

IL CONTRIBUTO DEI MODELLI MATEMATICI AD UNA GAMBERICOLTURA SOSTENIBILE

Roberto Pastres, Giovanni Orlandini

Dipartimento di Science Ambientali, Informatica e Statistica, Università Ca' Foscari Venezia, Dorsoduro 2137,
30123 Venezia, pastres@unive.it

Key-words: modelli matematici, gambericoltura sostenibile.

Sommario

La notevole espansione dell'acquacoltura nelle ultime decadi ha provocato, da un lato, una crescente attenzione riguardo gli impatti ambientali di tali attività e, dall'altro, l'aumento della competizione a livello internazionale e, quindi, la necessità di ridurre i costi di produzione. In tutti i settori, vi è quindi la tendenza ad orientarsi verso pratiche di allevamento che minimizzino gli impatti sull'ecosistema ed ottimizzino i costi. A questo riguardo, nei settori più maturi come, ad esempio, l'allevamento del salmone, i modelli matematici sono utilizzati in misura sempre maggiore per: 1) valutare l'efficienza dei mangimi (FCR, Food Conversion Ratio) e le esigenze alimentari in relazione alle variabili esterne, quali la temperatura dell'acqua e la concentrazione di ossigeno disciolto, 2) stimare i tassi di accrescimento in funzione delle condizioni di allevamento; 3) valutare a priori le conseguenze del rilascio in ambiente di cibo non ingerito e feci e disegnare efficienti strategie di monitoraggio per valutare l'impatto in condizioni operative. In questo lavoro viene fornita una descrizione generale di un modello individuale messo a punto per simulare l'accrescimento di *Penaeus japonicus* (Bate, 1888). Successivamente, vengono presentati e discussi i risultati ottenuti in una applicazione preliminare del modello a dati rilevati nel corso degli anni 2003 e 2004 presso il Centro Ittico Sperimentale di Valle Bonello, gestito da Veneto Agricoltura.

Abstract

The remarkable expansion of the aquaculture industry in the last decades has brought about, on one side, an increasing concern about the environmental impact of such activities and, on the other, a growing competition at international level and, therefore, the need of reducing production costs. For this reasons, the majority of aquaculture productions are going towards the implementation of management practices aimed at minimizing the impact on ecosystems and production costs. In order to reach these goals, mathematical models are being increasingly used in mature sectors, such as salmon farming. These tools allow one to: 1) assessing the feed efficiency (FCR, Food Conversion Ratio) and feed request across a wide range of environmental variables which affects the growth, such as water temperature and dissolved oxygen; 2) assessing the growth rates in relation to farming conditions; 3) estimating "a priori" the environmental impact of aquaculture emissions, such as uneaten feed and faeces, and designing cost effective monitoring strategies for assessing such impact in operational conditions. In this paper, we will provide a general description of an individual model for the simulation of the growth of *Penaeus japonicus* (Bate, 1888). Subsequently the results of the application of the model to data collected Veneto Agricoltura during the years 2003 and 2004 at Valle Bonello, North-East Adriatic, are presented and discussed.

Introduzione

A livello mondiale, la gambericoltura sta vivendo una fase di crescita esplosiva: in base ai dati forniti dalla FAO, nel 2007 i maggiori produttori di *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), noto anche come gambero bianco del pacifico, erano la Cina (700,000 tonnellate), Thailandia (400,000 tonnellate), Indonesia (300,000 tonnellate) e Vietnam (50,000 tonnellate). Quest'ultima specie sta sostituendo in Asia il *Metapenaeus monodon* (Fabricius, 1798) o gambero tigre gigante, della quale Thailandia, Vietnam, Indonesia, Le Filippine e India sono ancora i maggiori produttori. Negli ultimi anni, è notevolmente cresciuta nei produttori la consapevolezza della necessità di tra-

sformare questa attività e renderla sostenibile. Solo in questo modo, infatti, nell'immediato futuro sarà possibile avere accesso ai mercati internazionali, in cui già da oggi vigono controlli rigorosi riguardanti la tracciabilità del prodotto. È, infatti, prevedibile che la certificazione di sostenibilità a breve diventi un requisito altrettanto indispensabile o che, comunque, garantisca un vantaggio competitivo. Per questa ragione, la gambericoltura deve dotarsi di pratiche gestionali che consentano di raggiungere livelli di produzione remunerativi, senza che ciò vada a detrimento della qualità dell'ambiente che circonda gli impianti. A tal proposito, uno dei principali problemi è costituito dagli scarichi, molto ricchi di sostanza organica e, in particolare, di composti azotati e, quindi, potenzialmente in grado di aumentare l'eutrofizzazione dei bacini costieri in cui vengono sversati. La riduzione dell'impatto ambientale può essere ottenuta, da un lato, accoppiando la produzione di gamberi con altri tipi di colture estrattive, in base ai principi dell'acquacoltura integrate, e dall'altro ottimizzando le pratiche di allevamento, in maniera da diminuire il rapporto di conversione del cibo e, quindi, sia i costi sia le emissioni. A questo riguardo, l'utilizzo di modelli matematici, unito ad un piano di monitoraggio di variabili critiche, quali l'ossigeno disciolto, la concentrazione di solidi sospesi, la densità di clorofilla, nei bacini di allevamento, possono consentire di mettere in atto pratiche gestionali flessibili, in grado di aumentare le rese, sia aumentando i tassi di accrescimento, sia diminuendo i rischi di mortalità. Tali pratiche potrebbero includere: la somministrazione di quantità di cibo variabili in funzione della densità e della temperatura, la variazione della portata in entrata e in uscita, l'areazione forzata in presenza di rischi di anossia. A questo riguardo, modelli matematici in grado di simulare sia l'accrescimento e la dinamica di popolazione dei gamberi, sia i principali processi biogeochimici che hanno luogo nei bacini di allevamento, possono fornire informazioni utili a: a) quantificare i fattori di rischio, quali, ad esempio, la relazione tra scarsità di ossigeno, accrescimenti non ottimali e mortalità elevate; b) fornire previsioni in tempo reale, utile a ottimizzare la gestione quotidiana; c) ottimizzare le rese, simulando diversi scenari di gestione dei flussi di materia ed energia in modo da selezionare le pratiche che, aumentando il benessere degli animali, ne aumentano la resistenza alle infezioni; d) assistere lo sviluppo di procedure di certificazione. In letteratura internazionale, (Burford, *et al.*, 2004, Kam, *et al.*, 2008, McGraw *et al.*, 2001, Stien 2008, Zhu C., 2009) si ritrovano già molti esempi di applicazione di tali strumenti e, recentemente, modelli di questo tipo sono disponibili commercialmente (www.pondscale.com). Sebbene la scala produttiva della gambericoltura italiana non sia confrontabile con quella asiatica, si ritiene che anche gli allevatori italiani potrebbero beneficiare di un approccio maggiormente orientato alla ottimizzazione delle pratiche di allevamento, sostenuto anche dall'uso di modelli matematici. Per questa ragione, in collaborazione con Veneto Agricoltura, è stato iniziato uno studio volto a valutare la fattibilità di accoppiare l'allevamento semi-intensivo di *Penaes japonicus* in bacini in terra al pre-ingrasso di *Tapes philippinarum*. In tal modo, oltre a ridurre l'impatto ambientale della gambericoltura, si produrrebbe seme di vongola verace, molto richiesto nelle lagune Nord-Adriatiche. In questo lavoro, viene descritto il mattone fondamentale di qualsiasi modello per la gestione integrata di attività di acquacoltura, cioè il modello di accrescimento individuale della specie allevata. Successivamente, vengono presentati e discussi i risultati preliminari sinora ottenuti e tracciate alcune note conclusive.

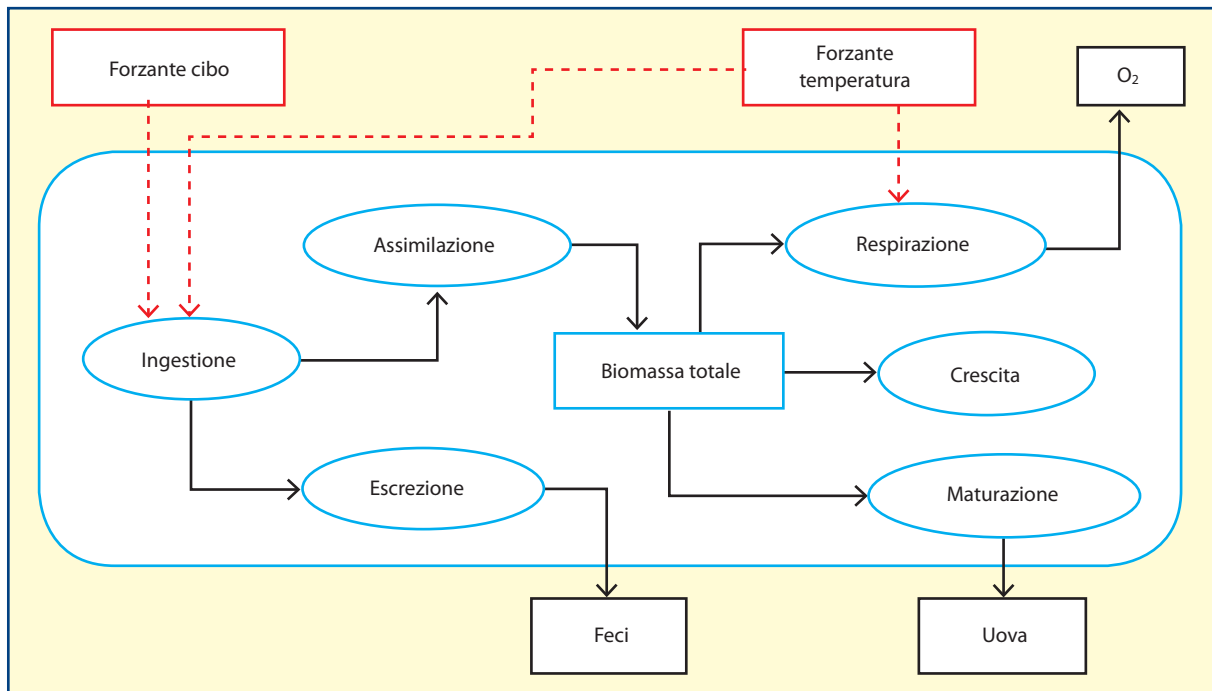
Il modello matematico di accrescimento di *Penaes Japonicus*

La crescita, pur nella sua complessità, dal punto di vista termodinamico può essere descritta come un insieme di processi mediante i quali un "sistema aperto", come un organismo, riesce ad aumentare la propria energia libera di Gibbs, attraverso la degradazione di una parte dell'energia libera "contenuta" nelle molecole dell'alimento. Globalmente, l'accrescimento può quindi essere descritto mediante un bilancio energetico, riferito ad un certo intervallo di tempo:

$$R = E + M + Sfg \quad (1)$$

Il bilancio stabilisce che l'energia libera contenuta nella razione **R** ingerita, ad esempio, quotidianamente si ripartisca in: a) una frazione **E**, che rappresenta i prodotti di rifiuto dell'organismo quali sono le urine, le escrezioni superficiali, le feci, ed il calore; b) una quota **M**, costituita dall'energia libera utilizzata nei processi metabolici, comprendente le spese per la digestione, la sintesi di molecole utili, attività metaboliche di base e altre attività volontarie; un'ultima frazione, detta **Sfg** o **Scope for Growth**, che rappresenta l'energia libera utilizzabile per sintetizzare nuovi tessuti somatici o per lo sviluppo delle gonadi. Dall'equazione di bilancio (1.1) si può quindi derivare il modello concettuale, rappresentato in figura 1.1, che è stato utilizzato per costruire il modello di accrescimento per *Penaes japonicus*.

Fig. 1.1 Modello concettuale utilizzato per costruire il modello matematico di accrescimento di *Penaeus japonicus*.



Le componenti del bilancio energetico, variano naturalmente da specie a specie, (differenze interspecifiche), da individuo a individuo, (differenze intraspecifiche) in relazione a differenze del genotipo e, per lo stesso individuo, possono variare anche in funzione dell'età. Come evidenzia la figura. 1.1, i termini del bilancio dipendono inoltre da una serie di fattori ambientali, quali la temperatura dell'acqua, la disponibilità e la qualità del cibo, l'ossigeno disciolto. Anche il fotoperiodo, la qualità dell'acqua e la salinità, che influenzano i processi fisiologici, possono essere importanti.

Un modello matematico bioenergetico dell'accrescimento si propone di quantificare il bilancio (1), e di legare i vari termini a variabili osservabili, come ad, esempio, il peso dell'animale, la cui evoluzione temporale si ottiene poi integrando le variazioni istantanee. Il modello si pone quindi come sintesi quantitativa delle conoscenze fisiologiche sull'accrescimento della specie allevata, in questo caso di *Penaeus japonicus*.

Per passare dal bilancio energetico alla stima dell'accrescimento in termini di biomassa, è però necessario introdurre una serie di ipotesi semplificative, che consentono di passare dal bilancio energetico ad un "bilancio di biomassa". In particolare, si assume che: i) la crescita sia isometrica e, quindi, le proporzioni tra le varie parti del corpo rimangono costanti, ii) sia possibile stimare la frazione di energia contenuta nel cibo che verrà effettivamente digerita dall'organismo e iii) sia possibile determinare, in media, il contenuto energetico dell'organismo. Queste tre assunzioni consentono di passare dall'equazione (1.1) alla seguente:

$$\frac{dw}{dt} = A - C - G \quad (2)$$

in cui, w [gDW] rappresenta il peso secco dell'animale, A il tasso di assimilazione [gDW giorno⁻¹], C il termine catabolico, assunto proporzionale al tasso di respirazione [gDWgiorno⁻¹], G l'energia investita in tessuti riproduttivi nell'unità di tempo [gDWgiorno⁻¹]. La struttura del modello, cioè i legami matematici espliciti tra i tre termini dell'equazione (2) il peso dell'animale, la disponibilità di cibo e la temperatura, è stata definita sulla base della letteratura esistente (Franco et al. 2006), in cui viene proposto un modello di accrescimento individuale per la famiglia dei Peneidi in un sistema mesotidale relativo a Maputo Bay, un'area situata a sud del Mozambico. Il modello è stato modificato per tener conto della fisiologia e delle abitudini alimentari della specie in esame e delle diverse condizioni di temperatura in cui si svolge il ciclo di allevamento nelle Valli venete. Ciò ha richiesto la stima di alcuni parametri, sulla base dei dati sperimentali, come verrà descritto nella sezione dei risultati.

Come evidenzia la figura 1, i processi fisiologici considerati sono: ingestione, assimilazione, respirazione e investimento in tessuti riproduttivi. Le relazioni utilizzate per collegarli alle forzanti del modello, concentrazione di cibo, F , e temperatura dell'acqua, T_w , e alla variabile di stato w sono fornite di seguito e brevemente commentate.

Assimilazione:

in base all'equazione (3.a), risulta proporzionale all'ingestione, I , a propria volta, come evidenzia l'equazione (3b), proporzionale ad una funzione del peso, una funzione della temperatura ed una funzione che esplicita il legame tra la quantità di cibo ingerito e la sua concentrazione nell'ambiente, F . Questa funzione contiene un parametro, k in (3b), che quantifica, in una certa misura, l'appetibilità e la effettiva disponibilità di cibo. A parità di concentrazione F , valori più elevati di k implicano una maggiore ingestione.

$$A = I \times A_e \quad (3a)$$

$$I = I_{\max} f(W) f(T_w) [1 - \exp(-kF)] \quad (3b)$$

Respirazione:

il termine catabolico, risulta proporzionale al peso dell'animale e ad una funzione esponenziale della temperatura dell'acqua secondo la:

$$C = \varepsilon c w 0.815 \exp(0.07 T_w) \quad (4)$$

in cui c rappresenta il tasso di respirazione riferito all'animale standard di peso unitario, ε un coefficiente che converte il consumo di ossigeno in perdita di biomassa.

Investimento in tessuti riproduttivi

In questa versione preliminare del modello, si è assunto costante durante la crescita l'indice gonadosomatico, in base al quale è stata calcolata la frazione di energia allocata in riproduzione. Essa risulta:

$$G = w \times G_{si} \quad (5)$$

in cui G_{si} è l'indice gonadosomatico medio, posto pari a 0.05 in queste prime simulazioni. Il termine (5) viene calcolato solo a partire dall'età della maturazione sessuale. Esso è stato quindi trascurato nelle simulazioni presentate in seguito, che si riferiscono a cicli di allevamento molto brevi.

Le relazioni 3-5 contengono alcuni parametri, che quantificano la risposta funzionale della specie a diverse condizioni di temperatura e di alimentazione. Tali parametri sono stati valutati preliminarmente sulla base di (Franco et al. 2006) e dei dati riportati in (ESAV, 1988). Le formulazioni complete sono consultabili presso il sito <http://venus.unive.it/envimod/>.

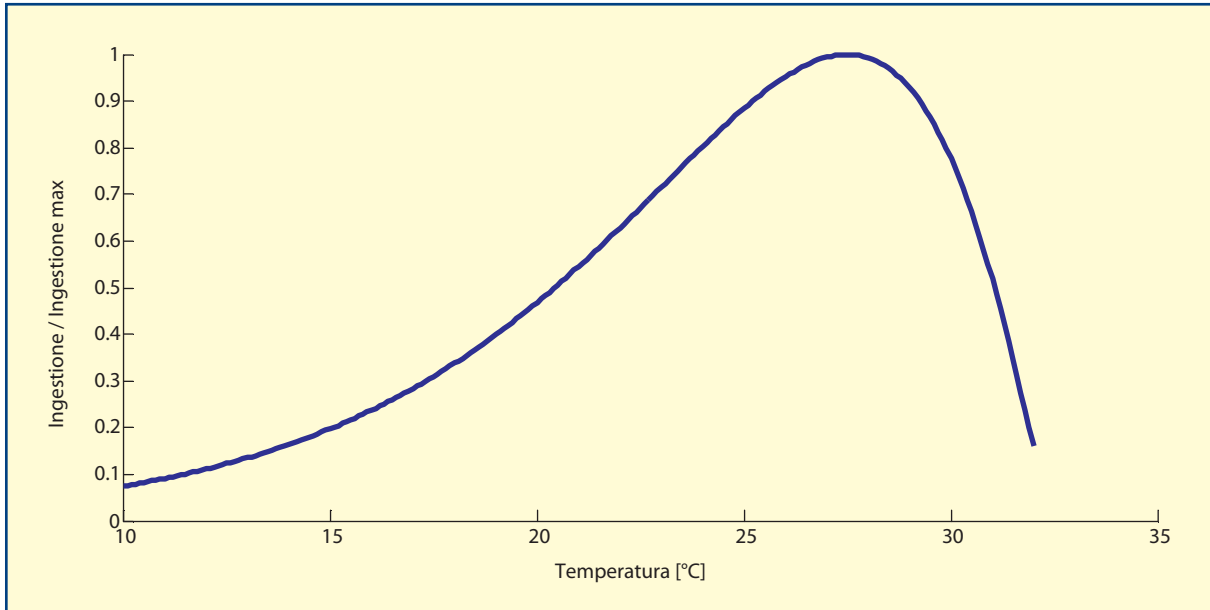
Risultati

Il modello descritto nella sezione precedente è stato applicato a dati rilevati presso il centro ittico sperimentale di Valle Bonello nel corso degli anni 2003-2004. Il ciclo di allevamento, descritto in maggior dettaglio in (Palazzi, questo volume), inizia in maggio, con la fertilizzazione dei bacini di allevamento. La semina avviene agli inizi di giugno, in cui vengono introdotti nei bacini esemplari del peso vivo di circa 0.015 grammi. Nel corso degli anni, si sono adottate densità comprese tra gli 1 e 2 individui/m². In particolare, nel 2003 furono seminati 1 ind/m², mentre nel 2004 1.7 ind/m². I pesi vennero rilevati con cadenza circa quindicinali, prelevando lotti di circa 50 esemplari. Ciò ha consentito di stimare sia il valore medio, sia la sua deviazione standard. La pesca ha luogo verso fine settembre, quando la temperatura dell'acqua inizia a scendere al di sotto dei 20 °C.

I dati sperimentali sono stati utilizzati, in primo luogo, proprio per stimare l'influenza di questa importante variabile sull'accrescimento durante il ciclo di allevamento. I modelli pubblicati in letteratura, infatti, si riferiscono ad ambienti tropicali, in cui la temperatura raramente scende al di sotto dei 30 °C, mentre nel nostro caso è necessario quantificare i tassi di accrescimento per temperature comprese tra i 20 e i 30 °C. Per questa ragione, si è introdotta la funzione:

$$f(T_w) = \left(\frac{T_{\max} - T_w}{T_{\max} - T_{opt}} \right)^{\beta(T_{\max} - T_{opt})} \exp(\beta(T_w - T_{opt})) \quad (6)$$

La curva, rappresentata in figura 2, quantifica il rapporto tra il massimo tasso di ingestione, registrato alla temperatura ottimale, e quello relativo ad un'altra temperatura, in condizioni di alimentazione non limitanti. Nella (6) T_{\max} è la massima temperatura tollerata e T_{opt} , la temperatura di crescita ottimale [°C], mentre β è un parametro che regola la forma della curva e, in particolare, la rapidità con la quale si abbassa l'efficienza dell'animale nell'alimentarsi al diminuire della temperatura.

Fig. 2. Rapporto tra il massimo tasso di ingestione e quello attuale, in funzione della temperatura dell'acqua.

I parametri T_{max} e T_{opt} sono stati posti, rispettivamente, pari a 32 °C e 27 °C (Lumare, 1998).

Il fattore di forma, β , è stato invece stimato mediante il confronto tra i risultati del modello e i dati sperimentali rilevati nell'estate 2004, durante il quale vennero rilevati sia gli accrescimenti, sia la temperatura dell'acqua, sia i quantitativi di mangime forniti. I risultati sono riportati in figura 3. Come si può notare, la struttura proposta consente di catturare la dinamica dell'accrescimento per l'anno 2004, riproducendo bene, in particolare, il rallentamento della crescita che si verifica in settembre. Successivamente, le capacità predittive del modello sono state messe alla prova confrontando il risultato della simulazione con dati rilevati nel 2003, per il quale non si avevano, tuttavia, informazioni così precise riguardo la somministrazione di mangime. I risultati, mostrati in figura 4, evidenziano, come è lecito attendersi, un minor accordo con i dati sperimentali, in quanto in questa simulazione i parametri del modello non sono stati adattati per raggiungere il miglior accordo con le osservazioni. Si nota una leggera sottostima del peso, le cui ragioni meritano senz'altro approfondimento. Alcuni spunti di riflessione sono offerti nella sezione successiva.

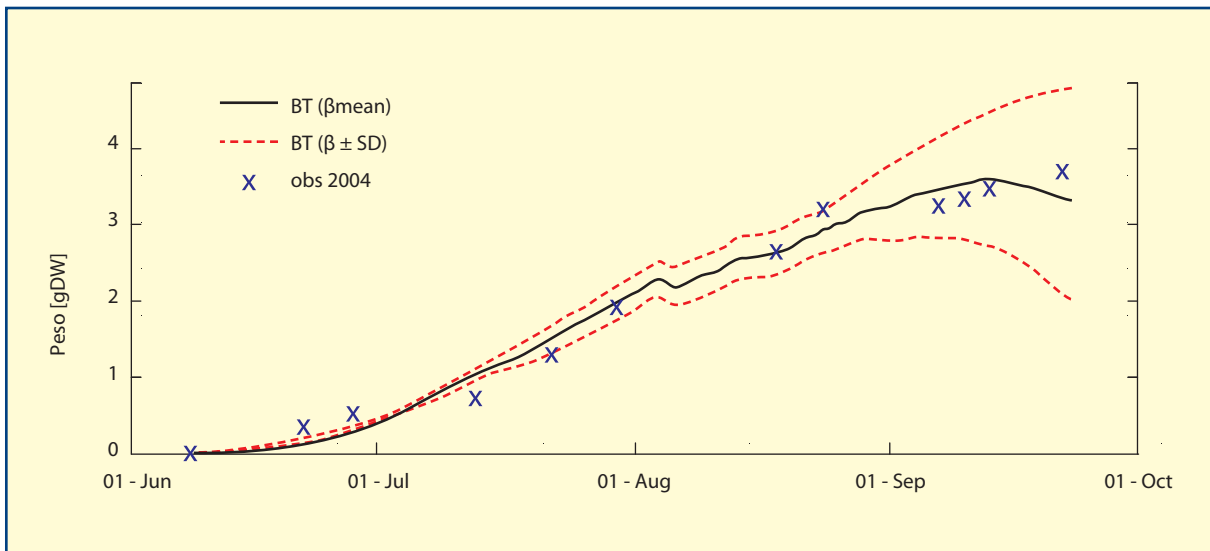
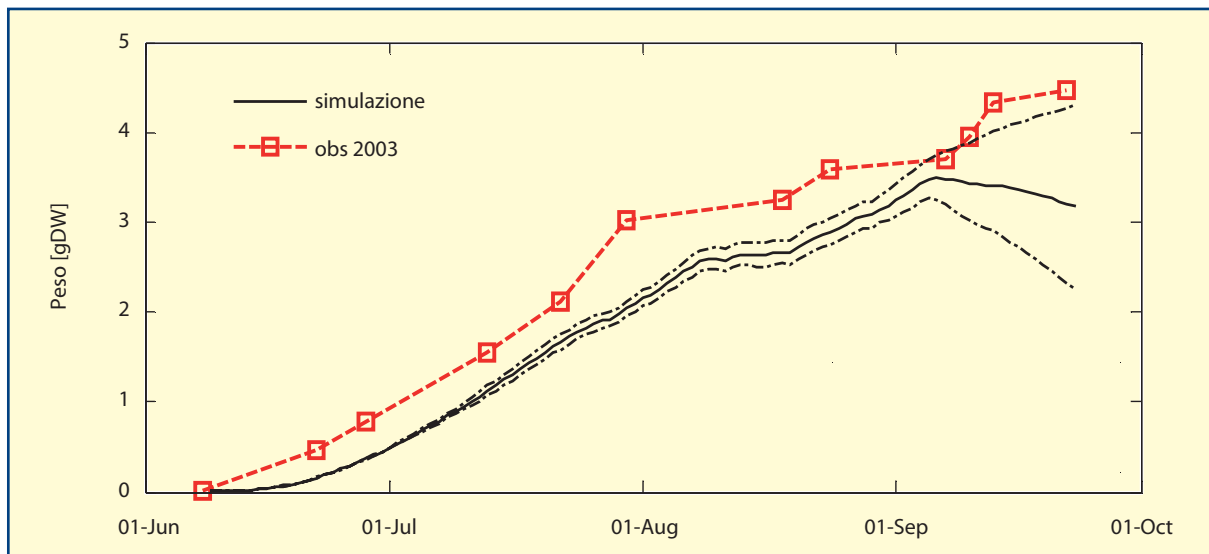
Fig. 3. Confronto tra dati sperimentali rilevati nell'estate 2004 e modello in fase di stima del parametro ($\beta = 0.275 \pm 0.07 \text{ °C}^{-1}$).

Fig. 4. Confronto tra dati sperimentali e modello. I dati sperimentali e le forzanti si riferiscono all'anno 2003.

Discussione

I confronti presentati nelle figure 3 e 4 evidenziano che, in entrambi i casi, l'evoluzione temporale del peso secco calcolata mediante il modello si presenta qualitativamente simile a quella del peso medio registrato. L'accordo è quantitativamente molto buono per il 2004, in quanto il parametro β è stato adattato proprio per simulare quei dati, mentre i dati vengono sottostimati per il 2003. Queste evidenze suggeriscono, in primo luogo che la dipendenza dell'accrescimento dalla temperatura sia simulata in maniera piuttosto accurata dalla funzione (6) in tutto l'intervallo di temperatura fatta eccezione, forse, per il tratto tardo estivo, in cui il modello, curva continua, prevede un leggero calo di peso, non riscontrato nei dati. Tuttavia, se si considera anche l'errore standard del parametro, si ottengono le curve tratteggiate, ottenute introducendo nel modello rispettivamente il valore nominale diminuito e aumentato del suo errore standard. Come si può notare, quasi tutti i dati sperimentali rilevati nel 2003 si collocano nella banda tra le due curve, mentre la curva tratteggiata superiore è in grado di prevedere bene il peso finale anche per il 2003.

La discrepanza tra i due insiemi di dati sperimentali, tuttavia, potrebbe essere dovuto anche a fattori diversi dal differente andamento termico registratosi nei due anni. Di tali fattori, si potrà tener conto ampliando la presente indagine e definendo un modello di dinamica di popolazione, da accoppiare al modello di accrescimento, che consenta di prevedere non solo il peso medio dell'individuo ma anche l'evoluzione del numero di individui nel tempo e, quindi, la resa in biomassa. Infatti, i due cicli di allevamento si sono differenziati anche per: i) l'evoluzione dei parametri trofici e dell'ossigeno disciolto nei bacini di allevamento, ii) la densità di semina, che nel 2003 è risultata quasi la metà rispetto al 2004. Ciò può avere influenzato in maniera anche notevole la effettiva disponibilità di cibo nei due anni e, quindi, l'accrescimento. Per giungere ad una efficace parametrizzazione di questo effetto, sarebbe necessario mettere a punto esperimenti mirati per la calibrazione del parametro "k" in (3b) che, come si è detto, quantifica l'appetibilità e ed effettiva disponibilità di cibo. A questo riguardo, sarebbe necessario seguire l'accrescimento di piccoli lotti, alimentati con diverse quote di mangime ed, eventualmente, ripetere l'esperimento con mangime diverso. È inoltre probabile che anche l'ora di somministrazione del mangime possa essere un fattore da tenere in considerazione, in quanto il mangime potrebbe essere facilmente deperibile e l'alimentazione avviene nelle ore notturne.

Infine, potrebbe essere molto importante per la definizione del peso finale la prima fase di accrescimento, circa un mese, in cui ai gamberi non viene somministrato mangime: è interessante notare, infatti, che differenze non trascurabili in percentuale tra i tassi di accrescimento del 2003 e 2004 si sono registrate proprio in questo periodo. Per chiarire questo aspetto, sarebbe importante accoppiare al modello di dinamica di popolazione un modello che simuli i principali processi biogeochimici che hanno luogo nei bacini di allevamento. Tale modello potrebbe essere utilizzato anche per quantificare quale sia il contributo delle risorse alimentari aggiuntive fornite dalla fauna bentonica che si sviluppa spontaneamente nei bacini in seguito alla fertilizzazione.

Rilievi conclusivi

I risultati presentati in questo lavoro, sebbene preliminari, evidenziano che il processo di costruzione, calibrazione e verifica di un modello matematico di accrescimento possa essere di grande utilità per razionalizzare i dati raccolti nella fase di sperimentazione di nuove pratiche di allevamento in acquacoltura. Il confronto tra i dati e il modello consente inoltre di pianificare con maggior efficacia ulteriori sperimentazioni, tese a migliorare le rese e ridurre l'impatto ambientale. Anche se alcune problematiche rimangono irrisolte, come si è sottolineato nella discussione, si ritiene che questo lavoro possa offrire interessanti spunti per proseguire la sperimentazione e giungere ad una miglior comprensione dei processi che influenzano la resa in biomassa e, quindi, la redditività di questa tipologia di allevamento.

Bibliografia

- Burford M.A., Lorenzen K., 2004. Modeling nitrogen dynamics in intensive shrimp ponds: The role of sediment remineralization. *Aquaculture* 229 (1-4): 129-145.
- Kam L.E., Yu R., and Leung P., 2008. Shrimp Partial Harvesting Model: Decision Support System User Manual. Center for Tropical and Subtropical Aquaculture, U. Hawaii. CTSA Publication No. 153, 23 pp.
- Lumare, 1998. Crostacei peneidi: tecnica e gestione dell'allevamento. Manuale di divulgazione Serie Acquacoltura: 4, Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto.
- McGraw W., Teichert-Coddington D.R., Rouse D.B., Boyd C.E., 2001. Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds. *Aquaculture* 199 (3-4), 311-321
- Stien L.H., Gytte T., Torgersen T., Sagen H., Kristiansen T.S., 2008. A system for online assessment of fish welfare in aquaculture. ICES CM 2008/R:18
- Zhu C., 2009. Application of a shrimp farm management model to three types of shrimp farms in South China. Trilateral symposium on aquaculture science among China, Japan and Korea, held in Guangzhou, China. Oct. 22, 2009.