



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO  
PARMA

## Applicazione sperimentale di modelli numerici per la definizione di scenari di intervento sull'inquinamento di origine diffusa nell'area di Mancasale e nel bacino delle acque basse reggiane

Contratto n° 308 del 22-12-2006

Attività	Utilizzo dei modelli REMM (Riparian Ecosystem Management Model) per valutare l'efficacia delle fasce tampone. (cod. 3)
Prodotto	(cod. 3/1)
Elaborato	Relazione finale (cod. 3/1/1R-B)
Descrizione elaborato	Applicazione del modello REMM al caso di studio e analisi delle sue potenzialità
Autori	CNR IRSA
Versione	Finale
Data	30/04/2009



**Applicazione sperimentale di modelli numerici per la definizione di scenari di intervento sull'inquinamento di origine diffusa nell'area di Mancasale e nel bacino delle acque basse reggiane**

**Utilizzo del modello REMM (Riparian Ecosystem Management Model) per valutare l'efficacia delle fasce tampone**



**30/04/2009**

**Direttore di Progetto:**

Fernanda Moroni

Autorità di Bacino del fiume Po

Via Garibaldi 75

43100 Parma

**Progetto realizzato da:**

Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA)

Via della Mornera, 25

20047 Brugherio (MI).

**Inizio Progetto** : febbraio/2007

**Fine Progetto:** aprile/2009

**Elaborato a cura di:**

Franco Salerno, Arese Cristina, Raffaella Balestrini, Elisa Carraro

Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA)

Via della Mornera, 25

20047 Brugherio (MI)

**Responsabile scientifico:**

Franco Salerno

Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA)

E-mail: [salerno@irsa.cnr.it](mailto:salerno@irsa.cnr.it)

**Capoprogetto:**

Raffaella Balestrini

Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA)

Email: [balestrini@irsa.cnr.it](mailto:balestrini@irsa.cnr.it)

L'utilizzo e la riproduzione dei contenuti di questo elaborato sono liberi. Per ogni utilizzo dovrà essere sempre dichiarata la proprietà / la fonte: *Autorità di bacino del fiume Po, 2008. Applicazione sperimentale di modelli numerici per la definizione di scenari di intervento sull'inquinamento di origine diffusa nell'area di Mancasale e nel bacino delle acque basse reggiane.*

I contenuti dell'elaborato sono conformi agli usi originari del Progetto sopracitato. L'Autorità di bacino del fiume Po declina, pertanto, ogni responsabilità per problemi inerenti qualunque altro utilizzo.

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>2. STRUTTURA CONCETTUALE DEL MODELLO .....</b>	<b>1</b>
<b>3. DESCRIZIONE DEL CASO DI STUDIO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. ANALISI DI SENSIVITÀ DEI PARAMETRI DI REMM .....</b>	<b>6</b>
4.1    SENSIBILITA' RISPETTO AI PARAMETRI DEL MODELLO .....	10
4.2    SENSIBILITA' RISPETTO AGLI INPUT .....	14
<b>5. PARAMETRI STATISTICI UTILIZZATI PER DESCRIVERE I RISULTATI .....</b>	<b>14</b>
<b>6. CALIBRAZIONE IDROLOGICA .....</b>	<b>15</b>
<b>7. CALIBRAZIONE DELLE TRAFORMAZIONI DELL'AZOTO .....</b>	<b>18</b>
<b>8. DISCUSSIONE SUI RISULTATI E SULLE POTENZIALITÀ DEL MODELLO REMM.....</b>	<b>19</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>20</b>

## 1. INTRODUZIONE

Il modello REMM rappresenta la principale iniziativa nel campo modellistico riguardante le fasce tampone. REMM (Riparian Ecosystem Management Model) è stato concepito per stimare l'effetto tampone degli ecosistemi ripari sull'inquinamento di origine diffusa a scala di campo. La letteratura scientifica descrive altri algoritmi finalizzati ad applicazioni specifiche, ma che non contemplano l'analisi complessiva del sistema.

Il modello si trova comunque in fase sperimentale infatti manca in letteratura un adeguato numero di esempi applicativi. Inoltre bisogna considerare che attualmente in modello non è dotato di un'interfaccia per la visualizzazione dei risultati creando non poche difficoltà nell'utilizzo.

Le potenzialità applicative di REMM, nella versione attualmente disponibile, sono state valutate, sia per le componenti idrologiche che per quelle riguardanti i nutrienti, utilizzando i dati raccolti da una zona riparia sperimentale localizzata alla University of Georgia Gibbs Farm, vicino a Tifton in Georgia (Stati Uniti). Questa area riparia è costituita da una fascia di foreste di latifoglie ampia 15 m, da una zona a pini cedui di 50 m e infine da una fascia erbacea di 8 m. Questa tipologia di fascia riparia è infatti quella utilizzata dall'USDA Conservation Buffer Iniziative nei programmi di controllo dell'inquinamento da sorgente diffusa. Il programma prevede anche l'installazione di fasce riparie di minori dimensioni e anche non differenziate, ma in questo caso non vengono condivisi i costi di assistenza. Solo nelle zone dove l'inquinamento da sorgenti diffuse non costituisce un problema le fasce riparie possono essere limitate ai 4,6 m di ampiezza.

Ad oggi in letteratura è difficile reperire casi di studio in cui il modello sia stato validato con dati sperimentali raccolti in zone con caratteristiche vegetazionali e pedologiche diverse. Questo grado di incertezza mette in evidenza l'importanza della sperimentazione all'interno del progetto RIMEDIA, in particolare se si considera la limitata ampiezza delle fasce riparie nel bacino delle Acque Basse Reggiane che crea molto probabilmente un caso unico in questo settore di ricerca permettendo di valutare le potenzialità applicative di questo modello per l'efficacia delle fasce riparie nell'ambito della gestione del territorio.

## 2. STRUTTURA CONCETTUALE DEL MODELLO

La struttura concettuale del modello, nonché le equazioni matematiche che definiscono i processi fisici legati ai flussi idrologici e chimici viene descritta nel manuale delle equazioni a cui si rimanda. La guida per l'utente risulta essere invece molto carente e solo le ripetute simulazioni permettono all'utente di acquisire una conoscenza adeguata delle funzionalità del modello.

Qui di seguito si mettono in evidenza solo gli aspetti principali rispetto alle assunzioni e schematizzazioni del modello mentre si rimanda alle due guide sopra citate per un più completo approfondimento.

REMM considera un sistema ripario costituito da tre zone interposte tra il fiume e il campo agricolo che rappresentano differenti livelli di gestione. Queste zone includono una fascia boscata naturale adiacente il fiume, un'area a bosco ceduo che prevede asportazione di biomassa per uso commerciale ed infine una fascia erbacea con la funzione di trattenere i sedimenti e i nutrienti presenti nel runoff superficiale. In ogni zona, il suolo viene caratterizzato da tre livelli attraverso i quali vengono simulati i movimenti verticali e laterali dell'acqua. Se, come nel nostro caso, non è possibile differenziare la fascia riparia in base alla gestione, si può utilizzare un criterio per distinguere le zone basato sulle qualità specifiche del sito, come ad esempio una variazione nella vegetazione o nella pendenza. L'area scelta nel presente progetto è molto limitata nella sua

estensione, ma è stato possibile distinguere tra una fascia erbacea prospiciente il campo e un'arborea vicino al corso d'acqua.

La seguente figura (Fig. 2.1) mostra la schematizzazione che il modello effettua sia tra le zone sia tra i layers.

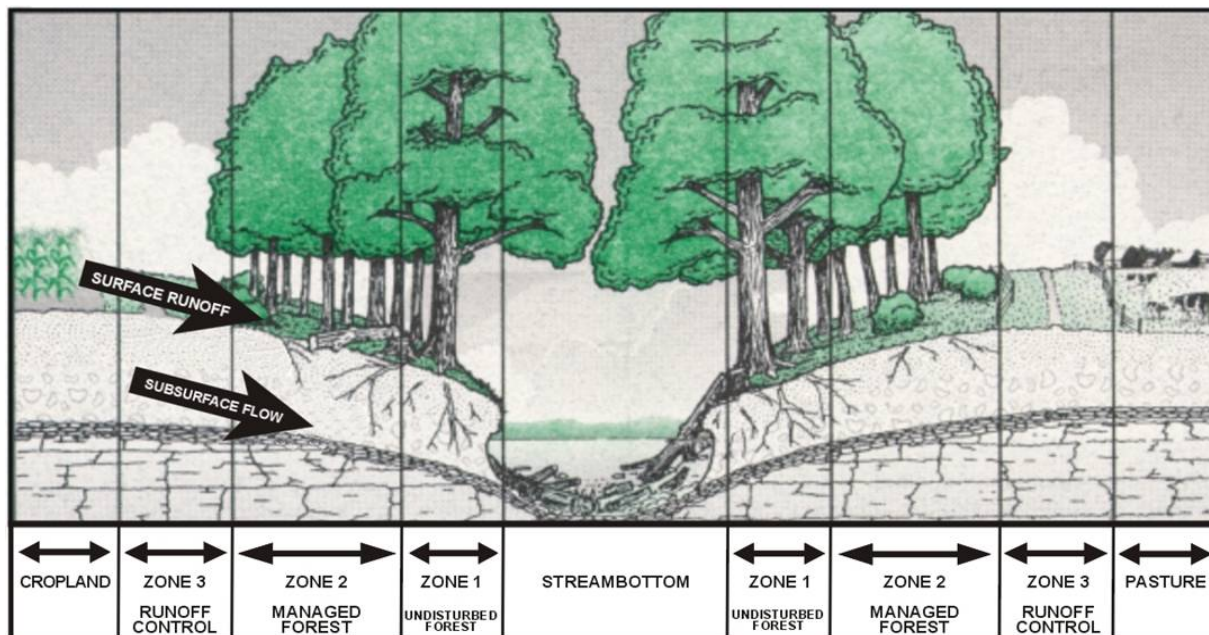


Fig. 2.1 - Schematizzazione della fascia riparia effettuata dal modello REMM

In primo luogo REMM simula i movimenti dell'acqua in ingresso, all'interno e in uscita dell'ecosistema ripariale. Gli apporti d'acqua nella fascia riparia possono avvenire tramite le precipitazioni, il runoff superficiale e lo scorrimento subsuperficiale.

In REMM il movimento dei flussi sotterranei da una zona all'altra dipende dai gradienti e dalle conducibilità idrauliche. L'acqua inoltre si muove verticalmente tra i diversi livelli del suolo. Il movimento e l'accumulo d'acqua all'interno della fascia riparia viene simulato mediante processi basati su un bilancio idrico bidimensionale a scala giornaliera. Gli input esterni al bilancio idrico comprendono le precipitazioni e i flussi superficiali e sotterranei giornalieri provenienti dalle zone a monte della fascia riparia.

L'azoto, in REMM, è simulato come composti inorganici sotto forma di ammonio e nitrati e come azoto organico strettamente connesso con il carbonio presente del suolo, il carbonio residuo, e quello disciolto. Gli input e gli output di azoto derivano dall'acqua sotterranea (disciolto in forma inorganica e organica), dal runoff superficiale (disciolto e particolato, inorganico e organico), dalle precipitazioni (input), e dalla denitrificazione batterica (output). I processi di rilascio e immobilizzazione e circolazione dell'azoto simulati sono strettamente legati ai processi di decomposizione e ricircolo del carbonio, così come all'assorbimento da parte della componente vegetale. Vengono poi simulati i processi di nitrificazione, che è limitata, ad esempio, da temperatura, umidità, pH, altri fattori ambientali, così come la denitrificazione nel suolo che si basa invece sull'interazione di parametri che definiscono l'aerazione del suolo, la temperatura, la disponibilità di nitrati e carbonio.

Un altro elemento importante è, infatti, il carbonio definito in REMM come carbonio del suolo e carbonio residuo. Il carbonio del suolo viene suddiviso in tre forme: attivo, passivo, lento. Il carbonio residuo è diviso in strutturale e metabolico. Questo tipo di ripartizione e classificazione riprende quella riportata da Parton et al. (1987). Il carbonio può passare da una forma all'altra

attraverso processi diversi, può essere trasportato dai flussi d'acqua come carbonio disciolto e particolato e può passare ad anidride carbonica. La decomposizione del carbonio residuo è regolata da fattori come temperatura, umidità, e presenza di nutrienti. Nel modulo di REMM relativo ai nutrienti, tutte le forme di carbonio (comprese quelle presenti nei residui vegetali e nell'humus) sono substrati per le trasformazioni microbiche.

#### Dati di input

I dati di input necessari alla parametrizzazione del modello includono:

- 1) gli apporti in ingresso alla fascia riparia che provengono dal campo agricolo (scorrimento superficiale e sub-superficiale, sedimenti, flussi di nutrienti associati al dilavamento superficiale, all'acqua sotterranea e al sedimento veicolato durante il runoff);
- 2) dati climatici;
- 3) dati relativi alla vegetazione;
- 4) parametri fisici e chimici relativi al suolo;

Tra i molteplici dati richiesti per definire gli input (punto 1), sono stati identificati quelli maggiormente significativi e sono stati settati con valori desunti dall'attività sperimentale. Per i parametri meno significativi sono stati verificati i valori già impostati nel modello e dove opportuno sono state effettuate correzioni sulla base di stime più appropriate per l'area studiata.

Una parte dei dati necessari per calibrare il modello, è stata desunta dall'attività sperimentale effettuata in un'area rappresentativa del territorio agricolo oggetto del presente studio.

Nella nostra area di studio, ad esempio, il contributo del runoff superficiale è stato stimato come 10% delle precipitazioni dal momento che la minima pendenza che caratterizza le zone agricole del Reggiano suggerisce la scarsa rilevanza di questo apporto. Ma, soprattutto, la presenza delle scoline realizzate con il preciso obiettivo di drenare i campi in presenza di piogge abbondanti, determina l'annullamento di qualsiasi effetto della fascia riparia su questa componente.

I dati di input del livello dell'acqua sotterranea, fondamentali per la simulazione della componente idrologica sono stati, invece, ottenuti dalle misure effettuate in continuo in un piezometro posizionato nella fascia riparia.

Gli output del modello si riferiscono ad ognuna delle tre zone e comprendono i flussi idrologici e quelli relativi ai nutrienti.

Per testare il modello è stato quindi effettuato il confronto tra le stime del modello e i dati sperimentali relativi alle variazioni nella soggiacenza della falda ipodermica e alle concentrazioni di azoto misurati all'interno dei piezometri.

Di seguito si evidenziano i dati necessari per l'implementazione del modello e le fonti utilizzate (Tab. 2.1).



SETTORE DI APPARTENENZA DEL DATO	FONTE
Dati sulla vegetazione	
Composizione in specie	Dati di default del modello
Canopy	
Peso secco del fusto	
Peso secco dei rami	
Peso secco delle radici	
- Profondità radici	
Dati meteorologici	
-Precipitazioni, Umidità relativa (orario)	BPMS – Stazione di Brunoria
-Temperatura (orario)	
-Radiazione a onde corte (giornaliero)	ARPA– Stazione di Reggio Emilia
-Velocità del vento (giornaliero)	
Dati pedologici	
Tessitura	Dati sperimentali. Realizzazione e caratterizzazione di profili pedologici - ITER
- Caratterizzazione chimico-fisica del profilo	
Caratteristiche morfometriche del sito	
- Pendenza del campo	Dal sito sperimentale
Dati idrologici	
Soggiacenza	Acquisizione in continuo mediante idrometro
- Area drenata dalla fascia riparia	
Dati chimici	
-Carbonio organico	Misure dal sito sperimentale
-Rapporto C/N nella sostanza organica	
-NH4+	
-NO3-	

Tab. 2.1 – Tipologie di dati richiesti dal modello REMM e fonte utilizzata

**Nota:** Per i dati di precipitazione, umidità relativa e temperatura è stata selezionata la stazione di Brunoria, la più vicina al sito sperimentale. In questa stazione non erano però disponibili i dati di radiazione solare e velocità del vento. Per questi dati è stata selezionata la stazione di Reggio

Emilia perché tra le stazioni possibili relativamente vicine alle aree sperimentali rappresentava quella con un set di dati più completo per il periodo di interesse (2006-2008).

### 3. DESCRIZIONE DEL CASO DI STUDIO

Il modello REMM è stato applicato al sito denominato Bedollo così come descritto nel report “Studio del ruolo delle fasce riparie nella rimozione dei nutrienti”. Si rimanda pertanto a tale report sia per quanto riguarda le caratteristiche gestionali del sito, sia per quanto riguarda la campagna di monitoraggio idrologica e chimica.

E' importante qui mettere in evidenza le geometrie del sistema (Tab. 3.1). Nella figura 3.1 si presenta come è stata schematizzata la fascia riparia nel modello.

Lunghezza perpendicolare alla fascia riparia (m)/ Pendenza(%)/ Profondità (m)	Zona 3	Zona 2	Zona 1
<b>Layer 1</b>	4,50/2,36%/0,96	1,94/0,001%/0,96	1,57/73,18%/0,56
<b>Layer 2</b>	4,50/2,36%/1,6	1,94/0,001%/1,6	1,57/73,18%/1,5
<b>Layer 3</b>	4,50/2,36%/2,1	1,94/0,001%/2,1	1,57/73,18%/2,1

Tabella 3.1 - Geometrie del sistema

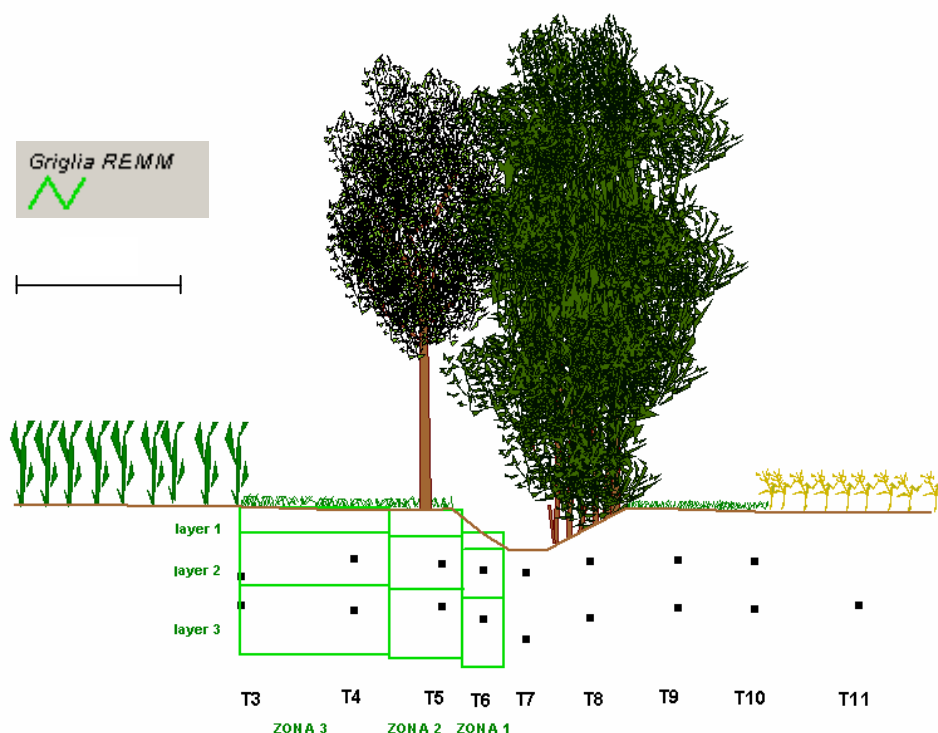


Fig. 3.1 - Schematizzazione della fascia riparia ne modello REMM

Come è stato evidenziato nelle sezioni precedenti la fascia riparia presenta una lunghezza perpendicolare al canale di circa 8 m.

Nell'allegato 1 vengono presentate le interpolazioni che sono state effettuare a partire dai dati raccolti dalla campagna pedologica.

#### 4. ANALISI DI SENSIVITÀ DEI PARAMETRI DI REMM

Prima di iniziare la calibrazione di un modello rispetto ai dati sperimentali, è buona consuetudine effettuare una valutazione della reattività dei parametri.

Ogni modello deterministico utilizza un set di parametri che trasformano i dati di input (i.g. precipitazioni) in dati di output (i.g. livello piezometrico). In fase di calibrazione tali parametri devono essere “aggiustati” in modo da ottenere una curva simulata il più possibile aderente a quella osservata con i dati sperimentali. Prima di iniziare questo processo che potrebbe a volte protrarsi per mesi, è importante avere un’idea di quali parametri incidono di più nel modificare gli output.

Nell’applicazione di REMM questo processo è stato condotto sia per le componenti idrologiche, sia per le componenti chimico/fisiche.

La nostra esperienza ha evidenziato come i parametri più sensibili per la componente idrologica siano:

- 1) la porosità
- 2) il contenuto d’acqua del suolo
- 3) la capacità di campo
- 4) la profondità delle radici

Per quanto riguarda invece le trasformazioni dell’azoto si è proceduto a condurre un’attenta analisi di sensitività dei parametri coinvolti nel ciclo di trasformazione delle forme dell’azoto.

Si è trascurato invece di valutare quali fossero i parametri idrologici che incidono su tali output avendo proceduto a calibrare il modello prima dal punto di vista idrologico.

Il metodo seguito per testare la sensitività dei parametri può essere definito “uno a uno”, ossia, rispetto ai valori di default settati per la fattoria di Gibbs, si è provveduto a dimezzarli e a raddoppiarli, valutando in conseguenza le modifiche apportate sul nitrato.

Si tratta quindi di una prima e sommaria analisi qualitativa sulla sensitività delle risposte date dal modello tesa ad individuare e selezionare da una parte le variabili di input maggiormente influenti sul sistema, dall’altra i parametri su cui agire subito in fase di calibrazione e validazione del modello. A tal fine non si è ritenuto necessaria un’analisi statistica delle simulazioni di risposta, decidendo a priori di considerare “utili” quelle simulazioni che davano variazioni almeno dell’1% rispetto ai valori di default (caso base Gibbs).

La simulazione ha coinvolto le variabili di output legate alle forme inorganiche dell’azoto presenti nel sistema come concentrazioni del nutriente nel flusso idrico subsuperficiale (esprese in kg/ha) e in falda (esprese in mg/l) (Tab.4.1):

1. azoto ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ) disciolto nel flusso subsuperficiale (kg/ha)
2. azoto nitrico ( $\text{NO}_3^-$ ) disciolto nel flusso subsuperficiale (kg/ha)
3. concentrazione di azoto ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ) nell’acqua sotterranea (mg/l)
4. concentrazione di azoto nitrico ( $\text{NO}_3^-$ ) nell’acqua sotterranea (mg/l)

VARIABILI DI OUPUT CONSIDERATE	VALORI DI RIFERIMENTO "CASO BASE"
NSubDisNH4(kg/ha)	0.001335927
NSubDisNO3(kg/ha)	0.103613046
AmmoniumCon(mg/l)	0.138256304
NitrateCon(mg/l)	56.11160243

Tab. 4.1 - Valori di riferimento per le variabili di output legate alle forme inorganiche dell'azoto.

A parte, invece, è stata analizzata la risposta degli output variando singolarmente e uno alla volta i parametri modellistici all'interno di un range prestabilito (-100%; +100%); successivamente la stessa operazione è stata effettuata anche in relazione agli input chimicamente legati all'azoto (Tab. 4.2 e 4.3).

La simulazione è stata perfezionata soltanto nel primo livello (Layer 1) della Zona 3 poiché è l'ambito dove dovrebbe verificarsi un primo significativo abbattimento dei nutrienti.

		ZONA 3 L 1		
		-100%	Def. Val.	+100%
LITTER GENERAL	<i>costant a</i>	0.001	1.102	2.204
	<i>costant b</i>	0.096	0.956	1.912
	<i>pH</i>	2.2	6.2	10.4
	<i>litter moisture content</i>	0	2	4
	<i>humus moisture content</i>	0	1	2
	<i>residue moisture content</i>	0	1	2
WEATHER AND TEMP	<i>base soil temperature</i>	0	18.3	36.6
	<i>structural</i>	147	14700	29400
	<i>metabolic</i>	0	300	600
LITTER CARBON	<i>active</i>	0	100	200
	<i>slow</i>	0	3000	6000
	<i>passive</i>	0	1900	3800
	<i>end lignine</i>	0	9100	18200
	<i>structural</i>	0	98	196
	<i>metabolic</i>	0	13.6	27.2
LITTER NITROGEN	<i>active</i>	0	12.5	25
	<i>slow</i>	0	272.72	545.44
	<i>passive</i>	0	172.72	345.44
	<i>ammonium</i>	0	1.35	2.7
	<i>nitrate</i>	0	0.24	0.48
	<i>NH4+ isotherm cost. a</i>	0	1.102	2.204
SOIL GENERAL (L1)	<i>NH4+ isotherm cost. b</i>	0	0.956	1.912
	<i>pH</i>	2.2	6.2	10.4
	<i>structural</i>	0	5800	11600
SOIL CARBON (L1)	<i>metabolic</i>	0	120	240
	<i>active</i>	0	400	800
	<i>slow</i>	0	12000	24000
	<i>passive</i>	0	7600	15200
SOIL NITROGEN (L1)	<i>end lignine</i>	0	3360	6720
	<i>structural</i>	0	38.67	77.34
	<i>metabolic</i>	0	5.45	10.9
	<i>active</i>	0	50	100

	<i>slow</i>	0	1090.9	2181.8
	<i>passive</i>	0	690.9	1381.8
	<i>ammonium</i>	0	13.5	27
	<i>nitrate</i>	0	2.4	4.8
	<i>residue metabolic</i>	0	0.0039	0.0078
	<i>residue structural</i>	0	0.00086	0.00172
<b>C release rate factor (LITTER)</b>	<i>humus active</i>	0	0.0039	0.0078
	<i>humus slow</i>	0	0.000069	0.000138
	<i>humus passive</i>	0	0.000002	0.000004
	<i>residue metabolic</i>	0	0.0039	0.0078
	<i>residue structural</i>	0	0.00086	0.00172
<b>C release rate factor (SOIL L1)</b>	<i>humus active</i>	0	0.0039	0.0078
	<i>humus slow</i>	0	0.000069	0.000138
	<i>humus passive</i>	0	0.000002	0.000004
<b>K-Denitrification</b>	<i>k</i>	0	0.02	0.04

Tab. 4.1 - Tabella di variazione dei parametri del modello.

INPUT DEL MODELLO		ZONA 3 L 1		
carbon-humus active surface runoff	-100%	Def. Val.	+100%	
CN ratio surf run	-100%	Def. Val.	+100%	
carbon-humus active subsurface flow	-100%	Def. Val.	+100%	
CN ratio subsurf run	-100%	Def. Val.	+100%	
carbon-humus active sediment	-100%	Def. Val.	+100%	
CN sed	-100%	Def. Val.	+100%	
NH4 surf runoff	-100%	Def. Val.	+100%	
NH4 subsurface flow	-100%	Def. Val.	+100%	
NH4 sediment	-100%	Def. Val.	+100%	
NO3 surface runoff	-100%	Def. Val.	+100%	
NO3 subsurface flow	-100%	Def. Val.	+100%	
carb hum act rain	-100%	Def. Val.	+100%	
CN rain	-100%	Def. Val.	+100%	
NO3 rain	-100%	Def. Val.	+100%	
NH4 rain	-100%	Def. Val.	+100%	

Tab. 4.3 - Tabella di variazione degli input del modello.

#### 4.1 Sensibilita' rispetto ai parametri del modello

Nei risultati si riportano solamente le performances rispetto al carico subsuperficiale e le concentrazioni in falda dell'azoto nitrico.

##### *SENSIBILITA' DEL CARICO SUBSUPERFICIALE DI NO<sub>3</sub><sup>-</sup> A VARIAZIONI DEL +100% DEI PARAMETRI DEL MODELLO*

Il modello è stato performato aumentando, uno alla volta tutti i parametri che caratterizzano la chimica della fascia riparia. Tali valori si trovano nel file Buf.edit e RTE.edit e sono riportati nella

tabella 4.2. Ogni parametro è stato aumentato del 100% rispetto al proprio valore di default che corrisponde al “caso base”.

Si riportano di seguito le variazioni superiori all'1% rispetto sia ad un aumento del carico di azoto nitrico (Tab. 4.4) sia ad una sua diminuzione (Tab. 4.5).

<i>PARAMETRO DEL MODELLO</i>	<i>DEF. VAL.</i>	<i>VAR. %</i>	<i>VAR</i>
<b>LITTER GENERAL</b> pH NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	4,3%	0,109
<b>SOIL NITROGEN (L1)</b> slow NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	2,0%	0,107
<b>SOIL NITROGEN (L1)</b> active NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	1,8%	0,107
<b>C release rate factor (SOIL L1)</b> humus slow NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	1,4%	0,106
<b>C release rate factor (LITTER)</b> humus active NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	1,2%	0,106
<b>C release rate factor (SOIL L1)</b> humus active NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	1,2%	0,106
<b>C release rate factor (LITTER)</b> residue metabolic NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	1,0%	0,106

Tab. 4.4 - Risposta della variabile CARICO SUBSUPERFICIALE DI NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in aumento rispetto al “caso base”.

<i>PARAMETRO DEL MODELLO</i>	<i>DEF. VAL.</i>	<i>VAR. %</i>	<i>VAR</i>
<b>LITTER GENERAL</b> costant b NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	-6,3%	0,098
<b>WEATHER AND TEMP</b> base soil temperature NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	-3,2%	0,101
<b>K Denitrification (SOIL L1)</b> k NSubDisNO3(kg/ha)	0,105	-1,3%	0,103

Tab. 4.5 - Risposta della variabile CARICO SUBSUPERFICIALE DI NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in diminuzione rispetto al “caso base”.

#### *SENSIBILITA' DEL CARICO SUBSUPERFICIALE DI NO<sub>3</sub><sup>-</sup> A VARIAZIONI DEL -100% DEI PARAMETRI DEL MODELLO*

Ogni parametro è stato diminuito del 100% rispetto al proprio valore di default che corrisponde al “caso base”.

Si riportano di seguito le variazioni superiori all'1% rispetto sia ad un aumento del carico di azoto nitrico (Tab. 4.6) sia ad una sua diminuzione (Tab. 4.7).



<i>PARAMETRO DEL MODELLO</i>	<i>DEF. VAL.</i>	<i>VAR. %</i>	<i>VAR</i>
<b>LITTER GENERALpH NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,109	3,7%	0,105
<b>WEATHER AND TEMPbase soil temperature NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,107	2,0%	0,105
<b>LITTER CARBONstructural NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,106	1,0%	0,105

Tab. 4.6 - Risposta della variabile CARICO SUBSUPERFICIALE DI NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in aumento rispetto al “caso base”.

<i>PARAMETRO DEL MODELLO</i>	<i>DEF. VAL.</i>	<i>VAR. %</i>	<i>VAR</i>
<b>C release rate factor (LITTER)humus active NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,101	-3,4%	0,105
<b>C release rate factor (SOIL L1)humus active NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,101	-3,1%	0,105
<b>C release rate factor (LITTER)residue metabolic NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,102	-2,5%	0,105
<b>SOIL NITROGEN (L1)active NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,102	-2,2%	0,105
<b>SOIL NITROGEN (L1)slow NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,103	-1,6%	0,105
<b>C release rate factor (SOIL L1)residue metabolic NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,103	-1,4%	0,105
<b>C release rate factor (SOIL L1)humus slow NSubDisNO3(kg/ha)</b>	0,103	-1,1%	0,105

Tab. 4.7 - Risposta della variabile CARICO SUBSUPERFICIALE DI NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in diminuzione rispetto al “caso base”.

#### *SENSIBILITA' DELLE CONCENTRAZIONI IN FALDA DI NO<sub>3</sub><sup>-</sup> A VARIAZIONI DEL +100% DEI PARAMETRI DEL MODELLO*

Ogni parametro è stato aumentato del 100% rispetto al proprio valore di default che corrisponde al “caso base”.

Si riportano di seguito le variazioni superiori all'1% rispetto sia ad un aumento della concentrazione di azoto nitrico (Tab. 4.8) sia ad una sua diminuzione (Tab. 4.9).

<i>PARAMETRO DEL MODELLO</i>	<i>DEF. VAL.</i>	<i>VAR. %</i>	<i>VAR</i>
<b>LITTER GENERALpH NitrateCon(mg/l)</b>	56,308	1,2%	56,975

Tab. 4.8 - Risposta della variabile CONCENTRAZIONI IN FALDA DI  $\text{NO}_3^-$  in aumento rispetto al “caso base”.

<i>PARAMETRO DEL MODELLO</i>	<i>DEF. VAL.</i>	<i>VAR. %</i>	<i>VAR</i>
<b>WEATHER AND TEMPbase soil temperature NitrateCon(mg/l)</b>	56,308	-10,1%	51,150

Tab. 4.9 - Risposta della variabile CONCENTRAZIONI IN FALDA DI  $\text{NO}_3^-$  in diminuzione rispetto al “caso base”.

#### *SENSIBILITA' DELLE CONCENTRAZIONI IN FALDA DI $\text{NO}_3^-$ A VARIAZIONI DEL -100% DEI PARAMETRI DEL MODELLO*

Ogni parametro è stato diminuito del 100% rispetto al proprio valore di default che corrisponde al “caso base”.

Si riportano di seguito le variazioni superiori all'1% rispetto sia ad un aumento della concentrazione di azoto nitrico (Tab. 4.10) sia ad una sua diminuzione (Tab. 4.11).

<i>PARAMETRO DEL MODELLO</i>	<i>DEF. VAL.</i>	<i>VAR. %</i>	<i>VAR</i>
<b>WEATHER AND TEMPbase soil temperature NitrateCon(mg/l)</b>	59,819	5,9%	56,308
<b>LITTER GENERALpH NitrateCon(mg/l)</b>	56,965	1,2%	56,308

Tab. 4.10 - Risposta della variabile CONCENTRAZIONI IN FALDA DI  $\text{NO}_3^-$  in aumento rispetto al “caso base”.

PARAMETRO DEL MODELLO	DEF. VAL.	VAR. %	VAR
<b>C release rate factor (LITTER)residue metabolic NitrateCon(mg/l)</b>	55,69	-1,1%	56,31
<b>C release rate factor (SOIL L1)humus active NitrateCon(mg/l)</b>	55,71	-1,1%	56,31
<b>C release rate factor (LITTER)humus active NitrateCon(mg/l)</b>	55,74	-1,0%	56,31

Tab. 4.11 - Risposta della variabile CONCENTRAZIONI IN FALDA DI NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in aumento rispetto al “caso base”.

## 4.2 Sensibilita' rispetto agli input

Trattandosi di relazionare le variazioni delle serie storiche di 4 anni (degli input rispetto agli output) i risultati vengono riportati tramite dei grafici che mostrano le variazioni del carico di azoto subsuperficiale (kg/ha) in uscita dalla zona 3 e dalla zona 2.

La sensibilità è testata in base ad una diminuzione dell'input del 99% (\*0.01) e a un aumento dell'input

## 5. PARAMETRI STATISTICI UTILIZZATI PER DESCRIVERE I RISULTATI

In questo paragrafo si mettono in evidenza gli indici statistici (Nash and Sutcliffe, 1970; Legates and McCabe, 1999) usati in questo studio:

L'Errore Assoluto Medio (ABSerr) (1)

Il Coefficient di Determinazione (R<sup>2</sup>) (2)

Il Coefficiente di *Nash-Sutcliffe* (E<sub>NS</sub>) (3)

le cui espressioni matematiche sono:

$$ABSerr = \frac{\sum_{i=1}^n |Qsim_i - Qobs_i|}{n} \cdot \frac{1}{Qobs} \quad (1) \quad ABSerr$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs})(Qsim_i - \overline{Qsim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Qsim_i - \overline{Qsim})^2}} \quad (2) \quad 0 \leq R^2 \leq 1$$

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - Qsim_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs})^2} \quad (3) \quad -\infty \leq E_{ns} \leq 1$$

Dove:

$Q_{sim,i}$  è il valore simulato giornaliero,  $Q_{obs,i}$  è quella osservato,  $Q_{sim}$  è la media dei valori simulati,  $Q_{obs}$  è la media di quelli osservati,  $n$  è il numero di osservazioni.

$ABSerr$  (1) specifica la differenza media in valore assoluto di ciascun valore simulato rispetto a quello osservato. Se il suo valore è 0 vuol dire che i due valori coincidono.

Il Coefficiente di Determinazione ( $R^2$ ) (2) è utilizzato per quantificare la distanza tra un'associazione lineare e la relazione che esiste tra i valori simulati ed osservati. Questo indice permette di valutare la bontà del modello, più è vicino ad 1, più le performance modellistiche sono buone.

Il Coefficiente di Nash-Sutcliffe index ( $E_{NS}$ ) (3) è anche chiamato indice di efficienza modellistica. Valori ottimali di  $E_{NS}$  si avvicinano a 1. In passato il coefficiente di determinazione fu spesso usato per valutare i risultati delle simulazioni comunque in ASCE, 1993 l'indice di Nash-Sutcliffe viene definito quello maggiormente significativo. In questa analisi non discuteremo entrambi questi coefficienti.

## 6. CALIBRAZIONE IDROLOGICA

Dal punto di vista idrologico il modello è stato calibrato dal 19 ottobre 2007 al 20 gennaio 2009.

Di seguito si espongono i risultati per la calibrazione idrologica del sito Bedollo.

Possiamo notare in figura 6.1 che a scala mensile il modello ha permesso una buona aderenza dei risultati rispetto alla soggiacenza osservata. Solo in periodo dell'estate 2008 osserviamo una minor capacità di simulazione del modello.

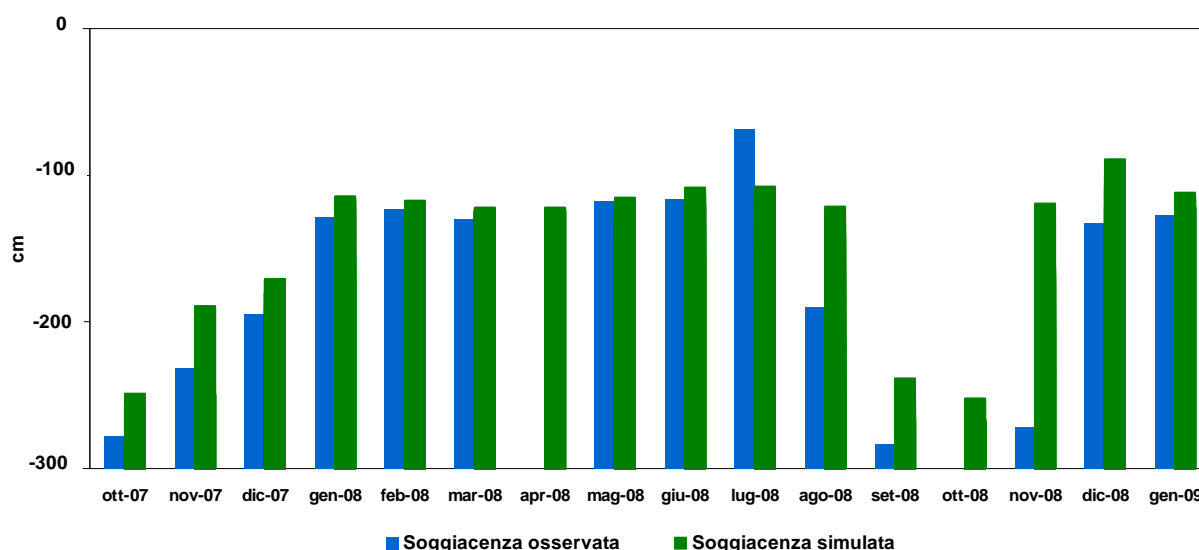


Fig. 6.1 – Confronto tra la soggiacenza simulata con REMM e le misure sperimentali a scala mensile

Nella tabella 6.1 vengono visualizzati gli indici statistici che evidenziano con  $R^2 = 0,79$  la capacità del modello a simulare il processo, seppur il coefficiente di Nash-Sutcliffe  $ENS = 0,51$  mostra un'efficienza non del tutto soddisfacente.

A fronte di un ridotto errore assoluto comunque il coefficiente dell'equazione di regressione mostra una generale sovrastima delle simulazioni rispetto ai valori osservati.

<b>Indice statistico</b>	<b>Valore</b>
<b>Ens</b>	<b>0.51</b>
<b>R2</b>	<b>0.79</b>
<b>Pendenza</b>	<b><math>y = 0.82x - 13.5</math></b>
<b>ABSerr</b>	<b>11.11%</b>

Tab. 6.1 - Indici statistici per la calibrazione idrologica a scala mensile

Questi risultati vengono riassunti nello scatter-plot di figura 6.2.

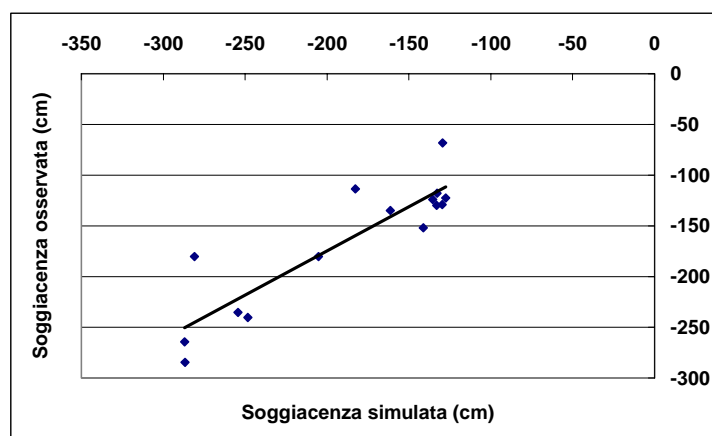


Figura 6.2 Scatter-plot per la calibrazione idrologica a scala mensile

A una scala di maggior dettaglio (giornaliera) notiamo invece che il modello non ha una scarsa aderenza con la curva della soggiacenza osservata proprio nell'estate 2008 (Fig.6.3).

Questo potrebbe essere dovuto alla sua incapacità di simulare l'evapotraspirazione dalla vegetazione della fascia riparia. O forse vi è la necessità di un periodo osservazione e pertanto di simulazione più lungo.

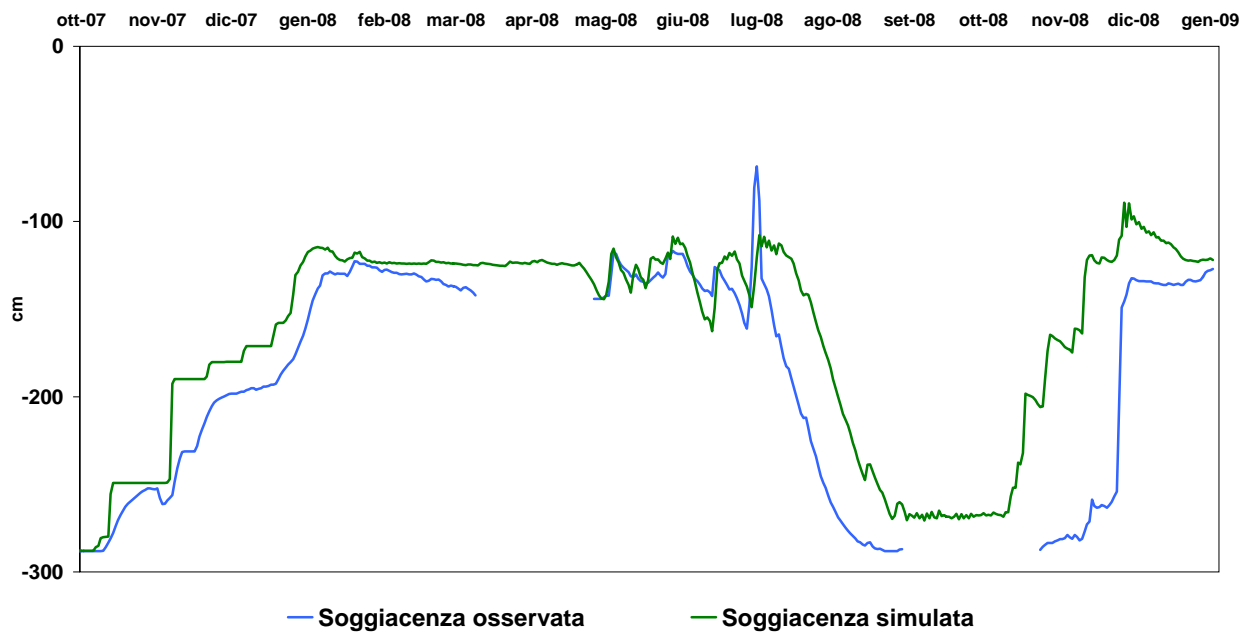


Fig. 6.3 – Confronto tra soggiacenza osservata e simulata con REMM a scala giornaliera

Lo scatter-plot difatti mostra un andamento anomalo con presenza di errori sistematici come sopra evidenziato (Fig. 6.4).

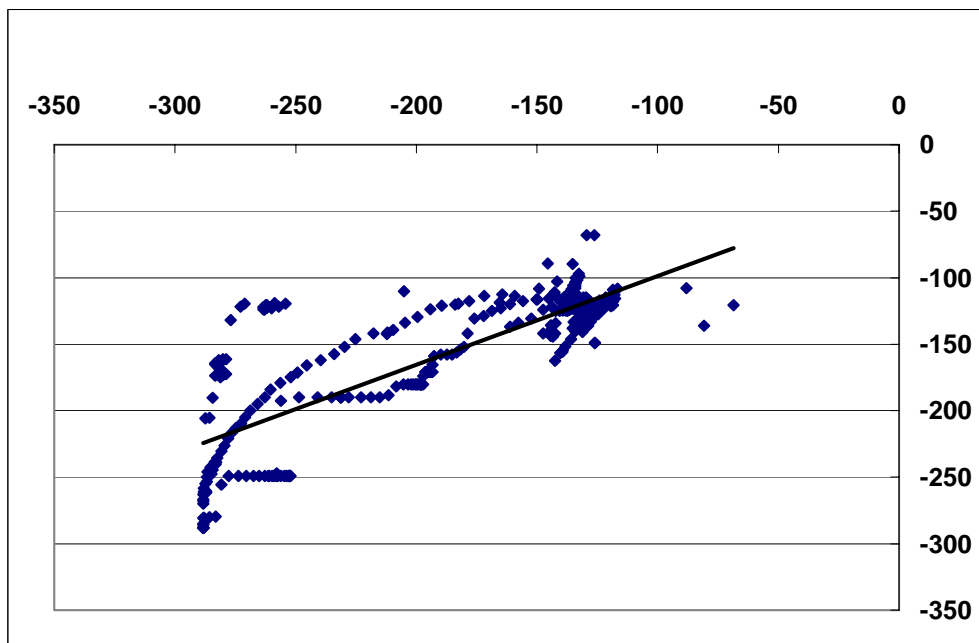


Fig. 6.4 - Scatter-plot per la calibrazione idrologica a scala giornaliera

Nella tabella 6.2 vengono visualizzati gli indici statistici che evidenziano con  $R^2 = 0,66$  ridotto una minore capacità del modello a simulare il processo rispetto alla scala mensile con un coefficiente di Nash-Sutcliffe  $E_{NS} = 0,44$  del tutto insoddisfacente.

A fronte di un ridotto errore assoluto comunque il coefficiente dell'equazione di regressione mostra una generale sovrastima delle simulazioni rispetto ai valori osservati come evidenziato in precedenza.

<b>Indice statistico</b>	<b>Valore</b>
<b>Ens</b>	<b>0.44</b>
<b><math>R^2</math></b>	<b>0.66</b>
<b>Pendenza</b>	<b><math>y = 0.72x - 29.8</math></b>
<b>ABSerr</b>	<b>16.70%</b>

Tab. 6.2 - Indici statistici per la calibrazione idrologica a scala giornaliera

## 7. CALIBRAZIONE DELLE TRAFORMAZIONI DELL'AZOTO

Considerando che i risultati per l'idrologia sono stati giudicati soddisfacenti solo a scala mensile, si è deciso, per questo rapporto, di evidenziare le simulazioni effettuate per la chimica alla stessa scala di dettaglio.

Innanzitutto si è provveduto ad utilizzare tutti i parametri di default contenuti nel modello che corrispondono a quelli calibrati per la fattoria di Gibbs. In questo modo è possibile avere un termine di confronto rispetto al quale valutare i risultati ottenuti sulla base delle caratteristiche fisiche reali nel sito analizzato in questo lavoro.

In tabella 7.1 vengono riassunti i risultati ottenuti con questa duplice implementazione del modello REMM.

SIMULAZIONE CON I PARAMETRI SPERIMENTALI DI:				
	SITO BEDOLLO		FATTORIA DI GIBBS	
	Nitrato(mg/l)	Percentuale di abbattimento	Nitrato(mg/l)	Percentuale di abbattimento
Concentrazioni di INPUT	27.14		1.63	
Simulazione dopo la ZONA 3	4.67	83%	0.71	56%
Simulazione dopo la ZONA 2	0.90	14%	0.19	32%
Simulazione dopo la ZONA 1	0.04	3%	0.03	10%
	Ammoniaca (mg/l) Percentuale di abbattimento			
Concentrazioni di INPUT	0.042		0.16	
Simulazione dopo la ZONA 3	0.002	94%	0.00	99%
Simulazione dopo la ZONA 2	0.000	5%	0.00	1%
Simulazione dopo la ZONA 1	0.001	0%	0.00	0%

Tab. 7.1- Tabella riassuntiva dei risultati prodotti utilizzando le caratteristiche fisiche di default del modello e quelle reali (sperimentali)

Notiamo innanzitutto che la concentrazione di Nitrato presente nella falda a monte della fascia riparia (ossia il campo agricolo) del sito Bedollo (27,14 mg/l) è oltre 10 volte superiore a quella presente

nel caso di studio di GIBS (1,63 mg/l). questa osservazione è di particolare importanza perché le fasce riparie si trovano di fronte a una pressione decisamente differente. Per l'ammoniaca la situazione è ribaltata, ma entrambi i siti mostrano concentrazioni molto basse.

Notiamo che dopo la prima zona riparia (prato perenne) utilizza i parametri di default abbiamo un abbattimento del 56 %, mentre utilizzando i parametri del nostro sito tale abbattimento arriva addirittura al 83%. Percentuali decrescenti invece si notano nelle zone successive in entrambi i casi.

Per l'ammoniaca con entrambi i set di parametri abbiamo abbattimenti pressoché totali nella prima fascia.

Nel grafico seguente a titolo di esempio si mostra la calibrazione mensile del nitrato per il sito Bedollo (Fig. 7.1).

Possiamo notare da un lato l'abbattimento evidenziato dal punto di vista sperimentale lungo gli 8 m di fascia riparia (istogrammi). La linea rossa rappresenta l'abbattimento simulato dal modello, notiamo che l'ordine di grandezza degli abbattimenti è decisamente in linea con quanto osservato sperimentalmente.

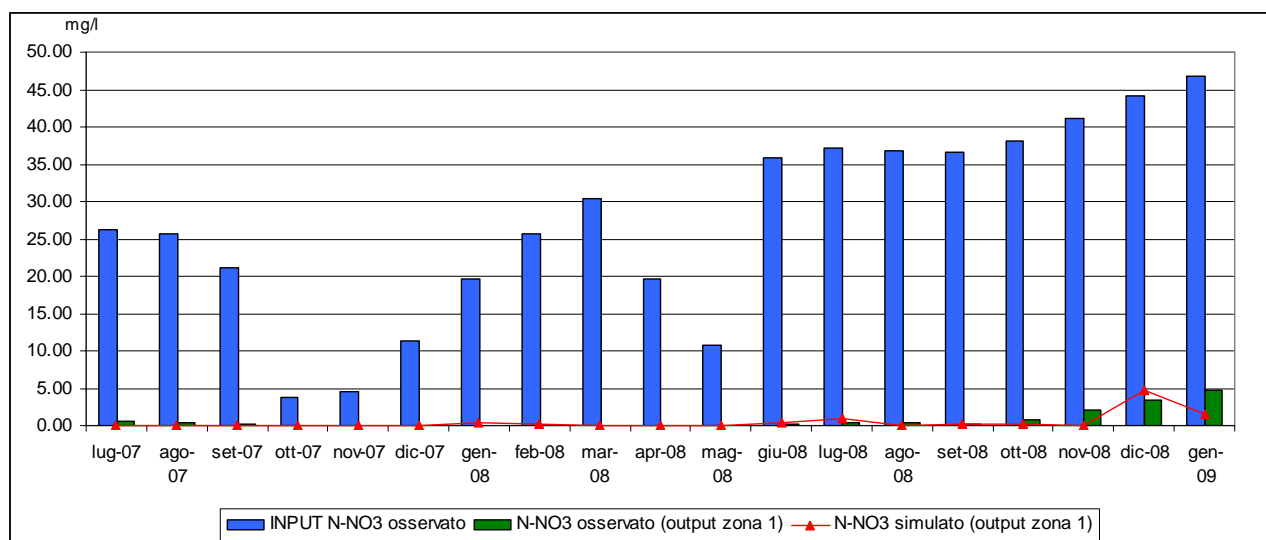


Fig. 7.1 – Concentrazioni di nitrato misurate in ingresso e in uscita dalla fascia riparia. Confronto con il nitrato in uscita simulato da REMM.

## 8. DISCUSSIONE SUI RISULTATI E SULLE POTENZIALITÀ DEL MODELLO REMM

Come è stato evidenziato nell'introduzione di questa sezione il modello REMM rappresenta la principale iniziativa nel campo modellistico riguardante le fasce tampone, seppur il modello si trova ancora in una fase sperimentale evidenziata da un lato dalla mancanza di letteratura che mostri espliciti esempi applicativi ed esperienze ben documentate.

La nostra analisi ha permesso di evidenziare i risultati di questo approccio, ma anche le difficoltà. Infatti il modello presenta attualmente alcuni bachi e poche facilitazioni per l'inserimento di input ed output. Questi aspetti hanno reso un po' macchinose e lente le calibrazioni confinando a nostro avviso lo strumento ai centri di ricerca.

Da un punto di vista concettuale il modello non prevede invece la possibilità di inserire pratiche gestionali quali le irrigazioni, limitazione che comunque può essere superata con qualche



espediente modellistico. Inoltre il modello risulta essere un po' troppo sensibile alla profondità delle radici e in generale ai processi di evapotraspirazione che avvengono nella fascia riparia.

A fronte di questi problemi il modello ha dimostrato una certa capacità di simulazione con un time-step mensile sia per l'idrologia sia per la chimica. I risultati, seppur soddisfacenti, in generale non possono essere considerati conclusivi di un'analisi finalizzata a valutare lo strumento modellistico da un lato e la funzionalità della fascia tampone dall'altro. Comunque è possibile avanzare le seguenti conclusioni:

- le ridotte dimensioni della fascia riparia analizzata (8 m) confermano anche con l'applicazione del modello, la capacità di questi ecosistemi di ridurre la concentrazione di azoto proveniente da fonti diffuse agricole.
- Il modello conferma i risultati sperimentali che mostrano un abbattimento sostanziale che avviene nei primi metri di fascia riparia
- La capacità di del suolo analizzato sembra avere capacità di denitrificazione superiore a quella dei siti sperimentali americani dove il modello è stato costruito. Tale capacità potrebbe essere dovuta a un maggior contenuto di Azoto proveniente dal campo o a una maggiore concentrazione di Carbonio Organico del suolo.

-

Si conclude questa analisi evidenziando l'importanza della sperimentazione condotta all'interno del progetto RIMEDIA, in particolare se si considera la limitata ampiezza delle fasce riparie nel bacino delle Acque Basse Reggiane. La capacità di rimozione di queste fasce che abbiamo incominciato ad osservare sia con i dati sperimentali, sia con l'applicazione del modello, è un importantissimo risultato di questo progetto proprio per le ripercussioni gestionali che se ne potrebbero generare.

Pertanto riteniamo che questo sforzo di "ricerca gestionale" dovrebbe essere di sicuro proseguito nel prossimo futuro con la stessa intensità che ha caratterizzato questo progetto in modo da poter validare (procedura necessaria ai fini scientifici) i buoni risultati ottenuti.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

ASCE, 1993. Criteria for Evaluation of Watershed Models. Journal of Irrigation and Drainage Engineering (American Society of Civil Engineers Task Committee on Definition of Criteria for Evaluation of Watershed Models of the Watershed Management Committee) 119 (3): 429-442.

Legates, D., McCabe, G.J., 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Res. 35: 233-241.

Nash, J.E., Sutcliffe, J. 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles, J. of Hydrol. 10 (3): 282-290.

Parton, W.J., Schimel, D.S., Cole, C.V., Ojima, D.S., 1987. Analysis of factor controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. Soil Science Society of American Journal 51:1173-1179.