Regione Umbria

Servizio Sistemi naturalistici e zootecnia

Sezione Aree protette e progettazione integrata

Umbria

PARCO REGIONALE DEL LAGO TRASIMENO

Sistema idraulico e risorse idriche

PSR Umbria 2007-2013
Misura 323 - azione a)

FONDO EUROPEO AGRICOLO PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE

Regione Umbria

PROBLEMATICHE RELATIVE ALLE ACQUE

(RISORSE IDRICHE, CORSI D'ACQUA, ASSETTO IDROGEOLOGICO)

PARCO REGIONALE DEL LAGO TRASIMENO

ALLEGATO: DATI QUALITÀ IDRICA E FLUVIALE

1. QUADRO DEI PRINCIPALI DATI RACCOLTI

TEMA	TIPO/DENOMINAZIONE FONTE	SOGGETTO COMPETENTE	COMMENTO DEI DATI CONTENUTI	CODICE DB DATI
Qualità acque	Monitoraggio a scala di bacino	Autorità di Bacino del Fiume Tevere	Nella sezione IV del Piano di Gestione del Distretto dell'appennino Centrale sono riportate le relazioni tecniche e i risultati del monitoraggio biologico e idromorfologico delle acque superficiali e sotterrane. Il monitoraggio è ha scala di bacino ma presenta un numero consistente di stazioni che interessano anche i parchi regionali.	AUT_BAC_TEVERE
Qualità delle acque	Piano Regionale per la Tutela e la Conservazione del Patrimonio Ittico e per la Pesca Sportiva	REGIONE UMBRIA	Nel Piano sono riportate oltre che i più recenti dati sulla fauna ittica di tutti i bacini Umbri anche i risultati delle ultime campagne di monitoraggio biologico svolto sulla rete di stazioni individuate per le carte ittiche. Per ogni bacino è inserita una descrizione delle caratteristiche idro-morfologiche e ambientali citando i dati degli ultimi monitoraggi.	PI
Qualità acque	Impianti di depurazione gestiti dall'ente	UMBRA ACQUE	Per i comuni che interessano il parco del Trasimeno la competenza sull'organizzazione e controllo sull'attività di gestione del servizio idrico è di Umbra acque S.p.A. Per tali comuni (Castiglione del Lago, Lisciano Niccone,Magione, Paciano, Panicale, Passignano sul Trasimeno, Piegaro, Tuoro sul Trasimeno) viene riportato la localizzazione del depuratore (x,y), la dimensione (Abitanti equivalenti) BOD, COD, Nitrati, e Fosfati	DEP_ACQ - Umbra Acque
Qualità acque	Impianti di depurazione	ARPA UMBRIA	Relazione sugli scarichi civili anno 2013 per tutti i depuratori Umbri (quindi il documento è di interesse per tutti i Parchi) vengono forniti i dati relativi alle dimensioni dei depuratori e ai controlli che su questi annualmente vengono svolti. Nella relazione, per ogni impianto vengono forniti i dati relativi al raggiungimento della conformità o meno dei parametri di legge e i risultati del monitoraggio sui corpi idrici recettori. in conclusione vengono esposte necessità e proposte di sviluppo al sistema di depurazione.	DEP_ACQ - Arpa
Qualità acque	Aree non allacciate alla rete fognaria	UMBRA ACQUE	Shp delle aree non connesse alla rete fognaria. Lo shp contiene le aree non allacciate per tutti i comuni gestiti dall'ente, di interesse per il parco del Tevere ci sono presenti dati per il comune di Castiglione del Lago, Lisciano Niccone,Magione, Paciano, Panicale, Passignano sul Trasimeno, Piegaro, Tuoro sul Trasimeno	NO_DEP - Umbra Acque
Risorsa idrica	Prelievi idrici	UMBRA ACQUE	Per i comuni che interessano i parchi del Tevere (Castiglione del Lago, Lisciano Niccone,Magione, Paciano, Panicale, Passignano sul Trasimeno, Piegaro, Tuoro sul Trasimeno) di competenza di Umbra acque spa viene riportato la localizzazione dei prelievi ad	PREL_IDR - Umbra Acqua

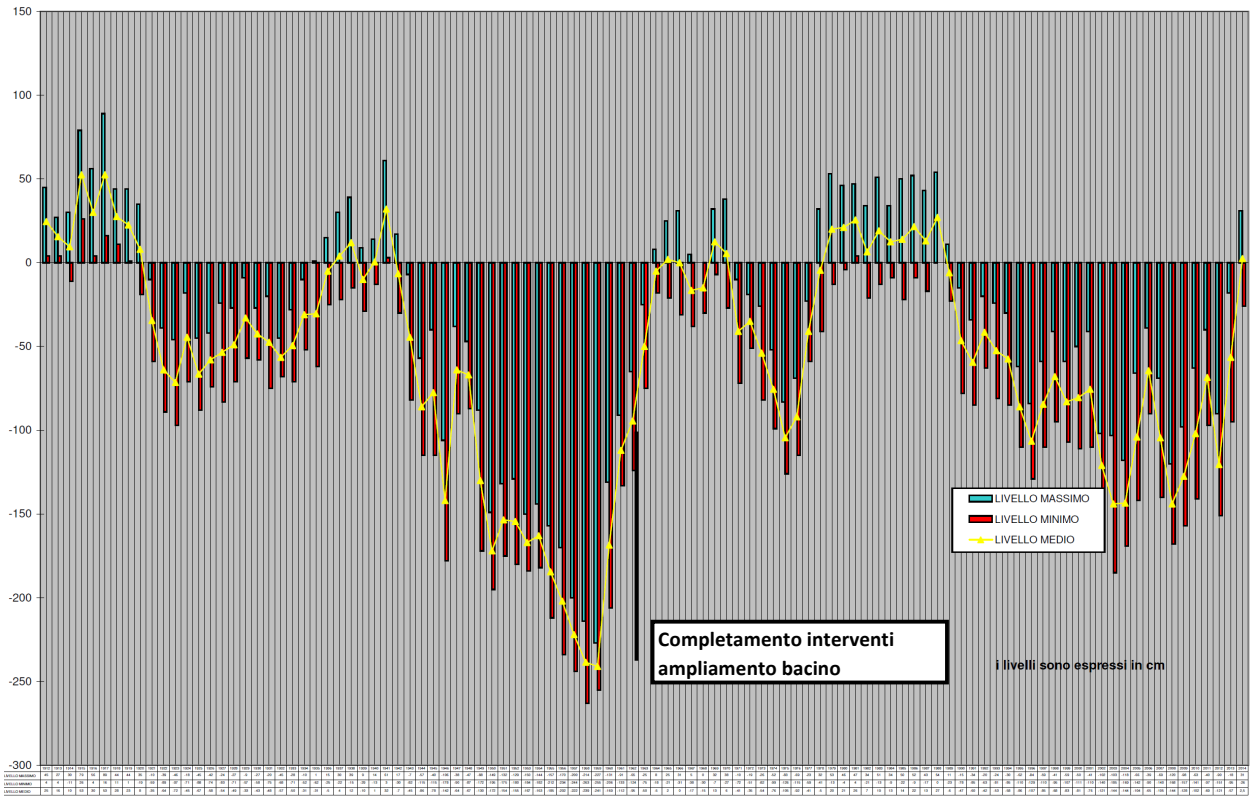
TEMA	TIPO/DENOMINAZIONE FONTE	SOGGETTO COMPETENTE	COMMENTO DEI DATI CONTENUTI	CODICE DB DATI
			uso potabile (x,y), e i dati delle portate prelevate	
Rischio idraulico	Archivio Interventi idraulici	PROVINCIA DI PG	Gli shp della localizzazione degli interventi a fini idraulici svolti nella provincia di Perugia divisi per tipologia di intervento fino al 2009	INT_IDR_PG
Ecologia	Fauna ittica e comunità acquatiche	vari	nella cartella sono riportate presentazioni e pubblicazioni che affrontano la problematiche correlate alla fauna ittica e alle comunità faunistiche acquatiche in generale. Riferimenti: 1. presentazione ARPA dal titolo Evoluzione della fauna ittica e problematiche gestionali. 2. Lorenzoni M., Carosi A., Corboli M., Pedicillo G., Montanari I., Ghetti L., Natali M., Dolciami R., Mezzetti A., Biscaro Parrini A. (2005): Accrescimento, biologia riproduttiva e biologia della pesca del carassio dorato (Carassius auratus Linnaeus, 1758) nel lago Trasimeno. Perugia, Regione dell'Umbria, 176 pp. 3.19) Ghetti L., Carosi A., Lorenzoni M., Pedicillo G., Dolciami R. (2007): L'introduzione delle specie esotiche nelle acque dolci: il caso del carassio dorato nel lago Trasimeno. Litograf Editor, Città di Castello, 100 pp. 4. Mearelli M., Carosi A., Dorr A.J.M., Giovinazzo G., Natali M., La Porta G., Lorenzoni M. (2004): Primi risultati alla messa a punto di un protocollo operativo per l'uso della pesca elettrica nel lago Trasimeno. Biologia Ambientale, 18 (1)	FAUNA - Trasimeno
Paesaggio			Al link http://www.umbriapaesaggio.regione.umbria.it/pagine/il-contratto-di-paesaggio-del-trasimeno-000 è riportato lo stato di avanzamento del contratto di Paesaggio del Trasimeno Al fine di valorizzare e riqualificare dal punto di vista paesaggistico un territorio attivato nel 2013. in allegato gli unici documenti scaricabili che consistono in cartografie di inquadramento e dei vincoli dell'area	CONT_PAES_TRASIMENO

2. LIVELLI IDRICI

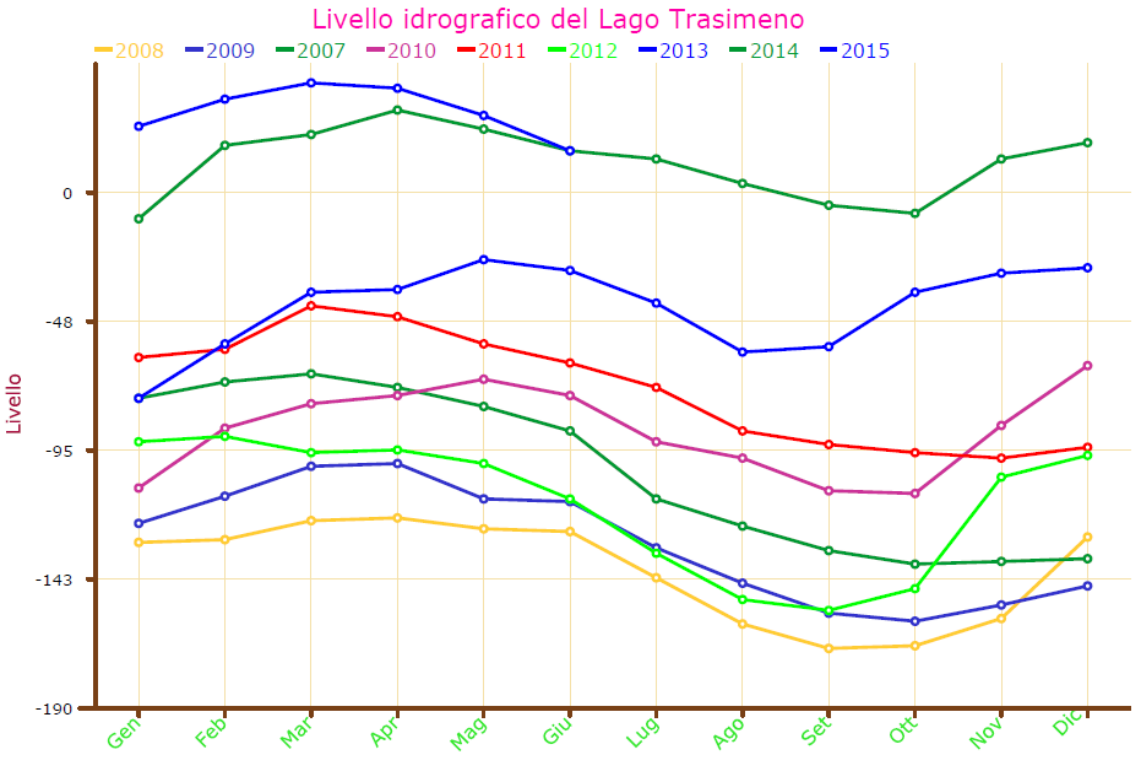
Il lago Trasimeno è un lago laminare. Nella sua storia infatti è stato soggetto a ripetuti fenomeni di impaludamento in periodi di crisi idrica e ad esondazioni in periodi particolarmente piovosi. Tali fenomeni hanno richiesto l'intervento dell'uomo per la regimazione delle sue acque, con l'ampliamento artificiale del bacino da una parte e la realizzazione di un emissario dall'altra.

Il lago nell'ultimo secolo ha subito significative escursioni rispetto allo 0 idrometrico: intorno agli anni '50 una forte siccità portò all'abbassamento fino a -2.50 m. All'inizio degli anni '60 del secolo scorso furono portati a termine gli allacciamenti degli immissari Rigo Maggiore e T. Tresa, deviati nel XVI secolo, oltre al T. Moiano e T. Maranzano, con un ampliamento del bacino imbrifero di circa 75 kmq. Nei 30 anni successivi si sono alternati periodi siccitosi e piovosi, che hanno fatto oscillare il livello del lago intorno allo 0 idrometrico fino agli anni '90, a partire dai quali si è instaurato un trend negativo che ha portato a livelli minimi prossimi a -2.0 m rispetto allo 0 idrometrico nel 2002-2003. Nel 2013-2014 si è verificata una rapida risalita del livello del lago che ha raggiunto e superato lo zero altimetrico. Il trend è proseguito nell'inverno del 2015, quando nel marzo la quota è stata di 40 cm sopra lo zero, per poi calare a giugno-luglio ai valori del 2014 (+15/+12 cm).

Livelli idrometrici minimo, medio e massimo del Lago Trasimeno dal 1912 al 2014 (fonte Provincia di Perugia, http://www.provincia.perugia.it/guidetematiche/ambienteterritorio/acqua/lagotrasimeno)



Livelli idrometrici mensili 2008-2012
(fonte Club Velico Trasimeno, http://www.clubvelicotrasimeno.it/ LivelloLago.aspx)



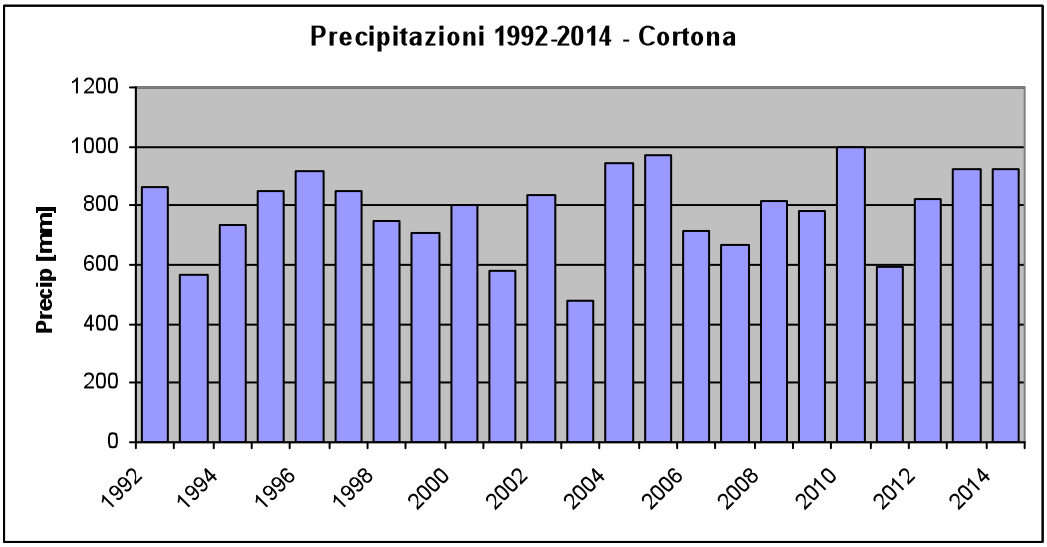
Questo trend è in parte riconducibile ad una tendenza sulle precipitazioni di alcuni anni piovosi, sia sulla singola annualità che a livello di ciclo pluriennale. Ciò nonostante tale fenomeno non pare sufficiente da solo a motivare la crescita del livello del lago, considerando che, a livello di precipitazioni annuali, i valori dell'ultimo biennio si sono verificati altre volte durante la crisi idrica, senza produrre medesimi effetti. E' quindi più probabile che l'andamento dei livelli del lago debba essere ricondotto ad un sistema complesso di interazione fra fattori meteo-climatici, quali temperature, evaporazione, distribuzione mensile delle precipitazioni, ecc., e esterni, quali prelievi, uso del suolo, ecc..

Una stima dei valori di evaporazione e prelievi è stata eseguita da Dragoni (Il Lago Trasimeno e le variazioni climatiche, Provincia di Perugia, 2004) e, per quanto un po' datata, fornisce considerazioni utili in merito al bilancio idrico. Lo studio stima in 9 cm/anno la quota di prelievi e in 6 cm/anno la quota di evaporazione. Lo stesso studio evidenzia la forte relazione tra piogge e livello del lago, considerando che più del 60% degli apporti idrici deriva dalla pioggia diretta. Inoltre evidenzia come l'entità dei prelievi e dell'evaporazione diventano significative nel caso di una serie di annate siccitose, quando tali valori si cumulano, mentre nelle annate piovose di fatto vanno a ridurre la quota uscita dall'emissario.

Sicuramente l'osservazione del trend di ricrescita è troppo breve per potersi considerare consolidata e, qualora proseguisse, richiederebbe di essere studiata approfonditamente mediante un bilancio idrologico di dettaglio che, oltre alla valutazione del fattore pluviometrico, persegua una stima adeguata dei prelievi e dell'evaporazione.

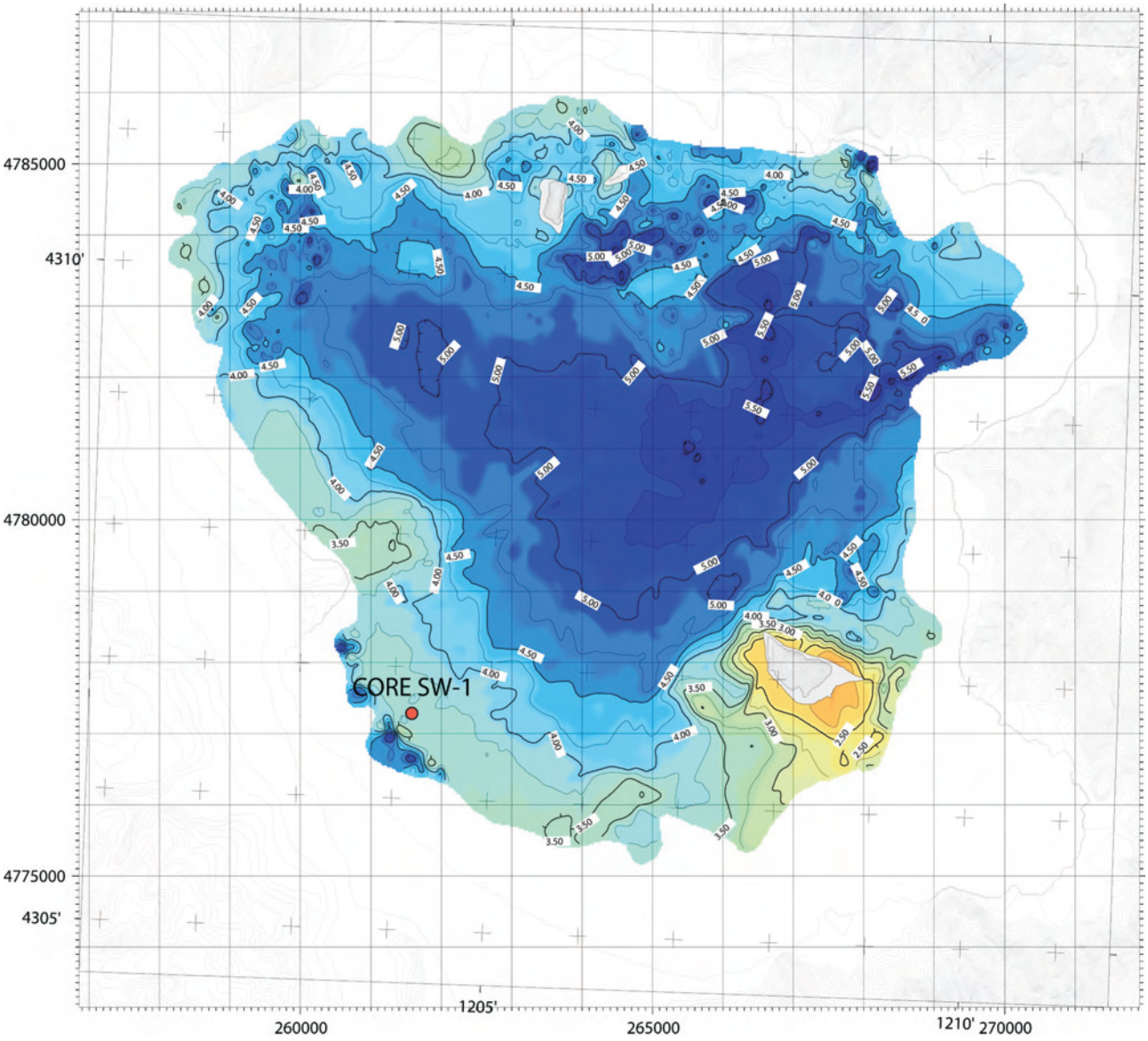
Si riporta di seguito l'andamento delle precipitazioni dal 1991 al 2014 del pluviometro di Cortona (è stato scelto questo strumento rispetto ad altri posizionati direttamente sul lago in quanto presenta una durata delle misure maggiore e i dati disponibili comprendono le precipitazioni del 2014).

Precipitazioni pluviometriche Cortona (fonte http://www.sir.toscana.it)



Il fenomeno dell'interramento riguarda gran parte dei laghi; ciò nonostante per il Trasimeno storicamente questo aspetto non è stato particolarmente spiccato, anche in virtù di una bassa estensione del bacino, e, fin dalla sua formazione, è stato controbilanciato dalla subsidenza tettonica, con il risultato che la profondità è rimasta bassa e circa costante nel tempo (v. Pazzaglia, F., *La sedimentazione nel Lago Trasimeno: un miracolo di conservazione negli ultimi due milioni di anni*, atti del convegno, *Il lago Trasimeno: un archivio dei cambiamenti geologici ed ambientali del quaternario*, Passignano sul Trasimeno, 17 ottobre 2012). I dati della sedimentazione riportati nelle *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia* (scala 1:50'000 foglio 310 Passignano sul Trasimeno) indicano in 0.3 cm/anno il valore della deposizione negli ultimi 50-100 anni. Per quanto, quindi, lo spessore complessivo di 15-30 cm rappresenti una quota significativa rispetto alla profondità media del lago, soprattutto nella zone meno profonde quali quella sud, si rileva come tale valore risulti di un ordine di grandezza inferiore rispetto alla media delle escursioni del livello idrico tra un anno e un altro individuate in precedenza.

Mappa morfobatimetrica del Lago Trasimeno, fonte Gasperini L., Il rilievo Geofisico-Geologico del Lago Trasimeno (F. 310 Passignano sul Trasimeno), Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXXVIII (2009)



3. QUALITÀ DELL'ACQUA

Il ricambio idrico del lago è piuttosto modesto, e questo lo rende particolarmente sensibile a fenomeni di eutrofizzazione. Le fonti potenziali sono: scarichi civili, agricoltura e allevamenti.

Per quanto riguarda la qualità delle acqua si fa riferimento allo studio *Valutazione dello stato ecologico e chimico dei corpi idrici lacustri dell'Umbria, settembre 2014*, che attesta un grado di qualità dello stato ecologico risulta "sufficiente". Tale giudizio deriva da un valore accettabile del fitoplancton e dei parametri fisico-chimici, unitamente a valori buoni degli indicatori fauna ittica e sostanze non prioritarie. Tra i parametri chimico-fisici, i dati di fosforo e trasparenza abbassano sensibilmente il giudizio; in caso di deroga dai valori limite sulla trasparenza (motivato per le peculiarità del lago) il giudizio sui parametri chimico-fisici risulterebbe buono. Lo stato chimico complessivo risulta comunque buono.

Di seguito si riportano alcuni grafici degli indicatori relativi alle campagne di misure 2010-2012. Tali indicatori evidenziano una variabilità significativa nelle concentrazioni di fosforo, in media già alta ma con picchi rilevanti in alcuni periodi (tipicamente quelli tardo estivi-inizio autunnali). Anche lo sviluppo algale raggiunge valori di un certo rilievo nel periodo tardo estivo-inizio autunnale. Per quanto riguarda, invece l'ossigeno disciolto la percentuale rispetto alla saturazione è prossima al 100%.

La precedente campagna di misurazioni (2004, fonte Piano di Tutela delle Acque), riguardante tre stazioni, riportava valori "sufficiente" in una e "scadente" nelle restanti due.

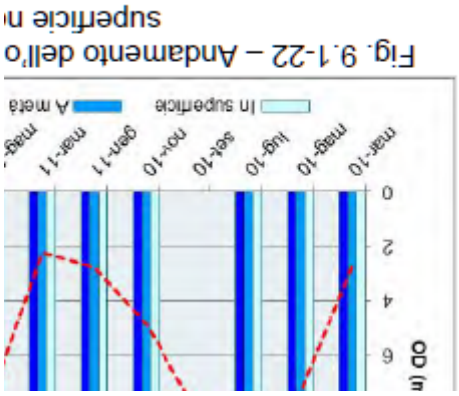


Fig. 9.1-22 – Andamento dell'o
superficie n

Fig. 9.1-23 – Andamento del superficie

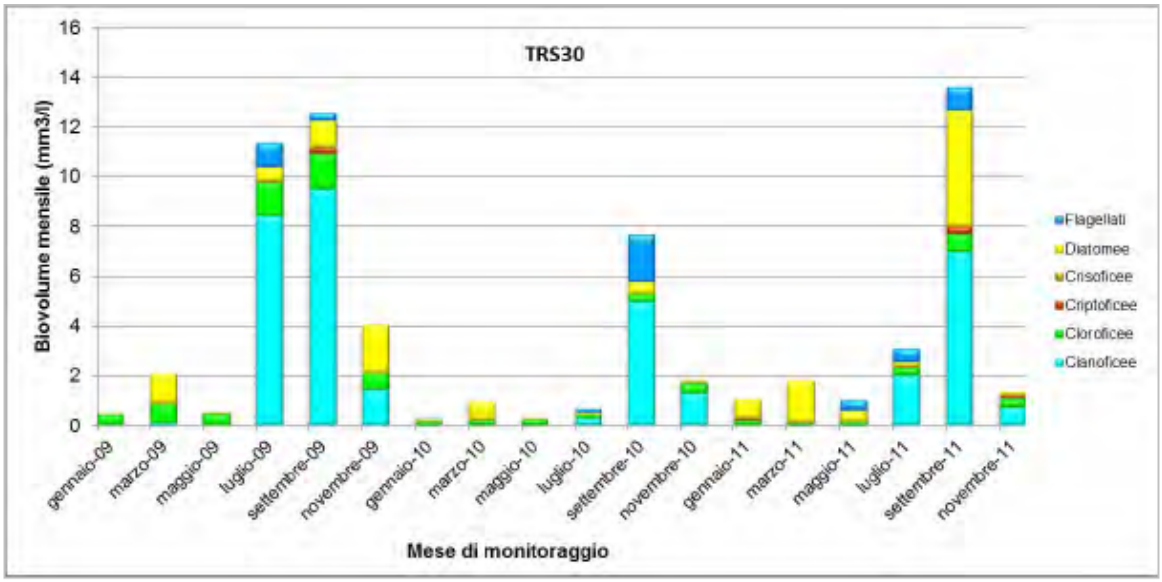


Fig. 9.1-4 – Biovolume mensile e composizione in classi algali della stazione TRS30

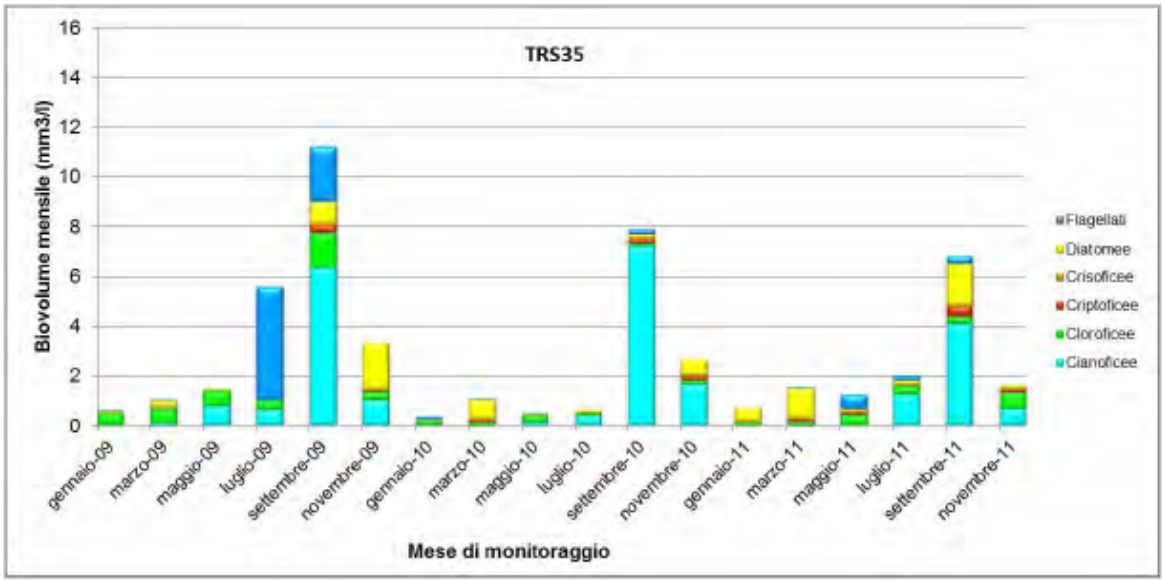


Fig. 9.1-5 – Biovolume mensile e composizione in classi algali della stazione TRS35

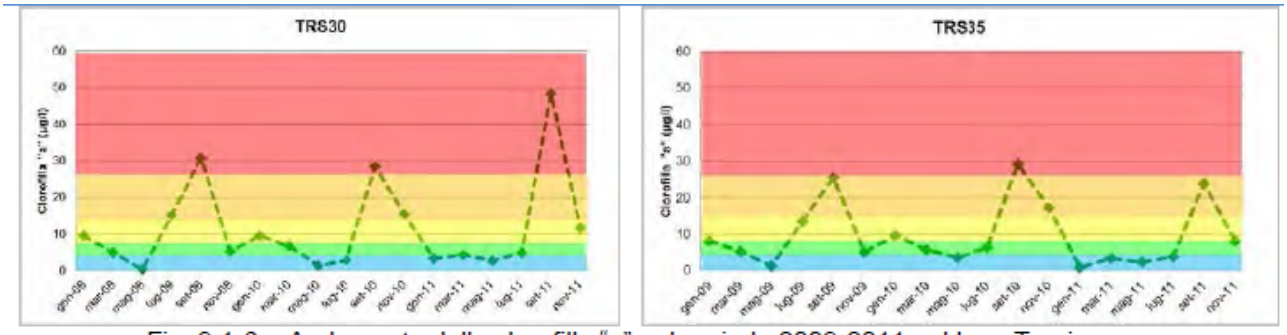


Fig. 9.1-6 – Andamento della clorofilla "a" nel periodo 2009-2011 nel lago Trasimeno

4. PIANO STRALCIO E ADDUZIONE DALL'INVASO DI MONTEDOGLIO

Si riportano di seguito alcuni estratti e dati dei piani il Lago Trasimeno per quanto attiene alla gestione delle acque, con particolare riferimento all'adduzione idrica dall'invaso di Montedoglio.

Piano stralcio per il bacino del lago Trasimeno [1]

[1] Per dettagli: www.regione.umbria.it/ambiente/piano-stralcio-trasimeno

Il Piano stralcio per il bacino del lago Trasimeno, redatto ai sensi della L. 183/89 e approvato con D.P.C.M. del 19 luglio 2002, definisce gli obiettivi strategici dello sviluppo e della tutela del territorio e persegue il fine del ripristino, della tutela e della valorizzazione ambientale dell'ecosistema lacustre.

Per questo nel piano sono previste una serie di azioni quali:

a) la pianificazione degli usi delle acque e del suolo nel lungo periodo;

b) la previsione di misure dirette a fronteggiare problemi contingenti legati alla qualità e quantità della risorsa idrica disponibile;

c) la realizzazione di opere atte a contenere l'attuale fenomeno di abbassamento idrometrico quali ad esempio l'allacciamento al sistema idrico, proveniente dall'invaso di Montedoglio, delle reti irrigue attualmente alimentate dalle acque lacustri.

Attraverso queste azioni si vogliono raggiungere i seguenti obiettivi:

- recupero del deficit idrico annuale;
- contenimento dell'abbassamento del livello del lago;
- tutela e valorizzazione ambientale dell'ecosistema lacustre;
- riduzione progressiva dell'apporto di sostanze inquinanti ai corpi idrici e al suolo;
- manutenzione funzionale della rete idrografica;
- promozione di forme di controllo sui consumi idrici;
- promozione di forme di contenimento dei consumi idrici a scopi irrigui;
- avere conoscenze ulteriori per l'aggiornamento del piano.

Comuni umbri interessati dal piano

L'area oggetto del Piano stralcio per il lago Trasimeno comprende il bacino idrografico naturale di stretta pertinenza del lago, costituito dai territori dei Comuni di:

- Castiglione del Lago;
- Città della Pieve;
- Lisciano Niccone;
- Magione;
- Paciano;Panicale;
- Passignano sul Trasimeno;
- Piegaro;
- Tuoro sul Trasimeno.

Le azioni del Piano

Il piano prevede due tipi di azioni:

Azioni non strutturali

Prevedono un'articolazione del territorio in ambiti:

- ambito dello specchio lacustre;
- ambito circumlacuale e delle isole;
- ambito della pianura irrigua e basso collinare;
- ambito collinare;
- ambito alto collinare;
- ambito degli insediamenti.

Per ognuno di questi ambiti, anche in base alle attività che lo caratterizzano, sono state previste diverse azioni quali ad esempio il controllo e monitoraggio della qualità delle acque lacustri, le norme sui prelievi, l'abbattimento dell'apporto di sostanze inquinanti ecc.

Azioni strutturali

Tra queste va sicuramente evidenziato l'allaccio della rete irrigua al sistema idrico proveniente dall'invaso di Montedoglio.

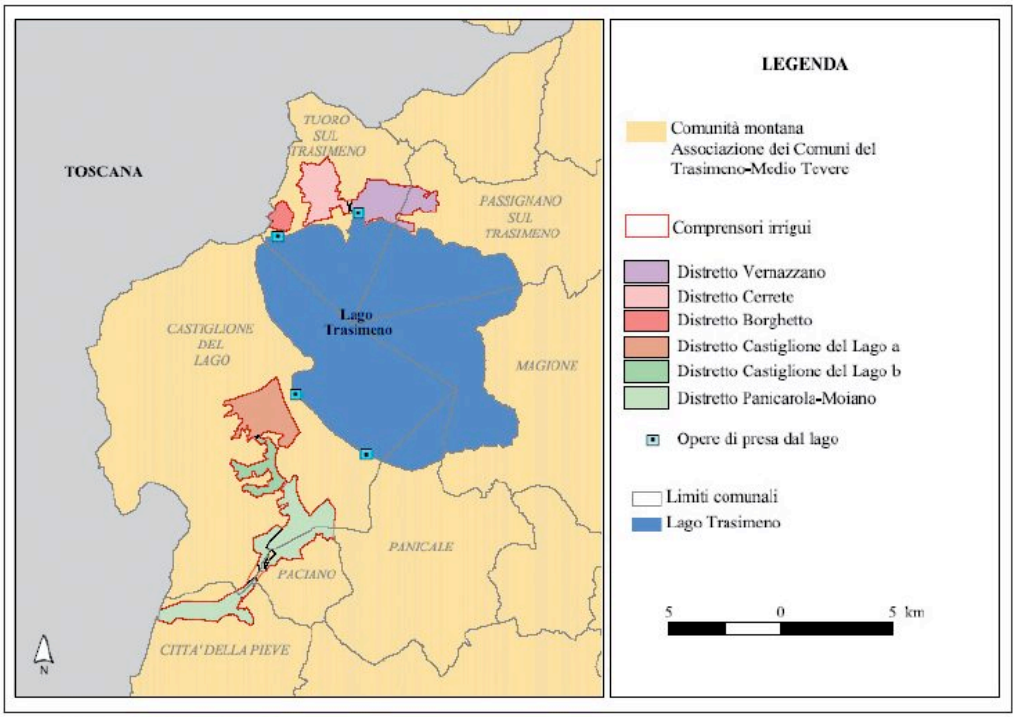
Le opere di adduzione consistono in una galleria adduttrice e in condotte in pressione. Lungo le adduttrici principali il progetto prevede la realizzazione di serbatoi (laghetti) di compenso giornaliero, da cui si diramano le condotte tubate, a servizio dei vari distretti irrigui.

Tra queste azioni rientra anche la programmazione degli interventi.

Le linee di intervento rispondono alle seguenti finalità ed obiettivi:

- pianificazione degli usi delle acque e del suolo nel lungo periodo;
- misure dirette a fronteggiare problemi contingenti legati alla qualità e quantità della risorsa idrica;
- realizzazione di opere atte a contenere l'attuale fenomeno di abbassamento idrometrico del lago;
- salvaguardia dell'ecosistema lacustre e manutenzione funzionale delle sponde e della rete idrografica;
- attività conoscitive complementari.

Figura 9.1 - Inquadramento territoriale dei Distretti in esercizio nella Comunità montana Associazione dei Comuni Monti del Trasimeno-Medio Tevere



Fonte: Elaborazioni INEA su dati EIUT

Tabella 9.2 - Caratteristiche strutturali dei Distretti in esercizio (dati da Progetto definitivo, 2001)

Comprensori	Distretti	Superficie (ha)			Indice %
		Totale	Attrezzata	Irrigata	Sup. irr./ sup. attr.
Trasimeno I	n. 3 Distretti Panicarola-Moiano	832	499	349	69,94
	Totale Comprensorio	***832***	***499***	***349***	***69,94***
Trasimeno II	Distretto Vernazzano	485	451	315	69,84
	Distretto Cerrete	346	321	225	70,09
	n. 2 Distretti Castiglione del Lago	375	356	250	70,22
	Totale Comprensorio	***1.206***	***1.128***	***790***	***70,04***
Borghetto	Distretto di Borghetto	190	82	57	69,51
	Totale Comprensorio	***190***	***82***	***57***	***69,51***
Totale Ente irriguo		**2.228**	**1.709**	**1.196**	**69,98**

Fonte: Elaborazione INEA su dati EIUT, 2001

Dal Progetto definitivo dell'adduzione da Montedoglio (EIUT, 2001)

Segue una sintesi delle **misure gestionali e programmatiche previste dal Piano stralcio di bacino del lago Trasimeno** (PS2), approvato nel 2002[2].

[2] Tratto da Istituto Nazionale di Economia Agraria, Programma interregionale monitoraggio dei sistemi irrigui delle regioni centro settentrionali. Rapporto sullo stato dell'irrigazione in Umbria. A cura di Zucaro R. e Turchetti L., 2008

Il Piano prevede azioni finalizzate a ripristinare, tutelare e valorizzare l'ecosistema lacustre attraverso:

– la pianificazione degli usi delle acque e del suolo;

– la previsione di misure dirette a fronteggiare problemi legati alla qualità e quantità della risorsa idrica disponibile;

– la realizzazione di opere per contenere il fenomeno di abbassamento idrometrico (come l'allacciamento al sistema idrico proveniente dall'invaso di Montedoglio delle reti irrigue attualmente alimentate dalle acque lacustri).

Per quanto concerne la pianificazione degli usi delle risorse, il Piano suddivide il territorio del bacino del lago Trasimeno nei seguenti "ambiti territoriali":

A. Specchio lacustre

B. Ambito circumlacuale e le isole

C. Ambito basso collinare

D. Ambito collinare

E. Ambito alto collinare

F. Ambito degli insediamenti

Nell'ambito A il Piano stabilisce che, fino al completamento delle reti irrigue del Sistema occidentale, i prelievi diretti annuali di acqua dal lago Trasimeno (ad esclusione dell'uso idropotabile) devono essere progressivamente ridotti, e non possono essere comunque superiori alle quantità annue complessive assentite per l'anno 1999. Inoltre, dall'entrata in vigore del Piano, è obbligatorio dotare tutti i sistemi di prelievo idrico dal lago di strumenti di rilevamento dei consumi.

Lo zero idrometrico del lago è stato fissato a 257,33 m s.l.m. e, in base alle variazioni di altezza che il bacino subisce, devono essere adottate le necessarie misure per ripristinare il giusto livello. Nel caso in cui il livello superi di 27 cm lo zero idrometrico, raggiungendo cioè i 257,60 m s.l.m., devono attivarsi le procedure per garantire il deflusso delle acque; nel caso contrario, se il livello scende tra i 75 e i 99 cm, viene emanata un'ordinanza per la sospensione delle licenze di attingimento per 3 giorni a settimana; se il livello è compreso tra i 100 e 119 cm vengono emanate ordinanze per la sospensione sia delle licenze di concessioni che di attingimento sempre per 3 giorni a settimana ed il divieto assoluto di prelievo diretto dal lago nelle 6 ore più calde; infine, se il livello scende al disotto dei 120 cm la sospensione è totale.

Per contenere l'attuale fenomeno di abbassamento idrometrico del lago, il Piano ha previsto la realizzazione di opere tra cui, di particolare interesse per il settore irriguo, quelle che consentiranno l'allacciamento delle reti, attualmente alimentate dalle acque lacustri, al sistema idrico proveniente dall'invaso di Montedoglio. In seguito alla crisi idrica del 2002, particolare priorità è stata data a queste opere attraverso l'attuazione del Piano degli interventi[3].

Avendo a disposizione l'acqua di Montedoglio, il Comprensorio del Trasimeno subirà profonde modificazioni e, secondo quando indicato nel Progetto definitivo, esso avrà un fabbisogno irriguo annuo teorico pari a circa 26 milioni di m³, calcolato partendo da fabbisogno medio di 2.100 m³/ha attrezzato. Va detto, però, che non tutti i Distretti irrigui previsti nel Progetto definitivo potranno essere realizzati, in quanto, negli ultimi anni, il territorio ha subito delle modificazioni dovute all'espansione degli insediamenti

[3] Piano degli interventi - II Stralcio approvato con Ordinanza del Presidente della GR dell'Umbria, n. 10 del 31 gennaio 2003 (Supplemento ordinario n. 1 al BUR - serie generale - n. 7 del 19 febbraio 2003).

abitativi e industriali che hanno comportato la riduzione delle superfici agricole. Ad oggi, invece, il volume annuo utilizzato per il settore irriguo, nei Distretti in esercizio, risulta pari a circa 3,5 milioni di m³, mentre i consumi erogati durante la crisi idrica sono stati di circa 1,8 milioni di m³.

Considerazioni sul deflusso idrico fornito

Si riporta di seguito un estratto da [4] che contiene importati considerazioni relative al trend che vede una riduzione significativa della capacità di deflusso dall'invaso di Montedoglio.

Si tenga presente che i piani d'uso dell'acqua fornita dal serbatoio di Montedoglio e i volumi che esso potrà fornire sono quindi presumibilmente basati sui dati climatici disponibili all'epoca della progettazione (periodo dal 1921 al 1970) e sotto l'ipotesi di clima stabile. A fronte del trend climatico siccitoso che sta avvenendo negli ultimi anni, da ricondursi al più generale problema delle mutazioni climatiche globali, a circa 40 anni dalla progettazione del serbatoio è stata effettuata un'analisi critica delle risorse idriche attualmente disponibili, revisione necessaria per valutare come il lago risponderà alle richieste idriche e come l'area si colloca nell'ambito più generale degli studi sulle variazioni climatiche e sull'impatto di queste sui sistemi idrogeologici.

Nonostante la scarsa qualità dei dati a disposizione, l'analisi degli stessi indica che il clima del bacino del F.Tevere alla diga di Montedoglio presenta una tendenza caratterizzata da una diminuzione della piovosità e da una conseguente diminuzione dell'eccedenza idrica. Questa è oggi (1991-2004) minore di circa il 10 % di quella fornita nel periodo 1921–1976, alla fine del quale la diga fu progettata. Se il trend rilevato dovesse persistere, come molto probabile accada[5], per i prossimi decenni ci si deve aspettare un'ulteriore diminuzione delle risorse idriche.

La diminuzione dei volumi forniti dai sistemi idrici, assieme all'incremento delle richieste per uso irriguo (inevitabili in un clima più arido), costringerà a rivedere i piani di utilizzo e di gestione delle risorse idriche e degli impianti idraulici. Data la rilevanza del problema, è importante che tali studi e azioni vengano intraprese al più presto, sia nel caso di Montedoglio che, in generale, nell'intera regione italiana.

Nel caso specifico di Montedoglio andrebbero eseguite analisi riguardanti la durata e la frequenza dei periodi siccitosi, accoppiate ad una analisi delle variazioni d'intensità e frequenza delle piene, dato che vi sono forti indicazioni che il clima italiano si stia evolvendo, oltre che verso una minore piovosità media annua, verso un aumento dell'intensità della pioggia.

E' prioritario costituire, a Montedoglio come nel resto dell'Italia, una rete idrometeorologica affidabile e con stazioni ubicate in punti chiave (in quota, nelle zone di ricarica degli acquiferi, all'interno dei bacini che alimentano i serbatoi artificiali) e non solo in punti facilmente raggiungibili: l'attuale rete è, in generale, inadeguata. Nel caso di Montedoglio in particolare, la rete di rilevamento dati dovrebbe anche comprendere un evaporimetro e misure di dati necessari per la stima dell'evaporazione dai laghi e dell'evapotraspirazione reale con metodi più moderni di quelli qui adottati, basati peraltro su approcci in Italia ancora largamente usati a causa della carenza di dati.

Programma per la tutela e gestione delle risorse idriche a fini irrigui nel bacino imbrifero del lago Trasimeno

[4] L. Di Matteo, W. Dragoni, L. Pierucci, D. Valigi, "Studio idrogeologico e climatico del bacino del lago di Montedoglio", Giornale di Geologia Applicata 3, 2006

[5] I dati attuali confermano tale previsione, per cui il deficit indicato è già incrementato. Si consideri inoltre che a seguito della riduzione dell'apporto pluviometrico nel lago di Montedoglio possono avvenire fenomeni tali da peggiorare, anche sensibilmente, la qualità delle acque dello stesso finanche a comprometterne la compatibilità con i requisiti biologici del lago Trasimeno.

Il "Programma per la tutela e gestione delle risorse idriche a fini irrigui nel bacino imbrifero del lago Trasimeno" è stato approvato con d.g.r. 341/0398 su proposta della Direzione regionale delle politiche territoriali, ambiente e infrastrutture e della Direzione regionale alle attività produttive. Esso prevedeva una serie di azioni finalizzate alla riduzione dei consumi d'acqua e alla razionalizzazione del suo utilizzo, anche in relazione a quanto previsto dal Piano stralcio per il lago Trasimeno (PS2).

In attuazione di detto Programma sono stati emanati 3 avvisi pubblici (bandi), relativi alla concessione di aiuti agli imprenditori agricoli:

– che rinunciavano ad utilizzare l'acqua del lago Trasimeno a scopo irriguo (d.g.r. 495/03);

– per la realizzazione di impianti di irrigazione a goccia e similari (d.g.r. 509/03 e d.g.r. 1130/04).

Nel primo caso era previsto un sostegno agli imprenditori agricoli che avevano irrigato nelle annualità 2001 e 2002 utilizzando acqua attinta dal lago Trasimeno e che rinunciavano ad utilizzare tale acqua a scopo irriguo per la durata dell'impegno, escludendo dalla possibilità di usufruire del finanziamento quei soggetti che, nelle dette annualità, avevano utilizzato sistemi di irrigazione a goccia.

L'importo degli aiuti concessi era fissato in 350 euro per ogni ettaro di terreno non più irrigato. I beneficiari, oltre che a non utilizzare l'acqua proveniente dal lago o dai suoi affluenti si impegnavano anche a utilizzare i concimi azotati nei limiti previsti dal codice di buone pratiche agricole e a lasciare inerbita una fascia di almeno 2 metri lungo i corsi d'acqua e lungo i fossi collettori principali ricadenti nei terreni interessati dall'aiuto. Le domande dovevano essere inoltrate all'ARUSIA, da parte di imprenditori singoli e associati, società o anche da Enti pubblici. La durata dell'aiuto è stata fissata in 3 anni. L'ambito di attuazione del bando è quello relativo ai territori limitrofi al lago Trasimeno ricadenti nei Comuni di Lisciano Niccone, Passignano sul Trasimeno, Magione, Castiglione del Lago, Tuoro sul Trasimeno, Paciano, Panicale e Città della Pieve.

5. APPORTO DI NUTRIENTI AL LAGO TRASIMENO6

L'apporto di nutrienti al Lago Trasimeno dal bacino scolante è sostanzialmente suddivisibile in due classi in base alla provenienza:

a) *Fonti diffuse:*

- precipitazioni atmosferiche: il fosforo è presente nelle acque meteoriche come particolato derivante dall'erosione del suolo da parte del vento e in minor misura a causa di emissioni gassose in atmosfera;
- aree urbane: data la bassa densità di urbanizzazione riscontrata nel bacino questo termine è trascurabile;
- suolo non coltivato;
- suolo coltivato: una parte dei nutrienti apportati ai terreni sotto forma di fertilizzanti o con pratiche agronomiche come la fertirrigazione con liquami provenienti dalla zootecnia viene rilasciata e raggiunge il reticolo idrografico del bacino del lago Trasimeno e il lago stesso; particolarmente rilevante risulta essere il problema dello smaltimento in agricoltura dei liquami zootecnici, in particolare quelli provenienti dalla suinicoltura;

b) *Fonti puntiformi:*

- scarichi industriali: trascurabili data la bassa industrializzazione dell'area esaminata e considerato che gran parte delle piccole industrie presenti sono allacciate alla fognatura e ai depuratori civili (il relativo carico, quindi viene considerato nella quota civile);
- scarichi civili: fosforo e azoto sono presenti negli scarichi civili: sia in quelli non trattati che, in minor misura, in quelli trattati nei vari depuratori presenti;
- scarichi zootecnici: acque di lavaggio delle stalle che nella maggioranza dei casi non vengono sottoposte ad alcun tipo di trattamento e che raggiungono i corpi idrici con alti contenuti di azoto e fosforo.

Per la stima del carico dei nutrienti si è sostanzialmente seguito lo schema di calcolo riportato in *Ministero dell'Ambiente e Regione Umbria "Piano per la Gestione ed il Controllo del Bacino del Lago Trasimeno finalizzato al contenimento dell'eutrofizzazione" 1992*, con alcune correzioni in base ai dati più recenti disponibili: in particolare in base alla cartografia sull'uso del suolo contenuta nel *Piano Stralcio, Autorità di Bacino del Fiume Tevere* e in base ai dati più recenti riferiti a scarichi civili (Piano d'Ambito ATO1 umbra) e zootecnia (*Regione Umbria "Sviluppo Agricolo Sostenibile del Bacino del Lago Trasimeno", 1999)* si sono stimati i carichi di azoto e fosforo sia per tutto il bacino del Lago Trasimeno che per i sottobacini più importanti (Paganico, Pescia, Anguillara (con i sottobacini Tresa, Rio maggiore e Moiano, Rio, La Treve e Macerone).

[6] In gran parte estratto da: "Provincia di Perugia (a cura del CIRF), 2003. Elaborazione di linee di indirizzo per il risanamento del lago Trasimeno e lo studio di fattibilità su tre siti per l'applicazione di soluzioni innovative di tipo naturale"

Bacino del Lago Trasimeno

Precipitazioni atmosferiche

Si sono considerati i valori più bassi rintracciabili in letteratura:

P: 0,05 Kg/ha/anno; N: 3 Kg/ha/anno

Poiché la quota di nutrienti di origine atmosferica caduta sul bacino idrografico è già inclusa nelle stime di rilasci dai suoli, si considera qui solo la quota dovuta alle precipitazioni dirette sullo specchio d'acqua del lago e sui fragmiteti, pari a una superficie di 124 Km^2. Il carico ottenuto è: P: 0,62 t/anno, N: 37,2 t/anno.

Suolo coltivato

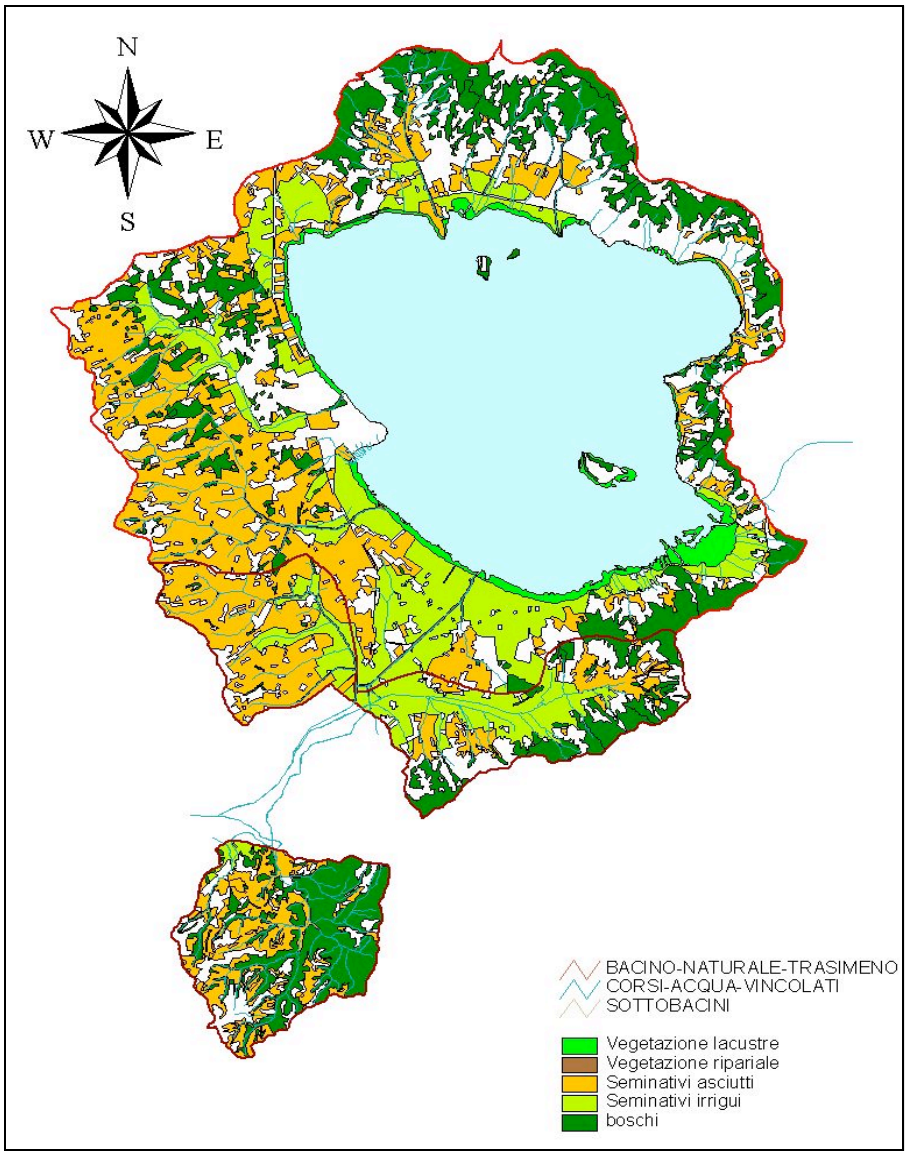


Figura 1 – Uso del suolo nel bacino scolante del Lago Trasimeno

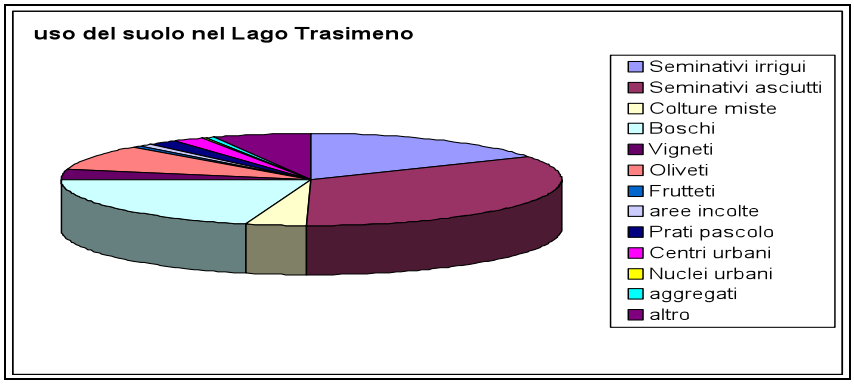


Figura 2 – Diagramma sull'uso del suolo nel bacino del Trasimeno

Uso suolo	**ha**	**% bacino**
Seminativi irrigui	4 787	16,7%
Seminativi asciutti	9 670	33,7%
Colture miste	1 048	3,7%
Boschi	5 978	20,8%
Vigneti	1 044	3,6%
Oliveti	2 602	9,1%
Frutteti	85	0,3%
aree incolte	306	1,1%
Prati pascolo	550	1,9%
Centri urbani	545	1,9%
Nuclei urbani	75	0,3%
aggregati	172	0,6%
altro	1 815	6,3%
Totale	**28 677**	**100,0%**

Tabella 1 – uso del suolo nel bacino del Trasimeno secondo la cartografia allegata al Piano Stralcio

I seminativi costituiscono circa il 70% della superficie utilizzata per l'agricoltura e oltre il 50% della superficie totale del bacino: particolarmente diffusi su tutto il bacino sono i seminativi asciutti, che coprono circa il 34% del territorio totale e sono più del doppio dei seminativi irrigui. Anche vigneti e soprattutto oliveti rivestono un ruolo importante, per il carico inquinante legato alle attività di trasformazione (cantine e oleifici): per i problemi connessi al loro impatto ambientale si rimanda al paragrafo sugli scarichi industriali.

Per la suddivisione dei seminativi nelle varie colture e l'assegnazione dei coefficienti di applicazione dei fertilizzanti si sono usati i valori proposti in [1]: come coefficienti di rilascio (cioè la percentuale di nutrienti che teoricamente arriva al reticolo idrografico) si è utilizzato 0,03 per P e 0,18 per N. Si è inoltre fatto l'ipotesi semplificativa che il 97% dei reflui di origine zootecnica (ad eccezione di quelli degli allevamenti suinicoli) venga impiegato come fertilizzante in sostituzione parziale dei concimi chimici, supponendo che il restante 3% raggiunge comunque il reticolo idrografico come acqua di lavaggio delle stalle senza particolari trattamenti (vedi par. 0). Per i reflui suinicoli, caratterizzati da una maggiore diluizione e di più difficile applicazione, si è invece considerato che l'85% venga impiegato per la concimazione delle colture di mais (per le quali sono permessi coefficienti di applicazione di N per ha più alti rispetto alle altre colture) con un carico di 400 kg/ha/anno, mentre il restante 15% si considera a parte negli scarichi puntiformi.

Va comunque sottolineato che le ipotesi di cui sopra costituiscono una esemplificazione fatta solo ai fini del calcolo: risulta infatti molto difficile valutare il reale apporto di nutrienti derivante dalla zootecnia in quanto lo smaltimento corretto dei reflui zootecnici costituisce tuttora un problema aperto. Spesso lo spandimento avviene in modo sbagliato provocando un sovraccarico di nutrienti, oppure si hanno smaltimenti "poco ortodossi" dei reflui stoccati, con conseguente inquinamento dei fossi vicini. Quello che è importante evidenziare in questo studio è la concentrazione di allevamenti suinicoli nel settore est del bacino, e soprattutto nei sottobacini di Rio Pescia e Fosso Paganico.

Uso suolo	**ha**	**fertilizzanti N**	**fertilizzanti P**	**Ntot (t/y)**	**Ptot (t/y)**
Seminativi	14 458			**569,160**	**20,886**
Mais	4 337			226,169	8,438
mais (concimi chimici)	3 189	250	45	*143,523*	*4,306*
mais (reflui zootecnici)	1 148	400	120	*82,645*	*4,132*
cereali: grano	6 940	200	40	249,826	8,328
cereali: orzo	1 735	200	40	62,457	2,082
ortaggi	1 157	120	50	24,983	1,735
sorgo	289	110	35	5,725	0,304
Colture miste	1 048	200	40	**37,725**	**1,258**
Vigneti	1 044	100	20	**18,784**	**0,626**
Oliveti	2 602	50	10	**23,421**	**0,781**
Prati pascolo	550	40	30	**3,960**	**0,495**
Frutteti	85	40	10	**0,614**	**0,026**
TOTALI	**19 787**			**653,664**	**24,071**

Tabella 2 - Stima del carico di nutrienti provenienti dall'agricoltura

Quindi i carichi di nutrienti apportati al Lago Trasimeno dal suolo coltivato sono: P: 24,1 t/anno, N: 653,7 t/anno

Suolo non coltivato

Nel bacino scolante i boschi costituiscono una parte considerevole, circa il 20%. I coefficienti di rilascio considerati sono stati presi in base a *Ministero dell'Ambiente e Regione Umbria "Piano per la Gestione ed il Controllo del Bacino del Lago Trasimeno finalizzato al contenimento dell'eutrofizzazione" 1992*.

Uso suolo	**ha**	**Coeff. di rilascio N (Kg/y)**	**Coeff. di rilascio P (Kg/y)**	**Ntot (t/y)**	**Ptot (t/y)**
aree incolte	306	2	0,1	0,612	0,031
Boschi	5 978	2	0,1	11,955	0,598
TOTALI	6 283			**12,567**	**0,628**

Tabella 3 - Stima del carico di nutrienti provenienti dal suolo non coltivato

Quindi i carichi di nutrienti apportati al Lago Trasimeno da suolo non coltivato sono: P: 0,6 t/anno, N: 12,6 t/anno.

Scarichi civili

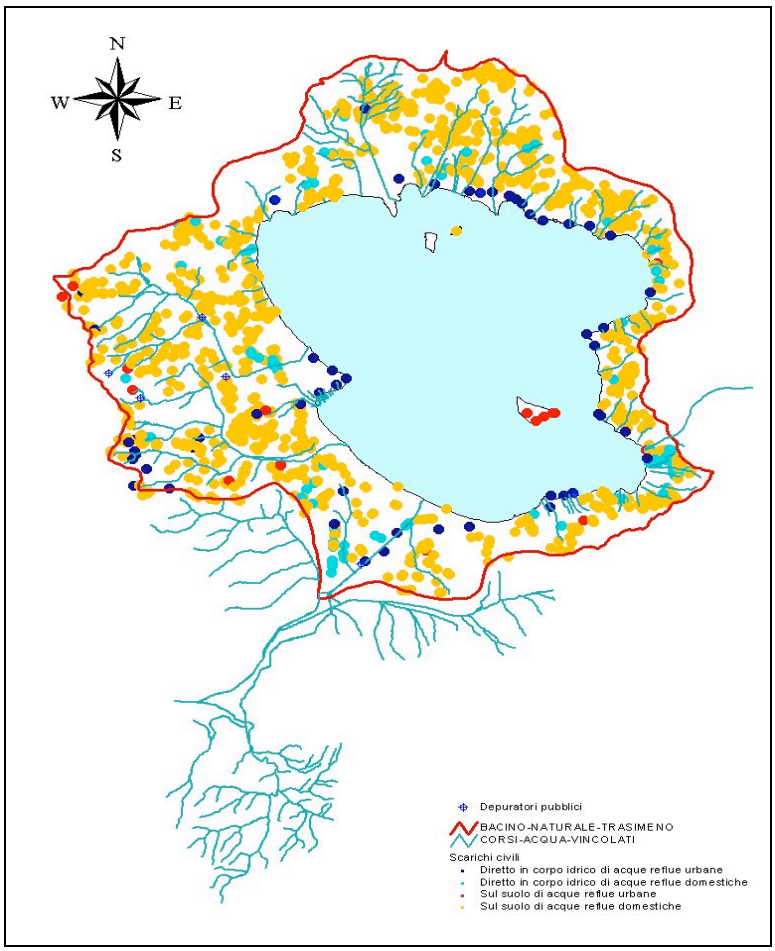


Figura 3 – distribuzione degli scarichi civili nel bacino naturale del Lago Trasimeno
(da catasto degli scarichi della Provincia di Perugia)

La situazione inerente al trattamento dei reflui civili non è sicuramente delle peggiori, visto il buon rapporto tra abitanti residenti e abitanti effettivamente serviti. I maggiori centri abitati principali nel bacino del Trasimeno sono serviti da impianti di depurazione che scaricano direttamente nel lago o in suoi immissari, anche se molti di essi cominciano a rivelarsi inadeguati soprattutto per quanto riguarda le tecnologie impiegate. Le potenzialità sembrano comunque essere in grado di supplire anche all'aumento estivo di a.e. dovuto al sempre maggiore flusso turistico. Nella seguente tabella si riassumono i contenuti al riguardo esposti nel Piano d'Ambito ATO 1, mentre per la stima del carico di nutrienti apportato al bacino si sono considerati i valori riportati in *Regione Umbria "Sviluppo Agricolo Sostenibile del Bacino del Lago Trasimeno" 1999*.

Comune	Località	Descrizione impianto	Note sulla funzionalità	Previsioni

				future (da Piano d'Ambito)
Cast. del Lago	Bonazzoli	13.000 a.e. Fanghi attivi con sedimentazione secondaria Linea fanghi: stabilizzatore aerobico, disidratazione con centrifuga mobile	trattamenti primari obsoleti con conseguente malfunzionamento dell'impianto	Dismissione e convogliamento al

				nuovo impianto centralizzato in progetto a pochi Km di distan

				zasempre nel Comune di Castiglion del Lago: questo servirà 80.

				000 a.e. sarà dotato di sedimentazione primaria e secondari

				a, denitrificazione e ossidazione, trattamento terziario de

				fosfatazione e filtrazione finale, Linea fanghi.
	Pineta	5000 a.e. Fanghi Attivi con nitrificazione e denitrificazione, sedimentazione secondaria. Linea Fanghi: stab. aerobica, disidratazione mecc, letti di essiccamento	Trattamenti primari mal funzionanti	Potenziamento

				o trattamenti preliminari o ipotesi di convogliamento al nuovo i

				mpianto di Castiglion del Lago
C. della Pieve	La Trova, S.Lucia, Ripavecchia Ponticelli,Po Bandino	Lagune Aerate, per un totale di 3900 a.e.	Stato avanzato di degrado	Dismissione e convogliamento al

				nuovo impianto di Castiglion della Lago
	Moiano	Fanghi attivi 1000 a.e.	Funzionalità adeguata	convogliamento al nuovo i

				mpianto di Castiglione del Lago
Magione	S.Arcangelo	1500 a.e. Fanghi Attivi con nitrificazione e denitrificazione, sedimentazione secondaria. Linea Fanghi: letti di essiccamento	Sottodimensionato per mesi estivi Funzionalità dei primari scarsa	Dismissione e convogliamento al

				nuovo impianto di Castiglion del Lago
	M.te Sperello	13.000 a.e. Fanghi Attivi con nitrificazione e denitrificazione, sedimentazione secondaria. Linea Fanghi: stabilizzazione aerobica, disidratazione centrifuga	scarichi industriali abusivi che compromettono la funzionalità dell'impianto, pretrattamenti scarsi	Potenziamento e rifacime

				nto
Passignano	Le Pedate	12.000 a.e. Fanghi Attivi con nitrificazione e denitrificazione, sedimentazione secondaria e defosfatazione con chiariflocculatore. Linea Fanghi: stab. aerobica, disidratazione centrifuga	Tipologia dei primari inadeguata	Dismissione e convogliamento al nuovo impianto di Castigl

				ione del Lago
Tuoro	Borghetto	1500 a.e. Fanghi Attivi con nitrificazione e denitrificazione, sedimentazione secondaria. Linea Fanghi	Trattamenti primari inadeguati	Dismissione e convogliamento al nuovo impianto di

				Castiglione del Lago

Tabella 4 – Impianti di depurazione nel bacino del Trasimeno [3]

		a.e. (senza turismo)	a.e. potenziali	N tot		Ptot	
				Kg/anno	mg/l	Kg/anno	mg/l
Cast. del Lago	Bonazzoli	6000	9000	14 639	25	948	1,64
	Pineta	4000	5000	1 147	9	90	0,68
	Pozzuolo	1000	1000	2 044	35	99	1,70
C. della Pieve		3 x 1000	3300	7 665	35	372	1,70
Magione	S.Arcangelo	1000	1500	1 344	11	142	1,16
Passignano	Le Pedate	8000	12000	4 486	4	700	0,61
Tuoro	Borghetto	500	1500	1 664	10	83	0,50
				32 989		**2 434**	

Tabella 5 - Stima dei carichi di nutrienti apportati al bacino [2]

Nel piano d'Ambito, relativamente al sub-ambito "E", si propone un'ipotesi di centralizzazione del sistema depurativo tramite:

- realizzazione di un grosso depuratore a fanghi attivi della capacità di 80.000 a.e. nel Comune di Castiglion del Lago, a pochi Km dal depuratore di Bonazzoli: ad esso saranno collettati gli scarichi che attualmente vengono trattati negli impianti attualmente esistenti;
- potenziamento e ristrutturazione dell'impianto di depurazione di Magione in località M.te Sperello (che comunque non recapita nel bacino del Lago Trasimeno).

L'ipotesi di centralizzazione consentirebbe di risolvere le inefficienze degli impianti esistenti (molti dei quali in funzione da diversi anni) permettendo di ottenere un refluo di scarico a basso contenuto di azoto e fosforo (sono previsti infatti trattamenti di nitrificazione, denitrificazione e defosfatazione): sarà importante garantire la perfetta funzionalità dell'impianto soprattutto nei mesi in cui l'afflusso turistico provoca notevoli oscillazioni dei carichi in arrivo (eventuali inefficienze anche temporanee dell'impianto, che scaricherà nel Lago Trasimeno, possono provocare un non trascurabile impatto ambientale data la consistenza della portata trattata giornalmente, 16.800 mc/g).

n° scarichi censiti	1406
provvisti di trattamento secondario	2
fossa Imhoff	1330
fossa Imhoff e scarico in corpo idrico	100
fossa Imhoff e subirrigazione	1305
fossa Imhoff e scarico sul suolo	18
scarichi di acque reflue urbane	62
scarichi di acque reflue domestiche	1344
fertirrigazione (ha)	569,6
utilizzazioni agronomiche	42

Tabella 6 - Alcuni dati sugli scarichi civili nel bacino del Trasimeno, tratti dal Catasto degli scarichi

	abitanti	**serviti**	**non serviti**
Castiglion del Lago	11213	10054	1159
Citta della Pieve	3956	3300	656
Magione	3038	2597	441
Panicale	1239	102	1137
Passignano	4066	3928	138
Tuoro	3512	3173	339
Totale	**27024**	**23154**	**3870**

Tabella 7 – Stato della depurazione all'interno del bacino del Trasimeno nel 1992 [1]

Gli abitanti di diverse frazioni, non serviti dagli impianti di depurazione, sono per lo più serviti da fosse Imhoff, con successiva dispersione per subirrigazione. Le case sparse sono servite per lo più da vasche settiche individuali con conseguente dispersione nel terreno. Nel complesso oltre l'85% degli a.e. risultano essere serviti da impianto di trattamento secondario, come si vede dalla Tabella 7 relativa al 1992: dalla consultazione delle ricognizioni effettuate per il Piano d'Ambito questa percentuale vale ancora oggi, permanendo molte piccole frazioni e borgate nelle aree collinari più lontane dal lago sprovviste di sistema di trattamento. In molti casi sono previsti comunque sistemi di trattamento a basso impatto ambientale come la fitodepurazione: nel bilancio totale dei nutrienti apportati al lago si trascura il contributo dovuto agli scarichi di piccoli agglomerati e case sparse.

Il carico di nutrienti apportato al lago da scarichi civili viene quindi assunto pari a: P: 2,4 t/anno, N: 33 t/anno.

Scarichi industriali

L'area esaminata è caratterizzata da una bassissima densità di industrializzazione: le poche industrie presenti sono dotate di depuratore oppure scaricano nella fognatura pubblica e quindi vengono trattate nei vari depuratori della zona: nel presente bilancio si trascura quindi questa voce, anche se alcuni impianti pubblici registrano problemi di cattivi funzionamenti proprio a causa di scarichi industriali non trattati, mal tollerati o addirittura abusivi (vedi Tabella 4).

Un discorso a parte merita l'industria agroalimentare che è gia importante e, presumibilmente in espansione, vista la vocazione turistica della zona: se dei reflui zootecnici

si discuterà nel prossimo paragrafo qui si accenna brevemente ai reflui prodotti dalle industrie olearie e vinicole.

Tutti i frantoi sono dotati di vasche di stoccaggio per il contenimento dei reflui che vengono poi smaltiti sui terreni agricoli mediante fertirrigazione, previa analisi agronomica del terreno per stabilire le quantità smaltibili per unità di superficie: questo dovrebbe far supporre un inquinamento nullo da parte dell'industria olearia, che nel bacino del Trasimeno lavora complessivamente circa 36.000 q di olive all'anno. In realtà anche lo smaltimento dei reflui oleari rimane un problema aperto, in ragione della loro difficile applicazione visto l'alto contenuto di COD, azoto e solidi sospesi: è lecito quindi aspettarsi un apporto non trascurabile – anche se attualmente non noto - di inquinanti al bacino scolante.

Anche per quanto riguarda i vigneti vale la pena di sottolineare che spesso le piccole realtà produttive, caratteristiche del Centro Italia, non sono dotate di impianti di depurazione delle acque di scarico dei locali di produzione: i reflui vinicoli sono invece caratterizzati da un alto contenuto di carico organico e possono creare non pochi problemi se scaricati privi di idoneo trattamento nel reticolo idrografico. Recentemente si sta assistendo ad una affermazione delle tecniche di depurazione naturale [11] per il trattamento dei reflui delle cantine: queste tecniche sono particolarmente interessanti in quanto permettono di conseguire ottime rese depurative (conformi all'attuale normativa sugli scarichi industriali, D.Lgs.258/00) a fronte di una gestione semplice ed economica.

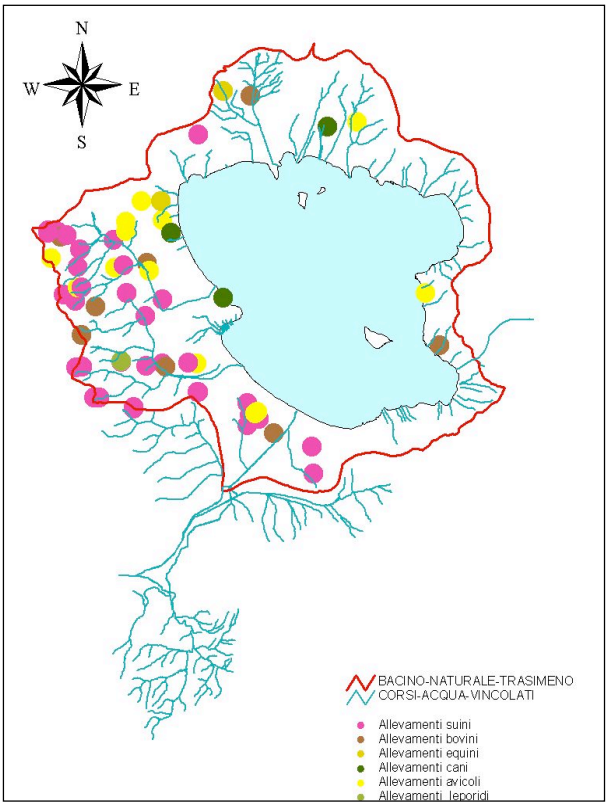
Scarichi zootecnici

Come si può facilmente vedere in Figura 4, la maggior parte degli allevamenti, oltre 120, si trova nella parte occidentale del bacino, nel comune di Castiglione del Lago, mentre la loro presenza nella parte settentrionale e orientale è molto limitata se non addirittura nulla.

Gli allevamenti suinicoli, considerati quelli a maggior impatto ambientale date le caratteristiche dei reflui da smaltire, sono i più numerosi sia per numero di aziende presenti sul territorio che per numero di capi e sono dislocati prevalentemente nell'area collinare interna, nei bacini dei fossi Paganico e Pescia.

Lo spandimento delle deiezioni animali è una pratica agricola molto delicata nel bacino del Trasimeno: non esistendo impianti per la depurazione delle deiezioni, o per il trattamento di qualunque altro genere a livello consortile, tutti i reflui zootecnici vengono smaltiti attraverso la fertirrigazione o lo spandimento diretto sui campi. I parametri da considerare in queste pratiche sono molti: occorre tenere in considerazione i tempi di stoccaggio delle deiezioni, l'epoca di spandimento, le quantità distribuibili, le condizioni climatiche al momento della distribuzione, le caratteristiche del suolo su cui si opera lo spandimento, il tipo di coltura e molti altri fattori ancora. Gli impatti sull'ambiente che derivano da errori nella considerazione di questi parametri, si traducono nel rischio di inquinamento per ruscellamento delle acque superficiali e per percolazione di quelle sotterranee, oltre alla possibilità di sovraccaricare di nutrienti il suolo.

Figura 4 – distribuzione delle attività zootecniche



Per il calcolo della stima di nutrienti condotto in questo studio si sono considerati i valori indicati dall'OCDE e riportati in *Ministero dell'Ambiente e Regione Umbria "Piano per la Gestione ed il Controllo del Bacino del Lago Trasimeno finalizzato al contenimento dell'eutrofizzazione" 1992*. Il contributo dato dall'applicazione delle deiezioni come concimi e susseguente rilascio di nutrienti tramite l'azione di dilavamento dei terreni è già stato considerato nel paragrafo 0. Qui si considera il contributo dato da scarichi di acque di lavaggio sul suolo o direttamente in acque superficiali senza trattamento e gli ulteriori rilasci dati da un cattivo esercizio delle pratiche di applicazione sui terreni: in particolare si è considerato una quota del 3% per allevamenti avicoli e bovini, e una quota del 15% per gli allevamenti suinicoli. Tale assunzione si basa su dati di ERVET e CRPA sugli allevamenti in Emilia Romagna, leggermente corretti tenendo presente che, pur essendo la densità degli allevamenti molto simile, molte aziende romagnole sono dotate di impianti di trattamento di cui non troviamo traccia nel comprensorio del Lago Trasimeno.

Tipologia Allevamenti	**n°**	**n°capi totale**	**N prodotto tot (t/y)**	**P prodotto tot (t/y)**	**Ntot (t/y)**	**Ptot (t/y)**
avicoli	11	162 100	13,7785	4,863	0,413	0,146
bovini	8	590	41,418	5,31	1,243	0,159
suini	36	42 366	540,1665	162,04995	81,025	24,307
TOTALI					**82,268**	**24,467**

Tabella 8 - Stima del carico di nutrienti prodotti dalle principali aziende zootecniche nel bacino del Trasimeno

Si ottengono quindi i seguenti carichi: P: 24,5 t/anno, N: 82,3 t/anno

Carichi complessivi

Nella tabella seguente sono riassunte le stime fatte per i carichi di nutrienti che annualmente possono raggiungere il lago Trasimeno

Fonti Diffuse	**P (t/y)**	**N (t/y)**
precipitazioni	0,6	37,2
aree non coltivate	0,6	12,6
aree coltivate	24,1	653,7
Puntiformi		
Scarichi civili	2,4	33,0
Scarichi Zootecnici	24,5	82,3
TOTALI	**52,2**	**818,7**

Tabella 9 - Stima del carico di nutrienti prodotti nel bacino del Trasimeno

Appare evidente come la quota largamente maggiore dei carichi di nutrienti derivi dall'attività agricola e zootecnica: la prima è responsabile di una quota nettamente superiore dei rilasci di azoto, mentre le quantità di fosforo sono sostanzialmente equivalenti. Appare

comunque evidente che una strategia che punti a ridurre il carico di fosforo, come fattore limitante i processi eutrofici nel lago, debba rivolgersi prevalentemente ai carichi di origine zootecnica e agricola.
Nel seguito si ripeteranno i passi seguiti per il calcolo del carico globale in riferimento ai principali sottobacini: l'obiettivo è di valutare la possibilità di azioni tese a ridurre il carico di nutrienti direttamente sugli immissari del Lago Trasimeno. In tale analisi saranno trascurati gli apporti dovuti alle precipitazioni e agli scarichi civili.

Sottobacini

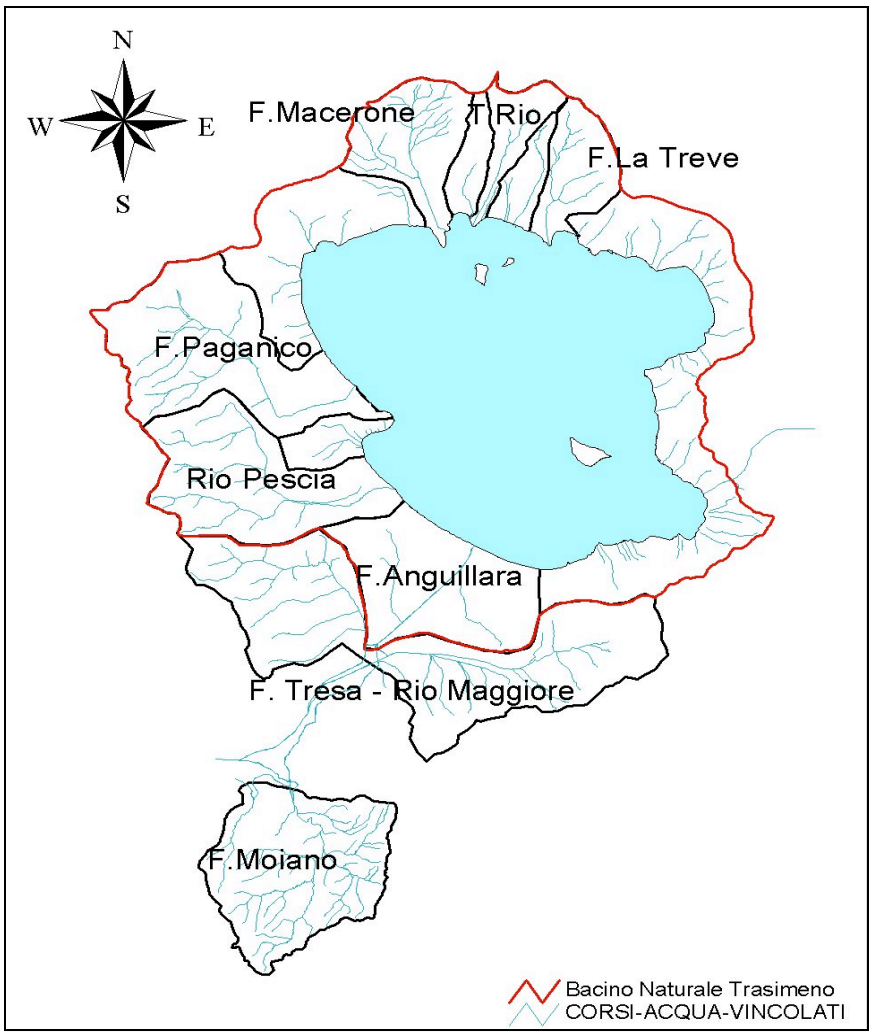


Figura 5 – Sottobacini del Lago Trasimeno per cui sono stati stimati i carichi di nutrienti

Anguillara

Il bacino dell'Anguillara insieme ai suoi sottobacini Tresa, Rio Maggiore e Moiano copre circa il 40% dell'estensione territoriale del bacino del Trasimeno. Il canale dell'Anguillara è stato realizzato alla fine degli anni '50 per contrastare il pericolo di impaludamento del lago: attraverso un sistema di chiuse il canale permette il collegamento agli altri sottobacini e quindi il conferimento di acque al lago in periodi di magra e l'eventuale deflusso al Lago di Chiusi quando si manifesta il pericolo di inondazioni.

Le attività zootecniche sono per la maggior parte rappresentate dal settore suinicolo: seppur in maniera minore rispetto ai bacini di Pescia e Paganico, le aziende sono concentrate in una fascia molto vicina al lago Trasimeno. I valori massimi di COD, $N\text{-}NH_4$ e $P\text{-}PO_4$ rinvenuti nelle acque del canale sono probabilmente da ricondurre alla zootecnia.

In base alla carta dell'uso del suolo è da evidenziare, rispetto agli altri sottobacini, la consistente presenza di seminativi irrigui (quasi il 60% del totale). L'apporto maggiore di nutrienti sembra proprio essere connesso all'agricoltura, data l'ampiezza del bacino dell'Anguillara e il suo sviluppo in un'area in cui sia i seminativi che altre attività potenzialmente impattanti come gli oleifici e le cantine rappresentano una percentuale cospicua rispetto alla totalità del bacino del Trasimeno.

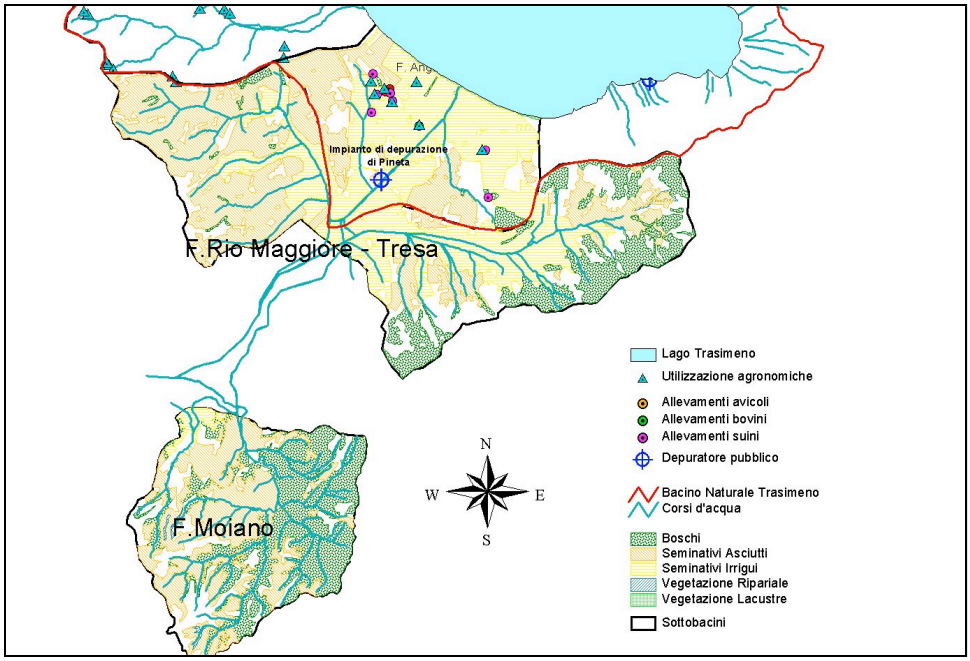


Figura 6 – uso del suolo e attività zootecniche nel bacino dell'Anguillara

Uso suolo	**ha**	**% bacino fiume**	**% bacino trasimeno**
Seminativi irrigui	2 750	25,9%	58,3%
Seminativi asciutti	3 770	35,5%	44,5%
Colture miste	150	1,4%	14,3%
Boschi	2 139	20,1%	46,0%
Vigneti	264	2,5%	25,3%
Oliveti	595	5,6%	22,9%
Frutteti	24	0,2%	28,2%
aree incolte	13	0,1%	4,3%
Prati pascolo	39	0,4%	7,1%
Centri urbani	95	0,9%	17,4%
Nuclei urbani	12	0,1%	16,1%
aggregati	76	0,7%	44,1%
altro	693	6,5%	48,8%
Totale	**10 619**	**100,0%**	**41,3%**

Tabella 10 - Uso del suolo nel bacino dell'Anguillara e nei suoi sottobacini

Tipologia	n°	n°capi totale	% su bacino trasimeno per numero di aziende	% su bacino trasimeno x numero di capi
Allevamenti avicoli	2	1 500	18%	1%
Allevamenti bovini	1	20	13%	3%
Allevamenti suini	7	6 050	19%	14%

Tabella 11 – Principali attività zootecniche

Fonti Diffuse	P [t/y]	N [t/y]	% Ptot	% Ntot
aree non coltivate	0,215	4,304	34,2%	34,2%
aree coltivate	9,184	263,136	38,2%	40,3%
Puntiformi				
Scarichi Zootecnici	3,477	11,613	14,2%	14,1%
TOTALI	**12,88**	**279,05**	**24,66%**	**34,09%**

Tabella 12 – Stima dei carichi di nutrienti apportati dal sottobacino dell'Anguillara e loro percentuale rispetto al totale stimato per il bacino del Trasimeno

Pescia

Il bacino del Rio Pescia, con i suoi 2750 ha, copre circa il 12% dell'estensione territoriale del bacino del Trasimeno. L'asta principale del torrente misura circa 10 Km.

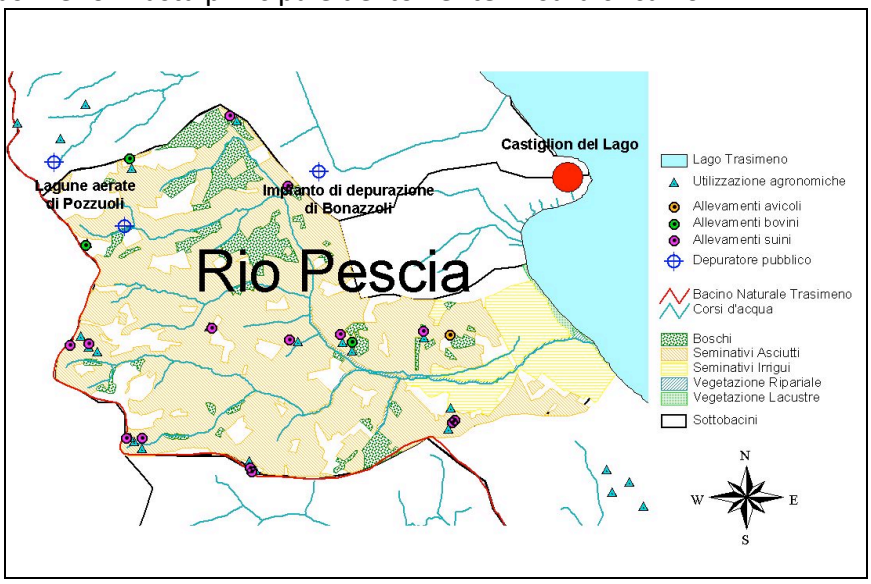


Figura 7 – uso del suolo e distribuzione delle attività zootecniche nel bacino del Rio Pescia

In base alla carta dell'uso del suolo è da evidenziare, rispetto agli altri sottobacini, la consistente presenza di seminativi asciutti (quasi il 70% del bacino del Rio Pescia e circa il 25% del totale).

Anche in questo caso le attività zootecniche sono per la maggior parte rappresentate dal settore suinicolo; se per numero di aziende è pari al bacino del Fosso Paganico, il numero di capi allevato è superiore e rappresenta oltre il 40% del totale del bacino del Lago Trasimeno. I valori massimi di COD, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$ e $P\text{-}PO_4$ rinvenuti nelle acque del canale sono sicuramente da ricondurre a tale attività e conseguentemente l'apporto annuale di nutrienti al lago Trasimeno non può che essere alto, più del doppio di quello stimato per l'attività agricola.

Uso suolo	ha	% bacino fiume	% bacino trasimeno

Seminativi irrigui	273	8,9%	5,8%
Seminativi asciutti	2 068	67,4%	24,4%
Colture miste	204	6,7%	19,5%
Boschi	240	7,8%	5,2%
Vigneti	62	2,0%	6,0%
Oliveti	46	1,5%	1,8%
Frutteti	20	0,6%	23,4%
aree incolte	0	0,0%	0,0%
Prati pascolo	0	0,0%	0,0%
Centri urbani	37	1,2%	6,7%
Nuclei urbani	15	0,5%	20,7%
aggregati	8	0,3%	4,6%
altro	95	3,1%	6,7%
Totale	**3 069**	**100,0%**	**11,9%**

Tabella 13 - Uso del suolo nel bacino del Rio Pescia

Tipologia	**n°**	**n°capi totale**	**% su bacino trasimeno per numero di aziende**	**% su bacino trasimeno x numero di capi**
Allevamenti bovini	3	235	38%	40%
Allevamenti suini	13	17 356	36%	41%

Tabella 14 – Principali attività zootecniche

Fonti Diffuse	**P [t/y]**	**N [t/y]**	**% Ptot**	**% Ntot**
aree non coltivate	0,024	0,481	3,8%	3,8%
aree coltivate	4,324	108,870	18,0%	16,7%
Puntiformi				
Scarichi Zootecnici	10,021	33,688	41,0%	40,9%
TOTALI	**14,37**	**143,04**	**27,52%**	**17,47%**

Tabella 15 – Stima dei carichi di nutrienti apportati dal sottobacino del Rio Pescia e loro percentuale rispetto al totale stimato per il bacino del Trasimeno

Paganico

Il bacino del Fosso Paganico ha caratteristiche molto simili a quelle del Rio Pescia: misura circa 3180 ha, copre quasi il 13% dell'estensione territoriale del bacino del Trasimeno e l'asta principale del torrente misura circa 10 Km.

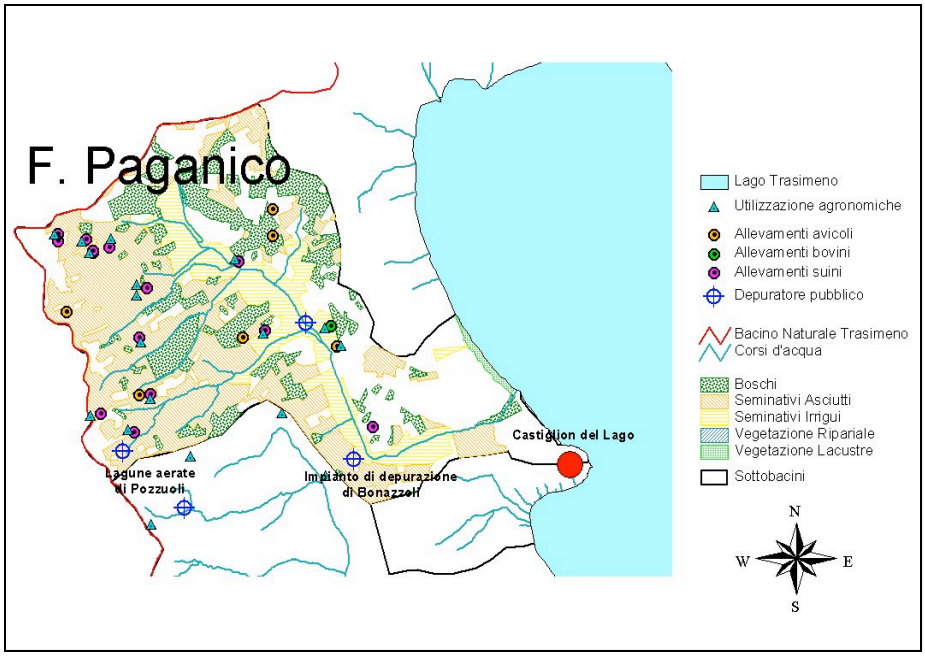


Figura 8 – uso del suolo e distribuzione delle attività zootecniche nel bacino del Fosso Paganico

La presenza di seminativi è ridotta di più del 20% rispetto al bacino del Fosso Paganico (comunque i seminativi asciutti rappresentano quasi il 40% del bacino del fosso e circa il 15% del totale). Si ha invece una consistente percentuale di vigneti, pari a oltre il 40% del territorio totale del bacino.

Anche in questo caso le attività zootecniche sono per la maggior parte rappresentate dal settore suinicolo e pari per numero di aziende al bacino del rio Pescia. Inoltre gli allevamenti bovini come numero di capi allevati coprono quasi la metà del totale rilevato nel bacino del Trasimeno. I valori massimi di COD, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$ e $P\text{-}PO_4$ rinvenuti nelle acque del fosso, confrontabili con quelli del Rio Pescia, sono sicuramente da ricondurre a tale attività e il carico di nutrienti al lago Trasimeno assume valori alti, più del doppio di quello stimato per l'attività agricola.

Uso suolo	**ha**	**% bacino fiume**	**% bacino trasimeno**
Seminativi irrigui	461	13,9%	9,8%
Seminativi asciutti	1 303	39,3%	15,4%
Colture miste	290	8,7%	27,7%
Boschi	480	14,5%	10,3%
Vigneti	445	13,4%	42,6%
Oliveti	30	0,9%	1,1%
Frutteti	11	0,3%	12,6%
aree incolte	142	4,3%	46,5%
Prati pascolo	1	0,0%	0,2%
Centri urbani	57	1,7%	10,4%
Nuclei urbani	13	0,4%	17,9%
aggregati	27	0,8%	15,4%
altro	54	1,6%	3,8%
Totale	**3 313**	**100,0%**	**12,9%**

Tabella 16 - Uso del suolo nel bacino del Fosso Paganico

Tipologia	n°	n°capi totale	% su bacino trasimeno per numero di aziende	% su bacino trasimeno x numero di capi
Allevamenti avicoli	6	70 500	55%	43%
Allevamenti bovini	2	265	25%	45%
Allevamenti suini	13	12 960	36%	31%

Tabella 17 – Principali attività zootecniche

Fonti Diffuse	P [t/y]	N [t/y]	% Ptot	% Ntot
aree non coltivate	0,062	1,245	9,9%	9,9%
aree coltivate	3,651	93,929	15,2%	14,4%
Puntiformi				
Scarichi Zootecnici	7,507	25,344	30,7%	30,8%
TOTALI	**11,22**	**120,52**	**21,49%**	**14,72%**

Tabella 18 – Stima dei carichi di nutrienti apportati dal sottobacino del Fosso Paganico e loro percentuale rispetto al totale stimato per il bacino del Trasimeno

Macerone

Il bacino del Fosso Macerone è più piccolo dei precedenti: misura circa 1450 ha e copre quasi il 6% dell'estensione territoriale del bacino del Trasimeno.

Il 40% del territorio è ricoperto da aree boschive e il 20% da pascoli. Le attività zootecniche sono molto ridotte rispetto ai casi esaminati precedentemente: si ha solamente un allevamento suinicolo e un piccolo allevamento bovino. Di riflesso la qualità delle acque del fosso Macerone non evidenzia segni particolari di inquinamento. I carichi di nutrienti stimati sono dunque minimi e praticamente trascurabili rispetto al totale del bacino del Trasimeno.

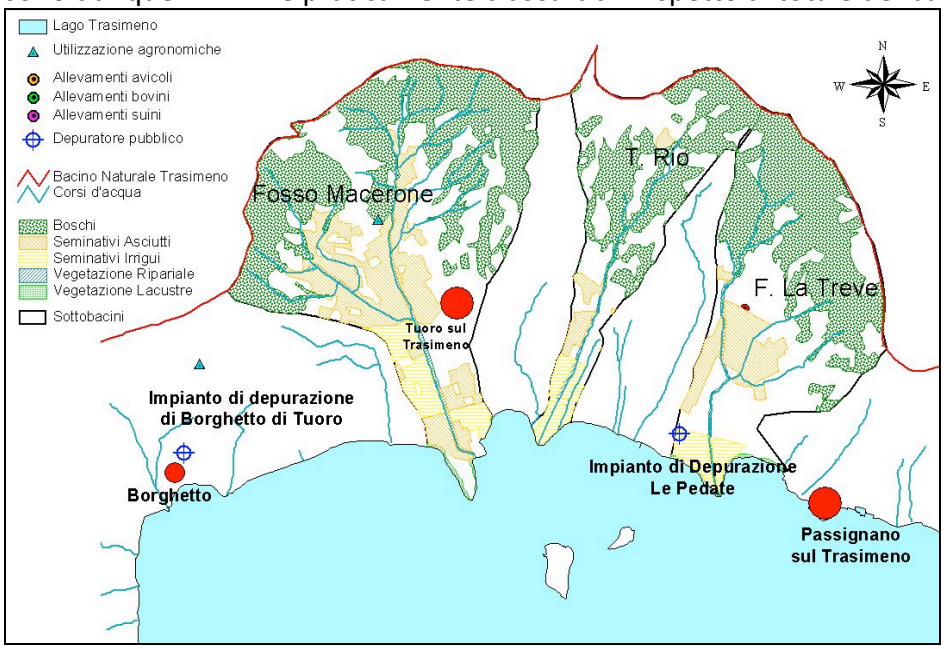


Figura 9 – uso del suolo e distribuzione delle attività zootecniche nei bacini del Fosso Macerone, Rio e La Treve

Uso suolo	ha	% bacino fiume	% bacino trasimeno
Seminativi irrigui	76	5,1%	1,6%
Seminativi asciutti	298	19,9%	3,5%
Colture miste	46	3,1%	4,4%
Boschi	593	39,6%	12,7%
Vigneti	24	1,6%	2,3%
Oliveti	230	15,4%	8,8%
Frutteti	2	0,1%	2,3%
aree incolte	0	0,0%	0,0%
Prati pascolo	115	7,7%	20,9%
Centri urbani	50	3,4%	9,2%
Nuclei urbani	5	0,3%	6,7%
aggregati	7	0,5%	4,2%
altro	51	3,4%	3,6%
Totale	**1 496**	**100,0%**	**5,8%**

Tabella 19 - Uso del suolo nel bacino del Fosso Macerone

Tipologia	n°	n°capi totale	% su bacino trasimeno per numero di aziende	% su bacino trasimeno x numero di capi
Allevamenti bovini	1	20	13%	3%
Allevamenti suini	1	2 000	3%	5%

Tabella 20 – Principali attività zootecniche

Fonti Diffuse	P [t/y]	N [t/y]	% Ptot	% Ntot
aree non coltivate	0,059	1,185	9,4%	9,4%
aree coltivate	0,837	20,363	3,5%	3,1%
Puntiformi				
Scarichi Zootecnici	1,153	3,867	4,7%	4,7%
TOTALI	**2,05**	**25,42**	**3,92%**	**3,10%**

Tabella 21 – Stima dei carichi di nutrienti apportati dal sottobacino del Fosso Macerone e loro percentuale rispetto al totale stimato per il bacino del Trasimeno

La Treve e Rio

Anche per questi due sottobacini minori valgono le considerazioni fatte per il Macerone. Si riportano comunque per completezza i risultati ottenuti.

Fosso Rio	ha	% bacino fiume	% bacino trasimeno
Seminativi irrigui	42	6,2%	0,9%
Seminativi asciutti	30	4,4%	0,4%
Colture miste	69	10,2%	6,6%
Boschi	300	43,9%	6,4%
Vigneti	5	0,8%	0,5%
Oliveti	65	9,6%	2,5%
Frutteti	1	0,2%	1,4%
aree incolte	2	0,3%	0,7%
Prati pascolo	136	19,9%	24,8%
Centri urbani	7	1,0%	1,3%
Nuclei urbani	0	0,0%	0,0%
aggregati	5	0,7%	2,6%
altro	20	2,9%	1,4%
Totale	**683**	**100,0%**	**2,7%**

Fosso La Treve	ha	% bacino fiume	% bacino trasimeno
Seminativi irrigui	44	4,6%	0,9%
Seminativi asciutti	98	10,2%	1,2%
Colture miste	47	4,9%	4,5%
Boschi	419	43,6%	9,0%
Vigneti	30	3,1%	2,8%
Oliveti	166	17,3%	6,4%
Frutteti	2	0,2%	2,6%
aree incolte	3	0,3%	0,9%
Prati pascolo	69	7,2%	12,6%
Centri urbani	17	1,8%	3,1%
Nuclei urbani	0	0,0%	0,0%
aggregati	2	0,2%	1,0%
altro	64	6,7%	4,5%
Totale	**960**	**100,0%**	**3,7%**

Tabella 22 - Uso del suolo nel bacino del Fosso Rio e La Treve

Fosso Rio

Fonti Diffuse	P [t/y]	N [t/y]	% Ptot	% Ntot
aree non coltivate	0,030	0,604	4,8%	4,8%
aree coltivate	0,321	6,870	1,3%	1,1%
TOTALI	**0,35**	**7,47**	**0,67%**	**0,91%**

Fosso La Treve

Fonti Diffuse	P [t/y]	N [t/y]	% Ptot	% Ntot
aree non coltivate	0,042	0,843	6,7%	6,7%
aree coltivate	0,366	9,501	1,5%	1,5%
TOTALI	**0,41**	**10,36**	**0,79%**	**1,27%**

Tabella 23 – Stima dei carichi di nutrienti apportati dal sottobacino del Fosso Rio e La Treve e loro percentuale rispetto al totale stimato per il bacino del Trasimeno

Conclusioni

Dall'analisi eseguita appare evidente che il carico maggiore giunge al lago attraverso i tre sottobacini dell'Anguillara, del Pescia e del Paganico: è a questi bacini che si dovrà dare priorità nell'attivazione di azioni per la riduzione dei carichi.

6. LA DINAMICA DEI SEDIMENTI NEL LAGO TRASIMENO7

Il Trasimeno è il più grande lago dell'Italia peninsulare, con una estensione superficiale di circa 125 km^2 ed un bacino imbrifero di circa 380 km^2. Il corpo idrico è caratterizzato dall'assenza di affluenti ed effluenti particolarmente significativi e dalla conseguente oscillazione dei livelli idrometrici legata principalmente al regime delle precipitazioni e degli usi idrici stagionali.

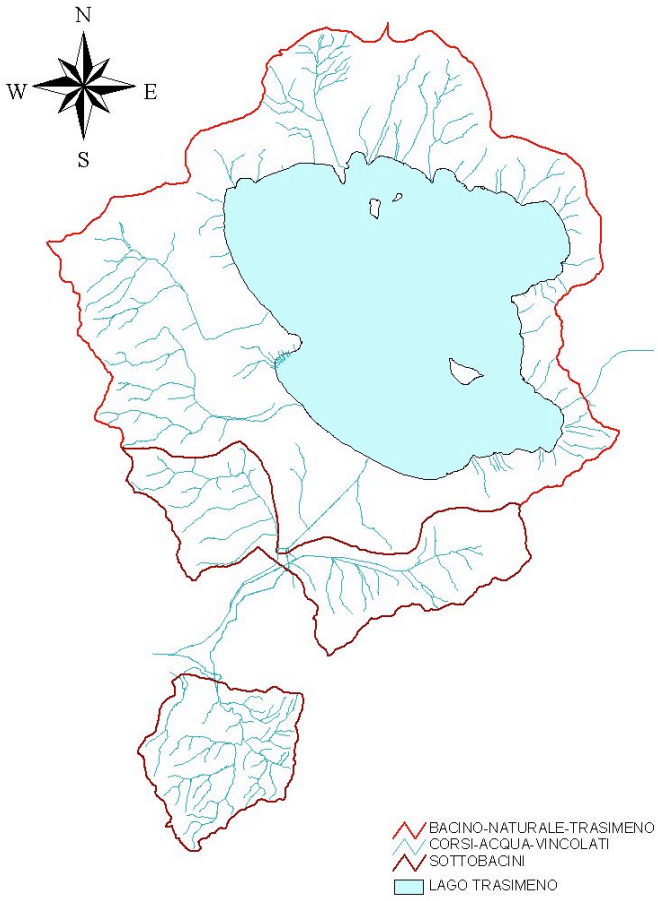


Figura 10 – Bacino naturale del Lago Trasimeno e sottobacini

Tali caratteristiche, insieme agli usi del suolo a scala di bacino idrografico, sono strettamente correlate al comportamento geomorfologico del sistema lacuale. La gestione dei sedimenti è un fattore chiave per la dinamica degli inquinanti, le tendenze evolutive della batimetria e la conservazione della biodiversità. In particolare molti interessi socioeconomici gravitano intorno

7

Tratto da Bacci M. e Gusmaroli G., "Studio e definizione di modalità di governance integrata e gestione sostenibile dei sedimenti del lago Trasimeno e del relativo bacino imbrifero", Università di Perugia, Facoltà di Economia, Dipartimento di Scienze Economico-Estimative e degli Alimenti, 2014.

all'assetto morfologico del lago, determinando situazioni decisionali di policy pubblica complesse da dirimere.

Scopo del presente paragrafo non è la trattazione dell'argomento e della problematica relativi ai sedimenti. A tale scopo, viceversa, si prende semplicemente atto della cospicua documentazione esistente in materia, in quanto il presente Studio ha l'obiettivo di indirizzare modelli e politiche programmatiche e gestionali, partendo dal presupposto che si debba comunque e necessariamente disporre di una conoscenza approfondita della dinamica dei sedimenti, a livello quantitativo e qualitativo, in funzione dello spazio e del tempo. Si riportano comunque in sintesi alcuni cenni sulla problematica.

La presenza e distribuzione dei sedimenti nel contesto lacuale caratterizza lo stato biofisico del lago determinando condizioni tipologiche dell'ecosistema e della morfologia che comportano problematiche di rilievo. In particolare, la torbidità e la presenza di nutrienti condiziona sensibilmente la qualità delle acque e quindi la biodiversità e l'interramento o l'erosione compromette usi turistici e sociali, quali in particolare la navigazione.

I sedimenti provengono dagli affluenti del bacino scolante nonché dalle superfici attigue. In estrema sintesi: la loro distribuzione spazio-temporale e la loro qualità sono condizionate da fenomeni meteoclimatici e idrologici, dalle caratteristiche geomorfologiche, dall'uso del suolo e dall'apporto di sostanze chimiche di origine antropica. In particolare, il carico di sedimento trasportato dalla corrente dipende da diversi fattori, quali forma e densità del granulo, granulometria, velocità e tipo di regime della corrente, lunghezza e pendenza dell'asta fluviale, uso del suolo.

Complessivamente risulta che annualmente si depositano nel bacino circa 150 m^3/anno di materiali solidi. Tuttavia tale valore rappresenta probabilmente una sovrastima della reale quantità depositata, perché non considera il sedimento depositato direttamente nei canali immissari.

In merito ai sedimenti, i numerosi studi effettuati riguardano perlopiù la loro caratterizzazione chimica, fisica e biologica, ma non risultano effettuate indagini significative dal punto di vista della dinamica della loro distribuzione nel lago.

Le più recenti e significative indagini[8] sono state infatti finalizzate alla raccolta delle seguenti informazioni:

- distribuzione areale di metalli, nutrienti e microinquinanti, quindi la "qualità" del sedimento superficiale (entro 5-7 cm dall'interfaccia acqua-sedimento) e profondo; indagini ecotossicologiche;
- condizioni di ossidazione e del pH nella matrice sedimento entro un metro di profondità per la previsione della "mobilità" dei metalli;
- concentrazioni di metalli, nutrienti e microinquinanti: analisi delle variazioni del sistema lacustre;
- analisi delle componenti abiotiche nei sedimenti;
- analisi dei flussi di fosforo e azoto.

[8] Fra i più recenti e significativi: 1) PROGETTO AMBIENTALE - OSSERVATORIO TRASIMENO: a) Campionamento svolto il 29-30 Settembre 2008, in collaborazione tra ARPA Umbria e ISMAR-CNR Bologna; b) Messa a punto dello stato delle conoscenze ambientali di riferimento dell'area del Lago Trasimeno e definizione di un modello concettuale per un piano di gestione, ARPA Umbria; 2) Università di Perugia, Dipartimento di Specialità Medico-Chirurgiche e Sanità Pubblica Sezione di Epidemiologia Molecolare e Igiene Ambientale - Valutazione della Qualità dei Sedimenti del Lago Trasimeno.

Da tali indagini si rileva la presenza, nei sedimenti del lago, di alcuni micro inquinati (IPA, metalli pesanti, tensioattivi e pesticidi organo clorurati), ma in concentrazione più bassa o confrontabile con quella di altri laghi europei. Ciò è da imputare al modesto volume di acqua invasata rispetto alla superficie occupata ed all'intensa attività biologica, tipica di un lago poco profondo[9].

Le quantità di nutrienti immagazzinate nei sedimenti sono valutabili nell'ordine delle centinaia di tonnellate di P e migliaia di tonnellate di N. In condizioni di saturazione di ossigeno il rilascio di P non costituisce un problema per l'ecosistema lacustre, mentre, nel caso di condizioni anossiche, il fenomeno di risolubilizzazione diventa più consistente. Anche se le caratteristiche idrochimiche di base del lago garantiscono generalmente uno stretto controllo sulle concentrazioni di PO_4, non sono da escludersi fenomeni di anossia su vasta scala, con conseguente rilascio di rilevanti quantità H_2S e NH_3, che andrebbero inevitabilmente a creare gravi danni all'intero ecosistema lacustre.

Una trattazione dettagliata sulla distribuzione degli inquinanti nei sedimenti è riportata in[10].

Altri studi si sono occupati delle quantità e provenienza dei sedimenti immessi nel lago, soprattutto ai fini dei problemi di interramento e di erosione. Per quanto riguarda l'entità di materiale solido che annualmente viene immesso nel lago, è stato stimato un valore di $1.5x10^5$ mc [11]. Da una ricerca sui sedimenti[12] condotta nel 2005 si evince che "*l'erosione del bacino drenante non è particolarmente intensa ed è relazionabile a normali processi erosivi. I volumi annualmente depositati nel lago sono molto piccoli in rapporto al volume totale dello stesso. I problemi derivanti dall'affioramento in superficie dei sedimenti di fondo lago sono quindi relazionabili al notevole abbassamento del livello delle acque che frequentemente ricorre negli ultimi anni. I sedimenti mostrano un elevato contenuto organico e, dal punto di vista granulometrico, sono classificabili come argille e limi-argillosi, lungo la costa meridionale, e come sabbie, con percentuali variabili di argille e limi, lungo la costa settentrionale. In generale nei campioni prelevati, il volume del sedimento è molto sensibile alle variazioni del contenuto di acqua e, dal punto di vista geotecnico, presentano complessivamente una bassa resistenza alla compressione*".

Sempre nel 2005, è stato prodotto un modello digitale del fondale mediante l'utilizzo di ecoscandaglio digitale ad altissima frequenza[13]. Dall'interpretazione dei dati è emersa la presenza di una interfaccia acqua-sedimento semifluida, con al di sotto sedimenti finemente stratificati con presenza diffusa di gas. Per il sedimento deposto negli ultimi 100 anni, è stato calcolato un tasso di sedimentazione pari a circa 0,3 cm/anno, che è tuttavia da considerarsi un limite massimo.

---

9 ARPA Umbria, 2011. Il rilievo Geofisico-Geologico del Lago Trasimeno. A cura di L. Gasperini, L.G. Bellucci, F. Del Bianco.

10 ARPA Umbria, 2011. La distribuzione di metalli, nutrienti e microinquinanti nei sedimenti recenti del Lago Trasimeno. A cura di N. Morgantini, L. Peruzzi.

11 Provincia di Perugia, Università di Perugia Dip. di Biologia Animale ed Ecologia e Dip. di Chimica, CIPLA, 2003. Piano per la riduzione degli apporti solidi al lago Trasimeno.

12 Research on sediments of Lake Trasimeno, Castellani M., Dragoni W., Setti M., Vinti G. Atti convegno Geoitalia, Spoleto 2005

13 Rilievo geofisico del lago Trasimeno per la realizzazione del Foglio geologico scala 1:50.000 n.°310 Passignano sul Trasimeno - Progetto CARG-RELAZIONE FINALE. ISMAR-CNR, REGIONE UMBRIA, UNIPG, UNIPI, Coastal Consultino. DICEMBRE 2005

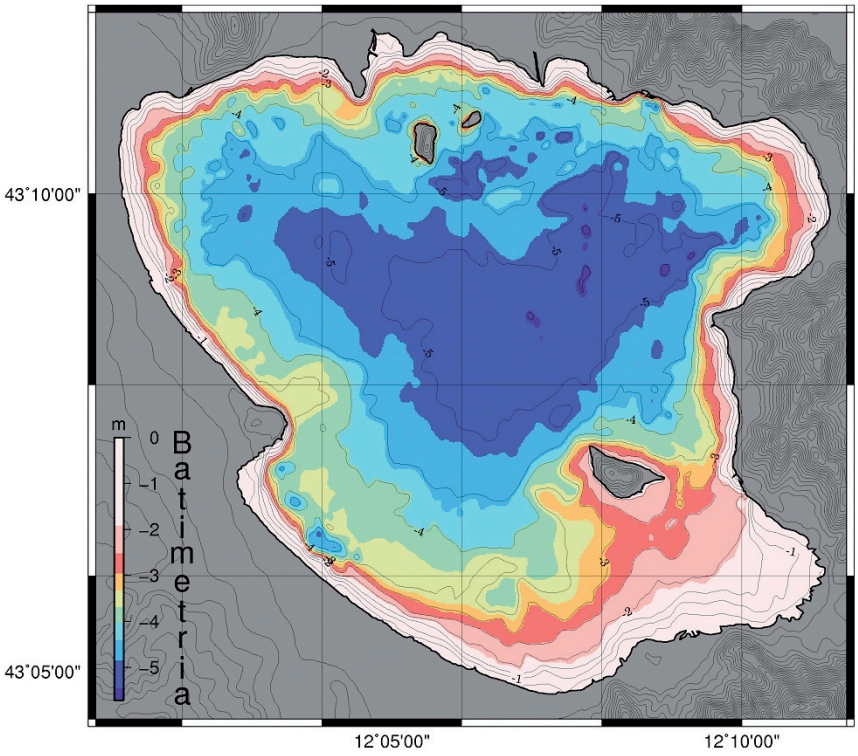


Figura 11 – Mappa morfobatimetrica del Lago Trasimeno[14]

Per ulteriori approfondimenti e raccolta dati si rimanda ai piani e studi condotti in particolare da ARPA Umbria, Regione Umbria, Università di Perugia, Provincia di Perugia. Segue un elenco di documenti significativi.

d) Autorità di Bacino del Fiume Tevere. Osservatorio Ambientale Trasimeno - Progetto messa a punto dello stato delle conoscenze ambientali di riferimento dell'area del lago Trasimeno e definizione di un modello concettuale per un piano di gestione. Decreto n.52/2006 del Segretario generale. Task 1: Raccolta e integrazione dati – Quadri di Sintesi, Ottobre 2008.

e) Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) dell'Umbria e Regione Umbria, 2008. Messa a punto dello stato delle conoscenze ambientali di riferimento dell'area del lago Trasimeno e definizione di un modello concettuale per un piano di gestione. Quadri di sintesi. Bozza.

f) Autorità di Bacino del Fiume Tevere. Modello matematico di simulazione del moto ondoso del lago Trasimeno nonché della direzione e velocità del vento per determinare i comportamenti del materiale solido depositato sul fondo del lago.

g) Comunità Montana e Associazione dei Comuni del Trasimeno e del Medio Tevere, 2009. Progetto finalizzato alla predisposizione dei Piani di gestione dei Siti Natura 2000 – Lago Trasimeno. DOCUP Ob. 2 2000-2006, cod. c3, misura 3.2 "Valorizzazione delle risorse naturali e culturali".

[14] Il rilievo Geofisico-Geologico del Lago Trasimeno – op. cit.

h) Provincia di Perugia (a cura del CIRF), 2003. Elaborazione di linee di indirizzo per il risanamento del lago Trasimeno e lo studio di fattibilità su tre siti per l'applicazione di soluzioni innovative di tipo naturale.

i) A. Boscherini et al.. Progetto Carte Geologiche Italiane del CARG in Regione Umbria: studio geologico/geofisico area Lago Trasimeno.

7. PROGRAMMA PER IL CONTROLLO DEI SEDIMENTI15

Ai fini della definizione del giudizio di idoneità alla balneazione, il DPR 470/82 e s.m.i. prevedeva la possibilità di deroga ai valori limite del parametro trasparenza in caso di condizioni geologiche o geografiche eccezionali. In considerazione delle peculiari caratteristiche del lago Trasimeno, la Regione Umbria si è avvalsa, fino al 2009, della facoltà di deroga al parametro trasparenza avviando, in attuazione delle disposizioni di cui all'art.9 dello stesso decreto, uno specifico programma di controllo dei sedimenti per accertare la natura delle cause che incidevano sulla torbidità delle acque di balneazione.

Il monitoraggio, svolto a cadenza mensile nel periodo aprile-settembre in corrispondenza di dodici delle quindici zone destinate alla balneazione, prevedeva l'analisi granulometrica dei sedimenti del lago e la ricerca di coliformi fecali al fine di certificare che, sotto l'aspetto igienico-sanitario, i sedimenti non potessero avere nessuna incidenza ai fini della balneabilità e della salute dei bagnanti.

A partire dalla stagione 2009, con l'emanazione del nuovo D. Lgs. 116/08, tale attività è stata sospesa.

Stazioni di misura dei sedimenti

15 Da ARPA Umbria.

8. ANALISI DELLO STATO TROFICO

PREMESSA

Le considerazioni e i dati riportati nel seguito sono tratti dalle seguenti fonti:

- Giovanardi F., Poletti A., Micheli A., Bilancio di massa del fosforo nel *Trasimeno: Idrochimica*, gennaio 1994)
- Giovanardi F., Poletti A., Micheli A., *Indagine sulla qualità delle acque del lago Trasimeno: Idrochimica*, Acqua e Aria, aprile 1995)
- Giovanardi F., Poletti A., Micheli A., *Indagine sulla qualità delle acque del lago Trasimeno: definizione dei livelli trofici*, Acqua e Aria, giugno 1995)

Sebbene tali studi siano datati e facciano riferimento a dati rilevati negli anni '80 e '90, si ritiene che abbiano validità allo stato attuale, sia perché la situazione del bacino non è modificata significativamente, sia perché analizzano il sistema intrinseco del lago, specialmente a livello chimico, che è chiaramente inalterato. Peraltro le valutazioni in essi contenuti sono importanti per capire la fenomenologia e le motivazioni del livello di stato trofico, fondamentali per valutare poi quali azioni prioritarie intraprendere.

Peraltro un quadro di sintesi, perlopiù basato sui suddetti documenti, è stato prodotto dall'Autorità di Bacino del Tevere:

Osservatorio Ambientale Trasimeno - Progetto messa a punto dello stato delle conoscenze ambientali di riferimento dell'area del lago Trasimeno e definizione di un modello concettuale per un piano di gestione. Decreto n.52/2006 del Segretario generale. Task 1: Raccolta e integrazione dati – Quadri di Sintesi, Ottobre 2008.

Altra bibliografia consultata per l'argomento trattato nel presente documento: CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Sez. Idrobiologia ed Ecologia delle Acque Interne (Verbania Pallanza), Gianluigi Giussani e Riccardo De Bernardi, Conoscere un lago, Nuova edizione, a cura di Gianluigi GIUSSANI, del volume pubblicato dagli stessi autori nella collana Documenta dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, 4, 1984. Versione elettronica realizzata da Roberto Bertoni, 2003.

Si fa presente che ARPA Umbria effettua un periodico controllo per la verifica dell'eutrofizzazione: (attivo dal 1992 come ASL n.°2) su 7 stazioni, prelievi quindicinali nel periodo giugno-settembre e mensili nel periodo ottobre-marzo per la ricerca di parametri chimico-fisici (pH, Temperatura, Trasparenza, Conducibilità a 25°C, Alcalinità, % sat., OD, Azoto totale, Azoto ammoniacale, Azoto nitroso, Azoto nitrico, Ortofosfato, Fosforo totale, Clorofilla "a", Silice, Cloruri, Solfati, Solidi disciolti) e per il riconoscimento e conteggio delle comunità algali.

QUADRO ANALITICO

Data la particolare conformazione della cuvetta lacustre e la facilità con cui si verificano rimescolamenti verticali della colonna d'acqua, possiamo assimilare il lago a un reattore continuamente rimescolato per l'intero arco annuale.

Il Trasimeno si comporta come un immenso bacino di sedimentazione ad elevato rendimento, in cui l'intero carico annuale di fosforo rimane intrappolato nel sistema, andando ad accumularsi nel sedimento. Se abbandoniamo il concetto di stato stazionario e consideriamo altri parametri legati ai tempi di turn-over del sistema, possiamo meglio comprendere perché l'elevato carico specifico di fosforo gravante sul lago non si traduce in un altrettanto elevato livello trofico, e questo nonostante che i limiti critici di accettabilità del carico di questo nutriente vengano di gran lunga superati.

Il fenomeno dell'evapotraspirazione, così importante se si considera l'estensione dello specchio d'acqua, deve avere una grande influenza sulla concentrazione dei soluti e le variazioni, dell'ordine di 200-250 µS/cm, della conducibilità media rilevate nel corso degli anni, dipendono dall'abbondanza o meno delle precipitazioni.

Le acque del Trasimeno sono da classificare come acque sodiche-clorurate.

Nel lago Trasimeno la rimozione del fosforo viene attuata dal sistema soltanto marginalmente attraverso la classica via metabolica riassumibile nell'assunzione del nutriente da parte delle alghe, nel suo contributo alla crescita del fitoplancton e, alla fine del ciclo produttivo, nella sua fuoriuscita dal sistema per sedimentazione. Questa via comunque assicura al Trasimeno condizioni di meso-trofia, confermato dalle misure della clorofilla, che rappresenta un indice diretto di livello trofico. Per il resto, essendo impossibili le fuoriuscite dal sistema con le acque dell'emissario, la parte preponderante del carico viene sottratta alla colonna d'acqua per via chimica, per precipitazione diretta come idrossiapatite e co-precipitazione con i carbonati, o per adsorbimento sui materiali di fondo in sospensione e successiva sedimentazione.

I picchi di N totale inorganico corrispondono ad altrettanti eventi di piena del torrente Anguillara.

Le variazioni di concentrazione del P totale sembrano dipendere dalla risospensione della frazione più leggera del sedimento del Trasimeno. La risposta del sistema al vento è immediata, a causa della scarsa profondità ed altrettanto rapido è il ritorno alla normalità con la caduta della torbidità, una volta cessata la causa che l'ha determinata. In corrispondenza di queste “torbide” si registrano i valori massimi di P totale.

I rilievi batimetrici hanno confermato la copertura vegetale dei bassi fondali praticamente lungo tutto lo sviluppo costiero del lago, sia pure con qualche discontinuità, mentre un'altra specie, *Potamogeton pectinatus*, tende ad essere ubiquitaria, infatti le sue lunghe foglie filamentose sono rinvenute ovunque in tutto il lago.

In conclusione, possiamo affermare che l'equilibrio tra CO_3, HCO_{3^-} e $CO_{3^{--}}$ è il sistema che maggiormente tampona il pH intorno a valori non pericolosi per la vita acquatica. Un abnorme sviluppo di macrofite, favorito da un accumulo di sostanza organica e nutrienti nei sedimenti, determina la rottura di questo delicato equilibrio.

La biomassa vegetale residua, facilmente putrescibile, innesca infatti situazioni di ipossia dei fondali, fino alla completa anossia che, oltre a favorire lo sviluppo di sostanze tossiche, quali H2S e NH3, concorre alla risolubilizzazione e al rilascio dei nutrienti dai sedimenti.Il giudizio di stato trofico, basato sulle misur[e] di disco Secchi, non può essere formulato, dal momento che

la misura della trasparenza delle acque del Trasimeno è troppo influenzata d alla risospensione di sedimento e non può essere correlata alle cellule algali presenti nella colonna d'acqua. Per quanto riguarda il P totale, i frequenti valori di picco sono provocati dal fenomeno della risospensione dei sedimenti e del materiale di fondo ad opera del vento, che rende torbida la colonna d'acqua. L'intorbidimento generalizzato delle acque si verifica con estrema facilità a causa della scarsa profondità e della "leggerezza" dei sedimenti, che presentano una frazione fine percentualmente molto elevata.

CONCLUSIONI

Il livello di mesotrofia deciso per il Trasimeno è un livello trofico "condizionato", non dipende cioè dai carichi esterni, immessi in gran quantità dal bacino, ma è determinato dalle caratteristiche idrochimiche di base, tipiche di questo corpo idrico lacustre. Inoltre, grazie all'elevata conducibilità media (circa 1000 $\mu S/cm^{-1}$) e agli alti valori di alcalinità rilevati, si ritiene che il sistema abbia una notevole inerzia, si trovi cioè in equilibrio stabile.

PROGRAMMA DI SORVEGLIANZA PER IL CONTROLLO DELL'EUTROFIZZAZIONE[16]

Ai fini della definizione del giudizio di idoneità alla balneazione, il DPR 470/82 e s.m.i. prevedeva la possibilità di deroga ai valori limite del parametro ossigeno disciolto per particolari condizioni meteoclimatiche e idromorfologiche dei corpi idrici interessati. Tale facoltà era tuttavia subordinata all'attivazione di uno specifico programma di monitoraggio per il controllo dei processi di eutrofizzazione, finalizzato, principalmente, ad escludere la presenza di specie algali potenzialmente tossiche. In considerazione delle peculiari caratteristiche del lago Trasimeno, la Regione Umbria si è avvalsa, fino al 2009, della facoltà di deroga al parametro ossigeno disciolto attivando, in attuazione delle disposizioni di cui al DPR 470/82 e DM 17 giugno 1988, uno specifico Programma di sorveglianza per il controllo dell'eutrofizzazione dello specchio lacustre su una rete costituita da sette stazioni di monitoraggio localizzate nelle aree a più elevato rischio di inquinamento.

Benché con l'emanazione del D. Lgs. 116/08 e del DM 30 marzo 2010 sia stato introdotto un nuovo approccio per il controllo dei fenomeni di proliferazione algale, si è ritenuto comunque opportuno proseguire, per il periodo 2009-2011, alcune delle attività di controllo dei processi eutrofici in quattro delle sette stazioni già attive, al fine di completare il quadro conoscitivo su tale problematica.

Dal 2012 il programma di controllo dell'eutrofizzazione è stato sospeso.

[16] Da ARPA Umbria.

Stazioni di misura per il controllo dell'eutrofizzazione

MODELLIZZAZIONE E SIMULAZIONE AZIONI[17]

La modellizzazione degli interventi di recupero Il risanamento di un lago eutrofizzato richiede necessariamente la riduzione del carico esterno di sostanze nutrienti, in particolare del nutriente limitante. Il nutriente più facilmente controllabile è il fosforo, perché anche quando il fosforo non risultasse essere, o essere sempre, limitante per la produzione algale, si può fare in modo che lo diventi.

La cosiddetta diversione del carico di fosforo si attua mediante la depurazione delle acque affluenti, sia di quelle degli immissari sia di quelle degli scarichi urbani opportunamente avviate agli impianti di depurazione mediante canali collettori. Gli aspetti ingegneristici e chimici dei procedimenti di diversione e depurazione delle acque affluenti sono oggetto di appositi manuali.

La riduzione del carico si ottiene anche con provvedimenti indiretti, come quelli intesi a ridurre l'uso di fertilizzanti in agricoltura, che costituiscono una delle sorgenti diffuse, in seguito al dilavamento della fascia costiera da parte delle precipitazioni atmosferiche.

Esulano da questa trattazione i metodi per la valutazione del carico di fosforo, suddiviso nelle varie sorgenti, metodi che forniscono evidentemente il dato fondamentale per ogni calcolo sull'evoluzione del lago.

[17] Si riporta un estratto da G. Rossi, “Modellistica ecologica dei laghi”, Istituto dell'ambiente – Centro comune di ricerca UE, 1992.

La scala dei tempi di un calcolo previsionale è più grande di quella necessaria per l'interpretazione di fenomeni determinati dall'evoluzione stagionale. Per questo motivo molte considerazioni pertinenti al risanamento di laghi eutrofizzati sono state basate su semplici modelli del tipo "reattore mescolato", con riferimento alla concentrazione media di fosforo totale ed al suo tempo di residenza nel bacino.

Qualora invece si ritenga di dover ricorrere a modelli più elaborati, sia per quanto riguarda la descrizione della dinamica della crescita algale sia per quanto riguarda la rappresentazione del supporto fisico, l'uso previsionale del modello consiste nel calcolo ripetuto di evoluzioni annuali (fig. 1), ciascuna compresa tra un mescolamento totale delle acque ed il successivo, variando naturalmente le condizioni iniziali (ed eventualmente il valore di qualche parametro, la cui costanza darebbe luogo ad un'approssimazione troppo grossolana).

I risultati vengono riferiti in generale a varie ipotesi di intervento, mentre l'interazione con i sedimenti, che, costituisce un fattore determinante dell'evoluzione del lago, può essere, a seconda dei casi, incorporata nel modello, o assegnata al problema come una sorgente esterna, il cui andamento nel tempo viene opportunamente simulato.

L'intervento di risanamento concettualmente più semplice è la **diversione del carico esterno**. Si è già avvertito che gli effetti a breve termine di tale intervento sono sopravvalutati da modelli che non tengono conto correttamente del carico interno, che in molti laghi eutrofizzati si è rivelato in grado di sostenere per più anni le fioriture algali estive ed autunnali, anche con carichi esterni drasticamente ridotti (se ne vedrà un esempio nella terza parte).

Per ovviare alle conseguenze del carico interno, e ricondurre i tempi di recupero a quelli medi di residenza dell'acqua e del fosforo, si ricorre ad altri interventi, quelli cosiddetti interni: prelievo delle acque ipolimniche, loro aerazione o ossigenazione, e dragaggio dei sedimenti.

Il **prelievo delle acque ipolimniche** consiste nel sostituire parzialmente o totalmente il deflusso superficiale, con il pompaggio di acqua a quote inferiori a quella del termoclinio durante la stratificazione termica. La conseguenza di questa sostituzione sul bilancio ipolimnico di fosforo ed ossigeno è data dal fatto che le acque asportate dall'ipolimnio vengono sostituite da quelle epilimniche, più povere di fosforo e più ricche di ossigeno.

Evidentemente l'intervento influenza la distribuzione di temperatura lungo la verticale, e la stabilità della stratificazione dell'acqua, in modo tale che la destratificazione autunnale potrebbe esseme anticipata a tempi nei quali si possono verificare ancora fioriture algali.

Ne deriverebbe una riduzione o perfino l'annullamento dei benefici. Per questo motivo la corretta progettazione di un intervento di prelievo ipolimnio richiede un'appropriata analisi modellistica preliminare.

Immissione artificiale di ossigeno nell'ipolimnio. Anche questo intervento impone delle cautele per evitare che esso provochi una destratificazione intempestiva.

Si deve infine tener presente che il dato su cui si basa la previsione dell'evoluzione dello stato trofico di un lago eutrofizzato è la relazione tra concentrazione di ossigeno disciolto e flusso

di rilascio di fosforo dai sedimenti, e questo dato è difficilmente accessibile ad un approccio puramente modellistico, bensì proviene dalla fenomenologia globale del lago (per esempio dalla conoscenza del carico interno durante il completo mescolamento invernale delle acque).

9. ECOSISTEMI FILTRO E FITODEPURAZIONE

(estratto da: "Provincia di Perugia (a cura del CIRF), 2003. Elaborazione di linee di indirizzo per il risanamento del lago Trasimeno e lo studio di fattibilità su tre siti per l'applicazione di soluzioni innovative di tipo naturale")

Le azioni prioritarie

Azioni diffuse a scala di bacino (di lungo periodo)

Gli interventi più efficaci per combattere l'inquinamento diffuso sono quelli che vengono realizzati più "vicini possibile" a dove i carichi vengono generati, cioè nell'azienda agricola e sul reticolo idrografico minuto (scoline, impluvi, capofossi, piccoli corsi d'acqua naturali o artificiali). A questo scopo è necessario agire sulle aziende agricole, incentivandole perché intervengano sulla struttura fisica dell'azienda, in particolare favorendo la destinazione di parte delle superfici aziendali a Fasce Tampone o a zone umide di fitodepurazione. La realizzazione di fasce tampone sulla superficie aziendale non comporta gravi perdite per l'azienda, in quanto sono in grado di fornire altri benefici (funzioni frangivento, biomassa ad usi energetici, ecc.): alcune Regioni (ad es. il Veneto) hanno già sperimentato alcune misure di incentivazione, incluse nel Piano di Sviluppo Rurale, specificatamente rivolte alle Fasce Tampone. D'altra parte le fasce tampone sono particolarmente efficaci per la riduzione dell'azoto ma molto meno per quanto riguarda il fosforo: questo elemento infatti si mobilita prevalentemente attraverso il deflusso superficiale che difficilmente viene intercettato dalle fasce tampone.

Un'altra soluzione sperimentata è la fitodepurazione, ma per questa soluzione ancora non esistono esperienze consolidate di politiche atte a favorirne l'applicazione da parte delle aziende agricole.

Vi sono poi interventi per la riduzione del carico diffuso che possono riguardare direttamente il corso d'acqua: questi interventi sono in genere meno efficaci di quelli realizzabili a livello dell'azienda agricola, in quanto le portate da trattare sono già notevoli e gli inquinanti più diluiti. Ciononostante, questi interventi sono in genere necessari per la loro funzione dimostrativa, in grado di attivare processi virtuosi e politiche innovative.

Le Fasce Tampone

Gli inquinanti di origine agricola vengono mobilitati dai terreni con le piogge e l'irrigazione, e trasportati per via superficiale o subsuperficiale verso i canali, naturali o artificiali.

L'"azione tampone" esercitata dalle FTB si colloca tra gli effetti di interazione coi flussi idrici e con il trasporto delle sostanze in essi sospese o disciolte e, di conseguenza, essa costituisce una "funzione filtro". Tale azione è tipicamente esercitata dagli ambienti di transizione tra ecosistemi terrestri e acquatici (prati umidi, formazioni boschive riparie, zone umide fluviali, ambienti iporeici, fasce boscate), si esercita principalmente attraverso i meccanismi della fitodepurazione ed ha come risultato il contenimento di effluenti che dall'ecosistema a monte si riversano in quello a valle.

Figura 12 - I fossi di scolo dei campi coltivati veicolano elevati carichi di nutrienti

Gli effetti delle Fasce Tampone sugli inquinanti diffusi

Azoto. Le fasce tampone sono efficaci nel ridurre i carichi di azoto nelle acque, in particolare sulle acque della falda superficiale. La funzione svolta dalle fasce tampone nei confronti dell'azoto è duplice: una certa quantità di azoto viene assorbito attraverso gli apparati radicali e immagazzinato nella biomassa della pianta, ma soprattutto la fascia tampone crea le condizioni ottimali per favorire nel suolo i processi di denitrificazione, che rimuovono definitivamente l'azoto dalle acque immettendolo nell'atmosfera.

Fosforo. La riduzione del fosforo nelle acque è legata alla capacità delle fasce tampone di trattenere i solidi sospesi, su cui "viaggiano", adsorbiti i sali di fosforo.

Trasporto solido. Il trasporto solido è un importante fattore di impatto, in particolare su alcuni corsi d'acqua come quelli di risorgiva, caratterizzati da acque molto limpide. La capacità delle fasce tampone di ridurre l'erosione del suolo e di conseguenza il trasporto solido è stata verificata in diversi casi. Le esperienze e gli studi realizzati hanno però messo in luce che, per garantire un'efficacia in questo senso sono necessarie particolari attenzioni nella progettazione e nella gestione.

Pesticidi. Contribuendo ad aumentare il tempo di permanenza delle acque prima che queste raggiungano il corpo idrico, le fasce tampone favoriscono il processo dei composti di sintesi, in particolare quelli fosfo-organici che si decompongono piuttosto rapidamente.

Questo risultato lascia intravedere l'interesse che rivestono le zone tampone per il mondo agricolo oggi di fronte al pressante problema ambientale del rilascio nei corpi idrici dei nutrienti, in particolare dell'azoto, provenienti dai coltivi. L'intensificazione e la meccanizzazione dell'agricoltura hanno infatti da un lato aumentato il potenziale inquinante e dall'altro favorito l'eliminazione di quei biotopi naturali o di origine antropica (vegetazione ripariale e siepi campestri) deputati, seppure in maniera inconsapevole, all'azione tampone.

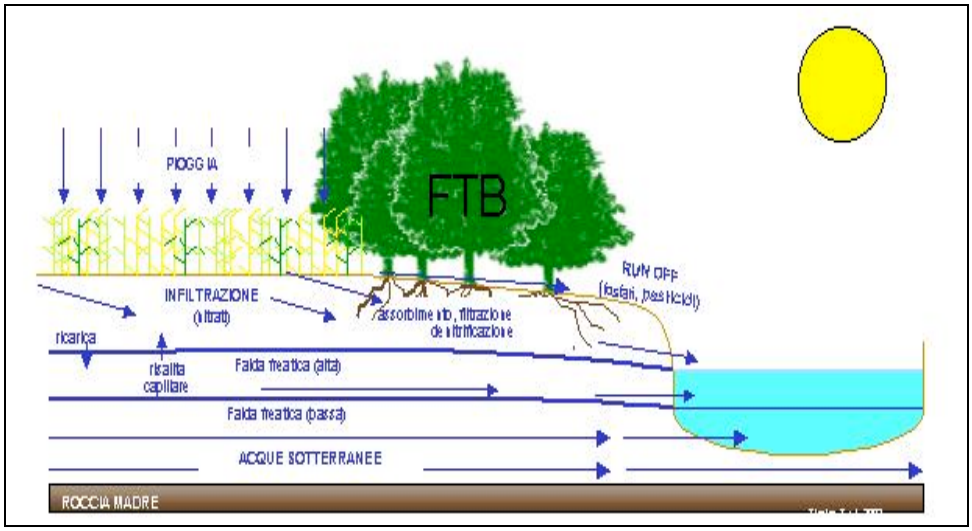
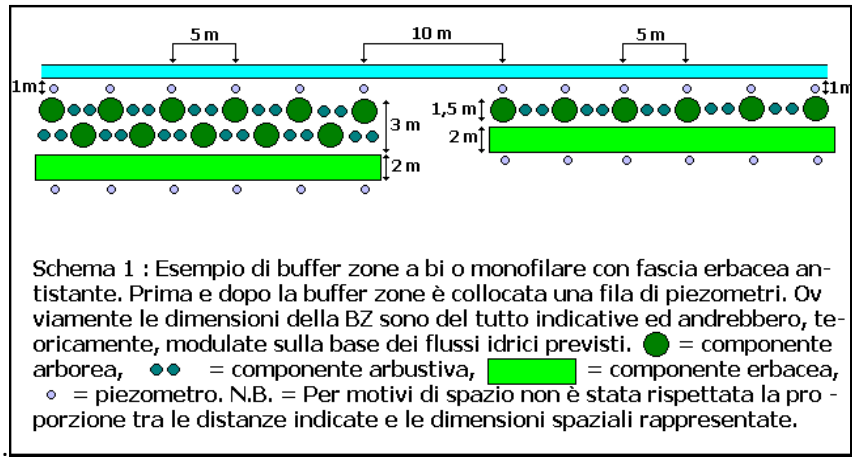


Figura 13 Funzionamento di una fascia tampone boscata

I principi di funzionamento delle zone tampone trovano applicazione in ambito aziendale nella realizzazione di Fasce Tampone Boscate (FTB), fasce di vegetazione arborea e/o arbustiva che separano i corpi idrici superficiali (scoline, fossi, canali, fiumi, laghi) da una possibile fonte di inquinamento diffuso (campi coltivati). Si tratta di formazioni a sviluppo prevalentemente lineare gestite con tecniche forestali ed integrate nel ciclo produttivo agrario (produzione di legna da ardere, legname da opera, frutti eduli, prodotti apistici, ecc.).

Le fasce tampone possono avere maggiore o minor "impatto" sull'azienda agricola. La formula più accettabile e quindi più diffusa è costituira da una semplice siepe monofilare messa a dimora sul borso di un fosso o di una scolina. Per aumentare l'efficacia è possibile prevedere una struttura "composita" costituita da una fascia erbacea e da una una siepe arboreo-arbustiva mono o bifilare.



Schema 1 : Esempio di buffer zone a bi o monofilare con fascia erbacea antistante. Prima e dopo la buffer zone è collocata una fila di piezometri. Ovviamente le dimensioni della BZ sono del tutto indicative ed andrebbero, teoricamente, modulate sulla base dei flussi idrici previsti. = componente arborea, = componente arbustiva, = componente erbacea, = piezometro. N.B. = Per motivi di spazio non è stata rispettata la proporzione tra le distanze indicate e le dimensioni spaziali rappresentate.

Figura 14 Schema di impianto di una Fascia Tampone composita

Per migliorare l'effetto di rimozione degli inquinanti trasportati per via superficiale (su cui le fasce tampone sono scarsamente efficaci, in particolare per gli eventi meteorici intensi) è possibile prevedere una struttura più complessa, che preveda una sorta di canale di carico che corre tra il campo coltivato e la fascia tampone (Figura 15). SI costituisce così di fatto un sistema integrato di fitodepurazione fascia tampone: il canale di carico (che viene rapidamente colonizzato da vegetazione

acquatica) svolge la funzione di sedimentazione e fitodepurazione; l'acqua immagazzinata nel canale di carico, filtra poi lentamente attraverso fascia tampone per raggiungere il corpo idrico.

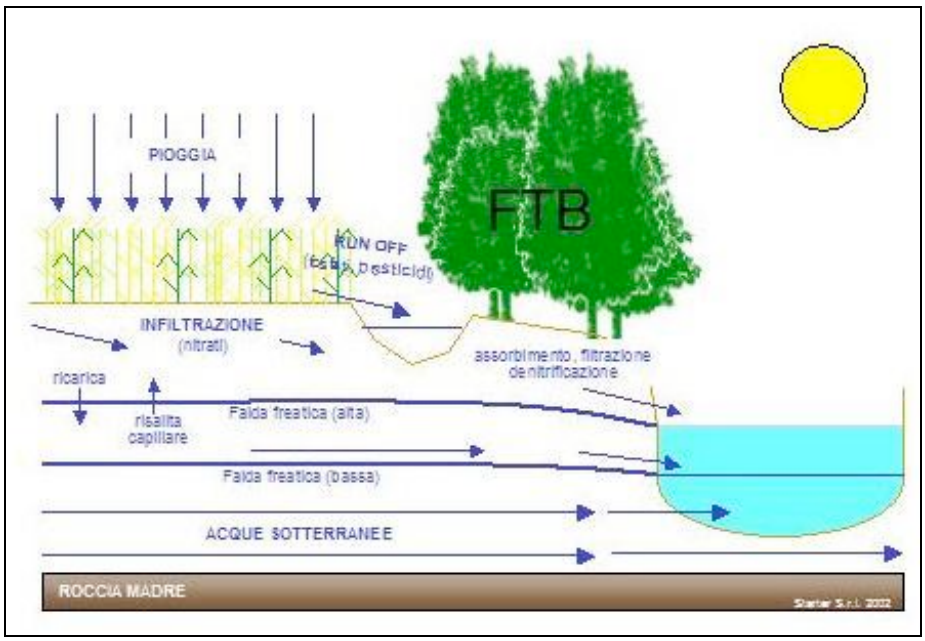


Figura 15 Fascia Tampone con canale di carico

Il ruolo delle FTB non è circoscritto alla sola protezione della qualità delle acque, ma si integra in una più ampia strategia di salvaguardia ambientale attraverso l'incremento della biodiversità, il ripristino del paesaggio, la riqualificazione degli ambiti fluviali.

Sistemi di fitodepurazione per il deflusso superficiale agricolo

Le fasce tampone costituiscono certamente la soluzione più "accettabile" dall'azienda agricola per aumentare la capacità "autodepurativa" del territorio. Putroppo, però, esse mostrano scarsa efficacia nell'intercettare il carico veicolato dal deflusso superficiale. In occasione di piogge intense, infatti, le acque di scorrimento formano dei canali preferenziali che attraversano la fascia tampone e raggiungono il corso d'acqua.

Per trattare efficacemente le acque di scorrimento superficiale (quelle più ricche di sedimenti e di fosforo) si stanno diffondendo particolari applicazioni della fitodepurazione, come quello rappresentato in Figura 16.

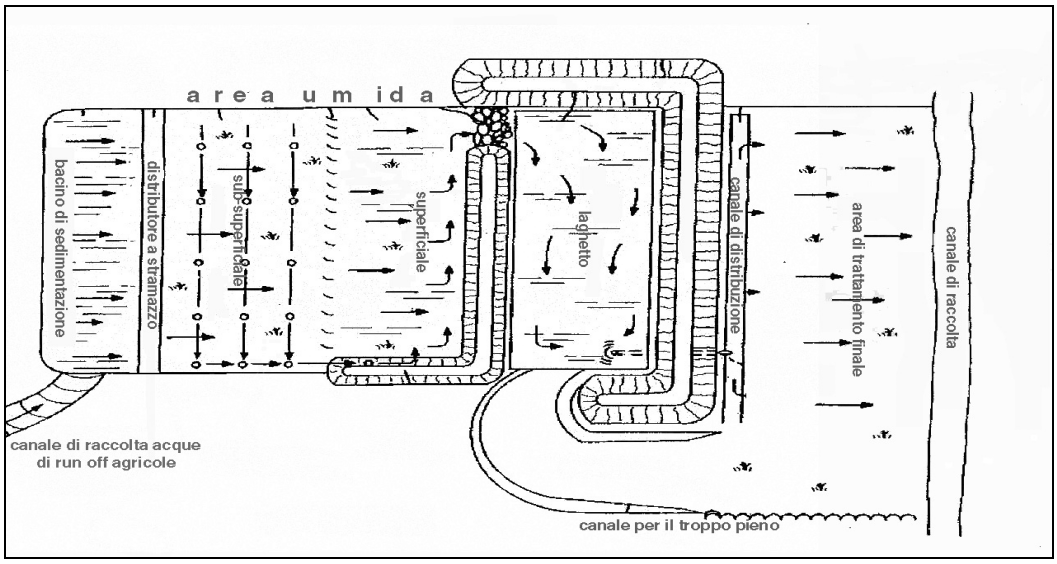


Figura 16 Schema di sistema di fitodepurazione per il trattamento del "run off" agricolo

Per il funzionamento dei sistemi di fitodepurazione si rimanda alla vasta letteratura tecnica in materia (i riferimenti sono disponibili su www.iridra.com): ci preme qui sottolineare come questa soluzione, sia piuttosto onerosa per l'azienda agricola. E' infatti necessario rivedere la sistemazione dei terreni, in modo da creare una rete di fossi e scoline che recapiti nei punti dove si prevede di localizzare gli impianti. L'impianto stesso deve essere opportunamente dimensionato e strutturato in modo da permettere la gestione (rimozione degli accumuli di sedimento, eventuale rimozione della biomassa, ecc.). Infine, poiché si tratta in genere di portate non indifferenti, è necessario dedicare alla fitodepurazione una superficie cospicua, sottraendola alla produzione.

Interventi diretti sui corsi d'acqua

Perché un corso d'acqua possa mantenere la sua capacità autodepurativa è necessario che si conservino le condizioni che permettono lo svolgimento dei principali processi depurativi naturali (filtrazione, adsorbimento, sedimentazione, assimilazione biologica, ossidoriduzioni biologiche, ecc.). I processi biologici possono avvenire solo in presenza di popolazioni vitali di tutte le componenti tipiche della fauna e della flora acquatica. I processi chimico-fisici, invece, sono facilitati da condizioni di flusso idrico meno "regolare" possibile: sono importanti le anse e le pozze, che favoriscono la sedimentazione; i raschi e la presenza di vegetazione in alveo, che favoriscono la filtrazione e l'adsorbimento e l'ossigenazione delle acque. Infine, tutti i processi autodepurativi dipendono fondamentalmente dal "tempo di residenza": tanto maggiore è il tempo che l'acqua impiega a percorrere una determinato tratto di corso d'acqua, o in termini idraulici tanto maggiore è la scabrezza e minore è la velocità, tanto più efficace sarà l'autodepurazione del corso d'acqua.

Nei prossimi paragrafi si presenteranno alcuni possibli interventi sui corsi d'acqua, in grado di contribuire alla riduzione dei carichi diffusi.

Interventi sull'alveo per migliorare la capacità autodepurativa

Tutti gli interventi che aumentano il tempo di residenza delle acque hanno un effetto positivo sulla qualità: tutti i processi di autodepurazione infatti dipendono dal tempo di residenza. Tra questi il più importante è la **meandrizzazione** dei corsi d'acqua rettificati.

La meandrizzazione aumenta il percorso che l'acqua deve compiere nello scorrere, riduce la pendenza dell'alveo e la velocità di scorrimento. Questo consente di aumentare il tempo di residenza e

favorisce la riduzione solidi sospesi, del BOD, dell'azoto e del fosforo. Molto spesso gli interventi di bonifica realizzati negli scorsi decenni hanno invece ridotto la meandrizzazione dei corsi d'acqua.

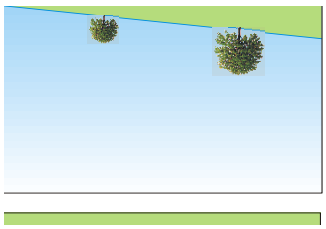


Figura 17 - La rettificazione aumenta la velocità dell'acqua e riduce il tempo di residenza

La **diversificazione morfologica dell'alveo** (ad esempio, nel caso di alvei sagomati artificialmente a sezione trapezioidale) permette di creare zone a diversa velocità della corrente che favoriscono diversi processi autodepurativi.

Ricreando l'alternanza tra buche e raschi si ottengono zone a corrente lenta, dove hanno luogo i processi di sedimentazione dei solidi sospesi, e zone a corrente veloce, utili per l'ossigenazione. La diversificazione dell'alveo può essere realizzata introducendo massi e substrati ghiaiosi o ciottolosi in alveo o con interventi di ingegneria naturalistica.

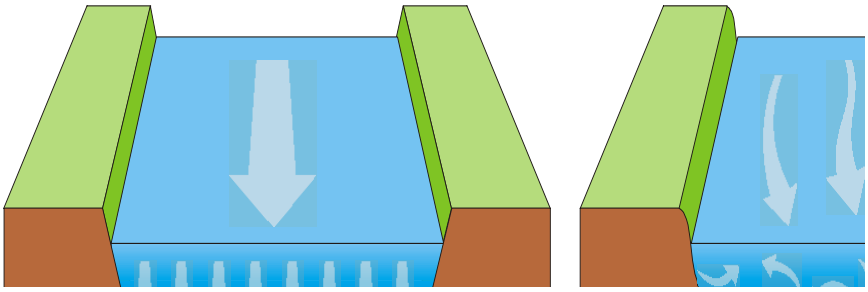


Figura 18 - Schema di pianta e sezione trapezioidale con creazione di buche e raschi con massi e ghiaia in alveo

La **creazione di piccoli salti artificiali** (attraverso l'inserimento di briglie realizzate con l'ingegneria naturalistica) può essere usata per piccoli corsi d'acqua che soffrono di inquinamento organico, per favorire l'ossigenazione delle acque.

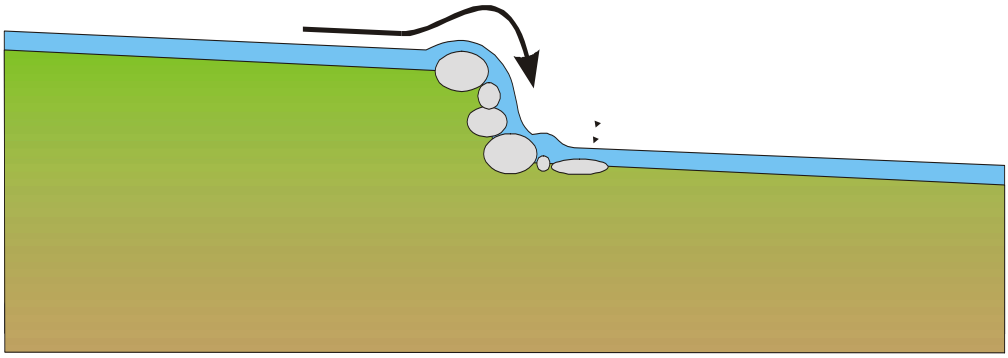


Figura 19 - Schema di inserimento briglie per l'ossigenazione

Zone umide in alveo o in area di pertinenza

Tutti gli interventi indicati finora possono dare un contributo importante per alcune funzioni, come l'ossigenazione dell'acqua, ma difficilmente permettono un abbattimento consitente degli inquinanti, in particolare di quelli che richiedono processi biologici come la denitrificazione. Per questo motivo, tali interventi, si giustificano quando sono finalizzati, oltre che al miglioramento della qualità delle acque, ad altri obiettivi (ad esempio, la riqualificazione naturalistica e/o paesaggistica, il miglioramento dell'habitat per la fauna ittica, l'aumento della scabrezza per finalità di sicurezza idraulica, ecc.).

Volendo raggiungere percentuali di rimozione più consistenti, è necessario aumentare molto i tempi di residenza e, quindi, le superfici interessate dagli interventi. In questi casi si possono realizzare delle zone umide in alveo o in aree idraulicamente connesse che possano accogliere e trattare, tutta o in parte, la portata del corso d'acqua.

Le zone umide in alveo si realizzano per consentire il trattamento di tutta la portata di un corso d'acqua: per questo motivo sono generalmente utilizzate su corsi d'acqua di piccole dimensioni. L'efficacia di rimozione è direttamente correlata con il tempo di residenza che deve essere di 0,5 – 2 giorni per rimozioni significative dei solidi sospesi e del BOD e di 1-3 giorni per l'azoto.

Di norma la struttura delle zone umide in alveo è costituita da un dissipatore di energia iniziale, seguito da una zona profonda ad acqua libera per favorire la sedimentazione e da un sistema di fitodepurazione che occupa la maggior parte della superficie disponibile. Il sistema di fitodepurazione ha generalmente la struttura tipica di un sistema a superficie libera. Se l'obiettivo è la rimozione dell'azoto nitrico il sistema FW può presentare parti a maggiore profondità (1,5-2m) per aumentare l'ampiezza delle zone anossiche per la denitrificazione: questo consente, inoltre, di aumentare il volume complessivo del sistema e quindi i tempi di residenza.

Tali interventi devono essere preferenzialmente localizzati in aree naturalmente vocate all'inondazione (aree esondabili) e devono essere progettati tenendo in considerazione gli aspetti idraulici legati a modificazioni del normale corso del fiume. In questi sistemi infatti l'intera portata idraulica del fiume viene trattata all'interno della zona umida ed è quindi necessaria una approfondita conoscenza preliminare di tutte le caratteristiche idrologiche al fine di poter elaborare un corretto design del sistema. In linea generale una zona umida "on-stream" può essere schematizzata nei seguenti componenti (vedi Figura 20):

ZONA DI IMMISSIONE:

Opera di presa

Dissipatore di energia

Griglia per solidi grossolani (eventuale)

ZONA AD ACQUE PROFONDE:

Stagno di sedimentazione

Zona a macrofite sommerse

By-pass per sovrafflussi idraulici

ZONA A MACROFITE:

Letti filtranti con Phragmites, Tipha, Carex ecc.

Specchi di acqua libera

Isole

ZONA DI USCITA:

Zona ad acque profonde

Sbarramento

Dispositivo di regolazione livello

Le **zone umide fuori alveo** possono essere realizzate sia per trattare solo una quota della portata ordinaria (in questo caso sono sempre attive e ricevono una portata costante) sia per trattare le sole portate di piena: in quest'ultimo caso la loro realizzazione è finalizzata, in genere, alla laminazione e solo secondariamente hanno funzione depurativa. La struttura della zona umida è sostanzialmente analoga a quella "in alveo" ma differisce per il sistema di "alimentazione". Le zone umide possono essere alimentate con una vera e propria derivazione, in genere realizzata con le tecniche dell'ingegneria naturalistica, che permette di alimentare la zona umida con una frazione della portata complessiva del corso d'acqua. In questo caso la zona umida è alimentata costantemente, e l'efficienza di rimozione degli inquinanti è massima (in funzione sempre del tempo di ritenzione). In altri casi l'alimentazione avviene attraverso una sorta di scolmatore localizzato sulla sponda del corso d'acqua, che si attiva solo quando la portata supera una certa soglia. In questo caso la zona umida è normalmente "vuota" (ad eccezione di un velo d'acqua sul fondo che permette il mantenimento della vegetazione), e si riempie solo in occasione delle piene. In questo caso i volumi annui di acqua "trattata" dalla zona umida sono normalmente molto minori, rispetto al caso in cui la zona umida sia alimentata continuamente e, di conseguenza, minore è l'efficacia di rimozione degli inquinanti.

La progettazione delle zone umide (sia quelle in alveo che quelle fuori alveo) richiede particolare attenzione agli aspetti idraulici: errori di progettazione possono portare ala creazione di "cortocircuiti" idraulici, per cui il flusso idrico attraversa velocemente il sistema invece di distribuirsi uniformemente per sfruttare tutta l'area disponibile per i processi depurativi. Questo comporta una riduzione dei tempi di residenza e quindi dell'efficacia depurativa.

Un altro aspetto da considerare in sede di progettazione è il possibile impatto sulla comunità biologica del fiume a valle, dovuto all'innalzamento della temperatura dell'acqua durante il tempo di residenza nella zona umida: l'impatto sulla comunità acquatica dovuto all'aumento della

temperatura, in casi estremi, può essere tale da vanificare gli effetti positivi in termini di riduzione dell'inquinamento.

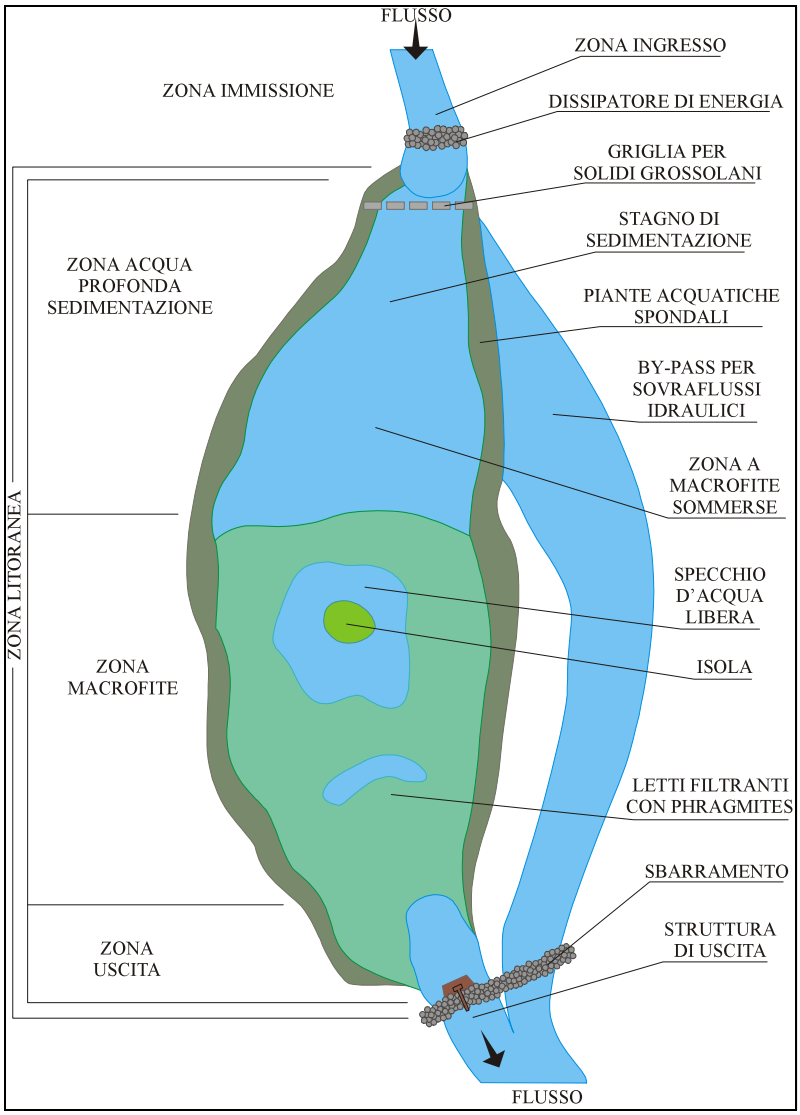


Figura 20 - Schema di una wetland in alveo

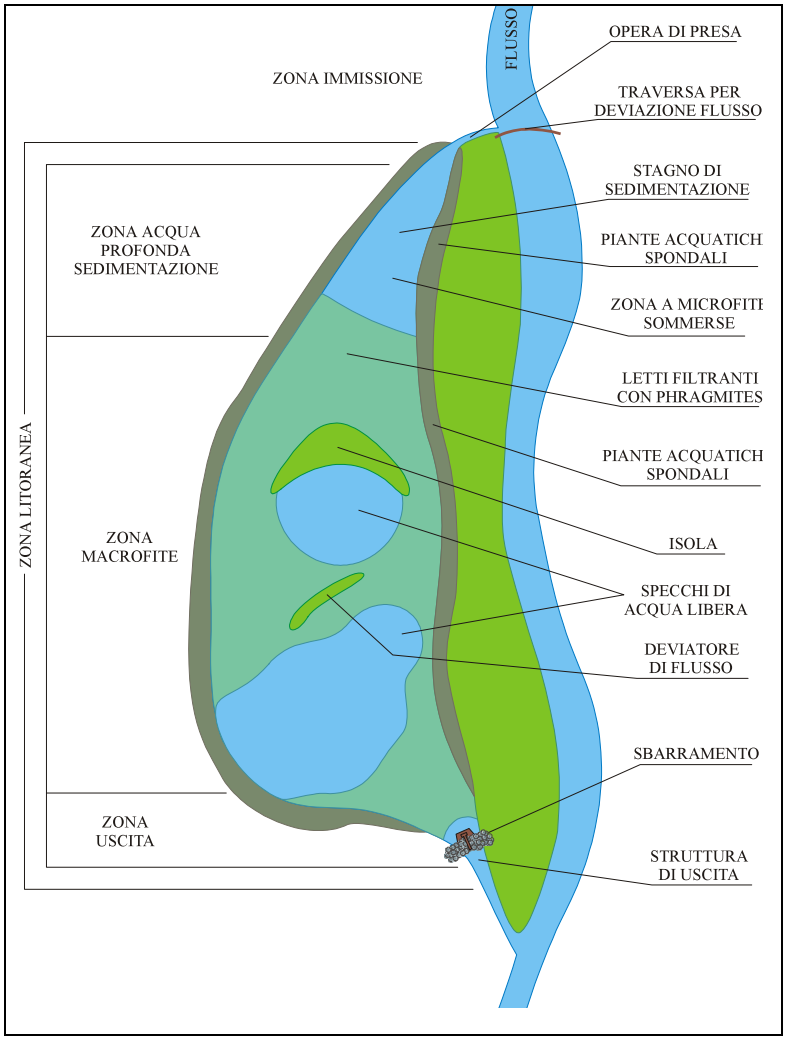


Figura 21 – Schema di una wetland fuori alveo

Gestione del fragmiteto del lago e rimozione della biomassa

Un'azione che si sta rilevando di grande potenzialità per la rimozione dei nutrienti è la rimozione della biomassa, in particolare la vegetazione acquatica radicata, emergente non arborea, delle zone umide facilmente rimovibile con mezzi sfalcianti. Questa azione può essere praticata facilmente sui sistemi di fitodepurazione e sulle wetland fuori alveo. Più delicata è la sua messa in pratica sui sistemi in alveo, in quanto è necessario evitare effetti negativi sulle comunità biologiche: ciononostante, è praticabile – ed era infatti praticata nel passato - anche in laghi e zone umide naturali.

La quantità di nutrienti "immagazzinata" nella pianta si può valutare sulla base della letteratura scientifica. Vymazal (2001) riporta molti dati di letteratura sull'argomento.

La concentrazione di azoto nella biomassa vegetale varia a seconda delle specie e a seconda del periodo dell'anno (vedi Figura 22). Il massimo rateo di assimilazione si ha durante la stagione di crescita delle piante e il massimo accumulo si ha all'inizio della stagione vegetativa (Aprile-Maggio), dopodichè comincia a decrescere via via che la pianta matura e invecchia. La quantità di nutrienti contenuta nella vegetazione ("standing stock") viene espressa moltiplicando la concentrazione di nutrienti presente nel tessuto vegetale per la biomassa per unità di area (kg/ha): questo è un dato

molto importante se si vuole valutare la potenzialità degli sfalci in quanto mette in relazione la quantità di biomassa rimossa con l'effettiva quantità di nutrienti presente. Dal grafico si vede come per la Typha si ha il massimo valore di "standing stock" all'inizio dell'estate.

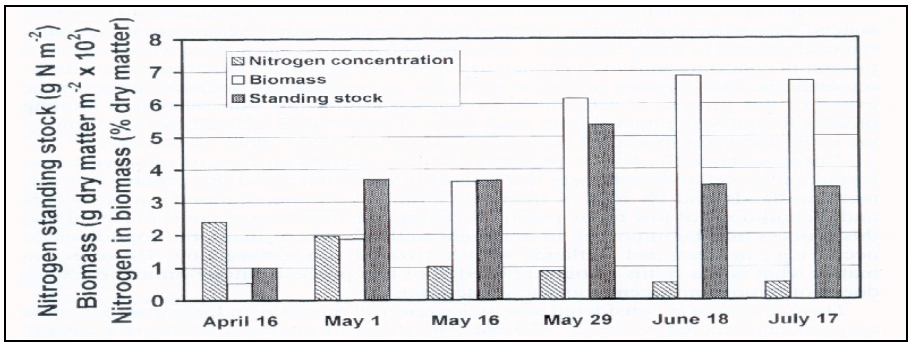


Figura 22 – andamento delle concentrazioni di azoto, della biomassa e dello "standing stock" di azoto nella Typha Latifolia durante la stagione vegetativa (Boyd, 1970)

L'azoto potenzialmente rimovibile (considerando anche lo sfalcio stagionale delle piante) è compreso tra 1 e 2,5 t/ha all'anno: in particolare per specie galleggianti riporta ratei di rimozione compresi tra 41 e 611 g N/m^2 all'anno e per macrofite radicate emergenti ratei di rimozione compresi tra 10 e 263 g N/m^2 all'anno (pari a 0,1-2,6 t/anno per ettaro). Il giacinto d'acqua è la specie caratterizzata dalle più alte potenzialità di accumulo (fino a 6 tN/ha all'anno).

Per le *Phragmites Australis* si possono raggiungere anche picchi di 375 g N/m^2 in coincidenza del picco massimo di "standing stock" (fine maggio-inizio giugno) o del massimo sviluppo vegetativo (fine estate). In realtà in climi temperati questo non è possibile, pena la distruzione del fragmiteto stesso, poiché trasferisce i nutrienti accumulati all'apparato radicale (necessari per superare il periodo invernale) quasi al termine della stagione vegetativa: tale possibilità deve essere quindi valutata in base alle condizioni meteoclimatiche locali, eventualmente effettuando uno sfalcio parziale. L'ammontare di biomassa durante l'inverno, quando il taglio è possibile, è sensibilmente minore rispetto alla stagione vegetativa. Ipotizzando uno o due sfalci annuali, uno nel periodo invernale (Febbraio-Marzo) e uno parziale in coincidenza del picco massimo di "standing stock" (fine maggio-inizio giugno) si sono considerati quindi più realisticamente nelle verifiche valori compresi tra **0,1 e 0,45 t/ha all'anno**, come riportato anche da Hosoi et al, 1998 proprio in riferimento alla *Phragmites Australis* (con il valore più basso ipotizzando il solo sfalcio invernale).

Per quanto riguarda il fosforo, valgono le stesse considerazioni fatte per l'azoto; i valori di "standing stock" riportati in letteratura variano tra 10,5 e 126 g P/m^2 (0,1-1,2 t/ha) all'anno per specie galleggianti e tra 0,77 e 40 gr P/m^2 all'anno (0,008-0,4 t/ha) per macrofite radicate emergenti. I valori più alti anche in questo caso sono difficilmente raggiungibili per le considerazioni fatte prima sul ciclo di vita delle macrofite: è quindi più realistico soprattutto per le macrofite radicate emergenti considerare valori 5-6 volte inferiori, quindi compresi tra **0,01 e 0,07 t/ha all'anno** (con il valore più basso ipotizzando il solo sfalcio invernale). Molto più "allettanti" in relazione al fosforo risultano essere le potenzialità ottenibili dalla rimozione di specie galleggianti: un'attenta valutazione dei possibili impatti sull'ecosistema e sull'avifauna di una programma di manutenzione che puntasse alla rimozione periodica della biomassa galleggiante è certamente un'azione da considerare.

Gli stessi criteri sopra descritti valgono se si vogliono valutare le potenzialità di rimozione dei nutrienti di pratiche di gestione del fragmiteto. Dalla carta dell'uso del suolo risulta circa 740 ha di vegetazione lacustre distribuita intorno al Lago Trasimeno. Di questi 390 ha sono localizzati lungo la zona sud-est,

prevalentemente nel tratto di lago compreso tra S.Feliciano e S.Arcangelo, e vanno a costituire un habitat di grande interesse.

La gestione ottimale del fragmiteto si rende necessaria soprattutto per conservare questa parte di lago da fenomeni di eutrofizzazione e limitare lo svilupparsi di condizioni localizzate di anossia che provocano il rilascio di grosse quantità di fosforo dai sedimenti. Lo sfalcio periodico del fragmiteto avrebbe anche degli effetti limitanti nei confronti del carico interno di fosforo al lago, anche se molto limitati: anche ipotizzando di effettuare uno sfalcio all'anno delle macrofite in tutta l'area (azione alquanto improbabile soprattutto nelle zone più interne del fragmiteto, particolarmente vulnerabili dal punto di vista ecologico) si otterrebbero rimozioni dell'ordine di 3 ¸ 4 tP/anno.

10.DRAGAGGIO18

TECNICHE DI ASPORTAZIONE DI SEDIMENTI

Lo scavo e il dragaggio sono misure di rimozione dei sedimenti contaminati da un ambiente acquatico, sia nel caso in cui questi siano sommersi (dragaggio) che in quello in cui l'acqua sia preventivamente allontanata (scavo). Entrambi i metodi prevedono il trasporto dei sedimenti ad un sito di trattamento e/o di confinamento, che può constare anche di impianti di trattamento per le acque di lisciviazione.

Tali tecniche annoverano diversi vantaggi, tra cui quello che la rimozione di sedimenti eventualmente contaminati può minimizzare l'incertezza associata alla stabilità della contaminazione in situ: allontanando gli inquinanti il rischio di trasporto e/o rilascio è praticamente annullato. Un altro importante vantaggio che si ha nel rimuovere i sedimenti è l'estrema flessibilità che questo comporta nei possibili impieghi dell'ambiente acquatico: non sono necessarie limitazioni al traffico acquatico e non si hanno diminuzioni di profondità come nel caso del *capping* sul fondo. Infine è importante sottolineare la relativa rapidità con cui le operazioni di scavo e di dragaggio vengono portate a termine.

Tra gli svantaggi della rimozione dei sedimenti si ha innanzi tutto la complessità e il costo di

queste procedure ed il fatto che i siti di confinamento esistenti hanno ormai esaurito la propria capacità ed è sempre più difficile trovare siti dove realizzarne di nuovi. Un altro problema è costituito dalla contaminazione residua dopo la rimozione dei sedimenti, che risulta maggiore in presenza di ciottoli e materiale grossolano, a elevate profondità e quando il materiale contaminato è a contatto diretto con un fondo roccioso; tutte caratteristiche queste che rendono la rimozione molto più difficoltosa e costosa. Un altro grave svantaggio connesso alla movimentazione dei sedimenti è l'aumento della perdita dei contaminanti attraverso risospensione e volatilizzazione. Infine bisogna annoverare tra i contro l'inevitabile distruzione dell'ambiente bentonico, durante il dragaggio o lo scavo con conseguenti gravi ripercussioni sulla comunità acquatica.

LO SCAVO DEI SEDIMENTI

Lo scavo dei sedimenti generalmente comprende l'isolamento del materiale dall'acqua che avviene pompando via o separando l'acqua dall'area di scavo, ed il continuo allontanamento di eventuali

[18] Tratto da Bacci M. e Gusmaroli G., "Studio e definizione di modalità di governance integrata e gestione sostenibile dei sedimenti del lago Trasimeno e del relativo bacino imbrifero", Università di Perugia, Facoltà di Economia, Dipartimento di Scienze Economico-Estimative e degli Alimenti. 2014

flussi d'acqua di falda dovuti allo scavo. Tipicamente l'escavazione dei sedimenti si realizza in acque poco profonde o in prossimità di porti. Prima di pompare via l'acqua si procede ad isolare l'area di scavo attraverso palandole, dighe di terra, o si allontana l'acqua in modo temporaneo o definitivo attraverso dighe e tubazioni d'uscita. Le palandole vengono infisse sul fondo e quindi mal si adattano a fondali rocciosi o con strati particolarmente duri in prossimità della superficie. A volte si divide in due un corso d'acqua attraverso l'uso delle palandole e si escava prima una e poi l'altra parte del corso d'acqua, che deve essere di modesta portata per rendere fattibile questa operazione. Una volta isolata l'area di scavo bisogna procedere a rimuovere l'acqua, compresa l'eventuale acqua di falda che si infiltra dal fondo, essa viene raccolta in appositi pozzi ed allontanata. Lo scavo si realizza con la normale attrezzatura di scavatori e macchinari per la movimentazione della terra. Al termine delle operazioni di scavo vengono rimosse le palancole e/o le dighe temporanee ed è ripristinata l'originaria situazione idraulica del sito. Dove è possibile realizzarlo, lo scavo presenta alcuni vantaggi rispetto al dragaggio, con quest'ultimo infatti è difficile eseguire le varie operazioni senza poter osservarle direttamente dal momento che avvengono sott'acqua, inoltre si ha maggior pericolo di perdita dei contaminanti nell'acqua circostante e le condizioni del sito e dei sedimenti devono essere attentamente studiate e valutate. Comunque la preparazione del sito per lo scavo è un'operazione molto lunga e costosa rispetto a quanto avviene per la preparazione ad un dragaggio.

IL DRAGAGGIO DEI SEDIMENTI

Il dragaggio meccanico rimuove i sedimenti dal fondo attraverso la diretta applicazione di una forza meccanica per spostare ed scavare il materiale. Il materiale è poi sollevato meccanicamente sulla superficie con una densità prossima a quella in situ, fatto questo che

minimizza la quantità di materiale contaminato da trattare. Il dragaggio meccanico può essere particolarmente efficace: per quelle aree in cui i sedimenti dragati devono essere trasportati con una chiatta all'impianto di trattamento, per aree ristrette e per modesti volumi di materiale (moli, darsene,…) poiché la produttività di questo tipo di dragaggio è normalmente bassa.

Con il drenaggio idraulico si ha la rimozione ed il trasporto dei sedimenti in forma di fango; questo tipo di dragaggio è un modo piuttosto economico per rimuovere elevate quantità di materiale. La capacità della draga è definita dal diametro della pompa di scarico: piccola (D = 10 - 36 cm), media (D = 41 – 56 cm), grande (D = 61 – 91 cm). Il materiale dragato è normalmente pompato, attraverso una condotta, all'area di stoccaggio, con una percentuale in peso di solidi del 10 – 20 %. L'uniformità del fango è controllata da una punta tagliente che frantuma i sedimenti indirizzandoli alla bocca aspirante, minimizzando così le perdite. Possono impiegarsi anche getti d'acqua per allentare il materiale in situ ed ottenere una concentrazione uniforme del fango. L'imboccatura della condotta è progettata in modo da: mantenere velocità tali da frantumare i sedimenti in situ in pezzi che possano essere aspirati dalla pompa, e da minimizzare l'ingresso di materiale che provochi deleteri attriti. La pompa di dragaggio e la testa della draga devono lavorare in tandem, in modo che l'intero volume di sedimenti contaminati entri nel sistema, mantenendo la concentrazione di un fango che la pompa è in grado di trattare. La pompa deve conferire sufficiente energia al fango in modo che la velocità nella condotta sia tale da evitare sedimentazione. Opportuni accorgimenti realizzativi sono importanti infine per ridurre la risospensione dei sedimenti.

Gli elementi chiave per un dragaggio efficace e che rispetti la sicurezza ambientale sono: (1) selezione di un equipaggiamento compatibile con le condizioni del sito e con i vincoli di progetto; (2) Impiego di manodopera altamente specializzata; (3) Continuo ed attento monitoraggio delle operazioni di dragaggio. Per scegliere il sistema di dragaggio più opportuno per ogni specifico caso vanno valutati i seguenti fattori.

Contenuto di solidi dei sedimenti: a volte si preferisce impiegare un sistema di dragaggio che restituisca un materiale con alto contenuto di solidi, in modo da minimizzarne costi di trattamento e stoccaggio, si adotta così un dragaggio meccanico. Nel caso si impieghi un dragaggio idraulico il contenuto di solidi è decisamente minore, ma questo risulta vantaggioso nel caso che si voglia trasportare i sedimenti lontano dal sito di dragaggio.

Grado di produzione: può essere deliberatamente ridotto in modo da minimizzare la risospensione dei sedimenti o per vincoli imposti dal trasporto, pretrattamento, trattamento e stoccaggio del materiale.

Accuratezza di dragaggio: un dragaggio accurato sia orizzontalmente che verticalmente (soprattutto per strati sottili e/o irregolari) massimizza il volume di sedimenti contaminati rimossi e contemporaneamente minimizza il dragaggio di quelli non contaminati.

Profondità di dragaggio: deve esserci un'opportuna altezza d'acqua, infatti, per bacini troppo poco profondi, devo procedere ad un dragaggio da terra, mentre, per quelli con profondità maggiori di 20 m, devo ricorrere a pompe sommerse.

Rimozione detriti: tra i sedimenti si trovano normalmente molti detriti indesiderati, quelli più grandi possono essere rimossi meccanicamente dalle draghe meccaniche, ma ciò comporta elevata torpidità; i sistemi con testa dragante tagliente frantumano tali detriti e li rendono trasportabili dalle normali tubature per dragaggio idraulico.

Risospensione dei sedimenti: in aree dove è presente un'alta concentrazione di contaminanti, elevata tossicità e mobilità è necessario porre particolare cura nel minimizzare la risospensione e la perdita di materiale.

Limitazioni del sito: fattori come la larghezza del canale, ostacoli superficiali e/o sommersi, strutture sovrastanti come ponti, la presenza di tubazioni e di altre infrastrutture, limitazioni all'accesso al sito condizionano il tipo e la grandezza dell'attrezzatura da impiegare.

Compatibilità: l'equipaggiamento del dragaggio deve essere compatibile con le necessità associate al trasporto, al trattamento e allo stoccaggio. In molti casi si preferisce utilizzare sistemi di dragaggio in grado di restituire materiale con elevato contenuto di solidi che non necessita di trattamenti preliminari lunghi e costosi.

Distanza dal sito di stoccaggio: quando tale distanza è elevata è necessario ricorrere o a tubazioni che, grazie a pompe molto potenti, trasportano il materiale allo stato fangoso per chilometri o a chiatte o imbarcazioni che trasportano i sedimenti con elevato contenuto di solidi.

Un opportuno programma di monitoraggio per operazioni di dragaggio ambientale dovrebbe essere previsto per valutare l'efficienza del dragaggio, delle eventuali barriere o di altre misure di protezione ambientale. Il monitoraggio può far parte anche di programmi di controllo della salute e della sicurezza atti a garantire che non vengano superati i livelli soglia di esposizione. Il monitoraggio deve fornire informazioni in tempo reale o comunque il più rapidamente possibile, è per questo che si privilegiano misure tempi, dirette ed istantanee soprattutto per valutare la torbidità e l'ossigeno disciolto.

Un punto critico della rimozione dei sedimenti è la precisione, sia verticale che orizzontale, del dragaggio. Il controllo verticale può essere particolarmente importante quando la contaminazione è concentrata in strati sottili e/o irregolari; in questo caso l'uso di video camere, di strumenti acustici e la misura della densità del fango guidano le operazioni di dragaggio. Per verificare l'accuratezza della

rimozione si eseguono misurazioni batimetriche prima e dopo il dragaggio. La posizione orizzontale del dragaggio deve essere monitorata in continuo, ciò avviene attraverso sistemi di posizionamento satellitare, come il sistema di posizionamento differenziale globale (DGPS); quando è richiesta una maggiore accuratezza si ricorre all'uso di sistemi laser. E' comunque importante sottolineare che, per quanta accuratezza si possa porre nel posizionamento, è impossibile rimuovere i sedimenti con precisione chirurgica, dal momento che sono troppe e troppo poco controllabili le variabili coinvolte: le condizioni del sito (correnti, clima,…), le condizioni dei sedimenti (caratteristiche fisiche, batimetria,…), ed infine la perizia e l'abilità di chi esegue il dragaggio.

Nel dragaggio di sedimenti può essere consigliabile limitare la propagazione dei solidi sospesi e degli eventuali inquinanti attraverso barriere fisiche poste attorno al sito, ciò si rivela indispensabile per concentrazioni elevate dei contaminanti e/o per aree in cui si deve ridurre al minimo l'impatto del dragaggio (p.es. in prossimità di aree di tutela naturalistica). Determinare la necessità di una barriera può essere fatto basandosi su di una completa valutazione dei rischi relativi, sulla previsione di estensione e durata del rilascio di contaminanti e sui vantaggi a lungo termine previsti. Barriere non strutturali vengono impiegate per ridurre la dispersione dei contaminanti durante il dragaggio, le tipologie più comuni sono schermi limosi, galleggianti di schiuma sintetica, palancole e dighe di cassoni. Le barriere strutturali (palandole e dighe di cassoni) sono usate soprattutto per arginare l'acqua ed eseguire lo scavo in asciutto, questa è senz'altro la via più sicura per quanto riguarda il rilascio di contaminanti, ma anche la più costosa e lunga. Gli schermi limosi sono barriere flessibili che pendono da galleggianti posti in superficie e sono ancorati sul fondo; essi possono essere rivestiti di nylon (*silt curtain*) ed in questo caso bloccano l'intera colonna d'acqua interessata, o possono essere costituiti da geotessili sintetici (*silt screen*), consentendo in questo caso il passaggio dell'acqua pur trattenendo i solidi sospesi. galleggianti in schiuma sintetica sono adatti per quei sedimenti che rilasciano oli durante la Movimentazione, essi consistono in una serie di galleggianti in schiuma sintetica racchiusi in rivestimenti di tessuto collegati tra loro da cavi o catene. L'efficacia delle barriere di contenimento è determinata principalmente dalla situazione idrodinamica del sito, condizioni che riducono l'efficienza di tali dispositivi sono: forti correnti; forti venti; cambiamenti nel livello dell'acqua; eccessiva altezza delle onde; presenza di ghiaccio e detriti. In generale si può concludere che le barriere non strutturali risultino efficaci in acque relativamente poco profonde e poco agitate; con l'aumentare della profondità, della turbolenza e del moto ondoso diviene molto più difficile isolare il sito del dragaggio dall'ambiente circostante. L'efficacia di questi dispositivi è anche influenzata dalla quantità e dal tipo di solidi sospesi, da come sono fissate e dalle loro caratteristiche costruttive. Le barriere vengono disposte tutto intorno alla zona d'interesse e devono rimanere in opera fino al termine delle operazioni di dragaggio.

SOLUZIONI DI STOCCAGGIO

Lo stoccaggio è la disposizione del materiale in un sito, una struttura o un bacino permanente. Lo stoccaggio può riguardare sia i sedimenti dragati che i residui da trattamenti preliminari e/o trattamenti dei sedimenti stessi. Lo schema seguente illustra le principali tecnologie di stoccaggio dei sedimenti contaminati, che verranno in seguito illustrate nel dettaglio.

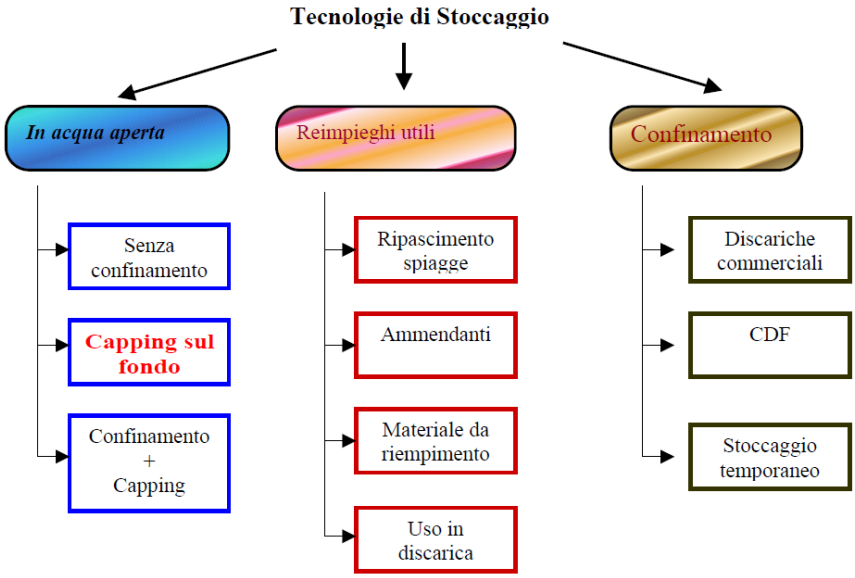


Fig. 4 – tecnologie di stoccaggio dei sedimenti di scavo/dragaggio

RIFERIMENTI INTERNAZIONALI

Nel 2004 la statunitense Environmental Protection Agency (EPA) pubblicava un manuale dal titolo "*Evaluating environmental effects of dredged material management alternatives – a tecnica framework*" e successivamente, nel 2008, un ulteriore manuale dal titolo "*Technical guidelines for environmental dredging of contaminated sediments*". I due testi forniscono un inquadramento generale piuttosto ampio e articolato sulla gestione dei sedimenti da dragaggio e possono essere inquadrati come benchmark di riferimento per l'attivazione di buone pratiche anche nei contesti lacuali. In particolare tali riferimenti propongono un protocollo tecnico integrato in grado di accompagnare l'analista e quindi il decisore nella scelta della soluzione più appropriata dal punto di vista tecnico, economico e ambientale.

CASO STUDIO NAZIONALE

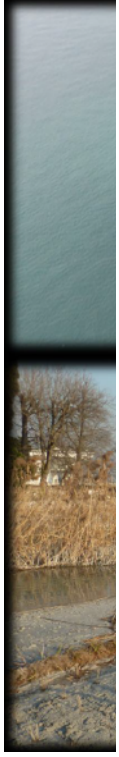
Un esempio emblematico di gestione dei sedimenti con dragaggio e deposito in sito endolacuale per la realizzazione di isole artificiali è rappresentato da un recente intervento realizzato nel lago di Iseo (Brescia) nell'ambito di un progetto di riqualificazione ambientale promosso dalla locale Comunità Montana e dal locale Consorzio di gestione lacuale, con il contributo economico di una Fondazione bancaria.

L'intervento ha previsto il dragaggio meccanico di sedimenti depositati sul fondo lacuale e il conferimento degli stessi in sito di stoccaggio all'interno del corpo idrico al fine di costruire un'isola artificiale con finalità naturalistica.

Le immagini che descrivono le varie fasi dell'intervento mostrano le fasi di movimentazione dei sedimenti, di deposito e stabilizzazione, di sviluppo ex post. Un estesa campagna di monitoraggio ha dimostrato l'efficacia dell'intervento in termini naturalistici. Ulteriori approfondimenti sono disponibili nel seguente sito: http://www.lagoiseosebino.it/home.html

RECUPERO E DIVERSIFICAZIONE GEOMORFOLOGICA

REAL



TECNICHE DI MOVIMENTAZIONE E COLLOCAZIONE SEDIMENTI IN AMBITO LACUALE

Si riporta di seguito un quadro delle opzioni d'intervento relative alla movimentazione dei sedimenti derivanti dalle aree interessate da manutenzione (essenzialmente darsene e canali di navigazione) e relativa collocazione/confinamento degli stessi in aree limitrofe.

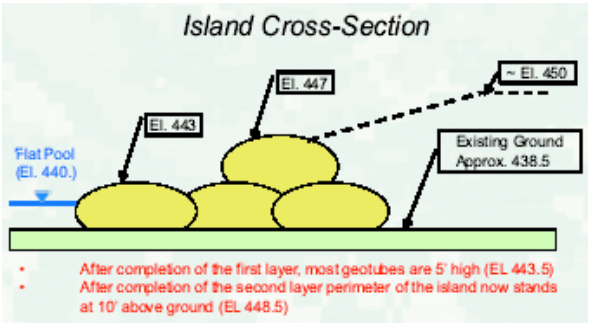
CONTENIMENTO IDRAULICO IN FASE DI REFLUIMENTO

Prima della collocazione dei fanghi nell'area di destinazione, occorre realizzare un sistema che permetta il loro contenimento e ispessimento, affinché non si disperdano nel lago a causa del miscelamento con l'acqua circostante e dell'azione di movimentazione determinata dalla corrente.

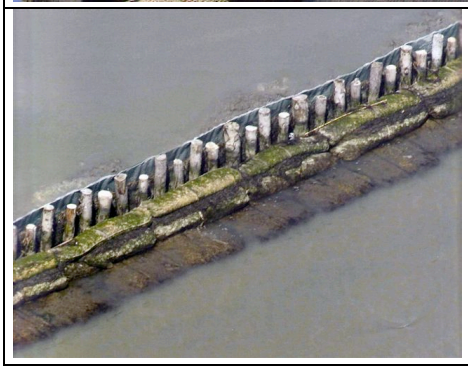
Si presenta di seguito un quadro delle soluzioni valutate:

ARGINATURE		COMMENTI
1	in sabbia	costo non elevato da verificarne la reperibilità impatto ambientale per introduzione e dispersione di materiale estraneo modesta coerenza, facile movimentazione ed erosione da parte delle correnti
2	opere di consolidamento in ingegneria naturalistica assemblate (cfr strutture di protezione velme e barene venete)	costo abbastanza elevato da sole non consentono una elevata tenuta idraulica facile tracimazione da parte delle correnti e possibile sifonamento impatto ambientale modesto o addirittura positivo
3	geotubi (riempiti di sabbia)	costo piuttosto elevato impatto ambientale (medio-alto) se lasciati in situ se rimossi, vanno associati alle 2
4	strutture miste (palizzate e geomebrane)	costo non elevato impatto ambientale (medio-alto)
5	palancole	costo elevato impatto paesaggistico (elevato) se lasciati in situ se rimosse vanno associate alle 2

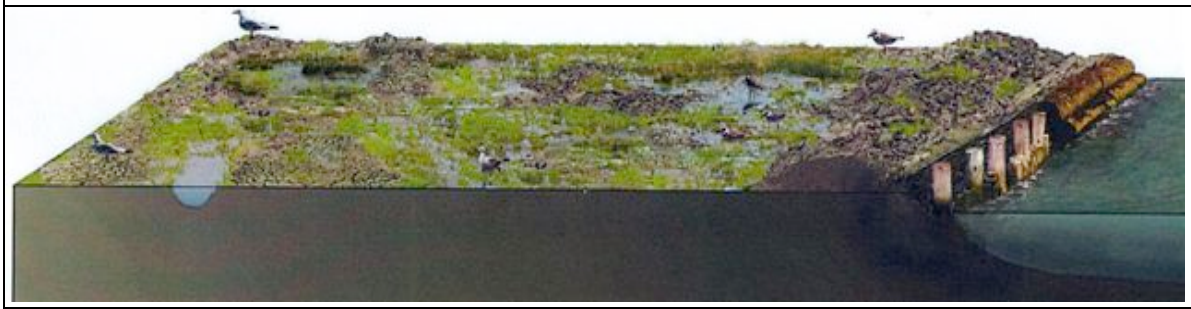
ARGINATURE A TENUTA IDRAULICA



Geotubo



Strutture miste



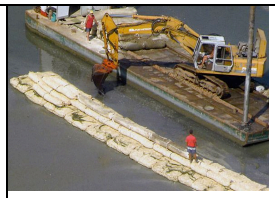
Palancole

OPERE DI CONFINAMENTO

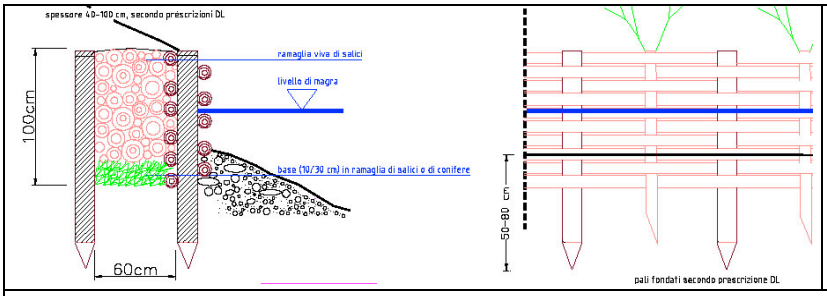
Per motivi di minimizzazione dell'impatto ambientale e paesaggistico, considerando che queste strutture resterebbero definitivamente sul posto, si ritiene opportuno evitare l'utilizzo di materiali non biodegradabili e di ridurre al minimo manufatti ingombranti e scarsamente integrabili e mascherabili. A tal fine, fra le diverse opere realizzabili con tecniche di ingegneria naturalistica e

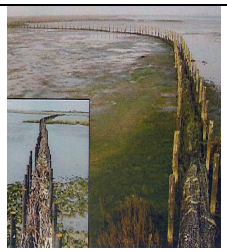
classificate e sperimentate in Laguna di Venezia, si consiglia di orientarsi su quelle illustrate nelle immagini seguenti, basate sull'impiego combinato di georete e biofeltro entrambi in fibra di cocco e assemblate come da schede tecniche riportate nel seguito.
Andrà valutato il materiale di riempimento dei buzzoni, che potrebbe essere costituito da inerti medio-fini combinati con materiale organico di origine vegetale (ramaglie, cippato).
Si propone di adottare inoltre le altre tecniche riportate nel seguito, ai fini della loro sperimentazione, scegliendone la collocazione a seconda delle condizioni dei sottotratti spondali, ovvero in funzione di profondità dell'acqua, esposizione alle correnti, biologia, integrazione paesaggistica.

TECNICHE COSTRUTTIVE

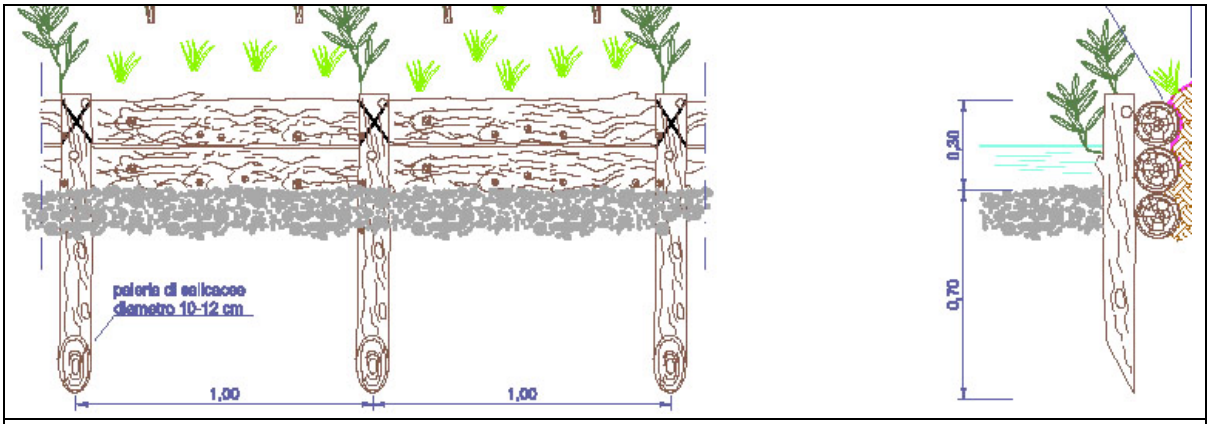


Tecnica con materassi e buzzoni sovrastanti

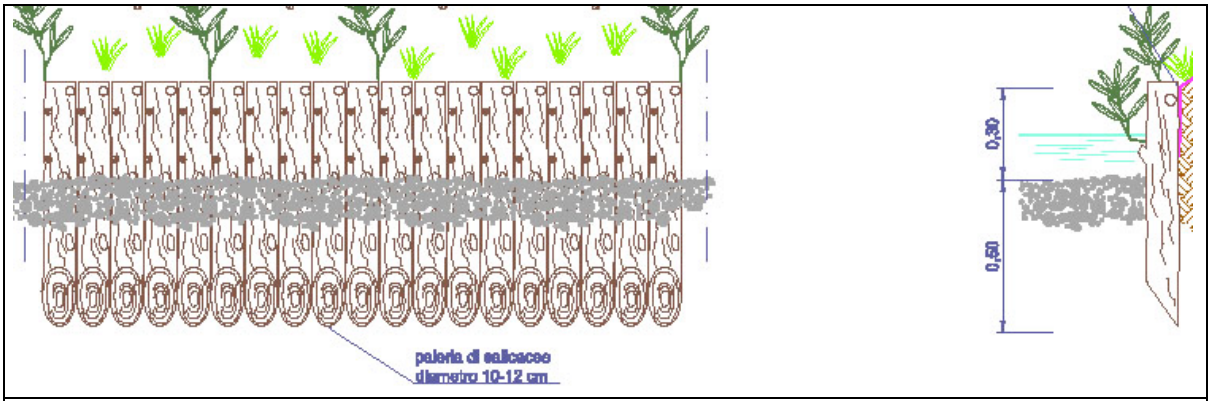




Tecnica con fascinata con doppia fila di pali di ancoraggio (eventualmente vivi di salicacee)



Palizzata viva orizzontale



Palizzata viva verticale

TENDENZE EVOLUTIVE