Analisi di descrittori numerici per la valutazione dell'influenza della vegetazione riparia sulla qualità delle acque superficiali: il modello del fiume Mincio

Stefano Pinotti, Lorenza Galassi*

ARPA Dipartimento di Mantova. Sistemi Ambientali - Viale Risorgimento, 43 - 46100 Mantova

Referente per la corrispondenza: l.galassi@arpalombardia.it

Pervenuto il 22.5.2009; accettato il 28.12.2009

Riassunto

Il lavoro vuole essere una traccia per valutare gli effetti del ripristino della vegetazione riparia in corsi d'acqua, anche in un'ottica di potenziale valutazione economica o di priorità di azioni in grado di dare la maggior efficacia dal punto di vista ambientale. Nell'esempio pratico esaminato, vengono simulati interventi di ripristino della vegetazione riparia focalizzando l'attenzione sull'influenza della stessa nelle dinamiche ambientali. In particolare si presta attenzione agli effetti dell'ombreggiamento sulla temperatura del corso d'acqua ed alla sua influenza sui parametri chimici dell'acqua. Lo schema del percorso del lavoro mira a descrivere lo stato attuale fluviale (scenario attuale) confrontandolo con le potenziali azioni sviluppabili sulla vegetazione riparia (scenario futuro), stimandone l'efficacia mediante simulazioni numeriche (SOLAR ANALYST, SSTEMP, QUAL2K).

Si è evidenziata un'influenza significativa della vegetazione spondale, limitata ai tratti terminali del Mincio a Nord di Mantova nei quali, per la minor ampiezza fluviale, l'effetto dell'ombreggiamento assume maggior importanza; in particolare, la temperatura media giornaliera, per effetto di una ottimale vegetazione spondale, può essere ridotta di valori compresi tra i cinque ed i nove decimi di grado, mentre l'escursione delle temperature massime può ridursi al massimo di 1,5 °C per il mese di giugno.

Parole Chiave: Mincio / QUAL2Kw / SSTEMP / vegetazione riparia / radiazione solare

Numerical systems analysis for evaluating the effects of riparian vegetation on water quality: the Mincio river model

This work would be a trace in evaluating the restoration effects of riparian vegetation in rivers, concerning economic assessments of action priorities for improving from an environmental point of view. For instance, it simulates interventions for restoration of riparian vegetation, focusing attention on the influence of the environmental dynamics. In particular, it keeps attention to the shadow effects on the river's temperature and its influence on water chemical parameters. The scheme of the work aims to describe the current river conditions (actual) compared to potential actions in developing riparian vegetation (future), estimating the efficiency through numerical simulations (SOLAR ANALYST, SSTEMP, QUAL2K). The work evaluates the effect of bank vegetation on river's temperature and main descriptive parameters of water's quality. The results show a significant influence of bank vegetation, limited to terminal cases, for the important role played by river width on side shading; in particular, the average daily temperature, through an optimal bank vegetation, can be reduced between 0,5 °C and 0,9 °C, while the maximum temperature excursion may decrease to a maximum of 1,5 °C in June.

KEY WORDS: Mincio / QUAL2Kw / SSTEMP / riparian vegetation / solar radiation

INTRODUZIONE

In passato le fasce riparie sono state sottoposte ad una sensibile degradazione, a causa delle opere di regimazione delle acque, della bonifica per scopi agricoli e dell'inquinamento delle acque superficiali e delle falde; la presenza antropica, infatti, con interventi di regimazione dei fiumi e con l'intenso sfruttamento agricolo, ha portato spesso, in molte aree, all'eliminazione quasi totale di queste fasce di vegetazione.

È ormai consolidato il ruolo delle zone ripariali come elementi di miglioramento della qualità dell'acqua; in particolare la fascia tampone risulta importante per l'attenuazione dei nitrati e nei processi di denitrificazione dei composti azotati utilizzati nella pratica dell'agricoltura (Pelletier *et al.*, 2008).

Altro aspetto positivo legato alla vegetazione spondale riguarda la mitigazione della temperatura dei corsi d'acqua (Rounds, 2007).

In questo studio si vuole valutare, mediante l'utilizzo di modelli matematici, come l'ombreggiatura delle rive influisca positivamente sulla regolazione della temperatura dell'acqua in un tratto del fiume Mincio. Una valutazione con metodi numerici di questo aspetto, non al momento particolarmente indagato, può fornire infatti un supporto scientifico per individuare le priorità degli interventi di ripristino della vegetazione spondale, con lo scopo di conciliare azioni finalizzate a migliorare lo stato ambientale del fiume con quelle volte a ridurre il rischio idraulico.

MATERIALI E METODI

Il percorso di analisi che individua i dati disponibili e ne valuta l'influenza sui parametri di interesse (Tab. I), è stato suddiviso in vari passaggi:

- raccolta e analisi dei dati (storici, chimici, idrologici e meteorologici, sorgenti antropiche, modello digitale del terreno [DEM-Digital Elevation Model], vegetazione);
- utilizzo di sistemi GIS per la modifica del DEM della Lombardia e la costruzione del modello delle sezioni fluviali e della vegetazione;
- utilizzo di modelli tridimensionali del fiume e della vegetazione per il calcolo della radiazione solare con l'estensione GIS Solar Analyst;
- utilizzo dei dati di geometria fluviale, di radiazione solare e dei dati di qualità acque come input per le valutazioni modellistiche con SSTEMP (modello per il calcolo della temperatura del Geological Survey americano) e QUAL2Kw del Washington State Department of Ecology, variante del QUAL2K distri-buito dall'EPA:
- utilizzo di modelli matematici per individuare gli scenari di calcolo, valutando inizialmente lo scenario attuale (per validare con i dati reali le costanti cinetiche delle reazioni) ed, in seguito, simulando lo scenario futuro per i casi di vegetazione ipotizzati;
- interpretazione dei risultati.

Area di studio

Dall'analisi dei dati disponibili, delle caratteristiche fluviali e della discontinuità idraulica causata dai laghi di Mantova è derivata la scelta di delimitare lo studio al tratto fluviale del Mincio compreso tra il lago di Garda ed i laghi di Mantova.

Il tratto dell'alto Mincio è stato suddiviso in più tronchi in base a:

- ubicazione dei punti di campionamento e monitoraggio ARPA;
- discontinuità idrauliche;
- prelievi idrici principali;
- variazioni delle caratteristiche fluviali.

Sono stati individuati cinque tratti fluviali dalle caratteristiche il più possibile omogenee per l'analisi con i modelli matematici a disposizione (Fig. 1 e Tab. II). Il primo tratto, da Peschiera alla diga di Salionze, presenta caratteristiche particolari di appendice sublacuale del Garda; il secondo, fino a Pozzolo, scorre all'interno dell'area morenica; il terzo, con termine a Goito, ha caratteristiche di fiume planiziale; gli ultimi due tratti, infine, presentano caratteristiche di bassa portata e sbocco finale nell'area delle Valli del Mincio.

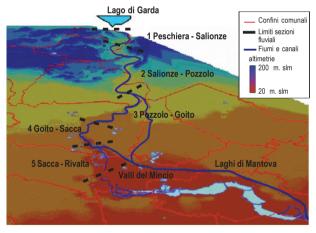


Fig. 1. I cinque tratti fluviali individuati visualizzati nel modello tridimensionale del territorio.

Tab. I. Tipologie di analisi e loro influenza su radiazione solare, temperatura e qualità acqua.

	Principali parametri influenzati				
	Elaborazioni	Insolazione	Temperatura acqua	Qualità acque	Strumenti usati
Analisi territoriale	X		X	X	Dati storici
Attività antropiche	X		X	X	Catasti
Geometria fluviale	X	X	X		Sistemi GIS
idrochimica	X		X	X	Analisi statistica
idrologia	X		X	X	Analisi statistica
meteorologia	X	X	X		Analisi statistica
vegetazione	X	X	X	X	Analisi statistica

X=5004455 Y=1632239

Tratti	Lungh.	Quota iniziale (metri s.l.m.)	•		Scabrezza (coeff. Manning)	Coord. Gauss Boaga inizio (m)	Coord. Gauss Boaga fine (m)
	(KIII)	(metri siimi)	(metri siiini)	urveo (m)	(coeff. Walling)	mizio (m)	Time (m)
1	5,90	68	65	65 - 70	0,030	X=1632877 Y=5032814	X=5028151 Y=1634005
2	13,90	65	44,5	40 - 45	0,030	X=5028151 Y=1634005	X=5017980 Y=1634336
3	8,44	44,5	30	30 - 40	0,035	X=5017980 Y=1634336	X=5012560 Y=1631516
4	4,55	30	22	30 - 35	0,040	X=5012560 Y=1631516	X=5009244 Y=1631706

0,040

25 - 30

Tab. II. Caratteristiche idrauliche e geometriche dei tratti fluviali individuati ottenuti analizzando il modello tridimensionale; la scabrezza deriva da consultazione bibliografica [Chow, 1959]

Analisi dati: vegetazione

7,10

Nei cinque tratti è stata analizzata la copertura di vegetazione, combinando l'uso di tre tecniche:

22

- fotointerpretazione delle ortofoto digitali del territorio (Fig. 2) con software di analisi spaziale (estensione GIS T-TOOLS);
- sopralluoghi nei punti di dubbia interpretazione;
- visione di filmati del corso del Mincio effettuati con aereo ultraleggero (Fig. 3).

È stata quindi evidenziata (Tab. III) la copertura totale della vegetazione spondale (con fusto a distanza minore di 2 metri dalla sponda), espressa come quota percentuale rispetto allo sviluppo delle rive, distinguendo quella ad alto fusto (h>15 m) e quella a basso fustoarbustiva (h<15 m). I tratti più interessanti risultano il terzo, il quarto ed il quinto, in cui la vegetazione riparia risulta più abbondante. Il tratto 4 è caratterizzato dalle alberature più estese e di migliore qualità. Nel tratto 5 si notano segnali di nuove piantumazioni che potrebbero dare effetti importanti in futuro ai fini dell'ombreggiamento fluviale; il segmento mostra inoltre una importante presenza di canneti e cariceti non censiti nella

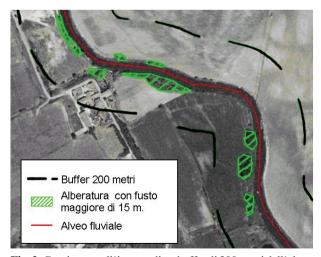


Fig. 2. Censimento all'interno di un buffer di 200 metri dall'alveo fluviale della vegetazione ad alto fusto tramite software di fotointerpretazione (T-Tools); le zone alberate ad alto fusto sono evidenziate dal retino obliquo.

tabella per la scarsa influenza degli stessi sulla radiazione solare incidente sull'alveo.

X=5009244 Y=1631706

Analisi dati: idrochimica, meteorologia e idrologia

Per definire i parametri necessari per le elaborazioni con il modello QUAL2Kw sono stati utilizzati ed elaborati i dati dei monitoraggi mensili ARPA delle acque superficiali nelle stazioni del Mincio nel periodo 2003-2008. L'acqua si presenta in uscita dal Garda con una



Fig. 3. La superficie finale delle aree alberate ad alto fusto definita da software è stata verificata mediante sopralluoghi e visione dei filmati aerei.

Tab. III. Censimento della vegetazione espresso come quota percentuale dello sviluppo spondale.

	Copertura vegetazione spondale						
Tratti	arborea /arbustiva	arborea/arbustiva con h< 15 m					
1	8	2	6				
2	9	5	4				
3	14	8	6				
4	18	10	8				
5	10	6	4				

buona qualità chimica (indice LIM buono). Su questa intervengono, distribuiti lungo l'asta fluviale, numerosi fattori modificanti:

- gli apporti antropici derivanti da scarichi dei depuratori e da attività agricole e produttive;
- i fattori climatici e meteorologici;
- i prelievi idrici estivi;
- la capacità autodepurativa del fiume.

I dati a disposizione sono stati analizzati raggruppandoli a livello spaziale e temporale (Fig. 4 e 5) al fine di calcolare i valori medi dei parametri chimici necessari per le valutazioni con il modello numerico:

- temperatura dell'aria, temperatura dell'acqua, ossigeno disciolto;
- composti dell'azoto (nitriti, nitrati, azoto ammoniacale);
- conducibilità, durezza, fosfati, cloruri, pH;
- BOD5, COD, solidi sospesi totali;
- fosforo totale:
- Escherichia coli.

Tutti i parametri, ad eccezione della temperatura, risultano legati più all'ubicazione dei punti di monitoraggio che al periodo temporale di misura.

Per completare infine i parametri necessari per l'utilizzo dei modelli matematici, per ogni tronco sono stati inoltre valutati i dati:

- idrologici (portata fluviale) dal Programma di tutela e uso delle acque (PTUA) della Regione Lombardia (2006) e dai monitoraggi ARPA (temperatura dell'acqua) (Таb. IV);
- meteorologici (temperatura dell'aria, del terreno, umidità relativa, velocità vento e radiazione solare), elaborando i dati orari dell'ultimo triennio delle centraline meteo ARPA più prossime al tronco in esame, ricavando i valori tipici mensili per i tratti fluviali individuati (Fig. 6).

Analisi dati: geometria fluviale

Per generare la geometria fluviale è stato ricostruito il modello digitale del terreno (DEM) dell'area di interesse.

Per semplificare le elaborazioni, dal DEM generale della Regione Lombardia è stata estratta la porzione del corso del Mincio. Per l'area sono state ricostruite le linee isoipse dell'area veneta, in quanto non risultavano descritte nel DEM di partenza e generavano problemi sulle condizioni al contorno.

Dalle isoipse modificate sono state effettuate le successive elaborazioni creando il modello tridimensionale con la parte fluviale veneta (Fig. 7), e ricostruendo il tridimensionale corretto del percorso del Mincio (Fig. 8).

Con le informazioni generate è stata ricostruita la

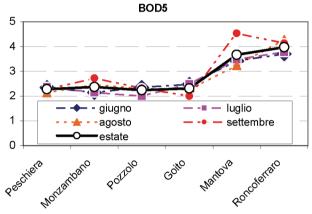


Fig. 4. Dati di monitoraggio: andamento medio del parametro BOD, lungo l'asta fluviale (mg/L) (periodo di analisi 2003-2008).

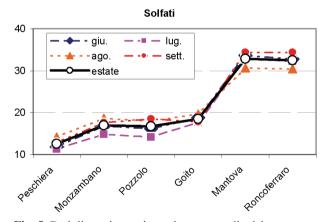


Fig. 5. Dati di monitoraggio: andamento medio del parametro solfati lungo l'asta fluviale (mg/L) (periodo di analisi 2003-2008).

Tab. IV. Caratteristiche idrologiche (portate medie periodo 2003-2008) e meteorologiche (periodo di analisi 2006-2008) tipiche dei tratti fluviali estrapolati dal PTUA e dai dati ARPA per il mese di giugno.

Tratti	Portata (m³/s)	T acqua (°C)	T media Aria (°C)	T massima Aria (°C)	Radiaz. solare media (W/m²)	Radiaz. solare massima (W/m²)	Temperatura terreno (°C)	Umidità relativa (%)
1	74,9	22,8	22,5	28	236	943	20	74
2	46	22,4	22,1	27	236	943	20	74
3	19,3	22,5	22,8	28	236	943	20	79
4	9,4	21,0	22,5	28	236	943	20	79
5	10,0	21,0	22,5	28	236	943	20	79

geometria del fiume (in particolare la lunghezza, l'ampiezza e la pendenza) e definito il coefficiente di scabrezza di Manning per i vari tratti.

Fig. 6. Grafico delle temperature medie dell'aria (°C) delle stazioni meteorologiche presenti lungo l'asta fluviale (periodo di analisi 2006-2008).

agosto

settembre

luglio

giugno

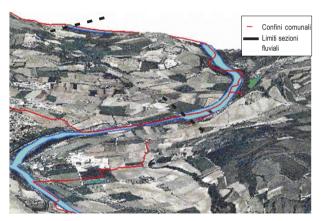


Fig. 7. Drappeggio tridimensionale del tratto 1 Peschiera-Salionze.

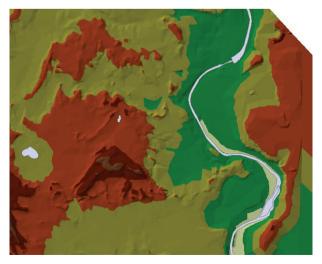


Fig. 8. Nuovo modello tridimensionale (TIN) del fiume con la corretta ricostruzione dell'area veneta.

Simulazioni numeriche: radiazione solare

Il Solar Analyst (Fu e Rich, 2000), un'estensione per ArcView-ArcGis e le successive versioni sviluppate per il programma di ESRI, è un modello in grado di computare l'irraggiamento per una determinata area geografica calcolando l'orientamento delle superfici (esposizione) e gli effetti dell'ombreggiamento partendo da un modello digitale del terreno (Fig. 9). Le formule utilizzate per i calcoli della radiazione solare sono espressioni classiche riportate in letteratura (Fu e Rich, 2000).

Per simulare l'effetto di ripristino della vegetazione sono state create nel modello digitale del terreno (DEM) le caratteristiche fluviali utilizzando un'approssimazione delle sezioni reali. Sulle varie sezioni sono state ricostruite digitalmente barriere vegetali di varie altezze ad una distanza di 2 metri dalla riva. Tramite l'estensione GIS Solar Analyst è stata calcolata (Fig. 10) la radiazione estiva incidente sulle varie sezioni individuate per le varie altezze di vegetazione.

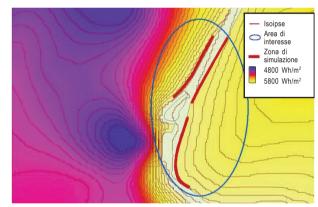


Fig. 9. Analisi con il modello Solar Analyst dell'influenza dell'orografia sul valore della radiazione solare globale giornaliera per il solstizio d'estate (21 giugno).

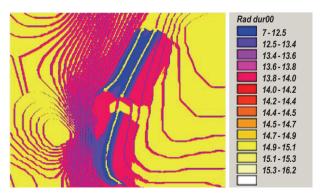


Fig. 10. Elaborazioni con il modello Solar Analyst: durata dell'insolazione diretta nell'area in esame (ore e decimali di ore), simulando un buffer di vegetazione spondale di altezza pari a 20 metri.

Il risultato del modello di calcolo della radiazione solare (Solar Analyst) è il dettaglio della radiazione incidente sui vari tratti per i casi di vegetazione nello sviluppo temporale estivo. Viene riportato (Fig. 11) il confronto tra la vegetazione attuale (scenario attuale) ed il caso di vegetazione ottimale (scenario futuro, presenza di vegetazione di altezza superiore a 15 metri continua per tutto lo sviluppo spondale). Infine è stata calcolata la potenziale riduzione della radiazione solare per il periodo estivo e per le ampiezze fluviali considerate.

Simulazioni numeriche: SSTEMP

Per individuare le escursioni di temperatura legate a potenziali interventi di sistemazione spondale è stato scelto SSTEMP, modello del Geological Survey degli Stati Uniti (BARTHOLOW, 2002).

SSTEMP calcola l'energia scambiata da un'unità di volume d'acqua che transita nel fiume, simulando i vari processi di scambio energetico che determinano cambiamenti di temperatura dell'acqua: la convezione, la conduzione, l'evaporazione, gli scambi di energia con l'interfaccia aria ed il letto fluviale, la radiazione solare diretta.

Il programma richiede in ingresso dati di geometria fluviale, meteorologia e idrologia. In uscita al modello viene calcolata la temperatura media giornaliera dell'acqua a specificate distanze verso valle. Fornisce, inoltre, le stime giornaliere di temperatura massima e minima. Il modello consente anche di analizzare la temperatura in funzione della portata fluviale.

Dati di ingresso al modello:

idrologia

- portata in ingresso ed in uscita al tratto (m3/s)
- temperatura acqua in ingresso (°C)

geometria

- latitudine (°N)
- lunghezza segmento (m)
- quota inizio e fine tratto (m slm)

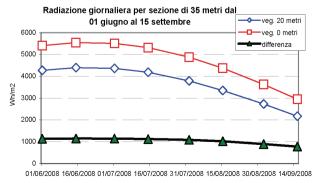


Fig. 11. Elaborazioni con il modello Solar Analyst: confronto dei valori della radiazione solare per gli scenari attuale e futuro.

- coefficiente di Manning
- coefficienti A e B di correlazione (W)ampiezza
- -(Q)portata (W=A·QB)

meteorologia

- temperatura media e massima dell'aria (°C)
- umidità relativa (%) e velocità vento (m/s)
- temperatura terreno (°C)
- gradiente termico (J/m2/s/°C)
- copertura nuvolosa cielo (%) e radiazione solare incidente sull'alveo (W/m2)

Simulazioni numeriche: QUAL2K

QUAL2Kw, è un'evoluzione di QUAL2K, uno dei programmi più conosciuti ed usati per la modellazione della qualità dell'acqua, sviluppato dall'EPA degli Stati Uniti.

Il modello (Fig. 12) descrive le reazioni chimiche fluviali con espressioni integrate con costanti cinetiche che esprimono le velocità delle reazioni. Per un generico costituente del fluido, QUAL2K esegue un bilancio di massa per ogni elemento i-esimo in forma esplicita secondo la relazione (Pelletier e Cahpra, 2008):

$$\frac{dc_{i}}{dt} = \underbrace{\frac{Q_{i-1}}{V_{i}}c_{i-1}}_{\text{input}} - \underbrace{\frac{Q_{i}}{V_{i}}c_{i}}_{\text{output}} - \underbrace{\frac{Q_{ab,i}}{V_{i}}c_{i}}_{\text{prelievi}} + \underbrace{\frac{Q_{ab,i}}{V_{i}}c_{i}}_{\text{prelievi}} + \underbrace{\frac{Q_{ab,i}}{V_{i}}c_{i}}_{\text{output}} + \underbrace{\frac{Q_{ab,i}}{V_{i}}c_{i}}_{\text{prelievi}} + \underbrace{\frac{Q_{ab,i}}{V_$$

$$+ \underbrace{\frac{E'_{i-1}}{V_i}(c_{i-1} - c_i)}_{\text{ingresso per diffusione}} + \underbrace{\frac{E'_i}{V_i}(c_{i+1} - c_i)}_{\text{uscita per diffusione}} + \underbrace{\frac{W_i}{V_i} + S_i}_{\text{ingressi}}$$

con Wi espresso come:

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} c_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} c_{npsi,j}$$

Dove Wi è la somma delle immissioni, concentrate e distribuite, del componente in esame [g/day], S è la fonte o la dispersione di costituente dovuta alle reazioni ed ai meccanismi di trasferimento di massa [g/m3/day], E' è il coefficiente di dispersione [m3/day], Vi è il volume dell'elemento i-esimo[m3], Q la portata [m3/day].

Una più dettagliata descrizione delle cinetiche che il modello è in grado di considerare è consultabile nel sito (htpp://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models).

Effettuando una simulazione del modello con i dati idrochimici reali calcolati in precedenza è possibile, con la funzione di autocalibrazione del software (che sfrutta un algoritmo genetico), impostare in maniera ottimale per ogni mese estivo le costanti cinetiche, approssimando nel modo migliore la dinamica fluviale.

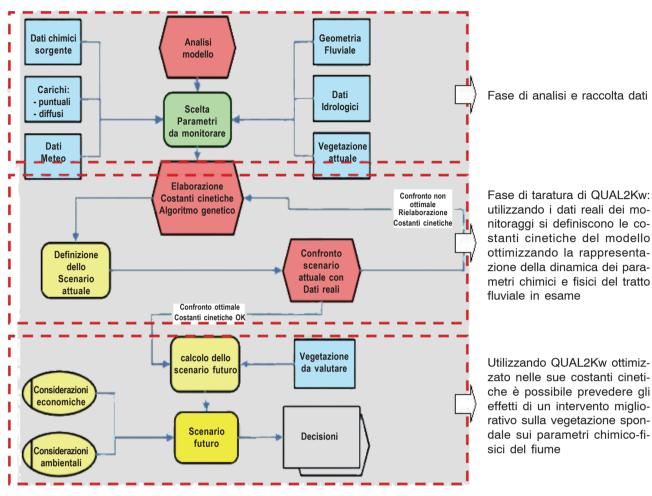


Fig. 12. Schema a blocchi del funzionamento del modello QUAL2Kw.

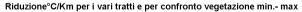
Individuate le caratteristiche operative delle reazioni fluviali è stato applicato il modello per il periodo estivo e per gli scenari (attuale e futuro) di ombreggiamento individuati, ricavando gli andamenti tipici dei principali parametri chimici e gli effetti sugli stessi delle due configurazioni della vegetazione riparia. In ingresso si utilizzano in questa fase i parametri chimici del monitoraggio ARPA elaborati precedentemente per Peschiera, oltre ai dati di geometria fluviale, idrologia, meteorologia e radiazione solare già calcolati.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Modello SSTEMP

In figura 13 e tabella V si confrontano i casi di vegetazione attuale (alberatura ad alto fusto scarsa od assente) e ottimale (alberatura di altezza maggiore di 15 metri presente per tutto lo sviluppo spondale), utilizzando come parametro discriminante i valori di radiazione solare per gli scenari attuale e futuro definiti con le simulazioni effettuale con il Solar Analyst.

Nel grafico viene riportato il tasso di riduzione della temperatura dell'acqua per unità di distanza nel periodo estivo. Si nota visivamente una riduzione sensibile nei tratti 4 e 5 che presentano larghezza della sezione inferiori ai 35 metri. Al contrario la vegetazione risulta di scarsa importanza ai fini delle variazioni della temperatura nei tratti iniziali a causa delle maggiori



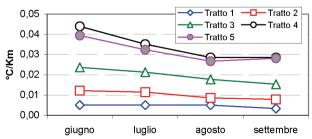


Fig. 13. Elaborazioni modello SSTEMP: confronto scenario attuale e futuro: tasso di riduzione della temperatura per unità di distanza nei diversi tratti per il periodo estivo.

ΔΤ	Tratto 1	Tratto 2	Tratto 3	Tratto 4	Tratto 5	Totale ∆ T
giugno	- 0,03	- 0,17	- 0,20	- 0,20	- 0,28	- 0,88
luglio	- 0,03	- 0,16	- 0,18	- 0,16	- 0,23	- 0,76
agosto	- 0,03	- 0,12	- 0,15	- 0,13	- 0,19	- 0,62
settembre	- 0,02	- 0,11	- 0,13	- 0,13	- 0,20	- 0,59

Tab. V. Riduzione di temperatura (°C): confronto tra lo scenario attuale e futuro per i singoli tratti fluviali nel periodo estivo ottenuti con il modello SSTEMP.

dimensioni di sezione fluviale. Si osserva dalle elaborazioni che la radiazione solare incidente sulla superficie fluviale è legata strettamente alla geometria ed all'idrologia fluviale; inoltre la relazione temperaturaradiazione acquista importanza man mano che le dimensioni del corso d'acqua si riducono sia in termini di sezione che di portata.

Il percorso di analisi consente sostanzialmente di determinare una efficace riduzione della temperatura per tipologie di buffer fluviale con le seguenti caratteristiche:

- altezza vegetazione spondale > 10 metri
- larghezza sezione < 40 metri.

Modello QUAL2K

In figura 14 si riporta il confronto effettuato con QUAL2K tra la configurazione di vegetazione attuale e lo scenario futuro (interventi sulla vegetazione riparia).

Il parametro BOD5 sul quale è stata focalizzata l'attenzione segue spazialmente le riduzioni legate alla temperatura (tratti 4 e 5 i più significativi), ma manifesta un comportamento stagionale diverso: le maggiori riduzioni si riscontrano nel mese di settembre, poi seguono giugno ed agosto e per ultimo il mese più caldo (luglio). In questo caso la cinetica indubbiamente più complessa sembra legata, oltre agli effetti del-

Riduzione % di BOD5 per mesi e condizioni di altezza vegetazione

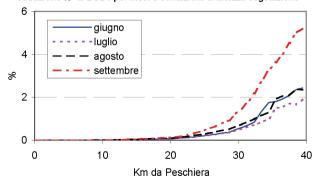


Fig. 14. Elaborazioni modello QUAL2Kw: potenziale riduzione percentuale di BOD₅ lungo l'asta fluviale (periodo estivo) nello scenario con vegetazione ottimale rispetto alla configurazione attuale di vegetazione.

l'ombreggiatura, anche al valore di ingresso della temperatura fluviale (temperatura Peschiera del Garda), che presenta minimi ai mesi estremi e un massimo nel mese di luglio.

Discussione dei risultati ottenuti con i modelli

Il lavoro ha consentito di valutare l'influenza della vegetazione spondale sulla temperatura fluviale e sui principali parametri descrittivi della qualità dell'acqua. È stata evidenziata una influenza significativa della vegetazione spondale limitata ai tratti 4 e 5 per l'importante ruolo giocato dall'ampiezza fluviale sull'ombreggiamento delle rive; in particolare, la temperatura media giornaliera, per effetto di una ottimale vegetazione spondale, può essere ridotta di valori compresi tra i cinque ed i nove decimi di grado mentre l'escursione delle temperature massime può ridursi al massimo di 1,5 °C per il mese di giugno (Tab. V e VI).

La temperatura dell'acqua influenza le reazioni chimiche che avvengono nell'acqua. È noto l'effetto della temperatura sulla solubilità dei gas; altro aspetto da tenere in considerazione è l'influenza nella cinetica delle reazioni di 1° ordine. Per testare quanto la riduzione di temperatura calcolata nel presente lavoro a seguito della presenza di vegetazione spondale possa incidere sulle caratteristiche chimiche del corso d'acqua è stata effettuata un'applicazione del modello QUAL2K al parametro BOD5. L'affidabilità del modello è stata preventivamente testata confrontandola con i dati di monitoraggio reali. L'esecuzione del modello ha dato come risultato che il parametro BOD5, per effetto di una vegetazione ottimale, può ridursi di valori compresi tra il 2 ed il 5% nella sezione di Rivalta (Fig. 14).

Tab. VI. Massima riduzione di temperatura in configurazione di vegetazione minima e massima per l'intero corso fluviale, per il periodo estivo per modello QUAL2Kw.

ΔΤ	∆T medio	∆T minimo	∆T massimo	
giugno	- 0,76	- 0,14	- 1,45	
luglio	- 0,58	- 0,09	- 1,11	
agosto	- 0,49	- 0,09	- 0,96	
settembre	- 0,52	- 0,07	- 0,98	

Questo valore, sia pure modesto, in ogni caso corrisponde all'incirca al carico in uscita di un impianto di depurazione medio-piccolo (1500-2500 abitanti equivalenti). La risposta ottenuta rappresenta comunque uno spunto per approfondire la correlazione tra temperatura ed idrochimica del fiume.

CONCLUSIONI

L'analisi svolta consente di individuare un percorso di valutazione delle possibili azioni di riqualificazione fluviale per il corso del Mincio tra Peschiera e Rivalta. Si possono in sostanza:

- individuare le priorità di ricostruzione del buffer di

- vegetazione tra fiumi o canali diversi e/o tra diversi tratti fluviali;
- utilizzare la modellistica testata per la valutazione del valore DMV fluviale;
- caratterizzare il territorio e definire la compatibilità delle attività antropiche o di futuri insediamenti con le esigenze ecologiche;
- determinare le specie vegetali più influenti sul parametro temperatura dell'acqua in funzione della loro altezza e densità di chioma;
- valutare l'impatto della manutenzione della vegetazione riparia, individuando i periodi più idonei per gli interventi.

BIBLIOGRAFIA

Bartholow J.M., 2002. SSTEMP for Windows: The Stream Segment Temperature Model (Version 2.0). US Geological Survey computer model and documentation. Available on the Internet at http://www.fort.usgs.gov/

Chow V.T., 1959, Open-Channel Hydraulics, Mc Graw Hill. Pelletier G.J., Chapra S.C., 2008. *QUAL2Kw* (version 5.1) A Modeling framework for simulating river and stream water quality. Washington State Department of Ecology.

Fu P., Rich P.M., 2000. The Solar Analyst 1.0 – User Manual.

Helios Environmental Modeling Institute.

REGIONE LOMBARDIA, 2006. *Programma di Tutela e Uso delle Acque in Lombardia*. Regione Lombardia, Unità Organizzativa Regolazione del mercato e programmazione (documento sintetico Maggio 2006).

ROUNDS S.A., 2007. Temperature effects of point sources, riparian shading, and dam operations on the Willamette River, Oregon. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2007–5185, 34 pp.