna (Cida Spa), Roberto Bianchi (Lariana Depur)*

All'incontro hanno partecipato una quarantina di persone, a cui sono stati consegnati gli abstract degli interventi dei relatori.

6.4 Rapporti con la stampa

Per tutti gli incontri pubblici organizzati nell'ambito del progetto, sono stati predisposti comunicati stampa inviati a giornali locali o riviste di settore, potenzialmente interessate all'argomento.

7. Conclusioni

La progettazione dell'impianto di fitodepurazione, basata sui risultati dell'attività sperimentale condotta, ha indicato la fattibilità della realizzazione di un impianto di affinamento delle acque reflue depurate nei terreni a valle dell'impianto di depurazione Alto Lura a Bulgarograsso.

Sulla base delle superfici disponibili, è previsto il trattamento di circa 10.500 m^3/d pari al 37% della portata in tempo secco prevista per il bacino di depurazione Alto Lura + Livescia.

Il costo di realizzazione risulta significativo in particolare per il costo dei materiali di impermeabilizzazione e di riempimento; i costi di gestione sono invece contenuti.
La valutazione economica indica che rispetto ad un impianto di affinamento alternativo come la filtrazione a carbone, la fitodepurazione risulta non conveniente nonostante il relativo flusso di cassa operativo sia sensibilmente inferiore.

Per migliorare la convenienza della fitodepurazione, risulta opportuno individuare e verificare sperimentalmente materiali alternativi per il riempimento dei bacini, che presentino costi inferiori e caratteristiche in grado di migliorare l'efficacia dei processi fitodepurativi.

BIBLIOGRAFIA

1. *ANPA* – Dipartimento Prevenzione e Risanamento. Linee guida pe la ricostruzione di aree umide per il trattamento di acque superficiali. Manuali e linee guida 9/2002
2. *ANPA* – Linee guida per la ricostruzione di aree umide per il trattamento di acque superficiali – Manuali e linee guida 9/2002
3. *ARPAT* – Dipartimento provinciale di Firenze. Linee guida per il trattamento di acque reflue domestiche ed assimilate in aree non servite da pubblica fognatura. 2005.
4. Borin M. (2003) Fitodepurazione – soluzioni per il trattamento dei reflui con le piante. Edagricole, Bologna.
5. Canobbio S., Mezzanotte V. (2003) Studio sulle caratteristiche ecologiche del torrente Lura in relazione all'uso del territorio circostante. Atti del XIII Congresso della Società Italiana di Ecologia, Como.
6. Canobbio S., Mezzanotte V., Sanfilippo U., Benvenuto F. (2009): Effect of multiple stressors on water quality and macroinvertebrate assemblages in an effluent-dominated stream. Water, Air and Soil Pollution, 198:359–371
7. *CIDA* - Final report - Integrated Water Recycling and Emission Abatement in the Textile Industry - EC contract ENV4-CT95-0094 –1999
8. *CIDA* - PFLNRD101_Stima dei costi di realizzazione - 2009
9. *CIDA* - PFLNRD102_Stima dei costi di esercizio - 2009
10. *CIDA* - PFLNRF101 Indagine territoriale e ambientale - 2009
11. *CIDA* - PFLNRF102_Opzioni realizzative e criteri progettuali - 2009
12. *CIDA* - PFLNRF103_Analisi ambientale e costi benefici - 2009
13. *CIDA* - PFLNRT102_Progetto preliminare opere - 2009
14. Consorzio Parco del Lura – Descrizione tecnico – naturalistica dell'area interessata dal progetto di fitodepurazione e un suo possibile inserimento ambientale – 2009
15. D.M.14 aprile 2009, n. 56.Regolamento recante «Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo». Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.124 del 30 maggio 2009 - Serie generale
16. Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006. Norme in materia ambientale, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n.88, 14 aprile 2006, Suppl. Ord. n.96
17. Direttiva 2000/60/CE del 23 ottobre 2000. Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee L 327/1
18. *EPA* – Manual Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters – Office of reasearchg and development, Cincinnati, OH – EPA/625/R-99/010
19. Mantovi P. et al. - La fitodepurazione applicata al trattamento delle acque reflue di caseificio – Ingegneria Ambientale vol XXXV n°7/8 2006
20. Mezzanotte V., Canobbio S. (2006) Scenario analysis for planning river recovery: a case study in a urbanized area. Submitted for 2006 IWA World Water Conference, Beijing, 10-14 september 2006
21. Mezzanotte V., Canobbio S., Barletta D. (2005): Studio sulla qualità ambientale del torrente Lura. L'Acqua, 4/2005, 17-23
22. Verhoeven J.T.A. & Meuleman A.F.M. (1999) Wetlands for wastewater treatment: opportunities and limitations. Ecological Engineering. 12:5-12.