



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              | Modellazione quali e quantitativa dei canali di bonifica<br>(cod. 3)   |
| Prodotto              | (cod. 3/1)   |
| Elaborato             | Relazione finale (cod. 3/1/1R-A)   |
| Descrizione elaborato | Modellazione dei corpi idrici nello stato attuale e valutazione di scenari con l'introduzione di fasce tampone |
| Autori                | CNR IRSA   |
| Versione              | Finale   |
| Data                  | 30/04/2009   |





**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**

**Modellazione quali-quantitativa dei canali di  
bonifica**



**30/04/2009**



**AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO**  
PARMA

**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 :** Marzo/2007

**Fine Progetto:** Aprile /2009

**Elaborato a cura di:**

Marco Maglionico, Annalisa Ciccarello, Stefano Bianchi, Andrea Bolognesi

DISTART – Università degli Studi di Bologna

Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

**Responsabile scientifico:**

Marco Maglionico

DISTART – Università degli Studi di Bologna

E-mail: [marco.maglionico@unibo.it](mailto:marco.maglionico@unibo.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.



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO

PARMA

## INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO .....</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1 LA BONIFICA PARMIGIANA MOGLIA SECCHIA .....   | 3         |
| 2.2 FONTI DI APPROVVIGIONAMENTO IRRIGUO E SCOLO DELLE ACQUE .....   | 4         |
| 2.3 I MANUFATTI DEL SISTEMA .....   | 4         |
| 2.4 FUNZIONAMENTO DEI CANALI .....  | 6         |
| <b>3. SIMULAZIONE IDRAULICA DELLA RETE .....</b>  | <b>9</b>  |
| 3.1 MODELLAZIONE IDRAULICA DELLA RETE .....   | 9         |
| 3.2 CALIBRAZIONE DEL MODELLO .....  | 11        |
| 3.2.1 <i>Evento 1</i> .....   | 17        |
| 3.2.2 <i>Evento 2</i> .....   | 18        |
| 3.2.3 <i>Evento 3:</i> .....  | 19        |
| 3.2.4 <i>Studio della distribuzione della precipitazione dell'evento 3</i> .....  | 21        |
| <b>4. BILANCIO IDROLOGICO .....</b>   | <b>23</b> |
| 4.1 REDAZIONE DEL BILANCIO IDROLOGICO .....   | 23        |
| 4.1.1 <i>Valutazione del volume immesso nel sistema dal depuratore di Villa Seta</i> .....  | 24        |
| 4.1.2 <i>Valutazione del volume di pioggia che contribuisce al deflusso</i> .....   | 24        |
| 4.1.3 <i>Valutazione del volume evaporato dalla superficie liquida</i> .....  | 29        |
| 4.1.4 <i>Valutazione del volume infiltrato nel sottosuolo dalla superficie bagnata dei canali e contributo della falda ipodermica</i> ..... | 30        |
| 4.1.5 <i>Valutazione del volume prelevato a scopo irriguo</i> .....   | 32        |
| 4.1.6 <i>Valutazione del volume uscito dal sistema</i> .....  | 33        |
| 4.1.7 <i>Stima dei volumi entrati e usciti dal sistema mediante bilancio idrologico</i> .....   | 34        |
| <b>5. ANALISI DEI CARICHI INQUINANTI .....</b>  | <b>37</b> |
| 5.1 DATI SPERIMENTALI UTILIZZATI PER LA CALIBRAZIONE DI QUAL2E .....  | 37        |
| <b>6. SIMULAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE DELLA RETE DI BONIFICA .....</b>  | <b>38</b> |
| 6.1 IL MODELLO QUAL2E .....   | 38        |
| 6.1.1 <i>Struttura del modello</i> .....  | 39        |
| 6.1.2 <i>Dati in ingresso al modello</i> .....  | 40        |
| 6.1.3 <i>Sottomoduli</i> .....  | 40        |
| 6.1.4 <i>Modulo idraulico</i> .....   | 41        |
| 6.1.5 <i>Modulo biochimico</i> .....  | 41        |
| 6.1.6 <i>Fenomeno dell'advezione-dispersione</i> .....  | 41        |
| 6.1.7 <i>Processi fisici chimici e biologici dei vari costituenti e loro interazioni:</i> .....   | 42        |
| 6.1.8 <i>Modulo termico:</i> .....  | 46        |
| 6.1.9 <i>Il file di input</i> .....   | 46        |
| 6.1.10 <i>Il file di output</i> .....   | 61        |
| 6.2 RAPPRESENTAZIONE DELLA RETE .....   | 63        |
| 6.3 VALUTAZIONE DEGLI SCARICHI PUNTUALI IN QUAL2E .....   | 71        |
| 6.4 CALIBRAZIONE DEL MODELLO .....  | 73        |
| 6.4.1 <i>Periodo secco – Gennaio, febbraio, marzo</i> .....   | 77        |
| 6.4.2 <i>Periodo irriguo – Maggio, giugno, luglio</i> .....   | 79        |
| 6.5 APPLICAZIONE DEL MODELLO QUALITATIVO ALL'AREA VASTA .....   | 82        |
| 6.5.1 <i>Periodo secco – Gennaio, febbraio, marzo</i> .....   | 82        |
| 6.5.2 <i>Periodo irriguo – Maggio, giugno, luglio</i> .....   | 85        |
| <b>7. SIMULAZIONE QUALITATIVA CON LA PRESENZA DI FASCE TAMPONE .....</b>  | <b>88</b> |
| 7.1 CRITERI GUIDA PER LA PIANIFICAZIONE DELLE FASCE TAMPONE .....   | 88        |



**AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO**

PARMA

|       |   |            |
|-------|---|------------|
| 7.2   | SIMULAZIONE CON L'INSERIMENTO DELLE FASCE TAMPONE ..... | 90         |
| 7.2.1 | <i>Discussione dei risultati:</i> .....                 | 99         |
| 8.    | <b>CONCLUSIONI</b> .....                                | <b>112</b> |

## 1. INTRODUZIONE

L'obiettivo finale del progetto RIMEDIA è quello di valutare, mediante l'utilizzo di modelli di simulazione, l'efficacia dell'introduzione di "fasce tampone vegetate" nella rimozione dei nutrienti nei canali di bonifica.

La modellistica fluviale risulta pertanto essere uno strumento indispensabile per definire gli effettivi benefici che un intervento di questo tipo può produrre su un territorio vasto, permettendo anche di confrontare diversi scenari di intervento sul territorio.

A tale scopo è stato utilizzato il modello QUAL2E, sviluppato negli Stati Uniti dall'EPA, la cui attendibilità è riconosciuta a livello internazionale. Questo modello risulta piuttosto complesso e ricco di un numerosi parametri di calibrazione, ma essendo scritto in linguaggio FORTRAN permette numerosi vantaggi in termini di elasticità e di adattamento a differenti condizioni; una volta calibrato, è in grado di restituire i valori dei parametri di qualità in modo continuo su tutta l'asta fluviale, consentendo di sviluppare opportune considerazioni.

Fra i dati richiesti in ingresso dal programma di calcolo, al fine di descrivere il funzionamento idraulico di dettaglio della rete è stato necessario utilizzare un ulteriore software: SWMM, strumento molto diffuso per la simulazione idraulica, sviluppato sempre da EPA, modello di calcolo già utilizzato dal Consorzio di Bonifica Parmigiana Moglia-Secchia e con cui aveva già ricostruito l'intero reticolo idrografico.

Il modello QUAL2E è stato inizialmente applicato ad un bacino pilota situato in località Cadelbosco di Sotto, in Provincia di Reggio Emilia, il quale sottende una superficie complessiva pari a circa 2.100 ettari (21 km<sup>2</sup>); le attività antropiche presenti generano carichi inquinanti di origine sia puntale (scarichi civili ed industriali), sia diffusa (attività agricole e zootecniche) che vengono versati nella fitta rete di canali che caratterizza il territorio. La qualità delle acque dei canali di bonifica è influenzata principalmente dall'impatto del carico diffuso, la cui determinazione risulta peraltro molto complessa.

Una volta realizzato il modello matematico della rete, si è passati ad una fase di calibrazione dei parametri sulla base dei campionamenti eseguiti sulla rete e di valori individuati in letteratura. Grazie ai risultati ottenuti si è potuta verificare l'effettiva funzionalità ed attendibilità del modello creato.

I risultati ottenuti sono stati successivamente estesi all'intera area oggetto di studio (area vasta), costituita dal Bacino delle Acque Basse Reggiane ovvero dall'insieme dei bacini di pianura per i quali il ricettore finale è il Canale delle Acque Basse Reggiane. La sua estensione è pari a circa 14.100 ettari (141 km<sup>2</sup>) e comprende l'intera area campione precedentemente descritta. Al termine di questa fase è stato quindi ottenuto un modello in grado di descrivere le dinamiche della rete drenante studiata.

Il passo successivo è stato quello di inserire le fasce tampone, cercando di individuare i canali lungo i quali la presenza di un intervento di questo tipo possa produrre benefici significativi, in termini di abbattimento dei nutrienti.

Giudicare l'efficacia delle fasce tampone risulta essere abbastanza difficoltoso in quanto dipende dalla modalità di circolazione dell'acqua nel suolo, e di conseguenza dalla sua porosità e dal suo grado di imbibizione, ed è funzione anche del tipo e dell'inclinazione del terreno, del tipo di copertura vegetale, delle operazioni colturali, dell'intensità delle precipitazioni, del tempo intercorso tra trattamenti e precipitazioni.

Nei capitoli successivi la trattazione seguirà il percorso effettuato per giungere alla realizzazione e all'applicazione dei modelli numerici, partendo dalla struttura reale del reticolo idrografico, individuando i carichi inquinanti, descrivendo prima il funzionamento idraulico e successivamente gli aspetti di qualità delle acque.



## **2. INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO**

### **2.1 La bonifica Parmigiana Moglia Secchia**

Il consorzio Bonifica Parmigiana Moglia Secchia si estende per circa 90.000 ettari nella pianura padana e Il territorio consorziale è delimitato a Nord dal Cavo Parmigiana Moglia, ad Est dal fiume Secchia, a Sud dalle colline e ad Ovest dal torrente Crostolo, estendendosi, con il Canale Derivatore, fino a Boretto.

Il complesso della bonifica è in sé imponente per rete di canalizzazione e per impianti di sollevamento, smistamento, depurazione, controllo; si può contare su circa 1000 km di canali irrigui, 411 km di canali promiscui e su 5000 manufatti di regolazione.

La dotazione irrigua al servizio degli agricoltori viene derivata principalmente dal Po, mediante il già citato impianto di Boretto, dove 28 elettropompe sono in grado di derivare una portata di 70 m<sup>3</sup>/s, per un volume annuo di circa 150 milioni di m<sup>3</sup>. Tale volume viene poi integrato anche dai campi pozzi di Arceto e Salvaterra e dal fiume Secchia, affluente in destra idraulica del fiume Po. Grazie al Canale di Secchia (in sponda reggiana) si riesce a derivare circa 20 milioni di m<sup>3</sup> annui, tenuto conto che la traversa permette un sostentamento del tirante idrico di monte anche durante i periodi di magra e che quindi la portata derivata è costante (nei limiti di disponibilità idrica).

Come per ogni comprensorio di bonifica idraulica, la grande rete di canalizzazione è divisa in tre parti: acque alte, acque intermedie ed acque basse. I canali rientrano in una delle tre tipologie a seconda della topografia del luogo e dell'idrometria del corpo idrico ricettore in cui si scola.

Le acque alte sono facilmente distinguibili perché caratterizzate da arginature pensili. Per evitare che i cavi che trasportano acque provenienti dai territori più alti invadano i territori più bassi, è necessaria la separazione delle acque alte da quelle basse.

Le acque alte scorrono in zone superiori alla quota di 25 metri sul livello del mare e si trovano nella parte meridionale del comprensorio. Queste acque vengono convogliate, attraverso i Cavi Bondeno, Linarola, Naviglio, Tresinaro e Lama, in un unico collettore, chiamato Cavo Parmigiana Moglia o cavo Fiuma.

Le acque basse invece scorrono al di sotto di tale quota (25 m s.l.m.) nella parte settentrionale e sono immediatamente riconoscibili per l'assenza di argini. Nei punti di incrocio fra canali di acque alte e canali di acque basse, queste ultime passano al di sotto delle prime tramite strutture dette "botti". Le acque basse quindi confluiscono in due canali di scolo principali: il Collettore Acque Basse Reggiane e il Collettore Acque Basse Modenesi. Questi si riuniscono poi in un Canale Emissario che sottopassa il Cavo Parmigiana-Moglia alla botte S.Prospiero e convoglia le acque basse al Secchia presso l'impianto idrovoro di S. Siro.

## 2.2 Fonti di approvvigionamento irriguo e scolo delle acque

La bonifica fu progettata per poter allontanare le acque di scolo superficiale e le acque di falda freatica indesiderate, che “affogano” gli apparati radicali delle coltivazioni, ma allo stesso tempo garantire l’approvvigionamento irriguo durante il periodo che dura da aprile a settembre. Questo significa che in canali praticamente a pendenza bassissima scorre una certa corrente avente verso determinato durante la stagione scolante, mentre durante la stagione irrigua può accadere che scorra una corrente con verso opposto e con portate assai diverse. Il funzionamento del sistema, e di conseguenza quello dei manufatti ed impianti idrovori, viene ad essere funzione del periodo dell’anno in cui ci si trova ovvero se stiamo allontanando acque malsane oppure se stiamo immettendo acque derivate da corsi d’acqua per uso irriguo.

Le principali fonti di approvvigionamento del Consorzio sono:

- gli *impianti sul fiume Po* a Boretto che garantiscono l’approvvigionamento del 77,6% delle risorse idriche annue mediamente prelevate (circa 114.000.000 m<sup>3</sup>);
- la *traversa di Castellarano - S. Michele* sul fiume Secchia che garantisce il prelievo di un volume pari al 22,1% del volume medio annuo derivato dal Consorzio (circa 32.500.000 m<sup>3</sup>);
- alcuni *pozzi nell’alta pianura reggiana* – zona pedemontana che costituiscono fonti di emungimento in falda utilizzati per ovviare a situazioni di crisi localizzata ( ma in totale rappresenta lo 0,3% del volume medio annuo complessivamente derivato, pari a circa 370.000 m<sup>3</sup>).

Il volume medio annuo complessivamente prelevato dal Consorzio BPMS ammonta quindi a 146.870.000 m<sup>3</sup>.

Come precedentemente detto di acque alte e di acque basse sono idraulicamente e fisicamente disconnessi tra loro e le acque di scolo che raccolgono vengono riversate nel ricettore Secchia seguendo due percorsi differenti:

- le *acque basse* vengono sollevate meccanicamente con l’impianto di S.Siro (comune di S.Benedetto Po – MN) in grado di smaltire ben 80 m<sup>3</sup>/s di acqua con una prevalenza di 7,5 m, e quindi scolate nel fiume Secchia;
- le *acque alte* vengono scolate a gravità direttamente in Secchia tramite la Chiavica di Bondanello oppure meccanicamente tramite l’impianto di Mondine in grado di smaltire 50 m<sup>3</sup>/s di acqua con una prevalenza di 7,5 m.

## 2.3 I manufatti del sistema

Il sistema di bonifica esistente non sarebbe di certo gestibile senza l’ausilio di opere d’arte, manufatti e costruzioni atte a salvaguardare e presidiare la sicurezza dei terreni di pianura e a gestire in modo ottimale la rete di bonifica.

Di seguito verranno presentate le categorie di manufatti che maggiormente vengono utilizzati all’interno della rete di bonifica al fine di permettere una maggiore comprensione del funzionamento del sistema all’interno del comprensorio.

Chiaviche: sono sostanzialmente opere costituite da paratoie automatiche (porte Vinciane) ovvero a comando manuale, che servono per sbarrare il corso d'acqua o per acquisire o svasare portate da un canale; vengono poste laddove ci sia necessità di disconnettere tratti di canale l'un l'altro e sono posizionate quasi sempre in prossimità di prese, confluenze, impianti idrovori.

Botti: sono dei manufatti mediante i quali i canali delle acque basse sottopassano quelli delle acque alte, poiché tra loro il dislivello è così elevato che non è possibile intersezione diretta tra i due canali;

Casse di espansione: sono vasche di grandi dimensioni e che hanno lo scopo di invasare temporaneamente il volume che durante un evento di piena non può essere scolato direttamente dall'impianto idrovoro in quanto supera la portata che le pompe riescono a smaltire;

Impianti idrovori: si tratta di impianti che servono sia nello scolo delle acque dai collettori, sollevandole in maniera tale da poter essere scaricate nel ricettore, ma anche fornire energia alle acque irrigue che dalla presa (ad una quota più bassa) vengono trasportate in tutta la pianura (quota più alta). Il comprensorio di Bonifica Parmigiana Moglia – Secchia annovera 47 impianti di sollevamento, di cui 46 funzionanti ed uno in disuso (impianto di Ca' Rossa). Essi rappresentano di gran lunga l'opera più importante di cui il sistema di bonifica è caratterizzato. Nella figura sottostante vengono collocati sul territorio le casse di espansione e gli impianti idrovori presenti nell'area oggetto di studio.

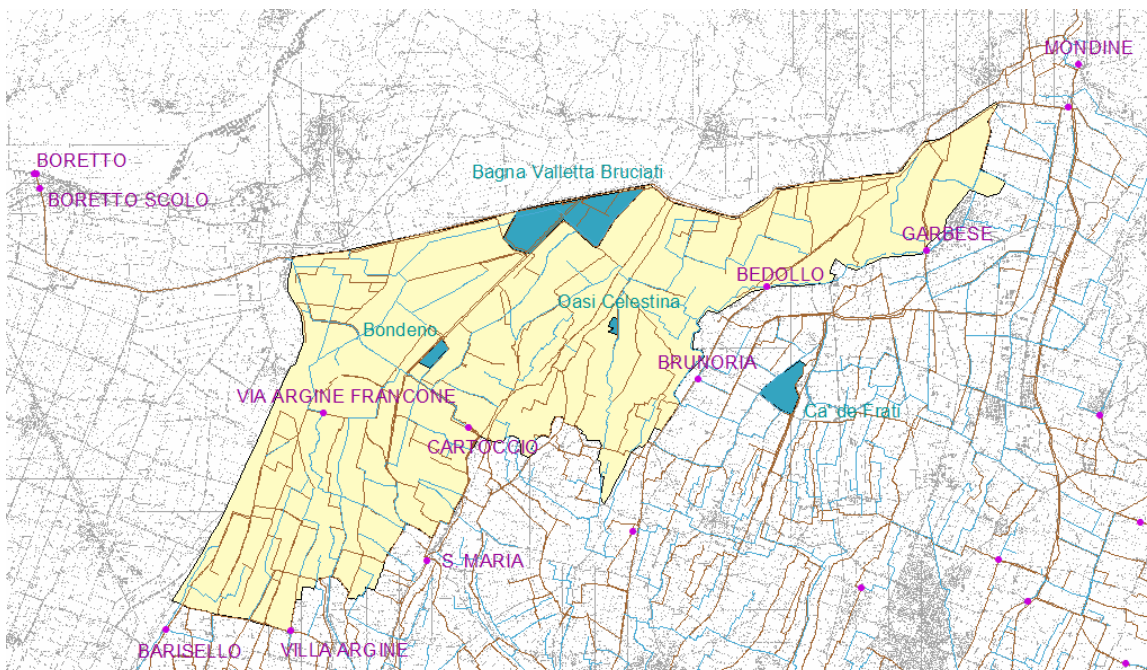


Fig. 2.1 – La zona evidenziata in giallo coincide con l'area oggetto di studio. In azzurro sono riportate le casse di espansione, mentre in viola gli impianti idrovori che sono coinvolti nel funzionamento di questa porzione del comprensorio.

## 2.4 Funzionamento dei canali

Nei precedenti paragrafi sono stati presentati gli elementi che caratterizzano il sistema di bonifica Parmigiana-Moglia-Secchia: acque alte e basse, punti di prelievo e di scolo, manufatti e aspetti geografici; si passa ora a descrivere il funzionamento della rete di canalizzazione.

Sono individuabili due scenari di funzionamento predominanti:

- il primo può essere associato alla stagione invernale durante la quale non sussiste la richiesta di acqua da parte della numerose attività agricole presenti nell'area e nel corso della quale sono invece frequenti eventi meteorici; in questo caso l'obiettivo da soddisfare sarà quello di allontanare le acque in eccesso presenti sul territorio;
- il secondo può essere invece accostato al periodo che intercorre tra Aprile e Settembre durante il quale è forte la richiesta di acqua da parte delle aziende agricole a fini irrigui, mentre scarseggiano gli eventi meteorici se non in corrispondenza di precipitazioni intense, ma di brevissima durata; in questo caso risulta necessario far pervenire la risorsa alle attività idroesigenti, reperendola dalle diverse fonti e invasandola nei canali.

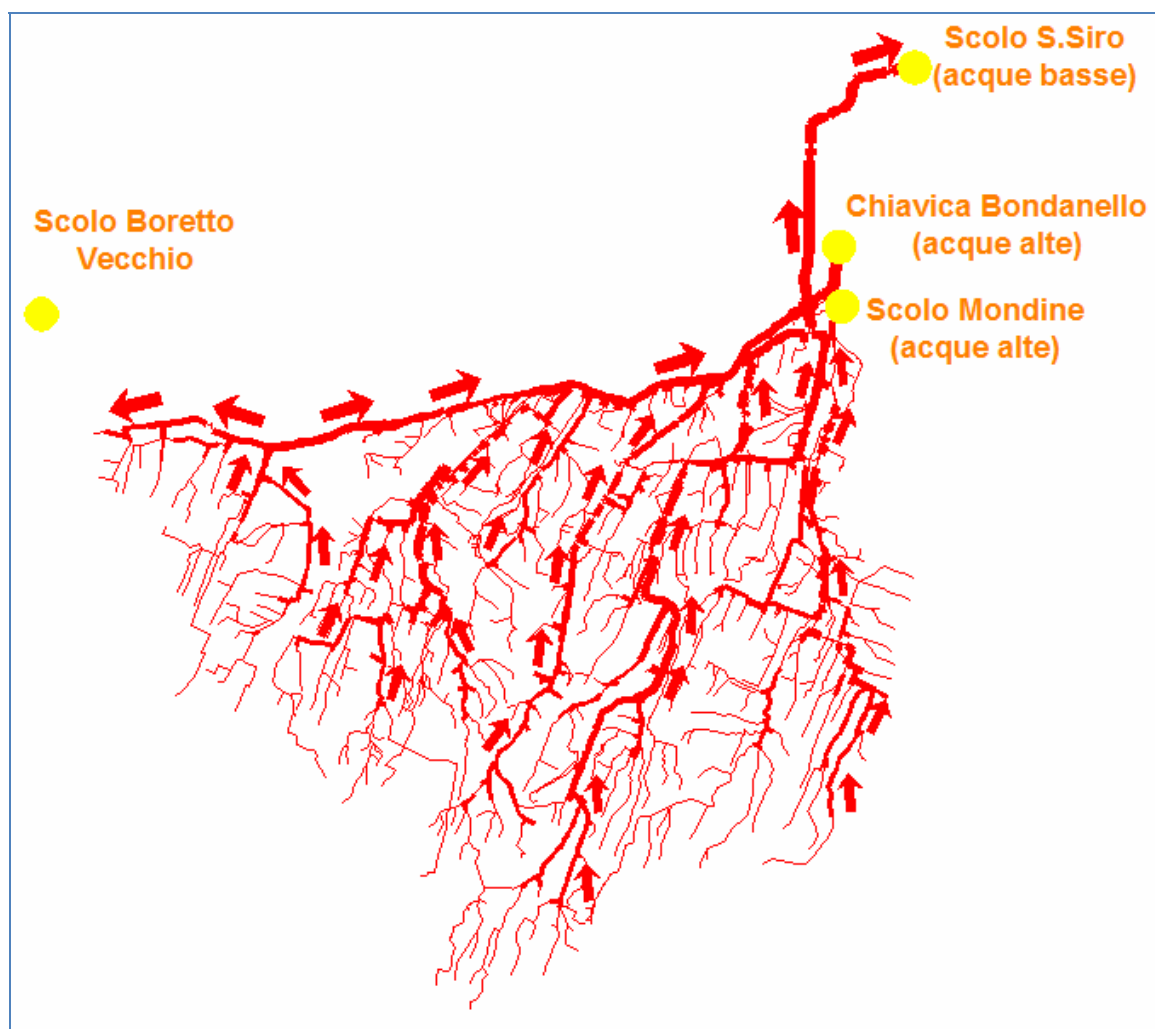


Fig. 2.2 - Verso dell'acqua durante la stagione di scolo nei canali principali. L'immagine deriva da una simulazione durante un evento di pioggia sul comprensorio. A spessore maggiore corrisponde una portata maggiore.



Fig. 2.5 - Verso della portata nei canali principali durante la stagione irrigua. Come si può osservare i canali con spessore di linea più accentuata rappresentano quelli con portate maggiori. Man mano che le portate irrigue risalgono verso monte, si esauriscono perché sollevate dalle singole pompe dei consorziati e perché vengono distribuite capillarmente in destra ed in sinistra nei collettori secondari.

### 3. SIMULAZIONE IDRAULICA DELLA RETE

#### 3.1 Modellazione idraulica della rete

Al fine di poter giungere ad uno studio di carattere qualitativo delle acque, si è quindi resa necessaria un'analisi preliminare del comportamento idraulico della rete. L'obiettivo principe prefissato è stato quello di ottenere una scala di deflusso riferita ad ogni singolo canale considerato nella simulazione, in modo da individuare empiricamente i coefficienti  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $a$ ,  $b$  che legano la portata presente in alveo  $Q$  ( $m^3/s$ ) alla velocità ( $m/s$ ) e all'altezza d'acqua ( $m$ ):

- $u = a \cdot Q^b$       velocità media della corrente
- $d = \alpha \cdot Q^\beta$       profondità dell'alveo
- $A_x = Q/u$       sezione trasversale dell'alveo

Il codice di calcolo adottato per la simulazione è stato SWMM 5 (Storm Water Management Model) sviluppato dall'US-EPA. Si tratta di uno strumento freeware ormai molto diffuso in tutto il mondo per pianificare, analizzare e progettare sistemi di fognature meteoriche, nere e miste e già adottato all'interno del Consorzio di Bonifica.

La sezione Runoff di SWMM opera con un insieme di sottobacini che ricevono le precipitazioni e genera il deflusso superficiale e i carichi inquinanti. La sezione Routing di SWMM trasporta il deflusso attraverso un sistema di condotti, canali, organi di accumulo e trattamento, pompe e regolatori. SWMM calcola gli aspetti quantitativi e qualitativi del deflusso generato all'interno di ogni sottobacino, e i valori di portate, livelli e concentrazioni in ogni condotto e canale durante il periodo di simulazione, suddiviso in passi temporali.

L'attività di analisi delle caratteristiche geometriche e idrologiche dei canali e delle aree afferenti al bacino è stata svolta dal Consorzio di Bonifica che ha prodotto una rappresentazione in SWMM di tutto il comprensorio, completo di organi idraulici, curve di funzionamento degli impianti e casse di espansione. Il risultato è stato un modello costituito da 4989 rami e 4877 nodi. Benché si tratti di una schematizzazione imponente, come si può osservare dalla figura sottostante, è stata rappresentata la sola rete promiscua, mentre non viene simulata la rete di canali arginati dedicati esclusivamente al servizio irriguo.

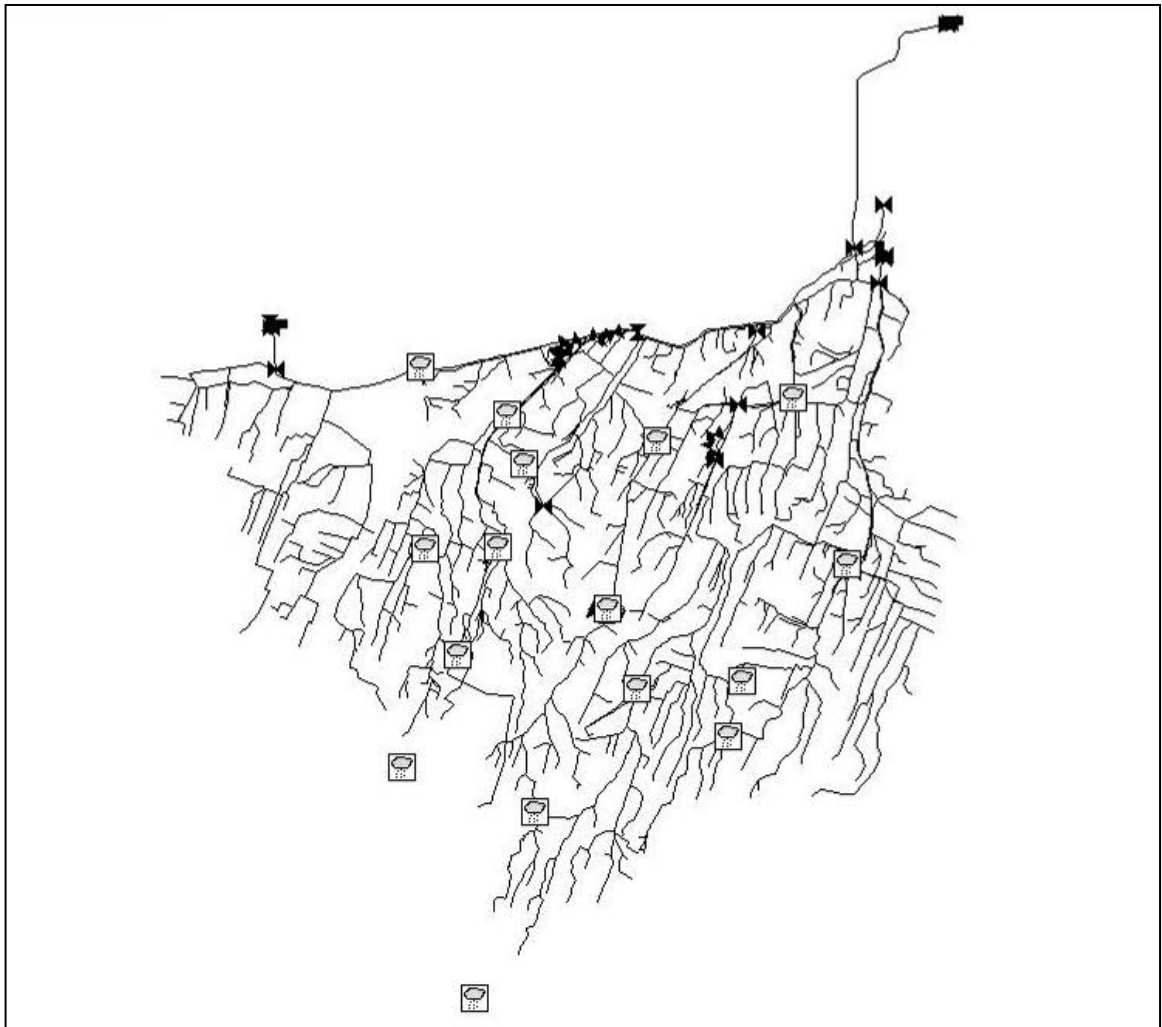


Fig. 3.1 – Struttura riprodotta in SWMM della rete di bonifica.



### **3.2 Calibrazione del modello**

Si è proceduto quindi alla calibrazione del modello idraulico utilizzando dati reali ottenuti da misurazioni dirette o dalla banca dati del consorzio di bonifica stesso.

I dati principalmente necessari in questa fase sono quelli relativi alle precipitazioni che sono stati ottenuti accedendo al database dei dati storici consultabili dal sito del consorzio di bonifica ([www.telecontrollo.bpms.re.it](http://www.telecontrollo.bpms.re.it)). Gli strumenti complessivamente disponibili sono 19 (Villa Argine, Bentivoglio, Cartoccio, Ponte Pietra, Correggio, Masone, Pratazzola, Gargallo, Sirona, Santa Maria, Le Rotte, Reggio Emilia, Brunoria, S. Martino, Panzano, Jano, Castellarano, Castelnovo e Busana) dei quali però gli ultimi tre non sono significativi per la rete simulata in quanto molto distanti dalla rete simulata.

Al fine di associare ad ogni ramo della rete un relativo dato di pioggia si è fatto ricorso all'utilizzo di un software GIS, in particolare è stato utilizzato ArcView 3.2. Nel caso in esame sono stati collocati, mediante coordinate geografiche i pluviometri sul territorio, e mediante il metodo dei poligoni di Thiessen sono state individuate le aree afferenti corrispondenti. Sovrapponendo poi le zone individuate con la rete implementata in SWMM è stato possibile attribuire ad ogni ramo e nodo il più vicino pluviometro, nell'ipotesi che il valore misurato in modo puntuale dagli strumenti si possa considerare valido anche per la zona adiacente.

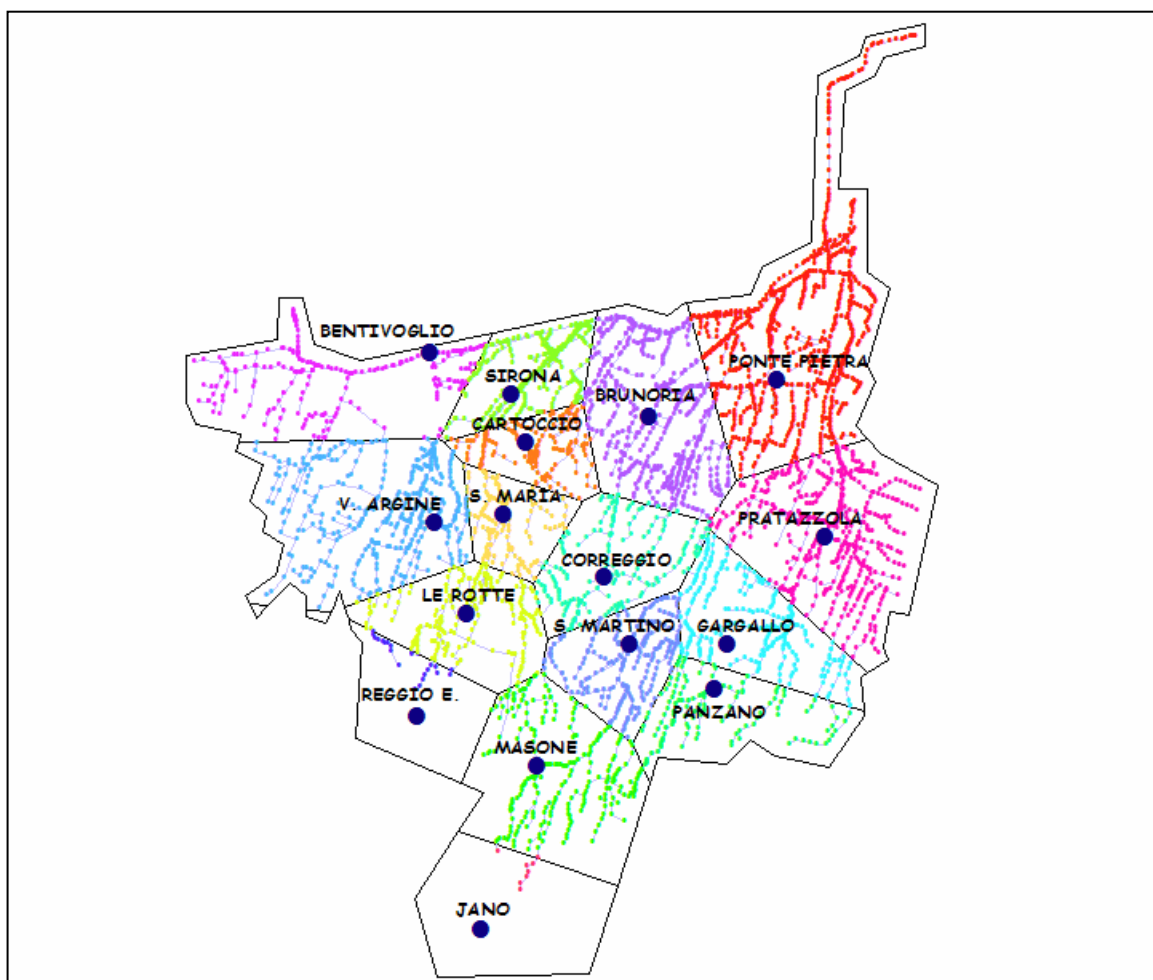


Fig. 3.2 – Poligoni di Thiessen dell'area al fine di associare ad ogni nodo della rete di bonifica il pluviometro più vicino.

Come detto il modello presentato è in grado di simulare le portate e le altezze d'acqua per ogni ramo della rete, in conseguenza ad un determinato evento di pioggia. Il risultato però dipende anche da alcuni coefficienti interni al codice, necessari a descrivere il comportamento idrologico del terreno, i quali hanno subito la calibrazione sulla base dei dati sperimentali.

I più influenti tra tali coefficienti sono volti a descrivere il meccanismo di infiltrazione caratteristico delle singole aree che lambiscono i canali. Infatti durante l'evolversi della precipitazione il terreno va via via saturandosi e le gocce di pioggia in eccesso contribuiscono interamente al deflusso superficiale. Il modello di infiltrazione utilizzato nel nostro caso è stato quello di Horton (1940) il quale è descritto dalla relazione:

$$f^*(t) = f_{\infty}^* + (f_i^* - f_{\infty}^*) \cdot e^{-kt}$$

dove:

$f_i^*$  è l'infiltrazione potenziale iniziale,

$f_{\infty}^*$  è l'infiltrazione limite a suolo saturo,

$k$  definisce la rapidità di riduzione dell'infiltrazione potenziale.

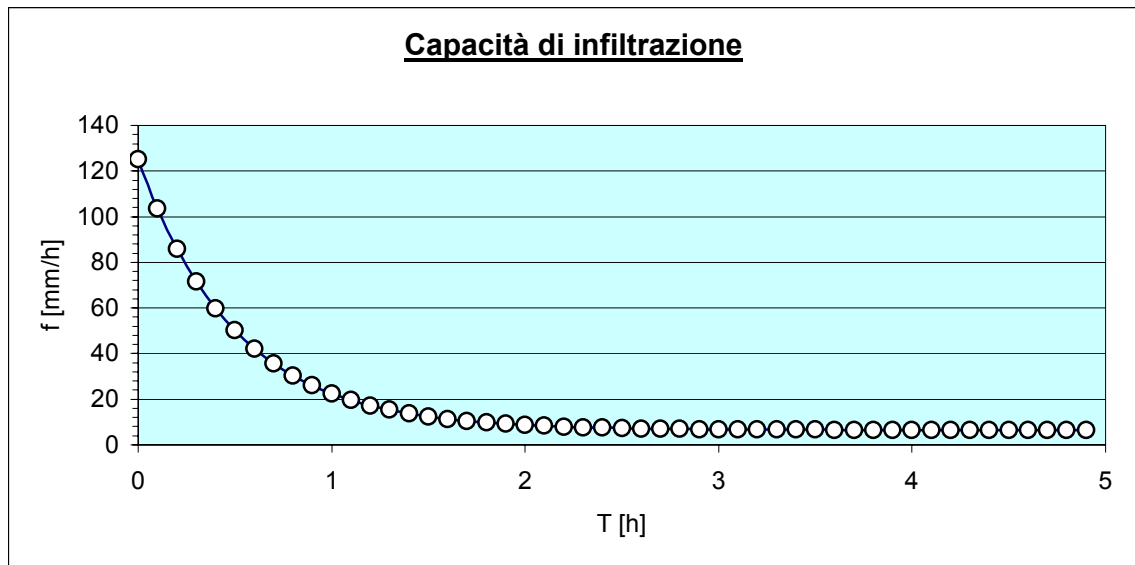


Fig. 3.3 – Esempio qualitativo di andamento della funzione di Horton

Il modello contiene poi un ulteriore parametro relativo alla capacità di infiltrazione del terreno che fissa un limite superiore alla quantità d'acqua che può essere assorbita. Infatti seguendo fedelmente la legge di Horton il terreno, a tempo infinito, sarebbe sempre in grado di conservare una seppur minima capacità ricettiva, pari al valore  $f_{\infty}^*$ . Ciò non è del tutto corretto in quanto dopo un certo intervallo viene raggiunta la saturazione e la pioggia in eccesso si accumula in superficie.

Altri coefficienti che incidono sul modello, sempre dal punto di vista idrologico, sono la stima della profondità media delle asperità superficiali, differenziata per le aree permeabili e per quelle impermeabili. Queste catturano una parte della precipitazione nella sua fase iniziale fino ad essere colmate e il volume d'acqua immagazzinato ritorna in atmosfera per effetto dell'evaporazione.

Ulteriori parametri sui quali si può incidere al fine di calibrare il modello riguardano invece il comportamento idraulico del sistema. Tra questi i più influenti sono la scabrezza delle superfici impermeabili e permeabili ed anche quella caratteristica di ogni singolo ramo, la quale viene definita mediante il coefficiente di Manning.

Altri descrittori idraulici riguardano poi il "Drytime", ovvero il tempo necessario al bacino per ripristinare le condizioni di tempo secco al termine di un evento meteorico. Infine è possibile definire l'altezza d'acqua iniziale definita sui nodi nella rete ed eventualmente una portata iniziale presente nei canali.

Al fine quindi di ottimizzare il valore di tutti questi coefficienti sono stati confrontati i risultati prodotti dalla simulazione con dei valori di altezza d'acqua e di portata misurati direttamente sul bacino.



Fig. 3.4 – Stazione di monitoraggio Santa Vittoria

La stazione di monitoraggio utilizzata si trova in località Santa Vittoria, in prossimità di un impianto di sollevamento Argine Francone, che serve per veicolare le acque del Collettore Acque Basse Reggiane (C.A.B.R.) nel condotto S.Maria, e coincide con la sezione di chiusura del bacino pilota. Come si può osservare dalla foto 3.4, la sezione del canale in questo punto assume un forma particolarmente regolare dovuta alla presenza del ponte stradale subito a valle della stazione e tale caratteristica risulta di grande utilità in fase di stima della scala di deflusso ricavabile dai dati misurati. I valori raccolti dagli strumenti presentano però un difetto: come si può osservare dalla foto 3.5, per motivi logistici non è stato possibile posizionare lo strumento che rileva il livello dell'acqua al centro del canale, bensì ha trovato collocazione subito all'esterno della stazione di monitoraggio; ciò ha comportato l'impossibilità di catturare le variazioni di livello nei periodi più siccitosi durante i quali i pochi centimetri d'acqua presenti in questa sezione della rete sono unicamente dovuti al contributo del depuratore presente in località Villa Seta e scorrono al centro del canale.

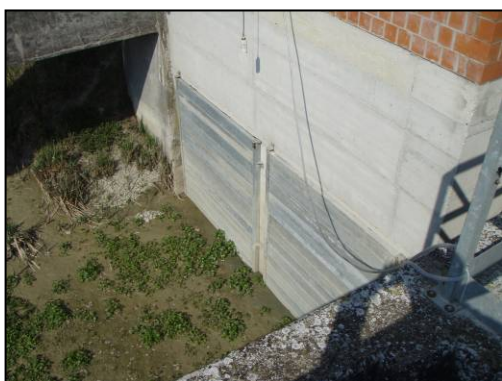


Fig. 3.5 – Sonda di misurazione del livello idrico

La relazione che intercorre tra il valore di livello misurato in continuo e l'altezza di precipitazione caduta nel corrispondente intervallo di tempo, può essere apprezzata in modo intuitivo nei grafici seguenti dove sono stati sovrapposti alcuni andamenti su scala mensile. Più precisamente sono stati scelti un mese nel periodo estivo (giugno) e due in quello invernale (novembre e dicembre). Dall'andamento delle portate trova immediato riscontro la differenza di funzionamento della rete durante la stagione secca rispetto a quella irrigua; infatti durante i mesi estivi, anche in assenza di precipitazioni viene mantenuto in corrispondenza della stazione di misurazione un livello idrico significativo, mentre in inverno i livelli risultano significativi solo a seguito di eventi meteorici. L'andamento dei valori di pioggia sono

stati invece ottenuti facendo una media pesata dei dati forniti dai pluviometri presenti nelle vicinanze del bacino pilota (Sirona, Cartoccio, Santa Maria, Le Rotte e Villa Argine) in modo da non dipendere unicamente dai valori forniti dal solo strumento di Villa Argine presente all'interno dell'area; a quest'ultimo è stato però attribuito un peso maggiore rispetto agli altri.

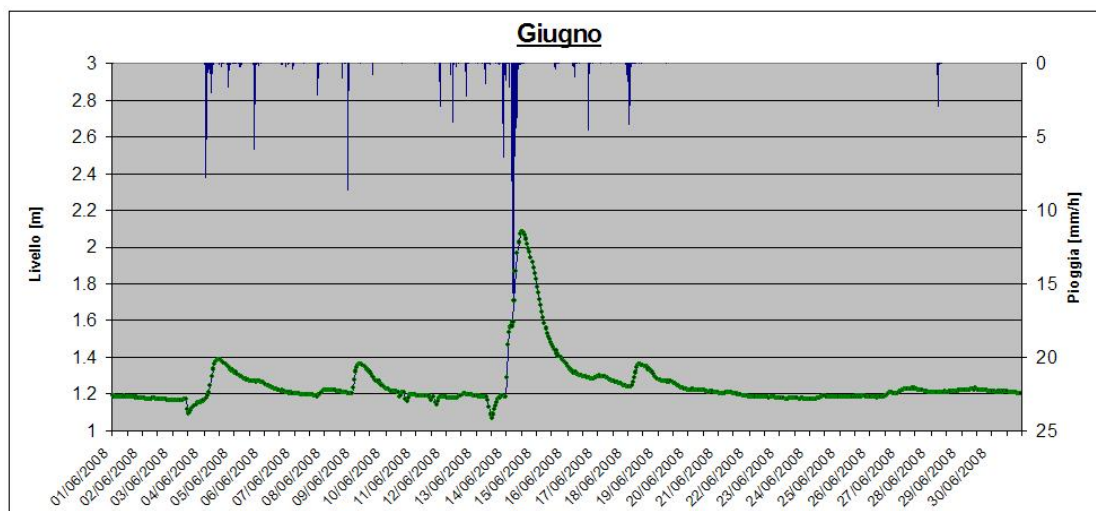


Fig. 3.6 – Andamento del livello idrico misurato alla stazione Santa Vittoria (in verde) e altezza di pioggia su scala oraria (in blu).

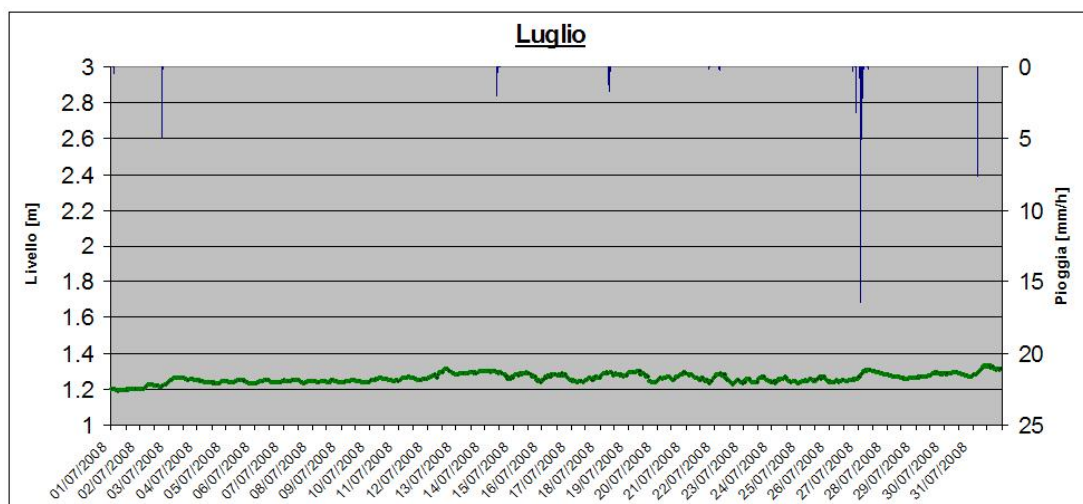


Fig. 3.7 – Andamento del livello idrico misurato alla stazione Santa Vittoria (in verde) e altezza di pioggia su scala oraria (in blu).

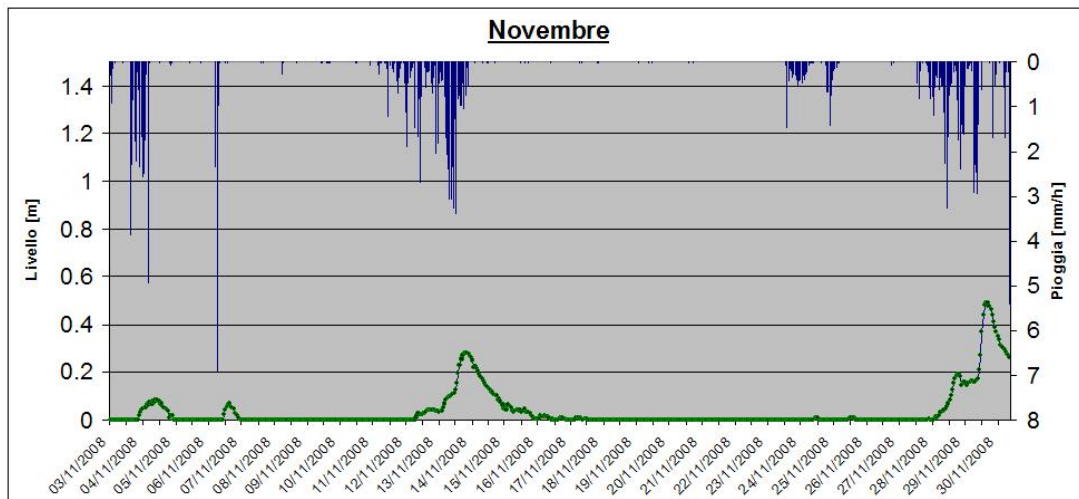


Fig. 3.8 – Andamento del livello idrico misurato alla stazione Santa Vittoria (in verde) e altezza di pioggia su scala oraria (in blu).

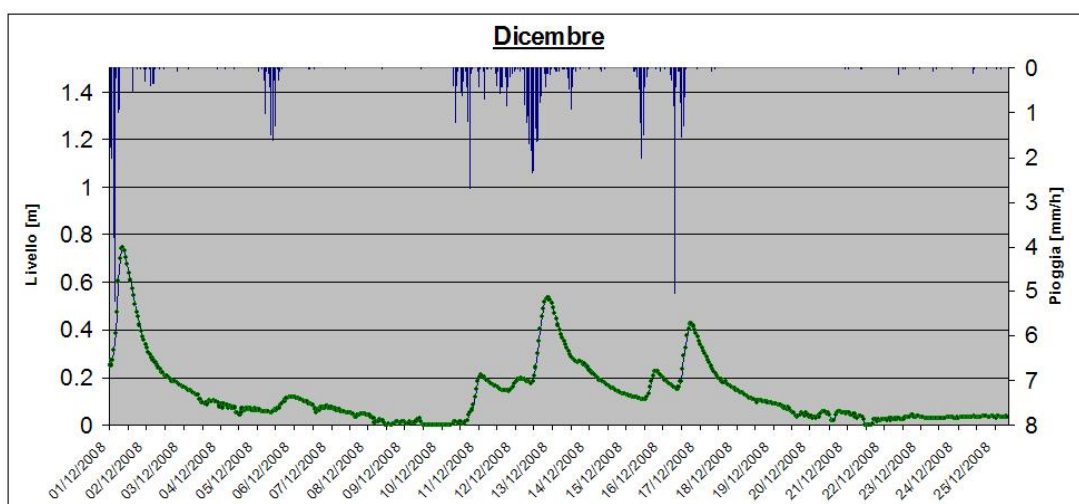


Fig. 3.9 – Andamento del livello idrico misurato alla stazione Santa Vittoria (in verde) e altezza di pioggia su scala oraria (in blu).

All'interno di queste serie osservate sono stati selezionati tre eventi significativi, caratterizzati da piogge di notevole intensità distribuite su più giorni, utili al fine della calibrazione del modello. Durante il periodo compreso tra novembre e dicembre sono stati scelti:

- dalle 18:30 del 11/11/2008 alle 00:00 del 17/11/2008 (Evento 1)
- dalle 03:30 del 28/11/2008 alle 00:00 del 04/12/2008 (Evento 2)
- mentre per il periodo estivo irriguo:
- dalle 12:00 del 13/06/2008 alle 00:00 del 17/06/2008 (Evento 3)

### 3.2.1 Evento 1

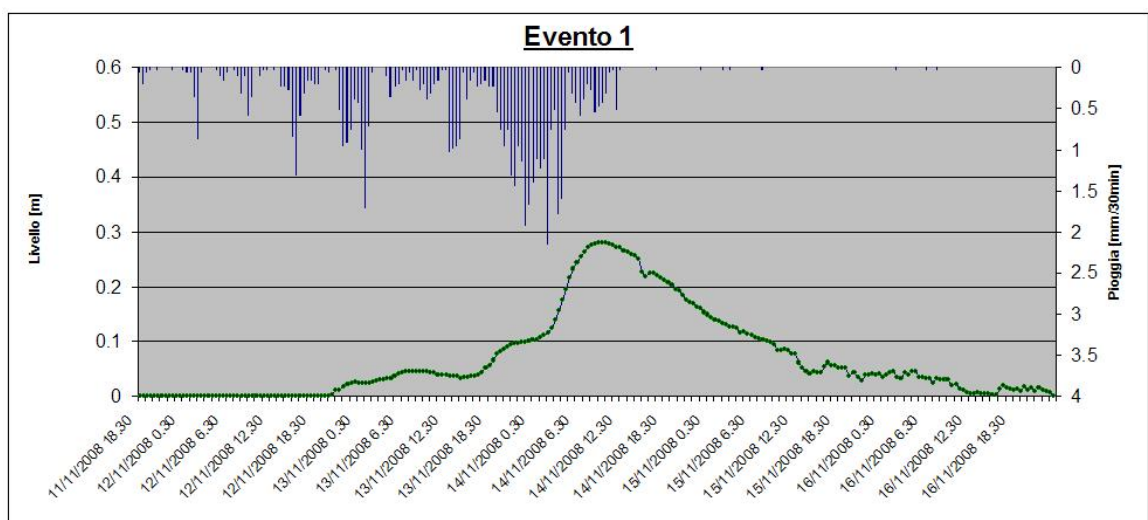


Fig. 3.10 – Andamento del livello d'acqua misurato per l'evento 1 alla stazione Santa Vittoria (in verde) e altezza di pioggia cadute con intervallo di 30 minuti (in blu).

Si è proceduto quindi con le simulazioni andando ad alterare soprattutto i parametri di Horton legati quindi alla capacità di infiltrazione del terreno.

Nella figura seguente (3.11) è stato riportato il grafico delle altezze d'acqua simulate con il codice di calcolo SWMM sovrapposto quello relativo ai valori misurati con gli strumenti. Si può pertanto apprezzare il buon comportamento del modello nel riprodurre l'evento registrato.



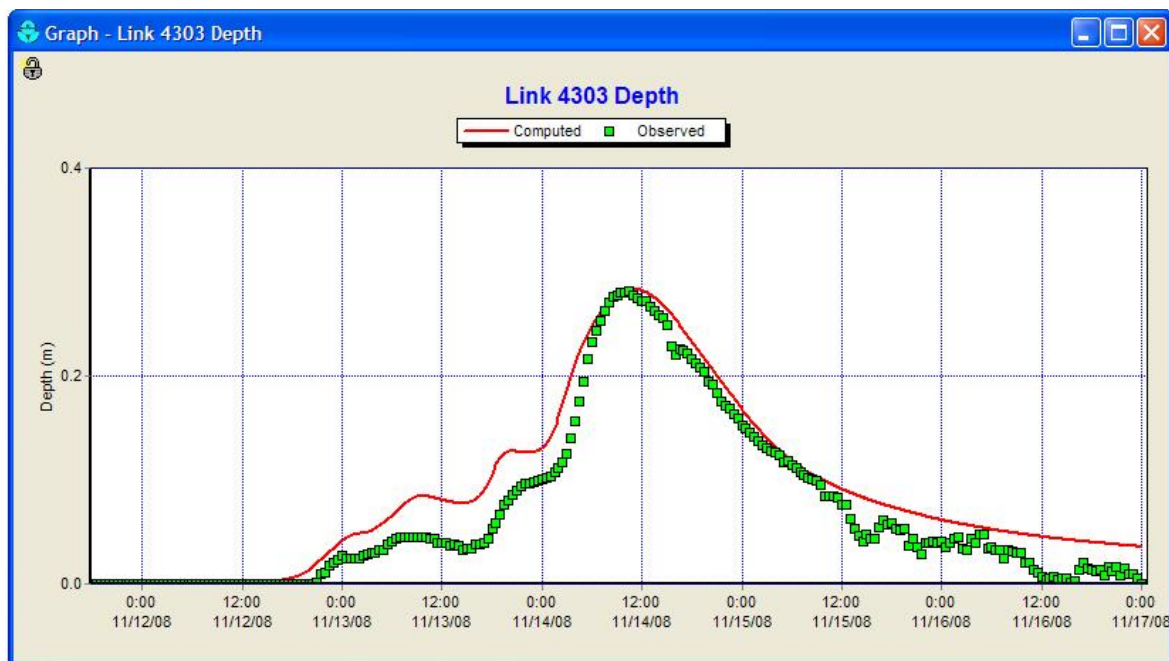


Fig. 3.11 – Livello d'acqua per l'evento 1 alla stazione Santa Vittoria (ramo 4303). Sono riportati in rosso l'andamento simulato e in verde quello misurato.

### 3.2.2 Evento 2

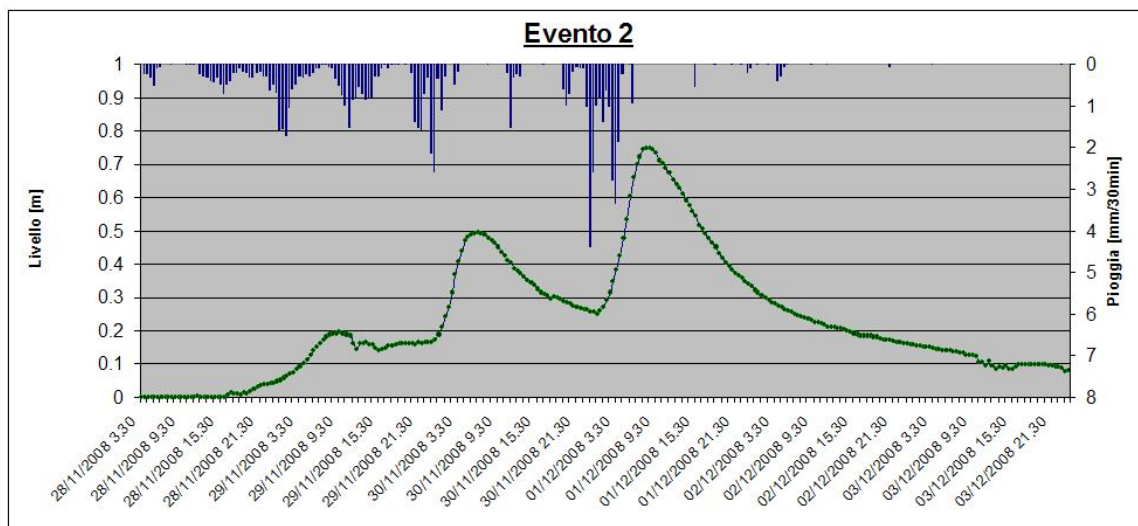


Fig. 3.12 – Andamento del livello d'acqua misurato per l'evento 2 alla stazione Santa Vittoria (in verde) e altezza di pioggia cadute con intervallo di 30 minuti (in blu).

Il secondo evento simulato ricade tra la fine del mese di novembre e l'inizio di dicembre. La differenza maggiore però si incontra, rispetto all'evento precedente è nella stima del coefficiente  $k$  che è il parametro di forma della curva del modello di



Horton e che, come precedentemente detto, rappresenta la velocità di decadimento della capacità di infiltrazione del terreno. Tale coefficiente è stato raddoppiato, il che comporta una tendenza più dolce della curva verso il valore asintotico  $f_{\infty}^*$ . Questa differenza rispetto all'evento precedente può essere giustificata dal fatto che, anche se i due si trovano entrambi all'interno della stessa stagione secca, le condizioni del terreno possono essere notevolmente differenti. Ogni evento differente quindi necessiterebbe di una piccola calibrazione del modello al fine di ottimizzarne la risposta.

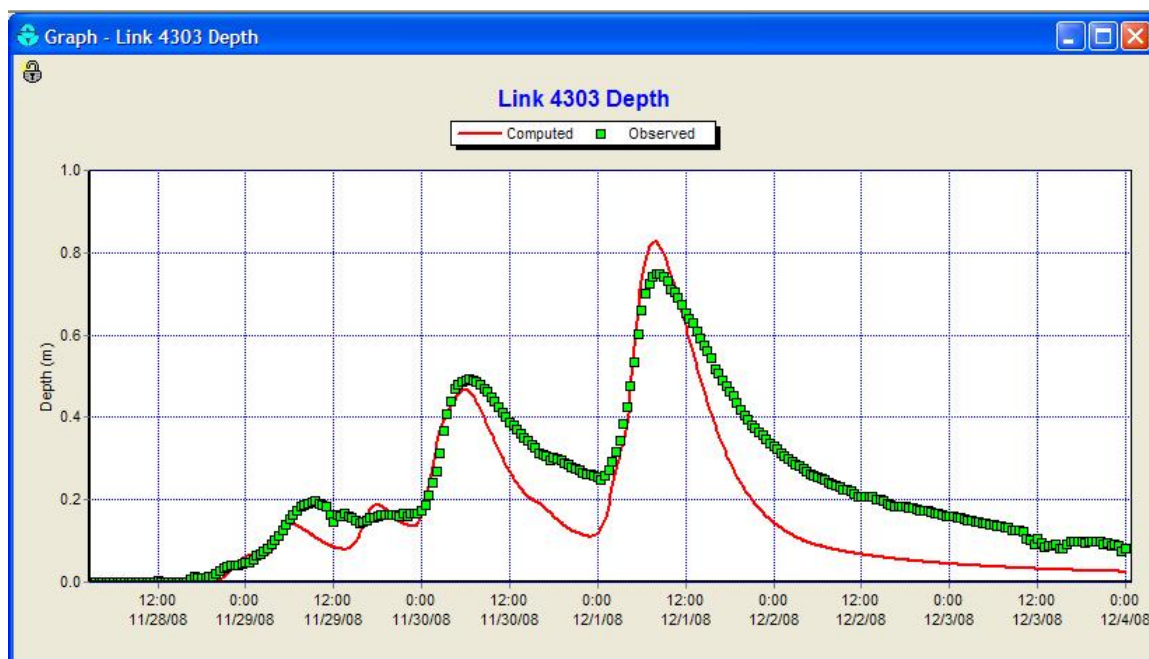


Fig. 3.13 – Livello d'acqua per l'evento 2 alla stazione Santa Vittoria (ramo 4303). Sono riportati in rosso l'andamento simulato e in verde quello misurato.

Rispetto all'evento precedente il risultato risulta essere di qualità inferiore. Ad ogni modo l'andamento qualitativo viene comunque sostanzialmente rispettato ed i picchi di livello coincidono con quelli misurati. Pertanto si è ritenuto il risultato soddisfacente ribadendo la difficoltà di riprodurre fedelmente le condizioni di saturazione del terreno negli istanti precedenti all'evento meteorico.

### 3.2.3 Evento 3:

Il terzo evento simulato si è verificato tra il 13 e il 17 di giugno 2008. Contrariamente alle simulazioni precedenti ci si viene a trovare in periodo irriguo quindi le condizioni di funzionamento del canale sono decisamente differenti.

All'altezza della stazione di monitoraggio Santa Vittoria si viene quindi a trovare un tirante idrico pari a circa un metro mantenuto costante da maggio fino a inizio settembre. Per quanto riguarda i parametri di infiltrazione non sono stati identificati particolare benefici modificando i coefficienti precedentemente individuati durante la calibrazione dei precedenti eventi quindi si è deciso di mantenerli invariati.

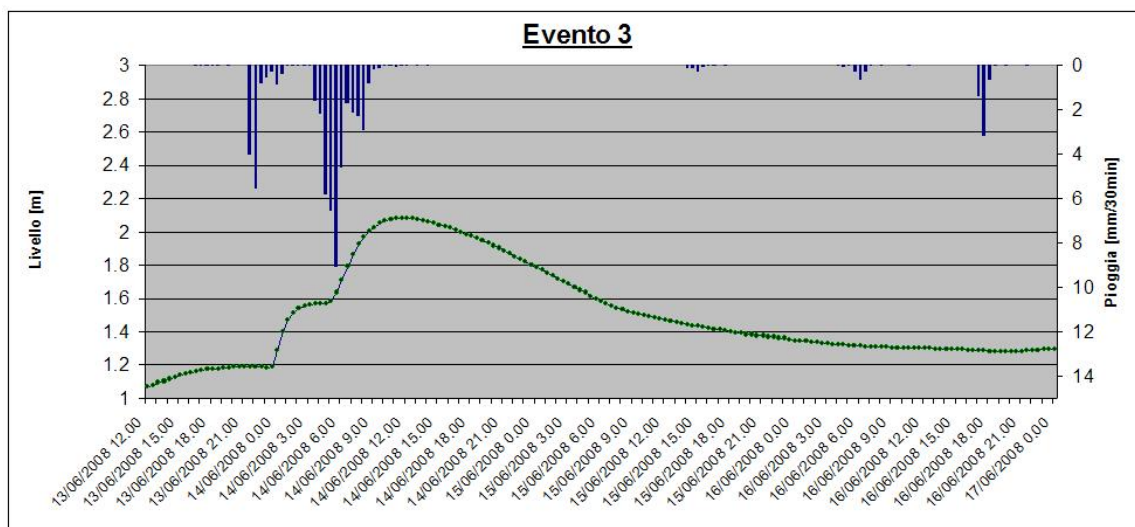


Fig. 3.14 – Andamento del livello d'acqua misurato per l'evento 3 alla stazione Santa Vittoria (in verde) e altezza di pioggia cadute con intervallo di 30 minuti (in blu).



Fig. 3.15 – Livello d'acqua per l'evento 3 alla stazione Santa Vittoria (ramo 4303). Sono riportati in rosso l'andamento simulato e in verde quello misurato.

Proponendo un confronto tra i valori di altezza d'acqua misurati e simulati riportati in figura 3.15 si può osservare che le curve sono accostabili con buona approssimazione.

### 3.2.4 Studio della distribuzione della precipitazione dell'evento 3

In riferimento all'evento analizzato fra il 13 e il 17 giugno 2008 è stato possibile svolgere alcune ulteriori considerazioni in merito alla distribuzione delle piogge sul territorio. Sono state infatti rese disponibili dall'ARPA Emilia Romagna le mappe radar relative al periodo studiato mediante il proprio sito internet ([www.arpa.emr.it](http://www.arpa.emr.it)). Le mappe rappresentano la situazione come osservata dai sistemi radar di San Pietro Capofiume (BO) e di Gattatico (RE) e sono ottenute combinando le informazioni dei due sistemi al fine di migliorare la copertura spaziale.

La prerogativa di un radar meteorologico è di fornire in tempo reale dati areali dell'intensità delle nubi e della precipitazione in atto, su un'area regionale con elevatissima risoluzione spaziale, inferiore anche a 1 km. Più precisamente la portata utile per la stima quantitativa delle precipitazioni è di circa 125 km di raggio, mentre si estende fino a 250 km per informazioni qualitative. I dati sono ripuliti dagli echi fissi dovuti al terreno e dagli echi dovuti a possibile propagazione non standard del fascio elettromagnetico in atmosfera.

I due radar forniscono inoltre i dati sul campo di vento e l'identificazione delle idrometeore presenti nelle nubi, distinguendo tra precipitazione liquida, grandine e neve. Il campo di precipitazione, stimato dai radar, è rappresentato su cinque classi da precipitazioni intermittenti e deboli a precipitazioni molto intense a carattere di rovescio.

Nella pagina seguente sono riportate le mappe radar orarie a partire dalle ore 4:12 del giorno 14 giugno e si può apprezzare l'evoluzione temporale dell'evento e la distribuzione spaziale delle intensità di pioggia.

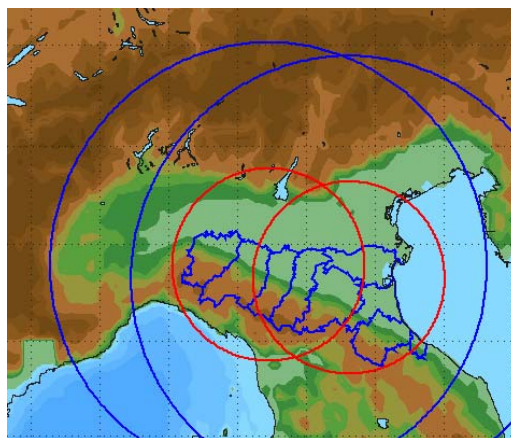


Fig. 3.16 – Raggio di monitoraggio quantitativo (rosso) e qualitativo (blu);

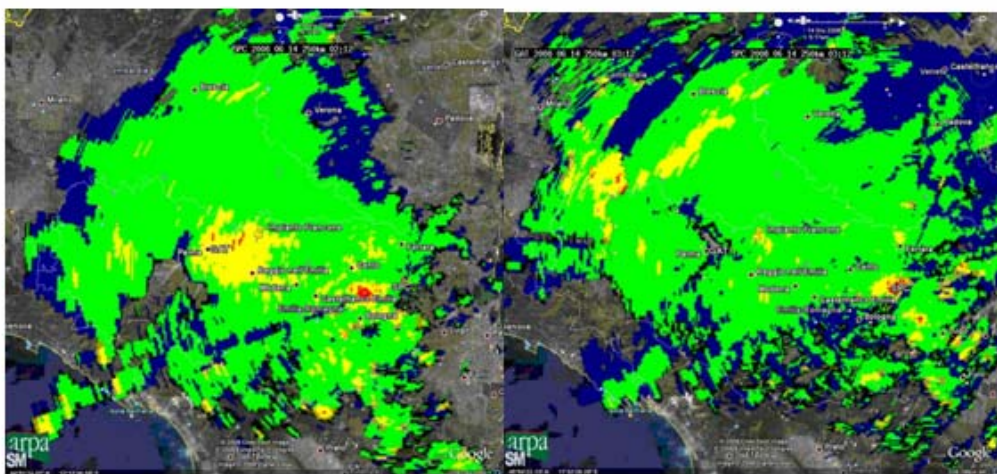


Fig. 3.17—Ore 4:12 del 14 giugno 2008 Fig. 3.18—Ore 5:12 del 14 giugno 2008



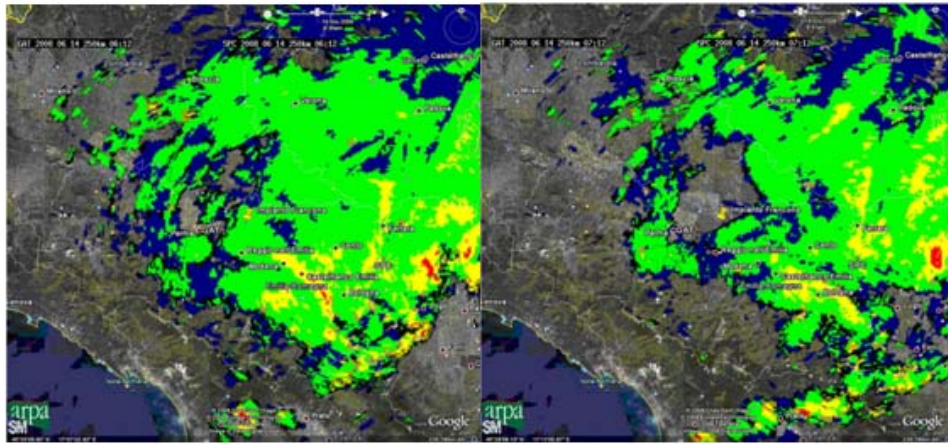


Fig. 3.19 – Ore 8:12 del 14 giugno 2008      Fig. 3.20 – Ore 9:12 del 14 giugno 2008

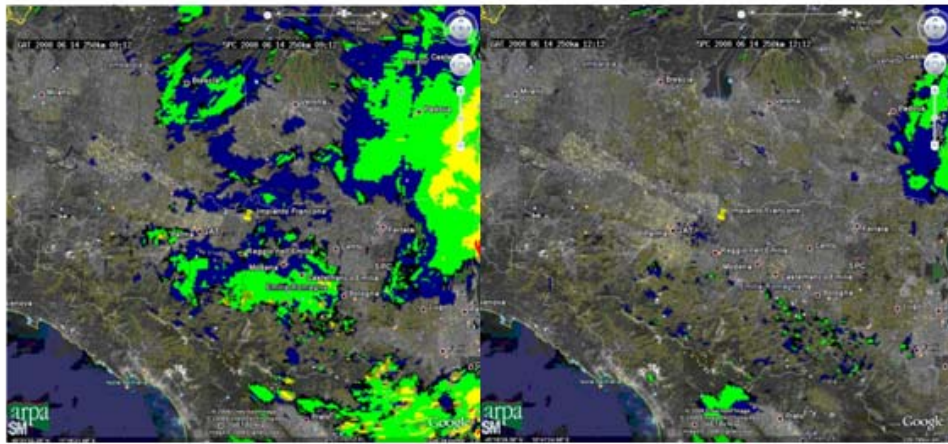


Fig. 3.21 – Ore 11:12 del 14 giugno      Fig. 3.22 – Ore 14:12 del 14 giugno

L'intento nel presentare le precedenti mappe radar è quello di illustrare graficamente come una precipitazione che insiste su un bacino molto esteso come quello oggetto di studio, possa essere caratterizzata da una maggiore o minore uniformità.

Nel caso dell'evento considerato si riscontra un distribuzione sostanzialmente uniforme dell'intensità di pioggia nel periodo più intenso, mentre si osserva una più accentuata disuniformità verso la fine dello stesso.

In conclusione si può intuire come sia buona norma appoggiarsi ad un numero di pluviometri quanto più possibile maggiore in modo da potersi avvicinare con la descrizione dell'evento alla situazione reale.

## 4. BILANCIO IDROLOGICO

### 4.1 Redazione del bilancio idrologico

Al fine di completare la fase conoscitiva riguardante l'area oggetto di studio, si è proceduto alla redazione di un bilancio idrologico.

L'obiettivo quindi di procedere ad un bilancio idrologico è quello di studiare i volumi d'acqua che attraversano la rete e la loro origine, al fine di stimare un coefficiente uditometrico caratteristico dell'area e quindi di mettere in relazione tra loro le portate che scorrono nei canali, i carichi inquinanti presenti e l'estensione degli appezzamenti agricoli.

Così come avvenuto durante la simulazione idraulica è stata focalizzata l'attenzione sul bacino pilota per poi estendere le considerazioni a tutto il bacino di riferimento.

Il bilancio idrologico è stato studiato sulla base dei dati relativi all'anno 2008, con scala temporale mensile; in particolare è risultato utile individuare 2 periodi nei quali suddividere i 12 mesi: "il periodo secco" (da ottobre ad aprile) durante il quale l'acqua che percorre la rete ha unicamente origine meteorica e di conseguenza ritroviamo tiranti idrici medi relativamente bassi, e il "periodo irriguo" (da maggio a settembre) durante il quale il Consorzio della Bonifica Parmigiana Moglia-Secchia preleva acqua dal fiume Po, convogliandola con percorso da nord verso sud nella rete oggetto di studio, in modo da renderla disponibile per le numerose attività agricole presenti nella zona.

L'equazione di bilancio di massa a cui si è fatto riferimento, le cui voci saranno riprese in modo dettagliato di seguito, è la seguente:

$$V_{\text{dep}} + V_{\text{piog}} + V_{\text{evap}} + V_{\text{infiltraz}} + V_{\text{ipod}} + V_{\text{irrig}} + V_{\text{ingr}} + V_{\text{uscito}} = 0 \quad [m^3 / mese]$$

Con:

$V_{\text{dep}}$  volume immesso nel sistema dal depuratore di Villa Seta (dato misurato);

$V_{\text{piog}}$  quota del volume di pioggia che contribuisce al deflusso superficiale (dato misurato);

$V_{\text{evap}}$  volume evaporato dalla superficie liquida (dato calcolato);

$V_{\text{infiltraz}}$  volume infiltrato nel sottosuolo attraverso la superficie bagnata dei canali (dato calcolato);

$V_{\text{ipod}}$  quota del volume di pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la falda ipodermica (dato calcolato);

$V_{\text{irrig}}$  volume prelevato dalla rete a fini irrigui (dato misurato);

$V_{\text{ingr}}$  volume immesso nel sistema dal Consorzio durante i mesi estivi (dato stimato);

$V_{\text{uscito}}$  volume uscito dal sistema (dato stimato e per alcuni periodi misurato);

Nei paragrafi seguenti vengono riprese singolarmente le voci che compongono l'equazione sopra presentata, illustrandone in modo più approfondito il significato e riportando nel dettaglio il procedimento seguito per ottenere il volume d'acqua su scala mensile corrispondente.

#### **4.1.1 Valutazione del volume immesso nel sistema dal depuratore di Villa Seta**

All'interno del bacino pilota è presente il depuratore di Villa Seta che dopo aver trattato i reflui urbani delle aree circostanti, scarica direttamente nel corpo idrico. Il dato di portata è stata dedotto dalla relazione tecnica elaborata da ENIA S.p.A. "Impianti di depurazione - Dati tecnici e risultanze analitiche relative all'anno 2007" e risulta pari a 1725 m<sup>3</sup> al giorno. Si tratta di un valore che può essere con buona approssimazione considerato costante per l'intero arco dell'anno in quanto l'area non risulta soggetta a forti fluttuazioni di popolazione dovute a turismo o altro. Moltiplicando poi tale valore per il numero dei giorni di ogni mese è possibile ricondursi al volume complessivamente riversato nella rete nel mese corrispondente.

#### **4.1.2 Valutazione del volume di pioggia che contribuisce al deflusso**

I dati di pioggia relativi all'anno 2008 sono stati ottenuti considerando 5 pluviometri presenti nelle vicinanze dell'area, più precisamente quelli identificati come Sirona, Cartoccio, Santa Maria, Le Rotte e Villa Argine. Dei dati rilevati dagli strumenti è stata effettuata una media pesata affidando un'influenza maggiore a quello di Villa Argine (il 40% del totale) poiché collocato all'interno della zona studiata, mentre i rimanenti quattro si trovano a pochi chilometri di distanza. Dall'elaborazione delle osservazioni registrate dalle stazioni sono state ricavate le altezze d'acqua mensilmente cadute sul bacino.

Non tutta l'acqua caduta al suolo (pioggia totale) contribuisce però a formare il deflusso superficiale: parte si infiltra nel sottosuolo e va ad alimentare le falde profonde, parte viene assorbita dalle piante, parte ritorna in atmosfera sotto forma di vapore per fenomeni diretti di evaporazione o evapotraspirazione, parte viene immagazzinata nelle depressioni superficiali e come umidità del suolo, e infine vi è una parte che va a formare il deflusso superficiale.

La porzione di pioggia totale che alimenta il deflusso superficiale è detta pioggia netta e viene definito coefficiente di deflusso il rapporto tra tale pioggia e la pioggia totale. Il coefficiente di deflusso individua le cosiddette perdite del bacino che dipendono da diversi fattori: in primo luogo dal tipo di terreno, quindi dalla copertura vegetale ed infine dalle condizioni iniziali di umidità.

Per la sua determinazione sono stati proposti diversi metodi che vanno da semplici tabelle di riferimento che tengono in considerazione alcuni elementi come la copertura del suolo e la superficie del bacino, ai metodi più complessi che cercano di tenere in conto della pluralità di fattori sopra riportati. Uno di questi è il Metodo Curve Number elaborato dal Soil Conservation Service fin dal 1956 ed è quello tra i più utilizzati ed è attualmente considerato tra i più appropriati riportati in letteratura. Questo metodo consente di ricavare il valore della pioggia netta mediante la stima delle perdite di bacino dovuta ai fenomeni di infiltrazione:

$$h_N = \frac{(h - I_a)^2}{h - I_a + f_s} \quad [mm]$$

Con:

$h$  pioggia lorda sul bacino;

$I_a$  fattore di ritenzione iniziale;

$f_s$  altezza d'acqua massima immagazzinabile nel terreno a saturazione.

Da riscontri sperimentali si è ricavato:

$$I_a = 0,20 \cdot f_s$$

Tale relazione si può spiegare considerando il fatto che più il terreno è in grado di immagazzinare acqua, più sarà florida la vegetazione che lo caratterizza e quindi sarà alto il fattore di ritenzione iniziale.

Quindi la relazione precedente diventa:

$$h_N = \frac{(h - I_a)^2}{h + 0,80 \cdot f_s} \quad [mm]$$

Il coefficiente  $f_s$  è collegato alle caratteristiche del suolo mediante la seguente formula:

$$f_s = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [mm]$$

Il  $CN$  è un indice numerico adimensionale che descrive in percentuale la quantità d'acqua caduta nel suolo che contribuirà al deflusso superficiale. Può variare da 0 a 100 anche se in pratica oscilla tra 25 e 98; per esempio per un'area completamente pavimentata si stima un  $CN$  pari a 98 mentre per un campo ben drenato  $CN$  è pari a 25. In altre parole se  $CN$  è grande, l'infiltrazione  $f_s$  è piccola e quindi avremo alti coefficienti di deflusso. Il valore di tale indice è legato a:

- tipologia litologica del suolo;
- uso del suolo;
- grado di umidità del suolo prima dell'evento meteorico esaminato;
- stagione vegetativa.

Dal grafico riportato di seguito è possibile apprezzare la variabilità della quota di pioggia totale che contribuisce al deflusso superficiale in funzione dall'indice  $CN$ .

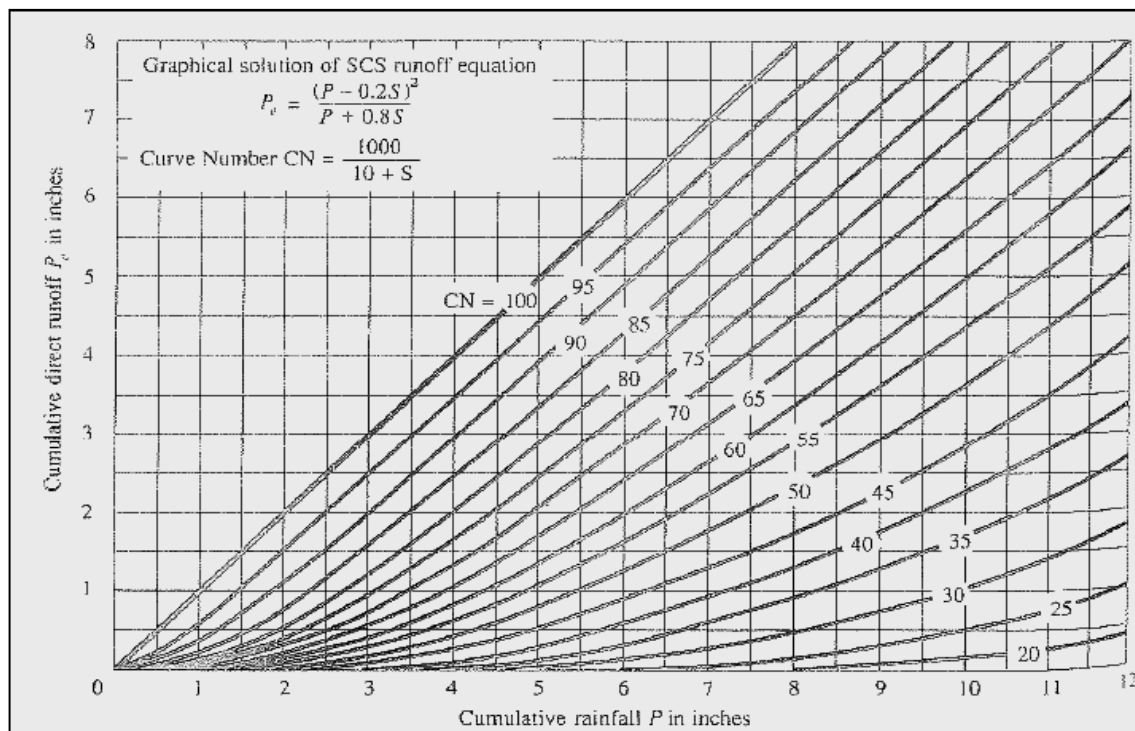


Fig. 4.1 – Influenza del parametro  $CN$  sulla stima del volume di pioggia netta.

Per quanto riguarda la tipologia litologica del suolo, l'SCS ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi, riportati nella tabella seguente, sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di un prolungato adacquamento.

| TIPO IDROLOGICO DI SUOLO | DESCRIZIONE   |
|--------------------------|---|
| A                        | <b>Scarsa potenzialità di deflusso.</b><br>Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.   |
| B                        | <b>Potenzialità di deflusso moderatamente bassa.</b><br>Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi, meno profondi rispetto al gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.                  |
| C                        | <b>Potenzialità di deflusso moderatamente alta.</b><br>Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno rispetto al gruppo D. Il gruppo presenta scarsa capacità di infiltrazione a saturazione. |
| D                        | <b>Potenzialità di deflusso molto alta.</b><br>Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.                                |

Tab. 4.1 – Classifica dei suoli in base alla capacità di assorbimento.



In relazione all'uso del suolo, sono state individuate un numero piuttosto elevato di classi che, incrociate con i quattro tipi di suolo (vedi tabella seguente), permettono di individuare un valore di *CN*.

| Tipo di copertura (uso del suolo)                 | Tipo di suolo |    |    |    |
|---|---------------|----|----|----|
|   | A             | B  | C  | D  |
| <b>Terreno coltivato:</b>                         |               |    |    |    |
| senza trattamenti di conservazione                | 72            | 81 | 88 | 91 |
| con interventi di conservazione                   | 62            | 71 | 78 | 81 |
| <b>Terreno da pascolo:</b>                        |               |    |    |    |
| cattive condizioni                                | 68            | 79 | 86 | 89 |
| buone condizioni                                  | 39            | 61 | 74 | 80 |
| <b>Praterie:</b>                                  |               |    |    |    |
| buone condizioni                                  | 30            | 58 | 71 | 78 |
| <b>Terreni boscosi e forestati:</b>               |               |    |    |    |
| terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie  | 39            | 61 | 74 | 83 |
| sottobosco e copertura buoni                      | 25            | 55 | 70 | 77 |
| <b>Aree commerciali (impermeabilità 85%)</b>      | 89            | 92 | 94 | 95 |
| <b>Distretti industriali (impermeabilità 72%)</b> | 81            | 88 | 91 | 93 |
| <b>Aree residenziali:</b>                         |               |    |    |    |
| area impermeabile 65%                             | 77            | 85 | 90 | 92 |
| area impermeabile 38%                             | 61            | 75 | 83 | 87 |
| area impermeabile 30%                             | 57            | 75 | 83 | 87 |
| area impermeabile 25%                             | 54            | 70 | 80 | 85 |
| area impermeabile 20%                             | 51            | 68 | 79 | 84 |
| <b>Parcheggi impermeabili, tetti:</b>             | 98            | 98 | 98 | 98 |
| <b>Strade:</b>                                    |               |    |    |    |
| pavimentate con cordoli - fognature               | 98            | 98 | 98 | 98 |
| inghiaiate o selciate e con buche                 | 76            | 85 | 89 | 91 |
| in terra battuta (non asfaltate)                  | 72            | 82 | 87 | 89 |

Tab. 4.2 – Valori di *CN* in funzione dell'uso del suolo.

Infine con questo metodo è possibile tenere conto delle condizioni iniziali di imbibizione del terreno attribuendogli una classe AMC (Antecedent Moisture Condition) che indica le condizioni di saturazione precedenti alla pioggia in esame:

| Classe AMC | Stagione di riposo della vegetazione | Stagione di crescita della vegetazione |
|------------|--------------------------------------|--|
| I          | < 12,7 mm                            | < 35,5 mm                              |
| II         | 12,7 - 28,0 mm                       | 35,5 - 53,3 mm                         |
| III        | > 28,0 mm                            | > 53,3 mm                              |

Tab. 4.3 – Classi AMC (Antecedent Moisture Condition).

I valori del parametro *CN* tabellati in letteratura sono riferiti a condizioni medie di umidità del terreno all'inizio della precipitazione; una volta individuato il valore del

parametro per tali condizioni, si possono ricavare gli alti due sulla base delle seguenti formule:

$$\text{Classe I } CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)}$$

$$\text{Classe II } CN(II)$$

$$\text{Classe III } CN(III) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)}$$

Al fine di determinare il valore di  $CN$  caratteristico per l'area sono stati utilizzati i risultati elaborati da due studi precedenti.

Dal *"Monitoraggio e gestione delle acque nel bacino sotteso dalla derivazione irrigua del fiume Po a Boretto (RE) – Parte I"* viene suggerito un valore di  $CN$  medio pari 76, ottenuto tenendo conto dell'estensione delle superfici impermeabili e di quelli coltivate con differenti tipologie di colture. Nello studio citato è stato riscontrato un terreno con potenzialità di deflusso medio-alta (suolo di tipo D) e una scarsa saturazione del terreno (Classe I) dovuta alle condizioni particolarmente siccitose manifestatesi negli ultimi anni.

I risultati sono pressoché gli stessi ottenuti da un altro studio *"Determinazione sperimentale del bilancio idrico consortile – REV 03"* effettuato per il Consorzio di Bonifica Parmigiana Moglia Secchia, nel quale si era trovato un  $CN$  medio per l'intero comprensorio pari a 75.

Per il presente elaborato, vista la trascurabile differenza tra i valori individuati dagli studi citati, è stato scelto un valore di  $CN$  medio pari a 75.

Una ulteriore considerazione è stata effettuata tenendo conto che l'applicazione del metodo Curve Number risulta più adatta nei casi di eventi piovosi critici che non invece nei casi di piovosità ordinarie, infatti sono stati ridotti i coefficienti di deflusso in modo da renderli più aderenti alla realtà. Nei mesi irrigui, considerata la maggior capacità di infiltrazione che caratterizza i terreni e vista la presenza di una copertura vegetale mediamente matura, con apparato radicale sviluppato, si è ritenuto opportuno utilizzare un coefficiente pari alla metà di quello ottenuto con il metodo CN; per i mesi secchi invece è stato utilizzato un coefficiente pari ai 2/3 di quello calcolato con il metodo illustrato.

|                         | AFFLUSSI NETTI |       |       |       |        |        |       |       |       |       |        |       |
|-------------------------|----------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                         | GEN            | FEB   | MAR   | APR   | MAG    | GIU    | LUG   | AGO   | SET   | OTT   | NOV    | DIC   |
|                         | 31             | 29    | 31    | 30    | 31     | 30     | 31    | 31    | 30    | 31    | 30     | 31    |
| Pioggia lorda CN [mm]   | 37.10          | 14.50 | 32.70 | 67.50 | 101.76 | 149.12 | 44.71 | 19.84 | 17.28 | 23.62 | 191.61 | 86.35 |
| Pioggia netta CN [mm]   | 3.88           | 0.07  | 2.48  | 18.91 | 42.45  | 80.58  | 6.86  | 0.10  | 0.00  | 0.49  | 117.65 | 31.27 |
| Coeff. deflusso         | 0.105          | 0.005 | 0.076 | 0.280 | 0.417  | 0.540  | 0.153 | 0.005 | 0.000 | 0.021 | 0.614  | 0.362 |
| Coeff. deflusso ridotto | 0.070          | 0.003 | 0.050 | 0.187 | 0.209  | 0.270  | 0.077 | 0.002 | 0.000 | 0.014 | 0.409  | 0.241 |
| Pioggia netta [mm]      | 2.59           | 0.05  | 1.65  | 12.61 | 21.23  | 40.29  | 3.43  | 0.05  | 0.00  | 0.33  | 78.43  | 20.85 |

Tab. 4.4 – Pioggia netta calcolata con il metodo CN.

Come detto le altezze d'acqua sono state considerate come uniformemente distribuite su tutto il bacino, ma si è deciso di differenziare l'area in funzione delle

sue caratteristiche di maggiore o minore permeabilità. Mediante l'utilizzo del programma ArcView GIS 3.2 sono state determinate le zone abitate che sono state considerate come impermeabili e dove la pioggia caduta viene riversata quasi interamente nella rete mediante i relativi scaricatori.

Le rimanenti aree sono invece state considerate come agricole; di conseguenza la pioggia lorda complessivamente caduta contribuisce in parte al deflusso superficiale secondo il coefficiente di deflusso calcolato con il metodo CN, in parte alla percolazione profonda che è stata stimata intorno al 10% dell'altezza caduta, e che pertanto risulta perduta ai fini dell'approvvigionamento della rete, mentre la rimanente quota finisce per ricaricare la falda ipodermica.

In altre parole nelle aree urbane si avrà tutto deflusso superficiale mentre in quelle agricole avremo deflusso superficiale, infiltrazione nella falda ipodermica e percolazione profonda. Moltiplicando quindi ogni altezza idrica per le relative superfici coinvolte è possibile ottenere i volumi d'acqua che interessano il bacino per ogni mese dell'anno.

#### **4.1.3 Valutazione del volume evaporato dalla superficie liquida**

Come noto il processo dell'evaporazione consiste nel passaggio della materia dallo stato liquido a quello gassoso. Tale processo dipende da numerosi fattori quali principalmente la temperatura dell'acqua, la temperatura dell'aria, il vento, l'irraggiamento solare e l'umidità dell'aria.

In letteratura sono presenti numerose formule tra le quali quella del Visentini che è stata scelta per il presente studio; oltre alla temperatura prende in considerazione anche l'umidità dell'aria, parametro aggiunto che può rendere la stima dell'evaporazione più aderente alla realtà, in particolare nella zona in esame caratterizzata da valori di umidità relativa piuttosto elevati.

$$EV = 5,33 \cdot T_m + 0,75 \cdot [100 - U_m] \quad [mm / mese]$$

Con:

$T_m$  temperatura media mensile [°C]

$U_m$  umidità media mensile [%]

Per poter stimare il volume complessivamente evaporato è stato necessario stimare l'estensione della lama d'acqua presente nei canali. Nota la geometria di ogni ramo della rete è stata fissata un'ipotesi sul tirante idrico presente in alveo: durante la stagione invernale quando l'acqua che circola è dovuta principalmente allo scarico del depuratore e alle precipitazioni è stata stimata un tirante idrico pari a 10 cm, uniforme su tutta la rete; durante la stagione irrigua invece nei canali viene invasato un cospicuo volume d'acqua proveniente dai canali irrigui in modo da soddisfare le necessità agricole quindi è stata ipotizzata un'altezza d'acqua pari 80 cm, anche in questo caso uniforme su tutta la rete.

Moltiplicando quindi lo specchio liquido così individuato con l'evaporazione specifica stimata con la formula del Visentini, è stato possibile risalire al volume potenzialmente evaporato per ogni mese.

|                                      | EVAPORAZIONE DALLA SUPERFICIE LIQUIDA |       |       |       |        |        |        |        |        |       |       |       |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
|                                      | GEN                                   | FEB   | MAR   | APR   | MAG    | GIU    | LUG    | AGO    | SET    | OTT   | NOV   | DIC   |
|                                      | 31                                    | 29    | 31    | 30    | 31     | 30     | 31     | 31     | 30     | 31    | 30    | 31    |
| Temperatura [°C]                     | 4.36                                  | 5.29  | 9.32  | 13.19 | 18.43  | 22.63  | 25.05  | 25.49  | 18.98  | 16.39 | 9.46  | 3.40  |
| Umidità [%]                          | 82                                    | 74    | 68    | 70    | 67     | 69     | 63     | 61     | 66     | 66    | 77    | 81    |
| Specchio liquido [m <sup>2</sup> ]   | 64203                                 | 64203 | 64203 | 64203 | 120340 | 120340 | 120340 | 120340 | 120340 | 64203 | 64203 | 64203 |
| Bacino Pilota [mm/mese]              | 37                                    | 48    | 74    | 93    | 123    | 144    | 161    | 165    | 126    | 113   | 68    | 32    |
| Bacino Pilota [m <sup>3</sup> /mese] | 2348                                  | 3079  | 4720  | 5954  | 14785  | 17300  | 19427  | 19903  | 15219  | 7226  | 4366  | 2071  |

Tab. 4.5 – Pioggia netta calcolata con il metodo CN.

#### 4.1.4 Valutazione del volume infiltrato nel sottosuolo dalla superficie bagnata dei canali e contributo della falda ipodermica

Per la corretta formulazione del bilancio idrologico è stata rivolta l'attenzione all'interazione tra il fondo del canale e la falda. In particolare sono stati identificati due aspetti: le perdite per infiltrazione nei canali in terra, che costituiscono la quasi totalità dei canali consortili, e il contributo al deflusso dovuto alla falda ipodermica ricaricata durante gli eventi meteorici.

Per la stima dell'entità delle perdite per infiltrazione si è proceduto per via analitica con la formula di Davis e Wilson:

$$Q = 0,45 \cdot k \cdot \frac{C \cdot L \cdot \sqrt[3]{h}}{4 \cdot 10^6 + 365 \cdot \sqrt{v}} \quad [m^3 / s]$$

Con:

$C$  contorno bagnato dell'alveo [m]

$L$  lunghezza del canale [m]

$h$  tirante d'acqua [m]

$v$  velocità media dell'acqua [m/s]

$k$  coefficiente di infiltrazione da assegnare sulla base della tabella

| TIPO DI ALVEO                                  | k  |
|--|----|
| Rivestimento in calcestruzzo (spessore > 7 cm) | 1  |
| Rivestimento bituminoso di piccolo spessore    | 5  |
| Alveo naturale in terreno argilloso            | 12 |
| Alveo naturale in terreno limoso - argilloso   | 15 |
| Alveo naturale in terreno limoso - sabbioso    | 30 |
| Alveo naturale in terreno sabbioso             | 40 |
| Alveo naturale in terreno sabbioso - ghiaioso  | 70 |

Tab. 4.6 – Coefficienti di infiltrazione.

La formula è stata applicata ad ogni singolo canale della rete mantenendo l'ipotesi dei due tiranti idrici fissati per la stagione secca e per quella irrigua.

In base alle caratteristiche geometriche note di tutta la rete è stato poi possibile risalire all'area bagnata del canale espressa da " $C \cdot L$ ". Per quanto riguarda le velocità in alveo è stata considerato un valore medio pari a 0,95 m/s per tutti i canali, stimato dalle simulazioni con il software SWMM. Infine è stato reputato idoneo l'utilizzo di un coefficiente " $k$ " unitario, nonostante i canali del comprensorio siano pressoché tutti in terra, in quanto negli anni le sezioni si sono ricoperte di uno strato compatto di sedimenti argillosi che le ha rese praticamente impermeabili.

La portata istantanea estesa al mese considerato ha permesso di stimare il volume disperso per infiltrazione nell'ipotesi che la falda sia più profonda del fondo del canale. Nel caso però in cui la falda raggiunga e superi la quota del fondo del canale non si hanno più perdite per infiltrazione, ma il canale funge da dreno per il terreno adiacente quindi si viene ad avere un contributo positivo al deflusso.

La presenza della falda quindi non può essere trascurata e la sua profondità è caratterizzata da una variabilità spaziale sull'area considerata e da una temporale nell'arco dell'anno, legata alla presenza di precipitazioni e all'evapotraspirazione.

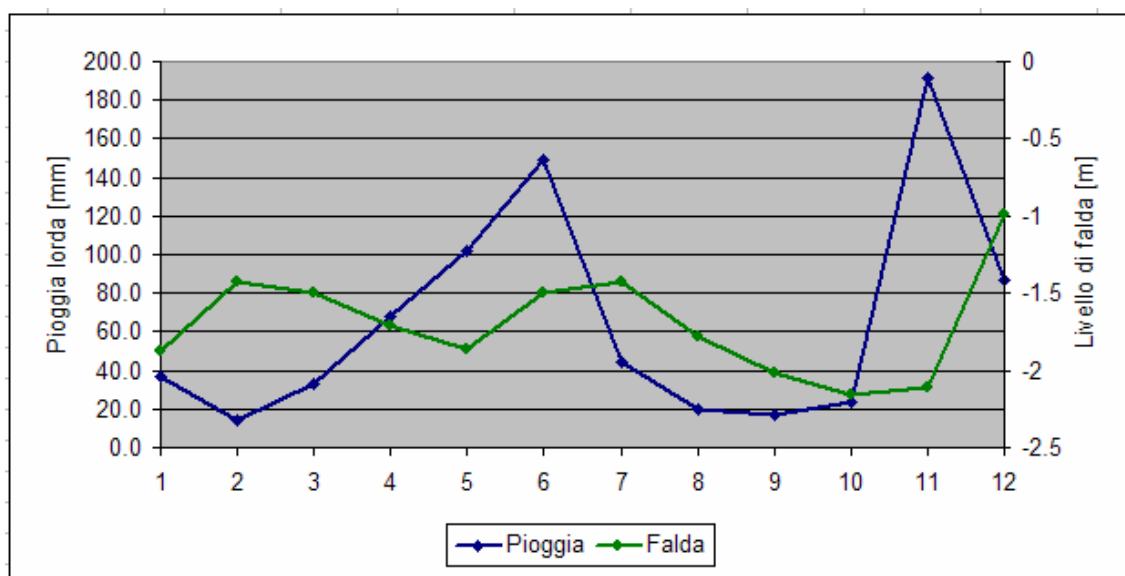


Fig. 4.2 – Andamento del livello di falda mediato tra i valori misurati alla stazione 13RE e 15RE (verde) e altezza d'acqua media mensile caduta sul bacino pilota (blu)

Osservando la figura 4.2 si può notare come il livello di falda si mantenga più alto durante i mesi invernali per poi abbassarsi durante quelli estivi.

Dai dati dell'anno 2008 si può rilevare come le piogge di maggio e giugno abbiano interrotto temporaneamente il progressivo abbattimento della falda, mitigato comunque dalla presenza dell'irrigazione, e destinato poi a risollevarsi nei mesi autunnali. Si può inoltre percepire come la dinamica di ricarica della falda sia un fenomeno molto lento, infatti i mesi caratterizzati da una forte altezza di pioggia caduta causano variazioni sensibili alla piezometria riscontrabili durante il mese successivo e non durante lo stesso.

I dati di falda sono stati reperiti dal sito [www.gias.net](http://www.gias.net) relativi ai piezometri identificati con la sigla 13RE e 15Re. Essendo tali strumenti equidistanti dai rami più vicini della rete (13, 14 e 15), non è stato possibile identificarne uno univocamente rappresentativo della zona; si è proceduto quindi facendo una media dei valori misurati dai piezometri ed il risultato è stato assegnato alla media delle misure di falda relative ai rami 13, 14 e 15. Dal punto di vista spaziale era disponibile una stima del livello di falda per ogni ramo della rete in esame, riferita al mese di marzo 2008. Tale dato è stato preso come riferimento per la variabilità spaziale dei livelli piezometrici per tutti i mesi dell'anno. Facendo questa ipotesi è stato possibile stimare il livello di falda per ogni ramo della rete e per ogni mese dell'anno 2008 avendo come dato di origine le sole misure di falda relative alle stazioni 13RE e 15RE.

Dopodiché è stato effettuato un confronto per ogni singolo ramo tra la profondità dello stesso e il livello della falda nella zona corrispondente. Gli scenari che possono essere riscontrati sono tre:

1. Falda < fondo canale → viene assegnata al ramo analizzato la corrispondente portata dispersa per infiltrazione attraverso la sua superficie bagnata;
2. Falda = fondo canale → non c'è dispersione per infiltrazione, né contributo al canale da parte della falda ipodermica;
3. Falda > fondo canale → viene assegnata al ramo analizzato l'intero volume d'acqua accumulato dalla falda ipodermica calcolato come precedentemente illustrato.

Sommando i contributi dei 131 rami è possibile risalire alle perdite per infiltrazione dal fondo dei canali e al contributo della falda ipodermica al flusso nella rete per tutto l'anno 2008.

|                              | PERDITE DAI CANALI E INTERAZIONE CON LA FALDA |       |       |        |        |        |        |        |        |       |       |        |
|------------------------------|---|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
|                              | GEN   | FEB   | MAR   | APR    | MAG    | GIU    | LUG    | AGO    | SET    | OTT   | NOV   | DIC    |
|                              | 31  | 28    | 31    | 30     | 31     | 30     | 31     | 31     | 30     | 31    | 30    | 31     |
| Infiltr. suborizz. [m³/mese] | 54611   | 32005 | 68382 | 118511 | 124733 | 231189 | 90606  | 43835  | 9300   | 12517 | 56220 | 177386 |
| Perdite x infiltr. [m³/mese] | -5763   | -3831 | -4241 | -4104  | -25220 | -23022 | -23789 | -23789 | -33868 | -8397 | -8126 | -3930  |
| Perdite x evap. [m³/mese]    | -2348   | -3079 | -4720 | -5954  | -14785 | -17300 | -19427 | -19903 | -15219 | -7226 | -4366 | -2071  |

Tab. 4.7 – Volume d'acqua disperso da dai canali per interazione ed evaporazione e contributo al deflusso dovuto all'interazione con la falda.

#### 4.1.5 Valutazione del volume prelevato a scopo irriguo

Come è stato illustrato nei capitoli introduttivi l'area oggetto di studio è caratterizzata da attività agricole di tipo intensivo fortemente idroesigenti.

Al fine di valutare il volume di acqua prelevato dagli agricoltori si è fatto uso di tabelle riassuntive relative alle attività di irrigazione dell'anno 2008, fornite dal

consorzio di bonifica. Infatti gli agricoltori che necessitano di acqua a scopo irriguo di prassi si rivolgono al gestore della rete indicando la data e il volume che intendono prelevare; in consorzio quindi opera sulla rete in modo che giorno prestabilito i canali attigui all'appezzamento contengano l'acqua necessaria a soddisfare la richiesta. Il file fornito contiene numerosi dati tra i quali quelli di nostro interesse riguardano:

- il codice dell'appezzamento;
- l'estensione dall'area irrigata;
- la data prevista del prelievo,
- il codice che indica se la richiesta è stata soddisfatta o meno;
- il codice del canale dal quale è stato prelevato il volume richiesto;
- il volume prelevato.

Al fine di isolare le richieste irrigue relative al solo bacino pilota si è fatto ricorso all'utilizzo di ArcView 3.2, il quale ha permesso di selezionare i canali di interesse con i corrispondenti codici e di sovrapporli ai dati irrigui. Inoltre è stato necessario escludere tutte quelle richieste che non sono state soddisfatte; ad esempio può verificarsi l'avvento di una precipitazione in corrispondenza della data prevista per l'irrigazione con conseguente rinuncia al servizio da parte del richiedente.

Ordinando quindi cronologicamente i dati irrigui così selezionati è stato possibile risalire ai volumi mensilmente prelevati all'interno dell'area oggetto di studio.

| VOLUMI IRRIGUI |       |     |        |        |       |
|----------------|-------|-----|--------|--------|-------|
| APR            | MAG   | GIU | LUG    | AGO    | SET   |
| 30             | 31    | 30  | 31     | 31     | 30    |
| 72             | 12146 | 504 | 442213 | 294869 | 27724 |

Tab. 4.8 – Volumi irrigui prelevati dalla rete in m<sup>3</sup>/mese.

#### 4.1.6 Valutazione del volume uscito dal sistema

Il regime delle portate in uscita dal bacino pilota è già stato commentato nel capitolo precedente nell'effettuare le simulazioni idrauliche. In breve è bene ricordare che durante i mesi invernali i tiranti idrici sono molto bassi, risultanti per lo più dal contributo del depuratore di Villa Seta, mentre in estate risultano molto alte al fine di soddisfare le richieste irrigue non solo degli appezzamenti collocati all'interno del bacino pilota, ma anche di quelli a valle.

I dati riguardanti le portate uscenti dal bacino pilota sono stati ricavati dalle osservazioni in continuo del livello idrico registrato dalla stazione di monitoraggio di Santa Vittoria, mediante la scala di deflusso ottenuta grazie allo studio idraulico; tali dati sono però risultati disponibili per il solo periodo estivo, dalla metà del mese di maggio fino al mese di settembre quando la stazione stessa è stata chiusa al

termine per periodo irriguo; le misurazioni sono poi riprese dal mese di novembre in concomitanza con il riposizionamento dello strumento.

E' bene inoltre ricordare la presenza di una traversa che durante i mesi irrigui viene posizionata subito a valle della stazione allo scopo mantenere invasato un volume d'acqua maggiore a monte.

Nella tabella seguente (Tab. 4.9) sono stati riportati i valori di portata calcolati sulla base delle misurazioni disponibili, trasformate poi in m<sup>3</sup> al mese. Il segno negativo dei dati volumetrici è dovuto al sistema di riferimento assunto, ovvero al fatto che sono portate uscite dal sistema.

|                               | VOLUMI USCITI DAL BACINO |     |     |     |         |          |          |          |         |     |         |         |
|-------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|---------|----------|----------|----------|---------|-----|---------|---------|
|                               | GEN                      | FEB | MAR | APR | MAG     | GIU      | LUG      | AGO      | SET     | OTT | NOV     | DIC     |
|                               | 31                       | 28  | 31  | 30  | 31      | 30       | 31       | 31       | 30      | 31  | 30      | 31      |
| Livello [m]                   |                          |     |     |     | 1.20    | 1.25     | 1.26     | 1.26     | 0.23    |     | 0.19    | 0.28    |
| Portata [m <sup>3</sup> /s]   |                          |     |     |     | 0.298   | 0.396    | 0.417    | 0.406    | 0.190   |     | 0.123   | 0.261   |
| Volume [m <sup>3</sup> /mese] |                          |     |     |     | -798991 | -1025982 | -1116423 | -1088137 | -491282 |     | -318473 | -699379 |

Tab. 4.9 – Portate e volumi in uscita dal bacino pilota.

#### **4.1.7 Stima dei volumi entrati e usciti dal sistema mediante bilancio idrologico**

Dopo aver presentato le componenti che interagiscono nel deflusso delle acque all'interno della rete del bacino pilota, è possibile stilare un bilancio idrologico su scala mensile che permetta:

- di stimare i volumi che complessivamente dovrebbero essere usciti dalla sezione corrispondente alla stazione di monitoraggio durante i mesi invernali;
- di stimare i volumi che dovrebbero essere stati immessi a monte dell'area a scopo irriguo durante i mesi estivi, previa stima dei volumi usciti mediante le misure di livello disponibili.

Viene riportata di seguito una tabella riassuntiva contenente tutti i volumi coinvolti; evidenziati con sfondo verde sono i termini stimati mediante il bilancio stesso.

|  | BILANCIO IDROLOGICO |        |         |         |         |          |          |          |         |        |          |         |
|--|---------------------|--------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|--------|----------|---------|
|  | GEN                 | FEB    | MAR     | APR     | MAG     | GIU      | LUG      | AGO      | SET     | OTT    | NOV      | DIC     |
|  | 31                  | 28     | 31      | 30      | 31      | 30       | 31       | 31       | 30      | 31     | 30       | 31      |
| Pioggia netta [m <sup>3</sup> /mese]         | 59935               | 8194   | 42869   | 234015  | 387964  | 713787   | 77197    | 10936    | 8871    | 17272  | 1339004  | 374085  |
| Depuratore [m <sup>3</sup> /mese]            | 53475               | 48300  | 53475   | 51750   | 53475   | 51750    | 53475    | 53475    | 51750   | 53475  | 51750    | 53475   |
| Perdite x evap. [m <sup>3</sup> /mese]       | -2348               | -3079  | -4720   | -5954   | -14785  | -17300   | -19427   | -19903   | -15219  | -7226  | -4366    | -2071   |
| Perdite x infiltr. [m <sup>3</sup> /mese]    | -5763               | -3831  | -4241   | -4104   | -25220  | -23022   | -23789   | -23789   | -33868  | -8397  | -8126    | -3930   |
| Infiltraz. Suborizz. [m <sup>3</sup> /mese]  | 54611               | 32005  | 68382   | 118511  | 124733  | 231189   | 90606    | 43835    | 9300    | 12517  | 56220    | 177386  |
| Portata prelevata [m <sup>3</sup> /mese]     | 0                   | 0      | 0       | -72     | -12146  | -504     | -442213  | -294869  | -27724  | 0      | 0        | 0       |
| Livello [m]                                  |                     |        |         |         | 1.2     | 1.25     | 1.26     | 1.255    | 0.234   |        | 0.185    | 0.279   |
| Vol. uscito misur. [m <sup>3</sup> /mese]    |                     |        |         |         | -798991 | -1025982 | -1116423 | -1088137 | -491282 |        | -318473  | -699379 |
| Vol. uscito stim. [m <sup>3</sup> /mese]     | -159910             | -81589 | -155765 | -394146 |         |          |          |          |         | -67642 | -1434482 | -598945 |
| Vol. introdotto stim. [m <sup>3</sup> /mese] | 0                   | 0      | 0       | 0       | 284970  | 70081    | 1380575  | 1318452  | 498172  | 0      | 0        | 0       |
| Coeff. udometrico [l/(s*ha)]                 | 0.04                | 0.02   | 0.04    | 0.09    | 0.18    | 0.24     | 0.26     | 0.25     | 0.12    | 0.02   | 0.34     | 0.14    |



Tab. 4.10 – Tabella riassuntiva del bilancio idrologico.

Come si può osservare, durante i mesi invernali i volumi che circolano nella rete come accennato in precedenza sono in gran parte costituiti dalle portate del depuratore costanti nel tempo e da quelle di pioggia e di falda che però risultano concentrate in concomitanza degli eventi meteorici. Sommando i diversi contributi è possibile quindi ottenere una stima abbastanza significativa delle portate che escono dal bacino pilota durante la stagione secca e di conseguenza risalire ad un coefficiente udometrico caratteristico corrispondente pari circa a 0,03 [litri/(s\*ha)]. Tale valore si discosta in modo deciso da quelli stimati per i mesi di novembre e dicembre durante i quali si sono manifestati eventi meteorici di intensità ben oltre l'ordinario, e quindi non molto significativi. I volumi stimati per tali periodi sono risultati però ugualmente utili in quanto, essendo disponibili le serie dei livelli misurati, è stato possibile porli a confronto con quelli risultanti dalle osservazioni. Osservando invece la stagione estiva si riscontra che la presenza delle attività irrigue arricchisce il bilancio idrologico con i ulteriori volumi. Utilizzando i dati di livello misurati alla stazione di monitoraggio, è stato possibile stimare i volumi che sono stati immessi nella rete; come è intuibile durante i mesi di maggio e giugno, durante i quali si sono verificati eventi meteorici abbastanza intensi, il consorzio ha introdotto nel sistema minori portate rispetto alla media stagionale al fine di soddisfare le richieste irrigue.

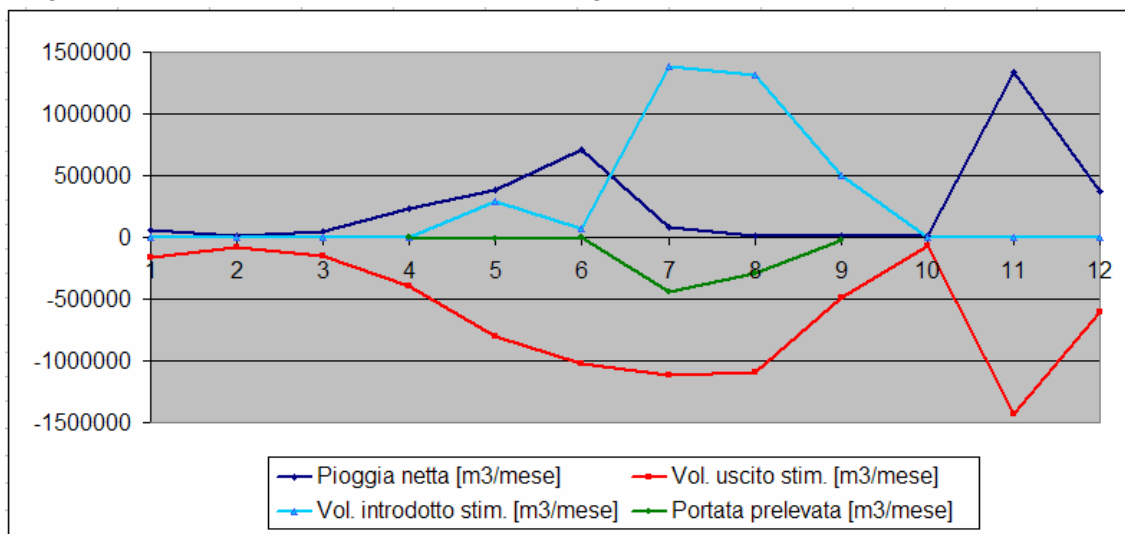


Fig. 4.3 – Andamento mensile dei volumi scambiati dal sistema.

Dividendo infine il valore dei volumi uscenti per l'estensione del bacino è stato così possibile ricavare un coefficiente udometrico caratteristico per la stagione estiva pari a circa 0,2 [litri/(s\*ha)].

Una ultima precisazione a proposito della tabella riassuntiva 4.10 merita ancora attenzione. I mesi di aprile e settembre possono essere considerati dei periodi di transizione tra la stagione secca e quella irrigua. Ad aprile ad esempio il bilancio così come è rappresentato non può considerarsi corretto in quanto in tale periodo

viene innalzata la traversa alla stazione Santa Vittoria ed inoltre il consorzio comincia ad invasare acqua nei canali, processo che richiede diversi giorni.

A settembre invece la regolamentazione estiva viene mantenuta fino a circa la metà del mese quando viene tolta la traversa alla stazione di monitoraggio ed il regime di funzionamento cambia radicalmente.

## 5. ANALISI DEI CARICHI INQUINANTI

### 5.1 Dati sperimentali utilizzati per la calibrazione di QUAL2E

Il processo di calibrazione di un modello richiede l'assegnazione dei valori a diversi coefficienti che caratterizzano la dinamica delle variabili simulate e che ne costituiscono i parametri di taratura. La correzione dei suddetti parametri avviene attraverso il confronto tra le rilevazioni sperimentali disponibili per gli indicatori considerati ed i risultati della simulazione ottenuti tramite il modello matematico.

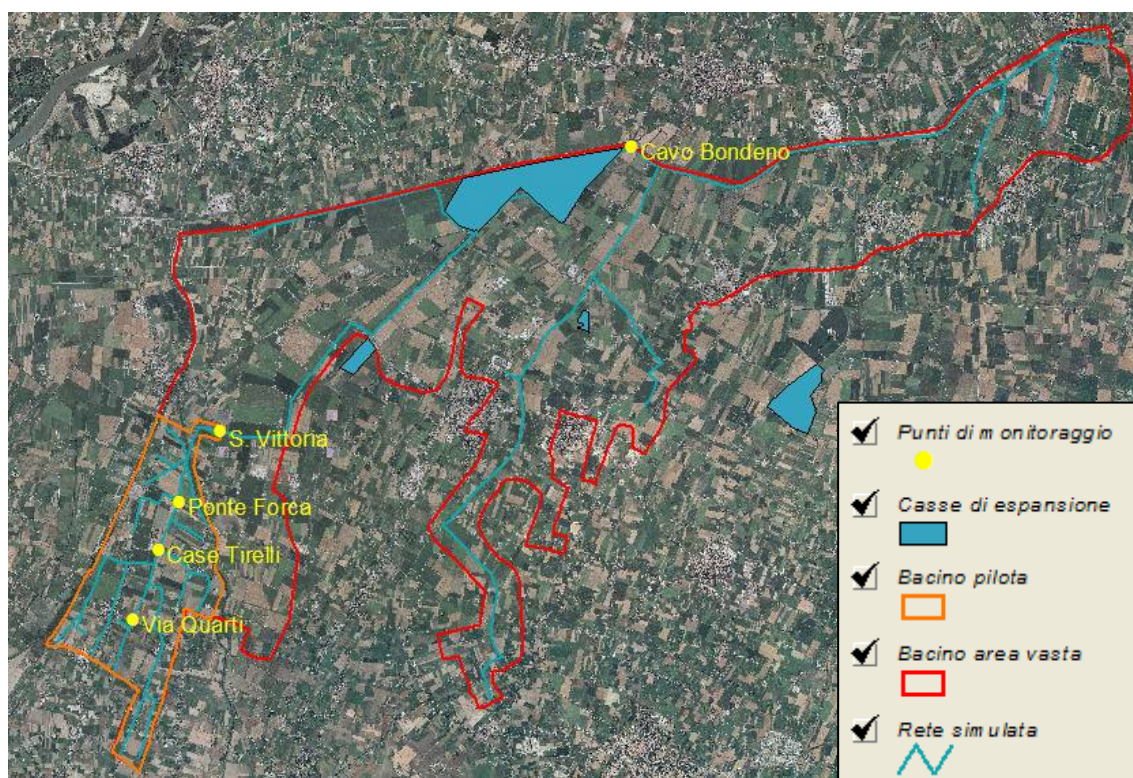


Fig. 5.1 – Mappa delle stazioni di monitoraggio del progetto RIMEDIA.

Nel bacino di interesse, come già descritto, sono stati individuati 5 punti significativi nei quali eseguire i campionamenti: quattro si trovano all'interno del bacino pilota lungo l'asta principale mentre il quinto è localizzato più a valle sul proseguimento del canale principale, all'altezza delle casse di espansione Bagna-Valletta-Bruciati. Per i risultati della campagna di monitoraggio si rimanda al report "Monitoraggio delle acque superficiali".

## **6. SIMULAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE DELLA RETE DI BONIFICA**

### **6.1 Il modello QUAL2E**

Il modello adottato per la simulazione della qualità delle acque è il QUAL2E, sviluppato a partire dagli anni '70 dall'agenzia governativa americana per l'ambiente US-EPA.

Il programma è utilizzato nella pratica professionale come strumento di pianificazione per studiare l'impatto di scarichi inquinanti lungo i fiumi, o verificare l'impatto dei cambiamenti meteorologici sui parametri di qualità.

Il modello opera unicamente su sistemi monodimensionali e ben miscelati; è in grado di simulare sull'intero reticolo idrografico di un bacino il comportamento delle componenti idrologiche e di qualità nei canali caratterizzati da scarichi inquinanti, perdite, prelievi ed immissioni di portata.

Il programma offre la possibilità di prevedere cambiamenti dinamici spazio-temporali in risposta a variazioni ambientali, di effettuare un'analisi delle incertezze e di tenere conto delle variazioni meteorologiche. Si può operare sia in condizioni stazionarie che dinamiche: nel primo caso, il modello permette di studiare l'effetto degli scarichi inquinanti sulla qualità di un fiume; nel secondo caso, invece, si possono osservare gli effetti dei cambiamenti meteorologici sulla qualità delle acque (tali dati devono essere forniti in modo uniforme su tutto il bacino e ad intervalli di tempo regolari).

Uno dei motivi principali della diffusione del modello QUAL2E nella pratica professionale è l'affidabilità e completezza dei parametri di qualità modellabili: questi hanno infatti un ben preciso significato fisico, e non è necessaria una complessa fase di calibrazione, ma basta una buona campagna di misure o, nel caso questa sia inadeguata, si può fare affidamento ai valori presenti nella letteratura scientifica.

Inoltre, un pregio del programma è quello di presentare una struttura aperta, con il file sorgente scritto interamente in FORTRAN 77: questo può essere modificato, rendendo il programma flessibile e modulabile a seconda delle esigenze dell'utente.

Ad esempio, grazie alla modifica del file sorgente, è stato possibile superare alcune limitazioni imposte dal programma, come quelle sul numero massimo di rami (25), di elementi computazionali (20 per ramo e totali 250), di elementi sorgente (7), di connessione (6) ed elementi di input e prelievo (25 in totale).

Recentemente è stata implementata anche un versione Windows.

QUAL2E è in grado di simulare l'andamento di 15 parametri di qualità in qualsiasi combinazione voluta; questi sono:

- OD (Ossigeno Disciolto);
- BOD (Domanda Biochimica di Ossigeno);
- Temperatura;
- Alghe (come clorofilla-a);
- Batteri coliformi;

- Un costituente arbitrario non conservativo;
- Tre costituenti conservativi;
- Azoto organico;
- Ammoniacale;
- Nitriti;
- Nitrati;
- Fosforo organico;
- Fosforo disciolto.

### 6.1.1 **Struttura del modello**

Il complesso delle aste fluviali appartenenti al bacino idrografico viene schematizzato in una serie di rami (reach) collegati fra loro e caratterizzati ciascuno dalle proprie caratteristiche idrauliche (forma, pendenza e scabrezza dell'alveo) e biovegetali (tassi di decadimento del BOD, di crescita algale, di sedimentazione algale, etc.). Ciascun ramo viene a sua volta suddiviso in un numero intero di elementi computazionali, tutti di ugual lunghezza e con le caratteristiche idrauliche e biovegetali del tratto a cui appartengono.

Esistono sette diversi tipi di elementi computazionali:

- elemento sorgente: i primi elementi del fiume e di ogni suo affluente;
- elementi standard;
- elementi che precedono una connessione;
- elementi di connessione: in cui sfociano gli affluenti simulati;
- elementi finali (uno per ogni sistema fluviale);
- elementi di input (scarichi inquinanti ed affluenti non simulati);
- elementi di prelievo.

Ogni elemento computazionale viene considerato come un reattore a sé stante, per il quale il programma esegue un:

1. *bilancio idrologico* in termini di portata ( $m^3/s$ ), eseguito in condizioni stazionarie (variazione della portata indipendente dal tempo); vengono ricostruite le grandezze idrodinamiche (portata, tirante idrico e velocità della corrente) richieste dal modulo biochimico seguente;
2. *bilancio di massa* in termini di concentrazione (mg/l), svolto per ogni costituente simulato e considerando, oltre alle reazioni chimiche e biochimiche, gli effetti dei processi di trasporto previsti dal programma: advezione, dispersione e diluizione; questo sottomodulo costituisce la fase più complessa del modello, ed utilizza opportuni algoritmi in relazione alla tipologia degli inquinanti e all'accuratezza richiesta dalla simulazione;
3. *bilancio termico* in termini di temperatura ( $^{\circ}C$ ), considerato attraverso la superficie di separazione aria-acqua; vengono cioè riprodotti i

fenomeni di scambio energetico con l'atmosfera e il letto fluviale, nonché gli apporti di calore per processi esogeni interni.

### **6.1.2 Dati in ingresso al modello**

QUAL2E definisce quattro tipi di funzioni in ingresso, per le quali i dati di input devono essere forniti in termini di portata, caratteristiche di qualità e caratteristiche climatologiche locali; tali funzioni sono:

- *Sorgenti*: sono gli ingressi che costituiscono le condizioni al contorno di molte richieste per generare la soluzione dell'equazione di bilancio di massa per il primo elemento computazionali di ogni elemento sorgente; si avrà un elemento sorgente per l'asta principale e uno per ogni affluente simulato in rete.
- *Scarichi puntuali e prelievi*: sono gli ingressi utilizzati per rappresentare gli scarichi puntuali del sistema, come ad esempio gli scarichi civili o industriali, e le perdite nel sistema dovute a derivazioni.
- *Afflussi aggiuntivi*: rappresentano il flusso in ingresso o in uscita al e dal sistema, uniformemente distribuito lungo un generico ramo ed equamente suddiviso tra tutti gli elementi computazionali di quel ramo; questa caratteristica è utilizzata per simulare gli effetti di inquinanti di tipo diffuso oppure di perdite sotterranee.
- *Concentrazione di valle*: l'inserimento nel programma della concentrazione al contorno di valle, se nota, dei costituenti di qualità, permette di modellare quei sistemi caratterizzati da un'elevata dispersione nei rami di valle.

### **6.1.3 Sottomoduli**

Il modello qualitativo *QUAL2E* è organizzato in tre distinti moduli:

1. idraulico: ricostruisce le grandezze idrodinamiche richieste dal modulo biochimico (essenzialmente portata, tirante idrico e velocità della corrente);
2. biochimico: simula i processi di trasporto, sedimentazione/presa in carico e degradazione biologica o chimica dei diversi componenti; rappresenta la fase più complessa del modello, richiedendo l'utilizzazione di algoritmi selezionati in base alla tipologia degli inquinanti e all'accuratezza richiesta nella simulazione;
3. termico: riproduce i fenomeni di scambio energetico con l'atmosfera e il letto fluviale, nonché gli apporti di calore per processi esogeni interni.

#### 6.1.4 Modulo idraulico

Il modello *QUAL2E* assume che il regime idraulico del corso d'acqua sia stazionario ovvero che la portata vari indipendentemente dal tempo. L'equazione di bilancio idraulico utilizzata per ogni elemento computazionale sarà quindi del tipo:

$$\left( \frac{dQ}{dx} \right)_i = (Q_x)_i$$

dove:

- Q      portata;
- $Q_x$       somma delle portate esterne in ingresso o in uscita dall'elemento i-esimo;
- x      coordinata spaziale che misura la distanza lungo l'asta fluviale.

La variazione della portata nello spazio per l'i-esimo elemento computazionale è quindi pari all'afflusso o al prelievo esterno.

Le altre caratteristiche idrauliche sono determinate attraverso equazioni che legano tali caratteristiche alla portata in alveo Q, attraverso le costanti empiriche  $\alpha$ ,  $\beta$ , a, b:

- velocità media della corrente:  $u = a \cdot Q^b$
- sezione trasversale dell'alveo:  $A_x = Q / u$
- profondità dell'alveo:  $d = \alpha \cdot Q^\beta$

Diversamente, se sono note le caratteristiche della sezione trasversale dell'alveo in funzione di d, la velocità media della corrente u può essere ottenuta come funzione della portata passando attraverso la soluzione dell'equazione di Manning.

#### 6.1.5 Modulo biochimico

Nel modulo biochimico si possono identificare due fenomeni principali:

- fenomeno dell'advezione-dispersione;
- processi fisici, chimici e biologici dei vari costituenti e loro interazioni.

#### 6.1.6 Fenomeno dell'advezione-dispersione

Il fenomeno di advezione-dispersione è basato sull'equazione monodimensionale di conservazione della massa, nell'ipotesi di completo mescolamento nella sezione.

Essa viene integrata numericamente nel tempo e nello spazio, per ogni costituente di qualità che viene simulato.

Per qualsiasi costituente C la sua formulazione è la seguente:

$$\frac{dC}{dt} = \underbrace{\frac{d(A_x \cdot D_L \cdot \frac{dC}{dx})}{A_x dx}}_{\text{Componente di dispersione}} - \underbrace{\frac{d(A_x \cdot u \cdot C)}{A_x dx}}_{\text{Componente di advezione}} + \underbrace{\frac{dC}{dt}}_{\text{Crescita o decadimento}} + \underbrace{\frac{s}{V}}_{\text{Contributo sorgenti e prelievi}}$$

dove:

|       |  |
|-------|--|
| $C$   | concentrazione del costituente;            |
| $A_x$ | area della sezione trasversale;            |
| $D_L$ | coefficiente di dispersione longitudinale; |
| $u$   | velocità media del fluido;                 |
| $s$   | fonti o prelievi esterni;                  |
| $V$   | volume incrementale = $A_x dx$ ;           |
| $t$   | tempo;                                     |
| $x$   | coordinata spaziale.                       |

Di particolare importanza risulta la determinazione del coefficiente di dispersione, processo che si basa principalmente su un meccanismo di trasporto convettivo. Numerose formule sono state proposte in letteratura per la valutazione del coefficiente di dispersione longitudinale  $D_L$ ; quella assunta dal *QUAL2E*, perchè ritenuta più adatta al caso monodimensionale e a corsi d'acqua non troppo ampi, è quella di Elder (1959):

$$D_L = 3.82 \cdot K \cdot n \cdot u \cdot d^{5/6} \left[ ft^2 / s \right]$$

dove  $K = 5.93$  = costante di dispersione (adimensionale),  $n$  coefficiente di Manning (adimensionale),  $u$  velocità media (ft/sec) e  $d$  profondità media (m).

#### **6.1.7 Processi fisici chimici e biologici dei vari costituenti e loro interazioni:**

I meccanismi autodepurativi presenti in un corso d'acqua sono numerosi e piuttosto complessi.

Le trasformazioni di massa ed energia sono regolate da processi di crescita, di respirazione, di mortalità e di decomposizione che, a loro volta, sono fortemente influenzati dalla temperatura e dalle concentrazioni dei nutrienti.

Il modello *QUAL2E*, come già detto in precedenza, è in grado di simulare fino a 15 indicatori di qualità dell'acqua mediante relazioni matematiche che esprimono i principali processi chimici e biochimici che avvengono nel corso d'acqua; essi vengono valutati automaticamente all'interno del modello, così come tutte le altre grandezze che sono funzione della temperatura.

Di seguito si riportano alcune considerazioni relative ai vari indicatori di qualità.

- **Biomassa algale**

La clorofilla viene assunta quale indicatore della biomassa algale presente nel sistema, sulla base dell'ipotesi che essa sia proporzionale alla biomassa fitoplanctonica.



Il tasso di crescita algale è legato alla disponibilità di nutrienti e di luce, oltre che alla temperatura. All'interno del modello esistono tre possibili formulazioni che lo legano in maniera diversa all'azione limitante di luce e nutrienti.

Sebbene in letteratura siano state formulate numerose e differenti forme matematiche che legano la luce ai processi di fotosintesi, tutte quante mostrano come l'aumento dell'intensità della luce determini una crescita dell'attività fotosintetica, fino ad un valore di saturazione. Il modello QUAL2E offre una serie di opzioni per la rappresentazione della luce come fattore limitante nel tasso di crescita algale.

Relativamente alla relazione tra alghe e nutrienti, i nutrienti presi in considerazione all'interno del modello sono i composti dell'azoto e del fosforo. La presenza di tali nutrienti in acqua è molto importante perché, nel caso di concentrazioni troppo elevate, essi sono in grado di inibire la crescita delle alghe; di questo aspetto si tiene conto in QUAL2E.

- Il Ciclo dell'Azoto

Nelle acque naturali aerobiche esiste una progressiva trasformazione dell'azoto organico (Norg) ad azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_3$ ), ad azoto nitroso ( $\text{N-NO}_2$ ), fino ad azoto nitrico ( $\text{N-NO}_3$ ). Il ciclo dell'azoto simulato in QUAL2E contiene tutte e quattro queste componenti, e lo descrive mediante equazioni differenziali che governano la trasformazione da una forma di azoto all'altra.

Si tiene conto anche dell'interazione con la sedimentazione sul fondo fluviale e del contributo dovuto alle fonti bentoniche.

Il programma QUAL2E è in grado di modellare anche il fenomeno di inibizione del processo di nitrificazione che ha luogo in presenza di bassi valori di OD.

- Il Ciclo del fosforo

Il ciclo del fosforo, per molti aspetti, opera come il ciclo dell'azoto. La forma organica del fosforo si genera dalla morte delle alghe che, passando allo stato inorganico disciolto, contribuiscono nuovamente alla crescita primaria delle alghe stesse. Il fosforo proveniente dagli scarichi degli impianti di trattamento, in genere, si trova nella forma inorganica disciolta e quindi direttamente assimilabile dalle alghe (Bowie e altri, 1985).

Il ciclo del fosforo contenuto in QUAL2E coinvolge sia la parte organica P1 (mg-P/l), sia quella disciolta P2 (mg-P/l) di tale elemento e considera le trasformazioni da una forma all'altra.

- BOD

Il QUAL2E descrive il processo di deossigenazione del BOD ultimo (consumato in un tempo teoricamente infinito) attraverso una relazione del primo ordine. Tale relazione tiene conto anche della rimozione legata alla sedimentazione (Thomas, 1948):

$$\frac{dL}{dt} = -k_1 \cdot L - k_3 \cdot L$$

dove:

- $L$  concentrazione di BOD carbonaceo [ $mg / l$ ];
- $k_1$  tasso di decadimento del BOD [ $giorno^{-1}$ ];
- $k_3$  tasso di sedimentazione del BOD [ $giorno^{-1}$ ].

Nel caso generale, QUAL2E simula il BOD *ultimo*, ma è comunque possibile scegliere di considerare il BOD<sub>5</sub> (a cinque giorni) utilizzando la seguente equazione per la conversione:

$$BOD_5 = BOD_u (1.0 - e^{(-5k_{BOD})})$$

dove  $k_{BOD}$  è il coefficiente di conversione ( $giorno^{-1}$ ), che può essere specificato dall'utente e che viene automaticamente applicato a tutti gli ingressi presenti nel sistema. Il valore di default previsto dal programma è 0,23  $giorno^{-1}$ .

- Ossigeno Disciolto

La capacità autodepurativa di un fiume si esplica nell'abilità del fiume stesso di mantenere un'adeguata concentrazione di ossigeno disciolto, ed è condizionata, oltre che dai processi di advezione e diffusione, anche da eventuali fonti interne di ossigeno e dai prelievi.

Nel calcolo del bilancio di ossigeno, il modello considera tutti quei fattori che influenzano in maniera significativa la concentrazione di ossigeno disciolto ed in particolare analizza gli effetti che le principali interazioni del ciclo dei nutrienti (fosforo ed azoto), la produzione algale, la domanda benthica di ossigeno, il consumo di ossigeno per la degradazione delle sostanze organiche e la riossigenazione atmosferica, producono su tale componente.

Le principali fonti di ossigeno, oltre alla riossigenazione atmosferica, sono i processi fotosintetici e l'ossigeno disciolto presente negli afflussi al corpo idrico.

I principali prelievi di ossigeno includono l'ossidazione biochimica di materia organica (di origine carbonica e azotata), la domanda benthica di ossigeno e l'ossigeno utilizzato dalle alghe per respirare.

L'equazione differenziale usata da QUAL2E per descrivere tutte queste interazioni è:

$$\frac{dO}{dt} = k_2(O^* - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - k_1L - \frac{k_4}{d} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2$$

dove:

- $k_2$  coefficiente di riossigenazione atmosferica ( $giorno^{-1}$ );
- $O^*$  concentrazione, a saturazione, dell'OD ( $mg/l$ );
- $\alpha_3, \mu, \alpha_4, \rho, A$  parametri relativi alla massa algale e alle sue funzioni;
- $k_1$  tasso di decadimento del BOD ( $giorno^{-1}$ );
- $L$  concentrazione del BOD ( $mg/l$ );
- $k_4$  tasso di domanda di O da parte dei sedimenti ( $g/ft^2-giorno$ );

|            |  |
|------------|--|
| $d$        | profondità media (ft);   |
| $\alpha_5$ | tasso di prelievo di O per unità di ossidazione di N-NH <sub>3</sub> (mg-O/mg-N);                |
| $\beta_1$  | tasso di ossidazione biologica di N-NH <sub>3</sub> a N-NO <sub>2</sub> (giorno <sup>-1</sup> ); |
| $\alpha_6$ | tasso di prelievo di O per unità di ossidazione di N-NO <sub>2</sub> (mg-O/mg-N);                |
| $\beta_2$  | tasso di ossidazione di N-NO <sub>2</sub> a N-NO <sub>3</sub> (giorno <sup>-1</sup> ).           |

Molto spesso il coefficiente di riossigenazione  $k_2$  è espresso come una funzione della profondità e della velocità del corso d'acqua. All'interno del modello, non esistono valori di default per  $k_2$ , ma sono presenti otto diverse opzioni per la stima o la lettura di tale parametro, a seconda che si voglia farlo calcolare al programma o inserirlo manualmente.

- Riossigenazione negli sbarramenti fluviali

QUAL2E consente di modellare gli apporti di ossigeno al sistema provenienti dalla riossigenazione che si manifesta in prossimità di elementi quali sbarramenti, traverse e dighe.

L'equazione è formulata da Butts & Evans (1983) e attribuibile a Gameson; essa permette di stimare, in funzione di due parametri empirici e dell'altezza di caduta dell'acqua, l'ingresso di ossigeno derivante da tali sbarramenti.

- Batteri Coliformi

I coliformi sono utilizzati come indicatori di contaminazione patogena nelle acque superficiali. La concentrazione di batteri coliformi E (#/100 ml), in genere, viene stimata utilizzando funzioni di decadimento del primo ordine, che considerano solo il tasso di mortalità dei coliformi  $k_5$  (giorno<sup>-1</sup>), in funzione della temperatura:

$$\frac{dE}{dt} = -k_5 \cdot E$$

- Costituente generico non conservativo

Il costituente generico non conservativo viene modellato tramite una legge di decadimento del primo ordine, a cui si aggiungono termini di sorgenti esterne e di prelievi:

$$\frac{dR}{dt} = -k_6 \cdot R - \sigma_6 \cdot R + \frac{\sigma_7}{d}$$

dove:

|       |   |
|-------|---|
| $R$   | concentrazione del generico costituente non conservativo;               |
| $k_6$ | asso di decadimento del costituente (giorno <sup>-1</sup> );            |
| $s_6$ | coefficiente di sedimentazione del costituente (giorno <sup>-1</sup> ); |
| $s_7$ | fonte bentonica per il costituente (mg /ft <sup>2</sup> -giorno).       |

- Dipendenza dei coefficienti dalla temperatura

Molti dei processi descritti fino ad ora sono influenzati dalla temperatura.

Questa dipendenza viene espressa ammettendo un legame tra il valore di alcuni parametri e la temperatura.

### 6.1.8 Modulo termico:

La modellazione della temperatura consiste in un bilancio termico per ogni elemento computazionale del sistema. L'equazione utilizzata a tale fine è l'equazione di base del trasporto di massa, considerando il calore come un costituente  $C$  qualsiasi e relazionandolo opportunamente alla temperatura:

$$C = \rho \cdot c \cdot (T - T_0)$$

dove:

- $C$       concentrazione di calore;
- $\rho$       densità dell'acqua;
- $c$       capacità termica;
- $T$       temperatura dell'acqua;
- $T_0$     temperatura di base arbitraria.

Di rilievo è il flusso di calore trasferito attraverso l'unità di superficie aria-acqua, nell'unità di tempo (giorno). Il trasferimento di calore attraverso l'interfaccia aria-acqua avviene mediante tre diversi processi, tutti considerati nel dettaglio in QUAL2E:

- lo scambio per radiazione;
- l'evaporazione;
- la conduzione.

Tutte le variabili necessarie alla simulazione della temperatura vengono definite ramo per ramo. Questo è molto utile, ad esempio, in bacini caratterizzati da una altitudine molto variabile. Il modello fornisce in uscita un sommario dettagliato riguardante la temperatura ed il bilancio termico.

### 6.1.9 Il file di input

Tutti i dati di input vengono scritti in un file con estensione \*.RUN, eseguibile sia dalla versione per Windows, sia dalla versione in DOS.

Il file di input può essere realizzato mediante un qualsiasi editor di testo, preoccupandosi solo di rispettare la forma del codice prevista per i dati d'ingresso. Nel file di input i dati vengono suddivisi per campi (data type n°\_) in funzione del tipo di dati che si desidera inserire; ogni campo, tranne il primo, finisce sempre con "ENDATAN°\_", dove n° è il numero del relativo campo; anche se non viene inserito alcun dato è sempre necessario scrivere tale termine.

### Title data

Il primo gruppo di dati è costituito da 16 linee dove, tranne nelle prime due e nell'ultima, vengono elencati, a fianco di ciascun "TITLE0\_", i vari costituenti, che possono essere simulati o no, a seconda che si scriva, nella seconda colonna, "YES o NO". Si deve notare che sia il ciclo dell'azoto sia quello del fosforo vengono simulati come gruppo.

Le prime due linee danno solo la possibilità di inserire indicazioni sul tipo di bacino, sul tipo di simulazione e quant'altro.

Il programma in generale considera il BOD ultimo, per cui se si desidera simulare il BOD5 occorre inserire nella linea 07 "5-DAY BIOCHEMICAL OXIGEN DEMAND".

Per quanto riguarda le sostanze conservative e non conservative, occorre inserire il relativo nome e l'unità di misura nei rispettivi spazi.

### Data type 1

I dati 1 constano di 18 linee dove, nella prima parte, si definiscono le opzioni di controllo del programma, e nella seconda, le caratteristiche di configurazione del sistema "fiume" oltre ad alcune caratteristiche geografiche e meteorologiche necessarie all'eventuale modellazione della temperatura.

Il programma *QUAL2E* riconosce i dati 1 dal confronto dei primi 4 caratteri, di ciascuna linea, con una serie di codici fissati internamente; di conseguenza, se c'è corrispondenza il programma accetta i dati come forniti dall'utente, in caso contrario ritorna ai valori di default e assegna il valore 0 alle variabili del sistema.

Nelle prime 7 linee si definiscono le opzioni di controllo del programma.

|                        |  |
|------------------------|--|
| LIST DATA INPUT        | Consente di visualizzare, nel file di output, anche i dati di input  |
| WRITE OPTIONAL SUMMARY | Consente di redigere, nel file di output, un rapporto intermedio   |
| FLOW AUGMENTATION      | Questa opzione permette di individuare quella portata necessaria ad ottenere valori minimi di concentrazione di OD   |
| STEADY STATE           | In questo modo si effettua una simulazione stazionaria; se si desidera quella dinamica basterà scrivere, per esempio, "NO STEADY STATE"  |
| TRAP CHANNELS          | Se si dispone delle caratteristiche geometriche della sezione trasversale, questa è l'opzione più adatta. Se invece le caratteristiche idrauliche si deducono dai coefficienti di deflusso (scala delle portate), allora sarà necessario scrivere, per esempio, "NO TRAP CHANNELS" |
| PRINT LCD/SOLAR DATA   | I dati climatologici locali verranno visualizzati in un file di output finale  |
| PLOT DO AND BOD        | Consente di rappresentare, mediante grafici, gli andamenti delle concentrazioni del BOD e dell' OD, nel file di output   |

Le successive due linee, questa volta divise in due sottogruppi, forniscono ulteriori opzioni del programma e coefficienti.

|                                   |  |                              |   |
|-----------------------------------|--|------------------------------|---|
| FIXED<br>DNSTM<br>CONC<br>(YES=1) | Inserendo 1 si ammette che le conc. dei costituenti di qualità, a valle, siano noti e quindi fissati (Vedi Data type 13 e 13A), altrimenti si dovrà inserire un valore <1 (in genere 0 o niente) | 5D-ULT BOD<br>CONV K<br>COEF | Se nei TITLE DATA è richiesto il BOD5, qui si ha la possibilità di inserire il coef. di conversione kBOD), in caso contrario viene assunto il valore di default 0.23 (giorno <sup>-1</sup> ) base e |
| INPUT<br>METRIC                   | Per dati in input:<br>1 - Unità di misura metrica<br>0 - Unità di misura inglese   | OUTPUT<br>METRIC             | Per i dati in output<br>1 - Unità di misura metrica<br>0 - Unità di misura inglese  |

Il sistema fiume viene definito nelle prossime quattro linee.

|                             |   |                                |  |
|-----------------------------|---|--------------------------------|--|
| NUMBER<br>OF<br>REACHES     | Definisce il numero di rami in cui è stato segmentato il sistema  | NUMBER OF<br>JUNCTIONS         | Definisce il numero di confluenze di affluenti simulati, presenti nel corso d'acqua principale |
| NUM OF<br>HEADWAT<br>ERS    | Definisce il numero di sorgenti presenti nel sistema (corso principale e affluenti simulati)                                    | NUMBER OF<br>POINT<br>LOADS    | Definisce il numero totale di ingressi (affluenti non simulati o scarichi) e prelievi          |
| TIME STEP<br>(HOURS)        | Contiene l'intervallo del passo temporale (solo per la simulazione dinamica)  | LNTH.COMP.<br>ELEMENT<br>(KM)  | Definisce la lunghezza dell'elemento computazionale  |
| MAXIMUM<br>INTERACTI<br>ONS | Simulazione statica: max num. di interazioni per la convergenza della soluzione.<br>Simulazione dinamica: tempo max di simulaz. | TIME INC.<br>FOR RPT2<br>(HRS) | Solo per la simulazione dinamica rappresenta l'incremento di tempo per il rapporto intermedio  |

Le ultime quattro linee forniscono le informazioni geografiche e meteorologiche necessarie solo se la temperatura viene simulata.

|                               |  |                                |   |
|-------------------------------|--|--------------------------------|---|
| LATITUDE<br>OF BASIN<br>(DEG) | E' il valore medio della latitudine del bacino. In gradi | LONGITUDE<br>OF BASIN<br>(DEG) | E' il valore medio della longitudine del bacino. In gradi |
| STANDARD<br>MERIDIAN          | E' il meridiano standard. In gradi                       | DAY OF YEAR<br>START TIME      | E' il giorno dell'anno in cui ha inizio la                |

|                               |  |                              |  |
|-------------------------------|--|------------------------------|--|
| (DEG)                         |  |                              | simulazione.   |
| EVAP.<br>COEF. (AE)           | E' il valore del coef. di evaporazione AE.<br>Valore tipico :<br>AE = $6.2 \times 10^{-6}$ m/hr-mbar | EVAP. COEF.<br>(BE)          | E' il valore del coef. di evaporazione BE.<br>Valore tipico :<br>BE = $5.5 \times 10^{-6}$ m/hr-mbar-m/sec del vento |
| ELEV. OF<br>BASIN<br>(METERS) | Contiene il valore medio dell'altezza del bacino s.l.m.  | DUST<br>ATTENUATION<br>COEF. | Contiene il coef. di attenuazione per la radiazione solare.<br>Range : $0 \div 0.13$                                 |

ENDATA1

#### Data type 1A

Le 12 linee dei dati 1A forniscono alcuni dei parametri che entrano in gioco nelle cinetiche dei nutrienti e delle alghe, nonché nelle interazioni con la luce.

Questo tipo di dati è necessario solo se le alghe e/o il ciclo dei vari nutrienti vengono simulati.

|  |  |                                       |  |
|--|--|---------------------------------------|--|
| O UPTAKE BY<br>NH3 OXID<br>(MG O/MG N) | Tasso di prelievo di O per unità di ossidazione di N-NH3.<br>Parametro : $\alpha_5$  | O UPTAKE BY<br>NO2 OXID<br>(MGO/MG N) | Tasso di prelievo di O per unità di ossidazione di N-NO2.<br>Parametro : $\alpha_6$  |
| O PROD. BY<br>ALGAE<br>(MG O/MG A)     | Tasso di produzione di O per fotosintesi dell'unità di massa algale.<br>Parametro : $\alpha_3$<br>In genere: 1.6 mg O/mg A<br>Range : $1.4 \div 1.8$ | O UPTAKE BY<br>ALGAE<br>(MGO/MG A)    | Tasso di prelievo di O per la respirazione dell'unità di massa algale.<br>Parametro : $\alpha_4$<br>In genere: 2.0 mg O/mg A<br>Range : $1.6 \div 2.3$ |
| N CONTENT OF<br>ALGAE<br>(MG N/MG A)   | Frazione di biomassa algale costituita da azoto.<br>Parametro : $\alpha_1$<br>Range : $0.08 \div 0.09$   | P CONTENT OF<br>ALGAE<br>(MG P/MG A)  | Frazione di biomassa algale costituita da fosforo.<br>Parametro : $\alpha_2$<br>Range : $0.012 \div 0.015$   |
| ALG MAX SPEC<br>GROWTH<br>RATE(1/DAY)  | Massimo tasso di crescita algale.<br>Parametro : $\mu_{MAX}$<br>Range : $1.0 \div 3.0$   | ALGAE<br>RESPIRATION<br>RATE (1/DAY)  | Tasso di respirazione algale.<br>Parametro : $p$<br>Valori tipici :<br>0.05 se fiume pulito  |

|                                  |   |                                 |   |
|----------------------------------|---|---------------------------------|---|
|                                  |   |                                 | 0.2 se NE e P2 > 2 volte<br>rispettive costanti di semi saturazione   |
| N HALF SATURATION CONST. (MG/L)  | Costante di semi saturazione dell'azoto.<br>Parametro : $k_N$<br>Range : 0.01 ÷ 0.30  | P HALF SATURATION CONST. (MG/L) | Costante di semi saturazione del fosforo.<br>Parametro : $k_P$<br>Range : 0.001 ÷ 0.05                                      |
| LIN ALG SHADE CO (1/HUGCHLA)     | Coef. di autombreggiamento algale lineare.<br>Parametro : $\lambda_1$   | NLIN SHADE (1/H-(UGCHA/L)**2/3) | Coef. di autombreggiamento algale non-lineare.<br>Parametro: $\lambda_2$  |
| LIGHT FUNCTION OPTION (LFNOPT)   | Rappresenta l'opzione di calcolo di FL Ci sono 3 opzioni :<br>1- Funz. Semi-saturazione<br>2- Funz. di Smith<br>3- Funz. Steel                        | LIGHT SATURATION COEF (INT/MIN) | Coefficiente di saturazione della luce.<br>Parametro : $K_L$<br>Varierà al variare della funzione scelta                    |
| DAILY AVERAGING OPTION (LAVOPT)  | Rappresenta l'opzione di calcolo di FL partendo dai dati di radiazione solare disponibili   | LIGHT AVERAGING FACTOR (AFACT)  | Fattore di luce medio<br>Parametro : <b>AFACT</b><br>Range : 0.85 ÷ 0.10  |
| NUMBER OF DAYLIGHT HOURS (DLH)   | Numero di ore di luce al giorno   | TOTAL DAILY SOLAR RADTN (INT)   | Radiazione solare totale giornaliera.<br>Necessaria solo se si sceglie l'opzione 2 o 4 (Dati 1A, linea 8)                   |
| ALGY GROWTH CALC OPTION (LGROPT) | Rappresenta l'opzione di calcolo di $\mu$ . Ci sono 3 opzioni :<br>1- Relaz. moltiplicativa<br>2- Un solo nutr. limitante<br>3- Relaz. armonica media | ALGAL PREF FOR NH3-N (PREFN)    | Fattore di preferenza algale per l'azoto ammoniacale.<br>Parametro : $P_N$<br>Valore : 0 ÷ 1                                |
| ALG/TEMP SOLAR RAD FACT (TFACT)  | Frazione di radiazione solare fotosinteticamente attiva.<br>Necessario solo se si sceglie l'opzione 1 o 3 (Dati 1A, linea 8)                          | NITRIFICATION INHIBITION COEF   | Coefficiente di inibizione della nitrificazione<br>Parametro : <b>KNITRF</b><br>Valore default : 10<br>(nessuna inibizione) |



|  |  |  |                      |
|--|--|--|----------------------|
|  | Parametro : <b>TFACT</b><br>Valore : 0 ÷ 1 |  | alla nitrificazione) |
|--|--|--|----------------------|

ENDATA1A

### Data type 1B

Molti dei processi rappresentati nel *QUAL2E* hanno a che fare con la temperatura. Il programma offre all'utente la possibilità, eventualmente, di variare i fattori di correzione della temperatura proposti come valori di default.

Se non viene inserita alcuna informazione, in questo gruppo di dati i valori usati sono elencati nella sottostante tabella.

| INDICE | COEFFICIENTI                  | VALORI DEFAULT | CODE     |
|--------|-------------------------------|----------------|----------|
| 1      | Decadimento BOD               | 1.047          | BOD DECA |
| 2      | Sedimentazione BOD            | 1.024          | BOD SETT |
| 3      | Reazione                      | 1.024          | OXY TRAN |
| 4      | SOD                           | 1.060          | SOD RATE |
| 5      | Decadimento N-org             | 1.047          | ORGN DEC |
| 6      | Sedimentazione N-org          | 1.024          | ORGN DEC |
| 7      | Decadimento N-NH <sub>3</sub> | 1.083          | NH3 DECA |
| 8      | Produzione N-NH <sub>3</sub>  | 1.074          | NH3 SRCE |
| 9      | Decadimento Nitriti           | 1.047          | NO2 DECA |
| 10     | Decadimento P-org             | 1.047          | PORG DEC |
| 11     | Sedimentazione P-org          | 1.024          | PORG SET |
| 12     | Produzione P-disc             | 1.074          | DISP SRC |
| 13     | Crescita algale               | 1.047          | ALG GROW |
| 14     | Respirazione algale           | 1.047          | ALG RESP |
| 15     | Sedimentazione algale         | 1.024          | ALG SETT |
| 16     | Decadimento coliformi         | 1.047          | COLI DEC |
| 17     | Decadimento Non-cons.         | 1.000          | ANC DECA |
| 18     | Sedimentazione Non-cons.      | 1.024          | ANC SETT |
| 19     | Produzione Non-cons.          | 1.000          | ANC SRCE |

Se invece si sceglie di variare qualche valore, occorrerà inserire nella seconda colonna il code relativo al processo che si considera e nella terza colonna il valore scelto come mostrato sotto.

|       |                                       |   |
|-------|---------------------------------------|---|
| THETA | CODE relativo al processo considerato | Valore del fattore di correzione proposto dall'utente |
|-------|---------------------------------------|---|

|          |
|----------|
| ENDATA1B |
|----------|

### Data type 2

Questo gruppo di dati permette di identificare, mediante il nome e le rispettive distanze (*km*) dell'inizio e della fine del ramo, partendo dal punto più a valle, il sistema di rami in cui viene suddiviso il fiume. La numerazione dei rami avviene da monte verso valle, ma va osservato che, quando si giunge ad una confluenza, l'ordine continua partendo dal punto più a monte dell'affluente, per proseguire normalmente una volta raggiunto il corso principale, sempre che si decida di simulare anche l'affluente.

Con il *QUAL2E* è possibile, una volta codificato il sistema, poter suddividere "vecchi" rami o aggiungerne dei nuovi senza rinumerare i rami per l'intero sistema. Ad esempio, se si desiderasse suddividere un ramo originariamente definito col numero 3 (REACH 3) in due rami, basterebbe definire il tratto più a monte sempre come REACH 3, e quello nuovo come REACH 3.1 fino ad un massimo di dieci suddivisioni in totale. E' importante notare che un'ulteriore suddivisione dei rami non comporta una suddivisione in più elementi computazionali, essi rimangono sempre della stessa lunghezza.

Per ogni ramo devono essere fornite le seguenti informazioni.

| STREAM REACH | Numero del ramo | RCH= | Nome del ramo | FROM | Sono i Km compresi tra il punto dove inizia il ramo e il punto più a valle del fiume o dell'affluente | TO | Sono i Km compresi tra il punto dove finisce il ramo e il punto più a valle del fiume o dell'affluente |
|--------------|-----------------|------|---------------|------|---|----|--|
|--------------|-----------------|------|---------------|------|---|----|--|

|         |
|---------|
| ENDATA2 |
|---------|

### Data type 3

Questi dati vengono richiesti solo se si utilizza l'opzione di aumento di portata (Dati 1, linea 3), ossia qualora si desideri conoscere la portata che garantisca determinati valori di O.D.

I dati richiesti, per ciascun ramo, sono i seguenti.

| FLOW AUGMT. | Numero del | Numero totale di risorse disponibili | Livello target di concentrazione | L'ordine delle risorse disponibili partendo dal |
|-------------|------------|--------------------------------------|----------------------------------|---|
|-------------|------------|--------------------------------------|----------------------------------|---|

|                |      |               |         |                               |
|----------------|------|---------------|---------|-------------------------------|
| SOURCE<br>RCH= | ramo | per quel ramo | di O.D. | punto più a monte del<br>ramo |
|----------------|------|---------------|---------|-------------------------------|

|         |
|---------|
| ENDATA3 |
|---------|

#### Data type 4

In questo gruppo di dati si identificano i tipi di elementi computazionali presenti in ciascun ramo.

A seconda del tipo di elemento si ha un diverso numero (FLAG).

I possibili elementi sono elencati di seguito:

1. elementi di sorgente (i primi elementi del fiume e di ogni suo affluente);
2. elementi standard;
3. elementi che precedono una connessione;
4. elementi di connessione (in cui sfociano gli affluenti simulati);
5. elementi finali (uno per ogni sistema fluviale);
6. elementi di input (scarichi inquinanti e affluenti non simulati);
7. elementi di prelievo.

Nel file di input, i dati relativi agli elementi computazionali dovranno assumere la seguente forma, per ciascun ramo.

|                    |                    |   |  |
|--------------------|--------------------|---|--|
| FLAG FIELD<br>RCH= | Numero del<br>ramo | Numero totale di<br>elementi<br>computazionali<br>presenti nel ramo | Serie di numeri indicanti il<br>tipo di elemento presenti<br>nel ramo (FLAG) |
|--------------------|--------------------|---|--|

|         |
|---------|
| ENDATA4 |
|---------|

#### Data type 5

Per descrivere le caratteristiche idrauliche del sistema sono disponibili due opzioni, la cui scelta viene attivata nei Dati 1 linea 5.

La prima opzione utilizza una rappresentazione funzionale che lega le caratteristiche idrauliche alla portata, una volta che siano noti i coefficienti empirici presenti nella relazione.

La seconda permette invece di dedurre le caratteristiche idrauliche dalla conoscenza delle caratteristiche geometriche della sezione trasversale.

Se è attivata l'opzione 1 = "NO TRAPEZOIDAL CHANNEL" si avrà la seguente forma dei dati:

Ricordando le relazioni:  $u = a \cdot Q^b$  e  $d = \alpha \cdot Q^\beta$

|                    |            |                |                 |                     |                 |                   |                     |
|--------------------|------------|----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| HYDRAUIC<br>S RCH= | Numer<br>o | Costante<br>di | Coef.<br>per la | Esponente<br>per la | Coef. per<br>la | Espone<br>nte per | Coefficient<br>e di |
|--------------------|------------|----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|

|  |      |                         |                      |                      |                        |                           |                                     |
|--|------|-------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
|  | ramo | dispersione<br><b>K</b> | velocità<br><b>a</b> | velocità<br><b>b</b> | profondità<br><b>α</b> | la profondità<br><b>β</b> | Manning<br><b>n</b><br>Default:0.02 |
|--|------|-------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------------|

Se è attivata l'opzione 2 = "TRAPEZOIDAL CHANNEL" si avrà invece la seguente forma dei dati.

|                     |                |   |                        |                        |                               |                       |   |
|---------------------|----------------|---|------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|---|
| HYDRAULIC<br>S RCH= | Numero<br>ramo | Costante<br>di<br>dispersione<br><b>K</b> | Inclinazione<br>lato 1 | Inclinazione<br>lato 2 | Larghezza<br>a fondo<br>fiume | Inclinazione<br>fiume | Coefficiente<br>di<br>Manning<br><b>n</b><br>Default:0.02 |
|---------------------|----------------|---|------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|---|

ENDATA5

#### Data type 5A

Quando si effettua la simulazione stazionaria della temperatura dell'acqua e le informazioni climatologiche variano da ramo a ramo, allora è necessario fornire questi ulteriori dati. Se invece *QUAL2E* viene utilizzato nel suo funzionamento dinamico, allora tali dati sono costanti globali e vengono forniti in un successivo blocco di dati (Dati climatologici).

Questo tipo di dati entra in gioco nella formulazione del bilancio termico trasferito attraverso l'interfaccia aria-acqua.

Ci sono 3 opzioni:

#### *Opzione 1 – Input variabili da ramo a ramo*

Con questa opzione, l'utente specifica esplicitamente i valori di input della temperatura per ogni singolo ramo del sistema; è quindi necessaria una linea di dati, come descritto dalla seguente tabella, per ogni ramo.

|                      |                       |                               |                          |                       |                                  |                                  |                   |                          |
|----------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------------|
| TEMP/<br>LCD<br>RCH= | Numero<br>del<br>ramo | Altezza<br>s.l.m. del<br>ramo | Coef. di<br>attenuazione | Copertura<br>nuvolosa | Temperatura<br>di bulbo<br>secco | Temperatura<br>di bulbo<br>umido | Pressione<br>Atm. | Velocità<br>del<br>vento |
|----------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------------|

ENDATA5A

#### *Opzione 2 – Valori globali*

Con questa opzione, l'utente può specificare un singolo valore per ciascun dato di input e quindi una sola linea di dati, che il programma assumerà validi per tutti i rami. I dati richiesti sono gli stessi, ma forniti su una sola linea.

### Opzione 3 – Input variabili con stima della pressione atmosferica

Nel caso in cui si desideri simulare la temperatura con i dati climatologici variabili, ma non si disponga dei valori di pressione atmosferica, *QUAL2E* ha la capacità di stimare tali valori partendo dalla conoscenza dell'altezza e della temperatura per ciascun ramo. Tale stima nasce dall'integrazione della legge dei gas ideali ad una determinata temperatura e umidità specifica.

Gli input richiesti per questa opzione sono gli stessi delle precedenti opzioni, ma con la differenza che il dato di pressione atmosferica viene fornito solo per un ramo, come dato di riferimento per la successiva stima per gli altri rami.

E' importante sottolineare che per scegliere una delle precedenti opzioni l'utente non deve specificare niente; sarà il programma a capire, sulla base del formato dei dati, con quale metodologia computazionale procedere.

### Data type 6

Questi dati forniscono tutte le informazioni relative ai processi che hanno a che fare con il BOD, il SOD e con la scelta dell'opzione per il calcolo del coefficiente di riossigenazione  $k_2$ .

Le opzioni di scelta sono otto; riepilogando brevemente:

| Opzioni per $k_2$ | Metodo                        |
|-------------------|-------------------------------|
| 1                 | Legge il valore di $k_2$      |
| 2                 | Churchill                     |
| 3                 | O'Connor e Dobbins            |
| 4                 | Owens, Edwards e Gibbs        |
| 5                 | Thackston e Krenkel           |
| 6                 | Langbien e Durum              |
| 7                 | Usa l'equazione $k_2 = a Q^b$ |
| 8                 | Tsivoglou-Wallace             |

|                       |                  |   |   |                |   |   |   |   |
|-----------------------|------------------|---|---|----------------|---|---|---|---|
| REACH<br>COEF<br>RCH= | Num<br>·<br>ramo | Tasso di<br>decadime<br>nto<br>BOD: <b>k1</b> | Tasso di<br>Sedimen<br>t.<br>BOD: <b>k3</b> | SOD: <b>k4</b> | Opzione<br>calcolo<br>del coef. di<br>reaerazion<br>e | Coef. di<br>reaerazion<br>e<br>(Opz. 1):<br><b>k2</b> | - Coef <b>a</b><br>della<br>portata<br>(Opz.7)<br>- Coef.<br>dell'eqz.<br>di<br>Tsivoglou<br>(Opz. 8) | - Espon.<br><b>b</b><br>della<br>portata<br>(Opz.7)<br>-<br>Inclinaz.<br>della<br>linea |
|-----------------------|------------------|---|---|----------------|---|---|---|---|

|  |  |  |  |  |  |  |  |                    |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------------|
|  |  |  |  |  |  |  |  | energia<br>(Opz.8) |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------------|

ENDATA6

#### Data type 6A

E' necessario inserire questo gruppo di dati solo se le alghe e/o il ciclo dell'azoto e del fosforo vengono simulati, in caso contrario possono essere omessi.

Per ciascun ramo:

|                      |                    |                                       |  |  |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|--|--|
| N AND P<br>COEF RCH= | Numero<br>del ramo | Tasso di idrolisi<br>N-org: $\beta_3$ | Tasso di<br>sedimentazione di<br>N-org: $\sigma_4$ | Tasso di<br>ossidazione di N-<br>NH <sub>3</sub> : $\beta_1$ |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|--|--|

Segue:

|   |   |  |   |   |
|---|---|--|---|---|
| Tasso di<br>produzione<br>bentonica di N-<br>NH <sub>3</sub> : $\sigma_3$ | Tasso di<br>ossidazione<br>di N-NO <sub>2</sub> : $\beta_2$ | Tasso di<br>decadimento<br>di P-org: $\beta_4$ | Tasso di<br>sedimentazione<br>di Porg: $\sigma_5$ | Tasso di<br>produzione<br>bentonica di<br>Pdisc: $\sigma_2$ |
|---|---|--|---|---|

ENDATA6A

#### Data type 6B

Questi dati possono essere omessi se non vengono simulate le alghe, il ciclo dell'azoto e del fosforo, i coliformi e/o il costituente non conservativo.

Per ciascun ramo:

|                        |                       |  |  |  |
|------------------------|-----------------------|--|--|--|
| ALG/OTHER<br>COEF RCH= | Numero<br>del<br>ramo | Fattore di<br>conversione<br>clorofilla → alghe<br>Parametro: $\alpha_0$<br>Default : 50 ug<br>Chl-a/mgA | Tasso di<br>sedimentazione<br>algale<br>Parametro : $\sigma_1$ | Coef. di estinzione<br>luce non algale<br>Parametro : $\lambda_0$<br>Default : 0.01 ft-1 |
|------------------------|-----------------------|--|--|--|

Segue:

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| Coef. di<br>mortalità<br>dei coliformi<br>Parametro : $k_5$ | Tasso di decadimento<br>dell'inquinante non<br>conservativo<br>Parametro : $k_6$ | Tasso di<br>sedimentaz.<br>dell'inquinante non<br>conservativo<br>Parametro : $\sigma_6$ | Tasso di produzione<br>bentonica<br>dell'inquinante non<br>conservativo<br>Parametro: $\sigma_7$ |
|---|--|--|--|

ENDATA6B

#### Data type 7

Questo gruppo di dati, uno per ogni ramo, stabilisce le condizioni iniziali in termini di temperatura, di concentrazione di BOD, di OD, di costituenti conservativi e non, nonché dei coliformi.

La condizione iniziale sulla temperatura deve essere sempre specificata.

| INITIAL<br>COND-1<br>RCH= | Numero<br>del<br>ramo | Temperatura<br>Default:20C | OD | BOD | 1<br>Minerale<br>Conserv. | 2<br>Minerale<br>Conserv. | 3<br>Minerale<br>Conserv. | Costituente<br>non<br>conserv | Coliformi |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------|----|-----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------|
|---------------------------|-----------------------|----------------------------|----|-----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------|

ENDATA7

#### Data type 7A

Anche questi dati riguardano le condizioni iniziali, ma sono richiesti solo se le alghe e/o i cicli dei nutrienti vengono simulati.

| INITIAL<br>COND-2<br>RCH= | Numero<br>del ramo | Clorofilla | N-<br>org | N-<br>NH <sub>3</sub> | Nitriti | Nitrati | P-org | P-disc |
|---------------------------|--------------------|------------|-----------|-----------------------|---------|---------|-------|--------|
|---------------------------|--------------------|------------|-----------|-----------------------|---------|---------|-------|--------|

ENDATA7

#### Data type 8

Le informazioni fornite in questo blocco di dati tengono conto di eventuali ingressi che non siano rappresentati da punti sorgente o da punti di ingresso veri e propri come quelli degli affluenti.

Questi ingressi (o prelievi) sono assunti come uniformemente distribuiti lungo il ramo e costanti nel tempo.

QUAL2E è quindi in grado di tenere conto anche delle perdite distribuite lungo il ramo, che dovranno essere inserite nella terza colonna precedute da un “-” meno.

| INCR<br>INFLOW<br>-1<br>RCH= | Num.<br>del<br>ramo | Portata in<br>ingresso o<br>in uscita (-<br>) | Temp | OD | BOD | 1<br>Miner.<br>cons. | 2<br>Miner.<br>cons. | 3<br>Miner.<br>cons. | Costituen<br>te<br>Non-<br>cons. | Coliform<br>i |
|------------------------------|---------------------|---|------|----|-----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---------------|
|------------------------------|---------------------|---|------|----|-----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---------------|

ENDATA8

#### Data type 8A

Anche questi dati, come i dati 7A, sono richiesti solo se le alghe e/o i cicli dei nutrienti vengono simulati.

|                        |                       |            |       |                   |         |         |       |        |
|------------------------|-----------------------|------------|-------|-------------------|---------|---------|-------|--------|
| INCR INFLOW<br>-2 RCH= | Numero<br>del<br>ramo | Clorofilla | N-org | N-NH <sub>3</sub> | Nitriti | Nitrati | P-org | P-disc |
|------------------------|-----------------------|------------|-------|-------------------|---------|---------|-------|--------|

ENDATA8A

#### Data type 9

Se nel sistema in esame vengono simulati anche gli affluenti, allora è necessario descrivere, mediante i seguenti dati, il tipo di confluenza definendone il numero, il nome e localizzandoli nel sistema stesso. Le confluenze vengono ordinate partendo da quella più a monte.

Questo tipo di informazioni devono essere inserite per ogni confluenza.

|                    |                               |                             |  |   |  |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|---|--|
| STREAM<br>JUNCTION | Numero<br>della<br>confluenza | Nome<br>della<br>confluenza | Numero<br>dell'ultimo<br>elemento del<br>ramo<br>immediatamente<br>precedente alla<br>confluenza | Numero del<br>primo elemento<br>del ramo<br>immediatamente<br>successivo alla<br>confluenza | Numero<br>dell'ultimo<br>elemento<br>dell'ultimo ramo<br>dell'affluente<br>che entra nella<br>confluenza |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|---|--|

ENDATA9

#### Data type 10

Le seguenti informazioni descrivono le caratteristiche dei punti sorgente del sistema in termini non solo di portata e temperatura, ma anche in termini di concentrazione, in particolare di BOD, OD, e costituenti conservativi.

Per ciascuna sorgente si forniranno dunque le seguenti informazioni:

|                    |                             |                           |         |       |    |     |                            |                            |                            |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|-------|----|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| HEADWTR<br>-2 HDW= | Numero<br>della<br>sorgente | Nome<br>della<br>sorgente | Portata | Temp. | OD | BOD | 1 Minerale<br>conservativo | 2 Minerale<br>conservativo | 3 Minerale<br>conservativo |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|-------|----|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|

ENDATA10



### Data type 10A

Questo gruppo di dati completa quelli precedenti qualora si simulino le alghe, il ciclo dell'azoto e del fosforo, i coliformi e/o il generico costituente non conservativo.

|                           |                           |                              |           |            |       |                   |         |         |       |        |
|---------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------|------------|-------|-------------------|---------|---------|-------|--------|
| HEADW<br>TR<br>-2<br>HDW= | Num.<br>della<br>sorgente | Costituen<br>te non<br>cons. | Coliformi | Clorofilla | N-org | N-NH <sub>3</sub> | Nitriti | Nitrati | P-org | P-disc |
|---------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------|------------|-------|-------------------|---------|---------|-------|--------|

ENDATA10A

### Data type 11

Questo blocco di dati definisce le caratteristiche dei punti d'ingresso o di prelievo presenti nel sistema. Va osservato che per punti d'ingresso s'intendono tutti gli affluenti non simulati e gli scarichi civili o industriali. E' possibile definire anche la percentuale di trattamento degli scarichi, qualora sia necessario.

Per ciascun ingresso o prelievo si dovranno definire le seguenti informazioni.

|                           |   |                                   |                         |             |           |    |     |                      |                      |                      |
|---------------------------|---|-----------------------------------|-------------------------|-------------|-----------|----|-----|----------------------|----------------------|----------------------|
| POINT<br>L<br>D-1<br>PTL= | Numer<br>o<br>ingresso<br>o<br>prelievo | Nome<br>ingresso<br>o<br>prelievo | % di<br>trattamen<br>to | Portat<br>a | Temp<br>. | OD | BOD | 1<br>Miner.<br>cons. | 2<br>Miner.<br>cons. | 3<br>Miner.<br>Cons. |
|---------------------------|---|-----------------------------------|-------------------------|-------------|-----------|----|-----|----------------------|----------------------|----------------------|

ENDATA11

### Data type 11A

Analogamente ai dati 10A, si devono inserire le seguenti informazioni per ciascun ingresso/prelievo.

|                       |                               |                              |           |            |       |                   |         |         |       |        |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------|------------|-------|-------------------|---------|---------|-------|--------|
| POINT<br>LD-2<br>PTL= | Num.<br>Ingresso/<br>Prelievo | Costitue<br>nte non<br>cons. | Coliformi | Clorofilla | N-org | N-NH <sub>3</sub> | Nitriti | Nitrati | P-org | P-disc |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------|------------|-------|-------------------|---------|---------|-------|--------|

ENDATA11A

### Data type 12

Per tener conto dell'eventuale presenza di sbarramenti che condizionano la concentrazione di ossigeno disciolto si inseriscono i seguenti dati, che fanno riferimento all'equazione di Gameson come riportato da Butts & Evans, 1983.

| DAM<br>DATA<br>DAM= | Numero<br>dello<br>sbarrame<br>nto | Numero<br>del<br>ramo<br>dove è<br>presente<br>lo<br>sbarrame<br>nto | Numero<br>elemento<br>al<br>di sotto<br>dello<br>sbarramen<br>to | Coef.<br>qualità<br>dell'acqua<br>Parametro<br>: <b>a<sub>D</sub></b> | Coef.<br>aerazione<br>dello<br>sbarramento<br>Parametro :<br><b>b<sub>D</sub></b> | Frazione<br>di<br>portata<br>che<br>passa<br>sullo<br>sbarrame<br>nto<br>Valore:<br>0÷1 | Altezza<br>dello<br>sbarram<br>. |
|---------------------|------------------------------------|--|--|---|---|---|----------------------------------|
|---------------------|------------------------------------|--|--|---|---|---|----------------------------------|

ENDATA12

### Data type 13 e 13A

Se nei Dati 1 linea 8 viene attivata l'opzione, in questo blocco di dati, e nel successivo, vengono fornite le informazioni riguardanti le concentrazioni a valle del sistema.

Questa caratteristica del *QUAL2E* risulta piuttosto utile nella modellazione di sistemi con una grande dispersione nei rami più a valle (come per gli estuari).

| DOWNSTREAM<br>BOUNDARY-1 | Temp. | OD | BOD | 1<br>Miner.<br>cons. | 2<br>Miner.<br>cons. | 3<br>Miner.<br>cons. | Costituente<br>Non-cons. | Coliformi |
|--------------------------|-------|----|-----|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-----------|
|--------------------------|-------|----|-----|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-----------|

ENDATA13

| DOWNSTREAM<br>BOUNDARY-2 | Clorofilla | N-org | N-<br>NH <sub>3</sub> | Nitriti | Nitrati | P-org | P-disc |
|--------------------------|------------|-------|-----------------------|---------|---------|-------|--------|
| ENDATA13A                |            |       |                       |         |         |       |        |

### Dati climatologici

Sono richiesti nella:

- simulazione stazionaria e dinamica della temperatura;
- simulazione dinamica delle alghe, ma senza simulare la temperatura;

se ciò non avviene possono venire omessi.

Se si effettua la simulazione stazionaria della temperatura, questi dati possono essere forniti o in questo blocco oppure nei Dati 5A, ma non in entrambi.

Se tali dati vengono forniti qui, il programma assume tali informazioni come costanti globali, e viene richiesta quindi una sola linea dove verranno inseriti i valori medi del bacino.

|                   |                        |                      |                                 |                             |                                     |                                     |                                |                             |
|-------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| LOCAL CLIMATOLOGY | Mese<br>Giorno<br>Anno | Ora<br>del<br>giorno | Radiazione<br>solare<br>netta * | Copertura<br>nuvolosa<br>** | Temperatura<br>di bulbo<br>secco ** | Temperatura<br>di bulbo<br>umido ** | Pressione<br>Atmosferica<br>** | Velocità<br>del<br>vento ** |
|-------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|

\* richiesto solo per la simulazione dinamica delle alghe (e non della temperatura);

\*\* richiesto solo se la temperatura viene simulata.

### Dati visualizzati

Questi dati vengono richiesti se l'opzione relativa é stata attivata nei Dati 1 linea 7. Qui é possibile poter scegliere i rami di cui si vogliono vedere i dati in output (OD/BOD), consentendo ad esempio di differenziare il corso d'acqua principale dagli affluenti.

|           |   |
|-----------|---|
| BEGIN RCH | Numero del ramo dal quale si vuole far partire la visualizzazione dei dati in uscita (OD/BOD)                             |
| PLOT RCH  | Vengono inseriti ordinatamente:<br>- o il numero del ramo (se si desidera ottenere i valori di OD/BOD)<br>- o il valore 0 |

### **6.1.10 Il file di output**

Il File di Output generato dal QUAL2E utilizzabile per l'esecuzione di successive elaborazioni ha estensione \*.DOU.

Per ogni elemento computazionale questo file contiene 85 grandezze, che riassumono la simulazione sia come dati di input sia come parametri modellati.

La struttura del file é quella riportata di seguito. Tale file, letto in modo sequenziale, consente di valutare i risultati della simulazione.

|  |               |                |            |                |                   |                |               |               |                |
|--|---------------|----------------|------------|----------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| TITLE01                                |               |                |            |                |                   |                |               |               |                |
| TITLE02                                |               |                |            |                |                   |                |               |               |                |
| OUTPUT UNITS = METRIC ; BOD = ULTIMATE |               |                |            |                |                   |                |               |               |                |
| ELE<br>ORD<br>NUM                      | REACH<br>NUM  | ELEMENT<br>NUM | PLOT NUM   | ELE BGN<br>LOC | ELE<br>END<br>NUM | FLOW           | POINT<br>SRCE | INCR<br>FLOW  | VELOCITY       |
| TRAVEL<br>TIME                         | DEPTH         | TOP WIDTH      | VOLUME     | BOTTOM<br>AREA | X-SECT<br>AREA    | DSRPSN<br>COEF | DO SAT        | REAIR<br>OPTN | OXYGN<br>REAIR |
| BOD<br>DECAY                           | BOD SETT      | SOD RATE       | ORGN DECAY | ORGN<br>SETT   | NH3<br>DECAY      | NH3<br>SRCE    | NO2 DECAY     | ORGP<br>DECAY | ORGP<br>SETT   |
| DISP<br>SRCE                           | COLI<br>DECAY | ANC DECAY      | ANC SETT   | ANC<br>SRCE    | TEMP.             | CONS<br>MIN-1  | CONS MIN-2    | CONS<br>MIN-3 | DISS<br>OXYGEN |
| BOD                                    | ORGANIC-      | AMMONIA-N      | NITRITE-N  | NITRATE-       | SUM-N             | ORGANIC-       | DISSLVD-P     | SUM-P         | COLIFORM       |

|  |                |                |             |                 |                |                |                 |                |                |
|--|----------------|----------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
|  | N              |                |             | N               |                | P              |                 |                |                |
| ARBTRY<br>NCON   | CHLRPHYL-<br>A | ALGY<br>GROWTH | ALGY RESP   | ALGY<br>SETT    | A-P/R<br>RATIO | AGY NET<br>P-R | NH3 FRC<br>NUP  | LITE<br>EXT CO | AGY L-<br>FACT |
| AGY<br>N_FACT  | AGY P-<br>FACT | DO DEFICIT     | DAM DO INP  | N-INHB<br>FACT  | DOMP-<br>FUNC  | DOMB-<br>REAIR | BOMB-<br>CBOD   | DOMB-<br>SOD   | DOMB – P-<br>R |
| DOMB-<br>NH3N  | DOMB-<br>NO2N  | RCH<br>ELEVATN | D-ATTN COEF | COLOUD<br>FACT  | D-BULB<br>TEMP | W-BULB<br>TEMP | AT-<br>PRESSURE | WIND<br>VEL    | SOLAR<br>RAD   |
| L WAVE<br>RAD  | W SURF<br>RAD  | CONDUCTION     | EVAPORATION | NET H-<br>BLNCE |                |                |                 |                |                |
| Seguono i record di dati per ciascun elemento computazionale |                |                |             |                 |                |                |                 |                |                |

Tab. 6.1 – Il file di output di Qual2E.

|                    |   |
|--------------------|---|
| N <sub>4</sub>     | Concentrazione biomassa algale, mg-A/L  |
| C                  | Concentrazione, (mg/L)  |
| C <sub>ORDO</sub>  | Fattore di correzione tasso di nitrificazione   |
| d                  | Profondità media della corrente, m  |
| F <sub>1</sub>     | Frazione del consumo di azoto algale che ritorna in soluzione sotto forma di ammoniacale  |
| F <sub>L</sub>     |   |
| F <sub>N</sub>     | Crescita algale fattore di limitazione della luce   |
| F <sub>P</sub>     | Crescita algale fattore di limitazione dell'azoto   |
| I                  | Crescita algale fattore di limitazione del fosforo  |
| K <sub>1</sub>     | Intensità della luce di superficie, Cal/m <sup>2</sup> -h                                 |
| K <sub>2</sub>     | Costante di deossigenazione BOD, 1/giorno   |
| K <sub>3</sub>     | Costante cinetica di reaerazione, 1/ giorno   |
| K <sub>4</sub>     | Tasso di perdita del BOD dovuta alla. sedimentazione, 1/ giorno                           |
| K <sub>5</sub>     | Consumo bentonico dell'ossigeno, mg-O/m <sup>2</sup> - giorno                             |
| K <sub>6</sub>     | Tasso di estinzione dei coliformi, 1/ giorno  |
| K <sub>L</sub>     | Coefficiente di degradazione arbitrario non conservativo, 1/ giorno                       |
| K <sub>N</sub>     | Coefficiente di metà saturazione della luce, Cal/m <sup>2</sup> -hr                       |
| K <sub>NITRF</sub> | Costante di Michaelis Menten di metà saturazione per l'azoto, mg-N/L                      |
| K <sub>P</sub>     | Coefficiente di inibizione della nitrificazione di primo ordine, mg/L                     |
| L                  | Costante di Michaelis Menten di metà saturazione per il fosforo, mg-P/L                   |
| N <sub>1</sub>     | Concentrazione limite di BOD carbonioso, mg/L   |
| N <sub>2</sub>     | Concentrazione azoto ammoniacale, mg-N/L  |
| N <sub>3</sub>     | Concentrazione azoto nitroso, mg-N/L  |
| A                  | Concentrazione azoto nitrico, mg-N/L  |
| Ne                 | Concentrazione azoto organico, mg-N/L   |
| O*                 | Effettiva concentrazione locale dell'azoto inorganico disponibile, mg-N/L                 |
| O                  | Concentrazione saturazione dell'ossigeno disciolto a temperature e pressione locali, mg/L |
| P <sub>2</sub>     |   |
| P <sub>N</sub>     | Concentrazione dell'ossigeno disciolto, mg/L  |
| P <sub>wv</sub>    | Concentrazione locale del fosforo disciolto, mg-P/L                                       |

|             |  |
|-------------|--|
| Q           | Fattore di preferenza per l'azoto ammoniacale  |
| t           | Pressione parziale del vapore acqueo, atm  |
| T           | Portata, m <sup>3</sup> /s   |
| V           | Tempo, giorno  |
| $\alpha_0$  | Temperatura, K   |
| $\alpha_1$  | Volume dell'acqua in ogni CSTR, m <sup>3</sup>   |
| $\alpha_2$  | Fattore di conversione; percentuale di clorofilla A rispetto alla biomassa algale, ug-Chl a/mg-A   |
| $\alpha_3$  | ug-Chl a/mg-A  |
| $\alpha_4$  | Frazione azotata della biomassa algale, mg-N/mg-A  |
| $\alpha_5$  | Contenuto di fosforo della biomassa algale, mg-P/mg-A  |
| $\alpha_6$  | Produzione di O <sub>2</sub> per unità di crescita algale, mg-O/mg-A   |
| $\beta_1$   | Consumo di O <sub>2</sub> per unità di respirazione algale, mg-O/mg-A  |
| $\beta_2$   | Consumo di O <sub>2</sub> per unità di ossidazione dell'NH <sub>3</sub> , mg-O/mg-N  |
| $\beta_3$   | Consumo di O <sub>2</sub> per unità di ossidazione dell'NO <sub>2</sub> , mg-O/mg-N  |
| $\beta_4$   | Costante di ossidazione biologica dell'NH <sub>3</sub> ad NO <sub>2</sub> , 1/ giorno  |
| $\sigma_1$  | Costante di ossidazione biologica dell'NO <sub>2</sub> ad NO <sub>3</sub> , 1/ giorno  |
| $\sigma_2$  | Costante di idrolisi dell'N organico ad ammoniaca, 1/ giorno   |
| $\sigma_3$  | Costante di degradazione del P organico a P disciolto, 1/ giorno   |
| $\sigma_4$  | Tasso di sedimentazione algale, m/ giorno  |
| $\sigma_5$  | Tasso bentonico per il fosforo disciolto, mg-P/m <sup>2</sup> - giorno   |
| $\sigma_6$  | Tasso bentonico per l'azoto ammoniacale disciolto, mg-O/m <sup>2</sup> - giorno  |
| $\sigma_7$  | Tasso di sedimentazione azoto organico, 1/day  |
| $\lambda$   | Tasso di sedimentazione fosforo organico, 1/day  |
| $\lambda_0$ | Tasso di sedimentazione arbitrario non conservativo, 1/day   |
| $\lambda_1$ | Tasso bentonico del tasso di sedimentazione arbitrario non conservativo, mg-ANC/m <sup>2</sup> - giorno  |
| $\lambda_2$ | ANC/m <sup>2</sup> - giorno  |
| $\rho$      | Coefficiente di estinzione della luce, m <sup>-1</sup>   |
| $\mu$       | Componente non algale del coefficiente di estinzione della luce, m <sup>-1</sup>   |
| $\mu_{max}$ | Coefficiente lineare auto ombreggiamento algale, m <sup>-1</sup> (ug-Chla/L) <sup>-1</sup><br>Coefficiente non lineare auto ombreggiamento algale, m <sup>-1</sup> (ug-Chla/L) <sup>-2/3</sup><br>Tasso di respirazione algale locale, 1/ giorno<br>Tasso di crescita algale locale, 1/ giorno<br>Tasso specifico di accrescimento massimo algale, 1/ giorno |

Tab. 6.2 – Nomenclatura utilizzata nel file di input di Qual2e.

## 6.2 Rappresentazione della rete

Il primo passo per l'implementazione del bacino idrico in esame nel modello è rappresentato dalla schematizzazione della rete, in questo caso costituita da canali di bonifica.

QUAL2E è un modello monodimensionale, adatto per la simulazione del flusso in alveo, con la possibilità, attraverso un sistema particolare di indirizzamento dei dati,

di simulare anche strutture ramificate ad albero, quindi, alvei principali e affluenti. La rete di canali viene suddivisa in un sistema di rami, numerati da monte verso valle; quando si giunge ad una confluenza, l'ordine continua partendo dal punto più a monte dell'affluente, per proseguire normalmente una volta raggiunto il corso principale. Ogni ramo viene suddiviso a sua volta in una serie di elementi computazionali, che rappresentano le celle di calcolo numerico del programma; viene stabilita una lunghezza degli elementi che rimane costante per tutti i rami della rete: nel nostro caso è stata adottata un'estensione di 50 metri per il bacino pilota e di 120 metri per l'area vasta. Questo valore permette di suddividere i rami della rete in esame in un numero significativo di elementi computazionali, evitando tuttavia di raggiungere un numero eccessivo di elementi che, oltre ad appesantire la simulazione, non risulterebbe significativo in rapporto alla definizione dei dati di qualità in ingresso al sistema e alla lunghezza delle aste idriche in esame.

Una caratteristica del programma *QUAL2E*, che si manifesta come uno dei suoi limiti, è che richiede che vi sia una sola immissione di inquinante, derivante da sorgenti puntuali e/o da affluenti non modellati, per ciascun tratto (elemento computazionale) di ciascun tronco. Per rispettare questo requisito è stato necessario effettuata una pre-elaborazione degli apporti in modo da aggregare gli scarichi molto vicini tra loro.

#### La rete del bacino pilota:

La rete del bacino pilota è stata suddivisa, seguendo la schematizzazione presente nel modello in SWMM utilizzato dalla bonifica del Consorzio Parmigiana-Moglia-Secchia, in 131 rami, per numero totale di 639 elementi computazionali; ogni ramo viene considerato di caratteristiche idrauliche omogenee. Nella rete è stata individuata, in base alle portate transitanti e all'importanza delle sezioni dei canali, un'asta principale coincidente con il tratto inferiore del Canale Acque Basse Reggiane (C.A.B.R.). Confluiscono in essa 7 affluenti principali, nei quali a loro volta vengono raccolte le acque di 5 affluenti secondari e uno terziario.

Lo schema studiato viene implementato nel modello attraverso i data type 2 e 3 nei quali, oltre al numero del ramo (corrispondente a quello nel modello in swmm), vengono riportate le distanze progressive, il numero e la tipologia di elementi computazionali che lo costituiscono.

Nella rete sono presenti 15 punti di ingresso (denominati "headwater"): per questi sono state specificate le portate in ingresso (data type 10). Per quanto riguarda invece gli scarichi puntuali (data type 11 e 11A) sono stati inseriti i 4 scaricatori di piena, il contributo dovuto al depuratore di Villa Seta Nuovo e l'industria per la lavorazione della carne. Nelle figure 6.1 e 6.2 si riporta lo schema della rete, suddiviso per chiarezza in due parti, mettendo in evidenza l'asta principale (colore rosso) ed i suoi affluenti (colore blu, ciano e verde in ordine di importanza). I rami, i nodi gli headwater e gli scarichi puntuali sono numerati secondo l'ordine richiesto dal modello Qual2e.

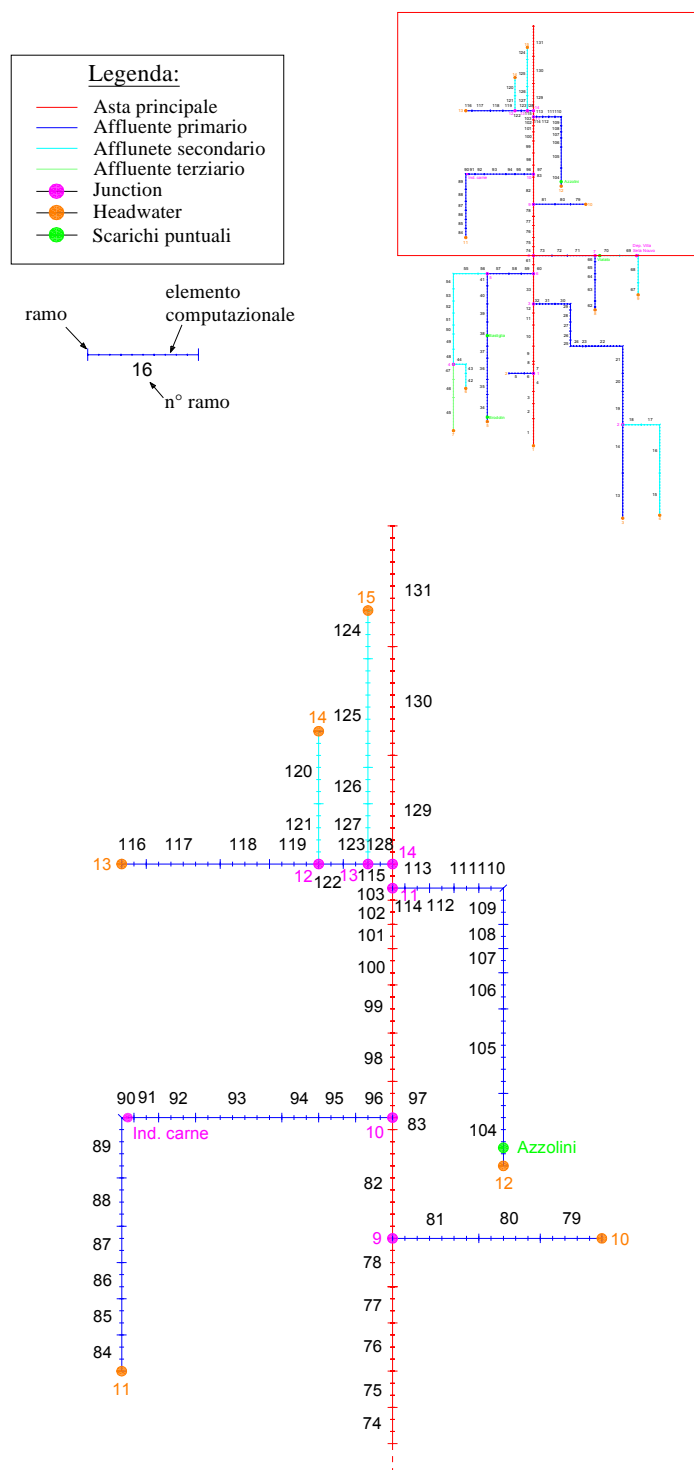
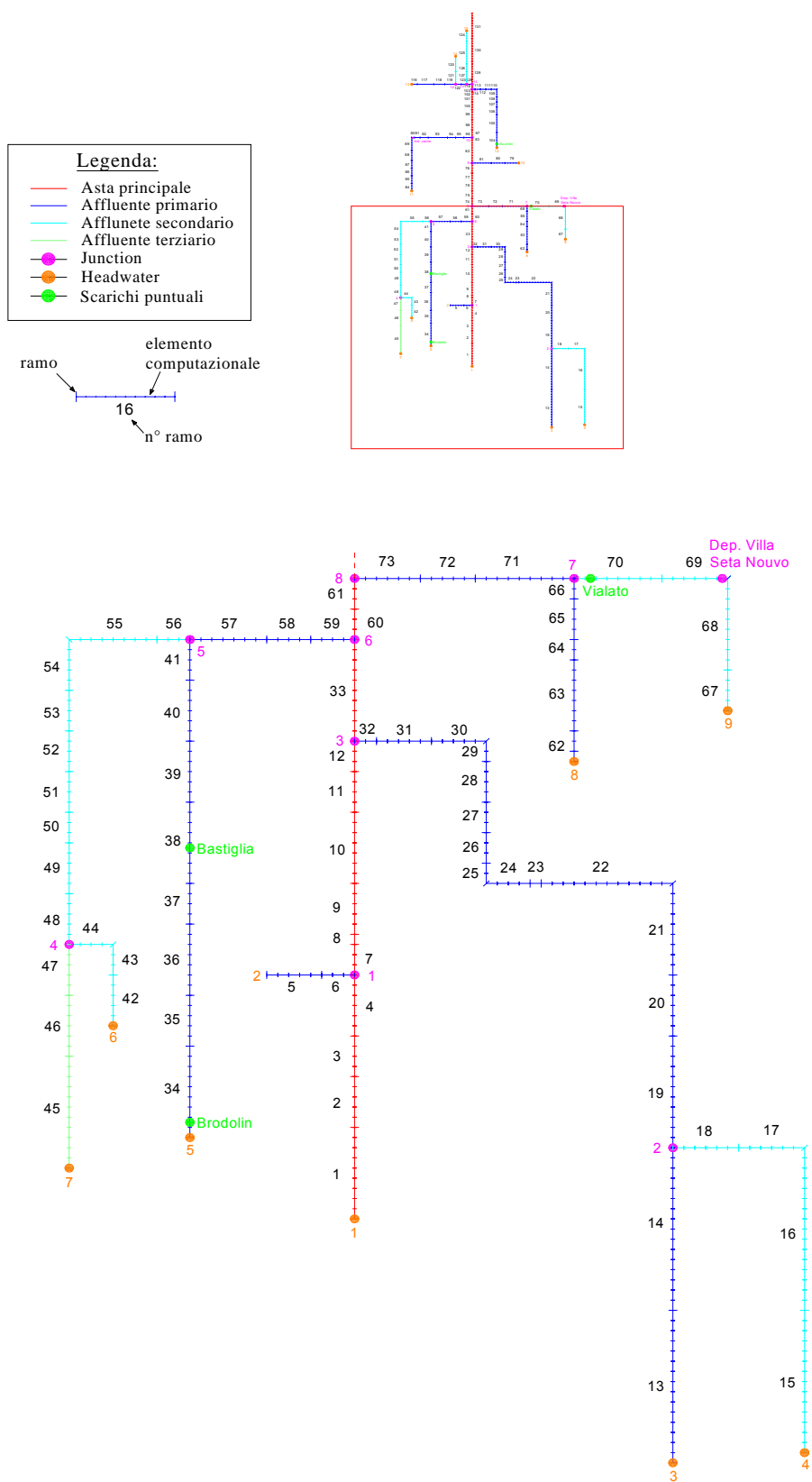


Fig. 6.1 – Schematizzazione della rete del bacino pilota implementata in QUAL2E.





#### La rete dell'area vasta:

La struttura di canali individuata all'interno dell'area vasta è stata invece suddivisa in 66 rami, per numero totale di 527 elementi computazionali di lunghezza pari a 120 metri. Nella rete è stata individuata un'asta principale coincidente con il Canale Acque Basse Reggiane (C.A.B.R.) alla quale afferiscono 4 affluenti, nei quali a loro volta vengono raccolte le acque di 2 affluenti secondari.

I punti di ingresso o "headwater" sono 7, mentre per quanto riguarda gli scarichi puntuali (data type 11 e 11A) sono stati inseriti i 2 impianti di depurazione (Villa Seta Nuovo e Reggiolo Nuovo), le 2 industrie (ind. lavorazione della carne e ind. lavorazione dei derivati del latte) e gli scaricatori di piena i quali sono stati accorpati in un unico punto di scarico nel caso le distanze tra loro risultino molto ridotte.

Nelle figure 6.3 e 6.4 si riporta lo schema della rete, suddiviso per chiarezza in due parti, come avvenuto per il bacino pilota, mettendo in evidenza l'asta principale (colore rosso) ed i suoi affluenti (colore blu, ciano e verde in ordine di importanza). I rami, i nodi gli headwater e gli scarichi puntuali sono numerati secondo l'ordine richiesto dal modello Qual2e.

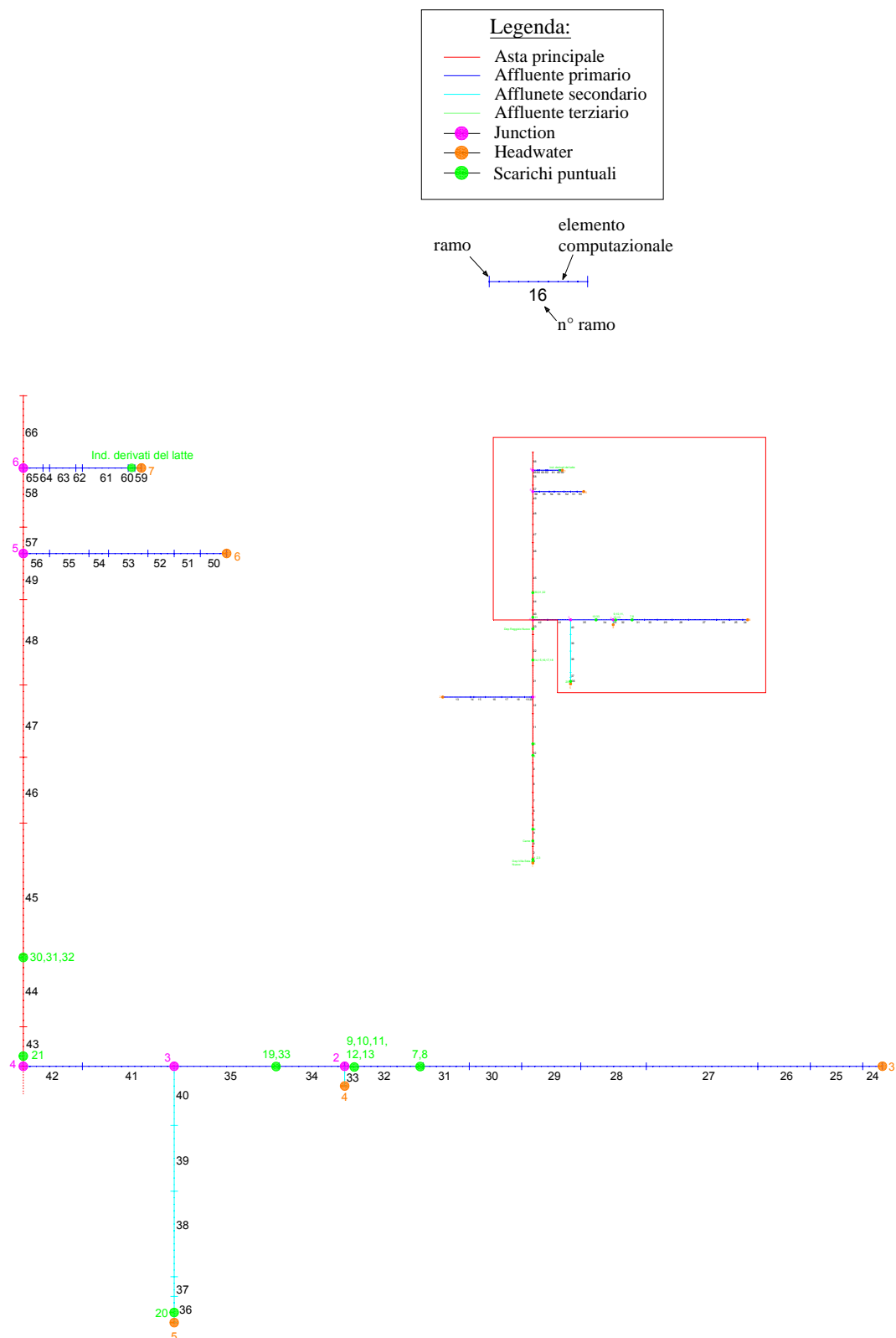


Fig. 6.3 – Schematizzazione della rete dell'area vasta implementata in QUAL2E.

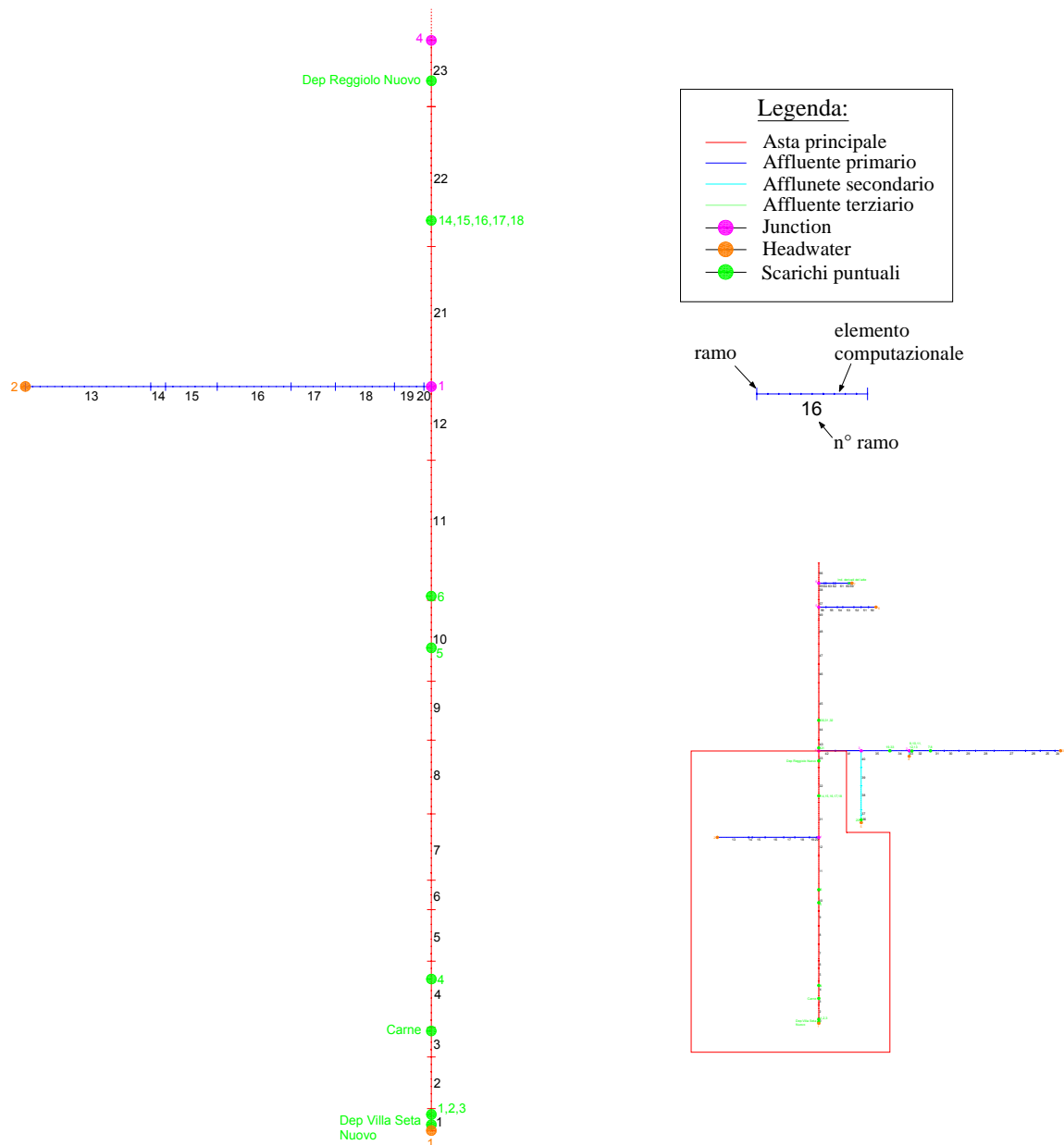


Fig. 6.4 – Schematizzazione della rete dell'area vasta implementata in Qual2e.

### 6.3 Valutazione degli scarichi puntuali in QUAL2E

Come si può riscontrare da quanto illustrato nel paragrafo precedente la rete scelta per la simulazione risulta essere una semplificazione di quella reale.

Molti degli scarichi di tipo puntuale sono localizzati lontano dall'asta principale, per cui si immettono in essa solo dopo essere transitati in una "canalizzazione" secondaria, che spesso non ricade tra quelle simulate; lungo tale percorso si può ipotizzare un abbattimento degli agenti inquinanti e quindi nota la distanza dello scarico dalla rete drenante simulata, è stata cercata una legge che permettesse di individuare le concentrazioni che caratterizzano le acque nell'istante in cui vengono sversate nella rete rappresentata.

Questa situazione si ritrova in particolare modo per gli scarichi di tipo puntuale presenti sull'area vasta, mentre quelli sul bacino pilota, grazie al maggior grado di dettagli tenuto nella descrizione della rete drenante, risultano accoppiabili direttamente ad un elemento computazionale.

La legge di abbattimento introdotta per la generica massa inquinante, espressa in kg/giorno, in funzione della distanza dalla rete scolante principale, è della forma:

$$e^{-k_i \cdot d}$$

in cui  $k_i$  [1/km] è il coefficiente di attenuazione del generico inquinante in funzione della distanza  $d$  dell'immissione dal corpo idrico principale, misurata in km.

Il valore di  $k_i$  è stato assunto costante per l'intero bacino, mentre può variare al variare dell'inquinante considerato (BOD<sub>5</sub>, N o P) e/o del regime idraulico. Nella tabella seguente sono riportati i valori di riferimento; per le simulazioni in tempo invernale sono stati utilizzati quelli presenti nella prima colonna, mentre per la stagione estiva irrigua sono stati scelti quelli relativi alla condizione di "media".

|           | Condizione di<br>MAGRA | Condizione di<br>MEDIA | Condizione di<br>MORBIDA |
|-----------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| $k_{BOD}$ | 0.07                   | 0.005                  | 0.005                    |
| $k_N$     | 0.85                   | 0.005                  | 0.005                    |
| $k_P$     | 0.85                   | 0.005                  | 0.005                    |

Tab. 6.3 – Coefficienti di riduzione delle masse lungo i percorsi secondari.

La distanza  $d$  è stata invece calcolata considerando il percorso lungo le aste secondarie fino al ricettore primario simulato. Nel caso in cui il recapito dello scarico è risultato incerto o sconosciuto, lo scarico è stato attribuito all'asta più vicina; lungo la quale è stata poi valutata la distanza.

Gli apporti sono stati successivamente aggregati, dove necessario, in modo da ottenere per ciascun tratto elementare un solo ingresso d'inquinante.

Infine, deve essere precisato che per gli scaricatori di piena si era in possesso di dati in massa dei diversi inquinanti e non in concentrazioni, quindi è stato necessario trasformarli considerando la pioggia totale caduta nel periodo considerato.

## 6.4 Calibrazione del modello

Il procedimento di calibrazione richiede l'assegnazione dei valori a diversi coefficienti che caratterizzano la dinamica delle variabili simulate e che ne costituiscono i parametri di taratura. Come detto nel paragrafo 5.3, la taratura dei suddetti parametri avviene attraverso il confronto tra le rilevazioni sperimentali disponibili per gli indicatori considerati ed i risultati della simulazione ottenuti tramite il modello matematico.

Il modello di qualità delle acque è stato applicato al bacino pilota, inserendovi le caratteristiche geometriche dei canali che costituiscono la rete; ciò è avvenuto attraverso la scala di deflusso individuata con il software *SWMM* come descritto nel capitolo 2. I risultati prodotti, in termini di portata, rappresenteranno quindi una risposta realistica del modello agli impulsi esterni e alle variazioni di geometria della rete.

Sono stati quindi assegnati anche gli scarichi di origine puntuale ricordando ancora una volta che ad ogni elemento computazionale può esserne attribuito uno soltanto (Data Type 11 e 11A).

Per quanto riguarda invece i contributi diffusi è stato necessario trasformare i valori disponibili in forma di massa (kg/ha/mese o kg/ha/anno) in concentrazioni (mg/l), come richiesto dal programma di calcolo (Data Type 8 e 8A). A tale scopo sono state sovrapposte mediante software GIS la mappa dei carichi distribuiti con le aree che sversano in ogni canale, già stimate in precedenza con il metodo dei poligoni di Thiessen,; per ottenere poi le concentrazioni sono stati utilizzati i risultati del bilancio idrologico (capitolo 3), in termini di coefficienti idrometrici stimati mensilmente .

*QUAL2E* chiede infine di individuare le condizioni iniziali del sistema che si intende simulare, sempre in termini di concentrazioni dei costituenti. Tali informazioni sono state ricavate, oltre che dalle osservazioni e misure in campo, anche da uno studio precedente condotto da Arpa Sez. Prov. Reggio Emilia in collaborazione con il Consorzio di Bonifica Parmigiana Moglia-Secchia ed Enia S.p.A (Progetto: "Riuso acque reflue depurate di Mancasale e miglioramento della qualità delle acque superficiali").

L'approccio stazionario utilizzato dal modello non consente la ricostruzione dei fenomeni temporali in atto; per questo motivo si è proceduto ad una valutazione media stagionale dei valori di portata. La calibrazione del modello e le simulazioni successive sono state effettuate considerando due scenari caratteristici per lo scopo del progetto:

- *Periodo non irriguo* (mesi di gennaio/febbraio/marzo): durante questo periodo la qualità delle acque presente all'interno dei canali risulta essere particolarmente scarsa;
- *Periodo irriguo* (mesi maggio/giugno/luglio): è un periodo caratterizzato dalla presenza dell'irrigazione dei campi e, conseguentemente, anche da una maggiore portata circolante nei canali.

Si è quindi proceduto con l'indagine di quali parametri avessero una maggiore influenza sull'andamento dei costituenti analizzati (azoto e fosforo totale, BOD), confrontando i valori simulati con quelli misurati mensilmente nelle 5 stazioni di monitoraggio precedentemente descritte. Questa operazione è estremamente complessa e richiede la disponibilità di un numero molto elevato di rilevazioni sperimentali. Come già evidenziato tuttavia l'utilizzo del modello *QUAL2E* permette di fare riferimento ad un'ampia casistica di applicazioni presenti in letteratura. Ci si è quindi avvalsi, per l'assegnazione dei valori dei parametri del modello, sia dei valori guida forniti dall'EPA (che ha originariamente messo a punto il modello di qualità qui utilizzato) sia dei valori suggeriti, quando possibile, dalla letteratura.

Devono essere definiti innanzitutto una serie di parametri generici che servono al modello per definire le diverse cinetiche comuni a tutti i rami della rete simulata; tra questi alcuni sono risultati maggiormente influenti rispetto agli altri nel descrivere l'andamento dei costituenti analizzati e sono stati quindi riportati nella tabella seguente.



| Nome                             | Significato  | Valore adottato | Unità di misura | Range di variabilità in letteratura | Valore di default |
|----------------------------------|--|-----------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------|
| O Uptake by NH <sub>3</sub> Oxid | Tasso di prelievo di O per unità di ossidazione di N-NH <sub>3</sub> | 3.43            | mg O/mg N       | -                                   | -                 |
| O Uptake by NO <sub>2</sub> Oxid | Tasso di prelievo di O per unità di ossidazione di N-NO <sub>2</sub> | 1.14            | mg O/mg N       | -                                   | -                 |
| N Half Saturation Const.         | Costante di semisaturazione dell'azoto                               | 0.2             | mg/l            | 0.01 - 0.3                          | -                 |
| P Half Saturation Const.         | Costante di semisaturazione del fosforo                              | 0.04            | mg/l            | 0.001 - 0.5                         | -                 |
| O-N Hydrolysis Rate              | Rapporto di idrolisi dell'Azoto organico                             | 1.047           | 1/day           | -                                   | 1.047             |
| O-N Settling                     | Rapporto di sedimentazione dell'Azoto organico                       | 1.024           | 1/day           | -                                   | 1.024             |
| NH <sub>3</sub> Oxidation        | Rapporto di ossidazione dell'ammoniaca                               | 1.083           | 1/day           | -                                   | 1.083             |
| NO <sub>2</sub> Oxidation        | Rapporto di ossidazione dei nitriti                                  | 1.047           | 1/day           | -                                   | 1.047             |
| O-P Decay                        | Rapporto di degradazione del fosforo organico                        | 1.047           | 1/day           | -                                   | 1.047             |
| O-P Settling                     | Rapporto di sedimentazione del fosforo organico                      | 1.024           | mg/l            | -                                   | 1.024             |
| BOD Decay                        | Rapporto di degradazione del BOD                                     | 1.047           | 1/day           | -                                   | 1.047             |
| BOD Settling                     | Rapporto di sedimentazione del BOD                                   | 1.024           | 1/day           | -                                   | 1.024             |

Tab. 6.4 – Parametri generici del modello (Data Type 1A e Data Type 1B)

Successivamente viene richiesto di inserire un'ulteriore serie di parametri riferiti ad ogni singolo ramo della rete, utili a descrivere le variazioni degli agenti inquinanti localmente.

| Nome parametro | Significato   | Valore adottato | Unità di misura                        | Range di variabilità in letteratura | Valore di default |
|----------------|---|-----------------|--|-------------------------------------|-------------------|
| K <sub>1</sub> | Tasso di domanda di ossigeno per processi di ossidazione biochimica     | 0.05            | 1/day                                  | 0.004 - 5.6                         | 0-10              |
| K <sub>3</sub> | Tasso di sedimentazione del BOD   | 0.1             | 1/day                                  | -                                   | 0-10              |
| K <sub>4</sub> | Tasso di consumo o produzione di ossigeno da parte dei sedimenti        | 1.5             | mg O <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> d)  | 0.022 - 44                          | 0-10.76           |
| □ <sub>3</sub> | Tasso di idrolisi dell'azoto organico                                   | 0.02            | 1/day                                  | 0.001 - 0.4                         | 0-10              |
| □ <sub>4</sub> | Rateo di sedimentazione dell'azoto organico                             | 0.6             | 1/day                                  | -                                   | 0-10              |
| □ <sub>1</sub> | Tasso di ossidazione biologica dell'azoto ammoniacale                   | 0.5             | 1/day                                  | 0.003 - 0.5                         | 0-10              |
| □ <sub>3</sub> | Rateo di consumo-produzione di azoto ammoniacale da parte dei sedimenti | 0.01            | mg NH <sub>4</sub> /(m <sup>2</sup> d) | 0.0004 - 1.8                        |                   |
| □ <sub>2</sub> | Tasso di ossidazione da NO <sub>2</sub> a NO <sub>3</sub>               | 0.05            | 1/day                                  | 0.09 - 10                           | 0-10              |
| □ <sub>4</sub> | Tasso di decadimento del fosforo organico                               | 0.01            | 1/day                                  | 0.001 - 0.8                         | 0-10              |
| □ <sub>5</sub> | Rateo di sedimentazione del fosforo organico                            | 0.01            | 1/day                                  | -                                   | -                 |
| □ <sub>2</sub> | Rateo di consumo-produzione di fosforo disciolto da parte dei sedimenti | 0.01            | mg P /(m <sup>2</sup> d)               | 0.0004 - 1.7                        | -                 |

Tab. 6.5 – Parametri specifici dei rami risultati dalla calibrazione nell'ordine in cui si trovano nel file di input di Qual2E (Data Type 6 e Data Type 6A)

Nel corso delle prime fasi di calibrazione non si sono riscontrate sensibili variazioni dei risultati, per una migliore rappresentazione dei dati sperimentali, variando di suddetti parametri. La motivazione di ciò deve essere spiegata considerando che il programma di calcolo QUAL2E è nato per la simulazione di interi tratti fluviali, nei quali possono essere apprezzate le cinetiche che vi avvengono su percorsi lunghi diversi chilometri; su tratti di canali più brevi, come nel caso in studio, non si riesce invece a beneficiare di uno strumento così potente. Come si può appurare dalle tabelle precedenti, in seguito a quanto detto si è deciso di utilizzare parametri individuati in letteratura oppure suggeriti dal programma come default.

Un aggiustamento ulteriore sarebbe volto ad una calibrazione fine ed esatta, i cui benefici avrebbero comunque una rilevanza secondaria rispetto alle incertezze legate ai dati di inquinamento in ingresso. È proprio su questi dati, ed in particolare

quelli riguardanti i carichi diffusi provenienti da parte dell'agricoltura, che occorre porre un'attenzione maggiore, concentrandosi su un'analisi quanto più precisa e dettagliata, anche se la complessità del problema la rende particolarmente impegnativa.

I risultati delle simulazioni che sono stati riportati di seguito fanno riferimento alle variazioni degli agenti inquinanti lungo l'asta principale selezionata sulla rete in esame: rami 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 33, 60, 61, 74, 75, 76, 77, 78, 82, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 115, 129, 130, 131.

Le componenti giudicate più significative a descrivere lo stato qualitativo del sistema sono l'azoto totale (TN), l'azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_3$ ), il fosforo totale (TP) e il fosforo disciolto (TDP).

#### **6.4.1 Periodo secco – Gennaio, febbraio, marzo**

Il primo scenario considerato è stato quello invernale, in corrispondenza dei mesi di gennaio, febbraio e marzo. La portata di riferimento per il periodo è stato desunta come precedentemente detto dai risultati del bilancio idrologico dove era stato individuato un coefficiente udometrico pari a circa 0,03 l/s/ha.

Come si può osservare dai grafici dell'azoto e del fosforo, il modello mette in risalto le variazioni di concentrazione degli inquinanti in corrispondenza delle intersezioni con gli affluenti, mentre non si nota una sensibile variazione di concentrazione dell'inquinante lungo l'asta; si può quindi ipotizzare che il suo decadimento venga compensato dal carico diffuso proveniente dai campi limitrofi. La concentrazione varia invece in corrispondenza delle confluenze; i salti nella linea che rappresenta i risultati forniti dal programma (un valore per ogni elemento computazionale in cui è stato suddiviso il ramo) sono proporzionali all'importanza dell'affluente in arrivo, in termini di portata e di bacino sotteso da cui vengono sversati i carichi inquinanti diffusi, determinandone quindi il grado di diluizione sull'asta principale.

Dai grafici seguenti si può individuare un andamento dei differenti agenti inquinanti sostanzialmente molto simile: inizialmente, fino al ramo 12, le concentrazioni si mantengono molto ridotte e questo è in accordo con la maggior presenza di zone residenziali e con l'assenza di intersezioni rilevanti con gli affluenti; le concentrazioni salgono invece in corrispondenza delle prime due confluenze, a monte delle quali sono presenti estesi bacini ad attività prevalentemente agricola; successivamente il carico si mantiene sostanzialmente costante, diminuendo quando i carichi agricoli sono limitati e aumentando, a dispetto della legge di decadimento, quando il diffuso è rilevante.

Confrontando invece singolarmente i risultati simulati con quelli misurati per le diverse sostanze si riscontra una migliore aderenza per quanto riguarda il fosforo, sia che si consideri in forma totale o disciolta, mentre rimane più incerta la descrizione dell'azoto. Da notare per quanto riguarda l'azoto ammoniacale si aggiunge anche l'incertezza dovuta alla suddivisione in fase di simulazione del dato

di azoto totale nelle sue diverse forme: azoto nitrico, azoto nitroso, azoto organico e ammoniacale.

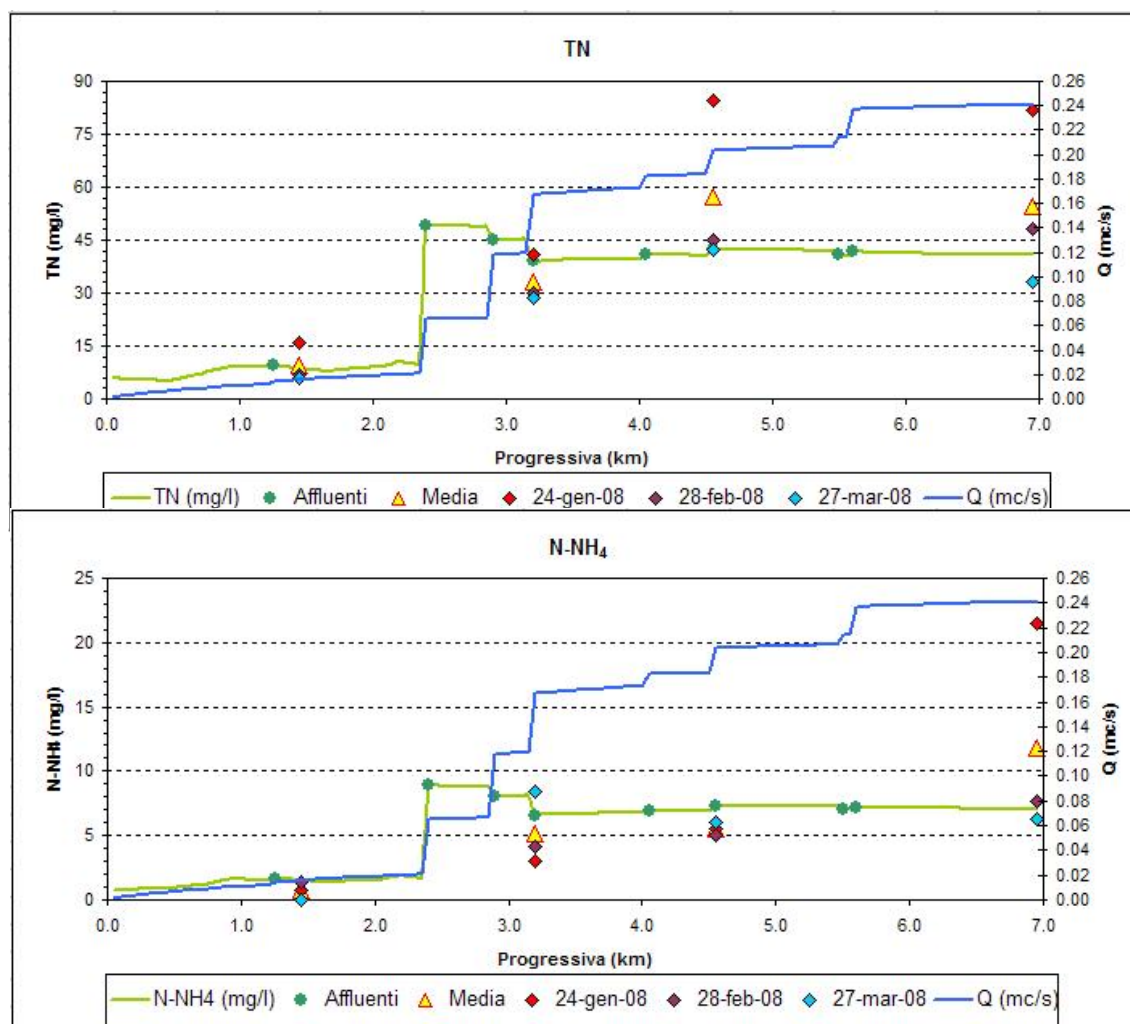


Fig. 6.5 – Andamento simulato dell'azoto totale e dell'azoto ammoniacale (in verde) rispetto ai dati medi misurati nel periodo secco (triangoli gialli)

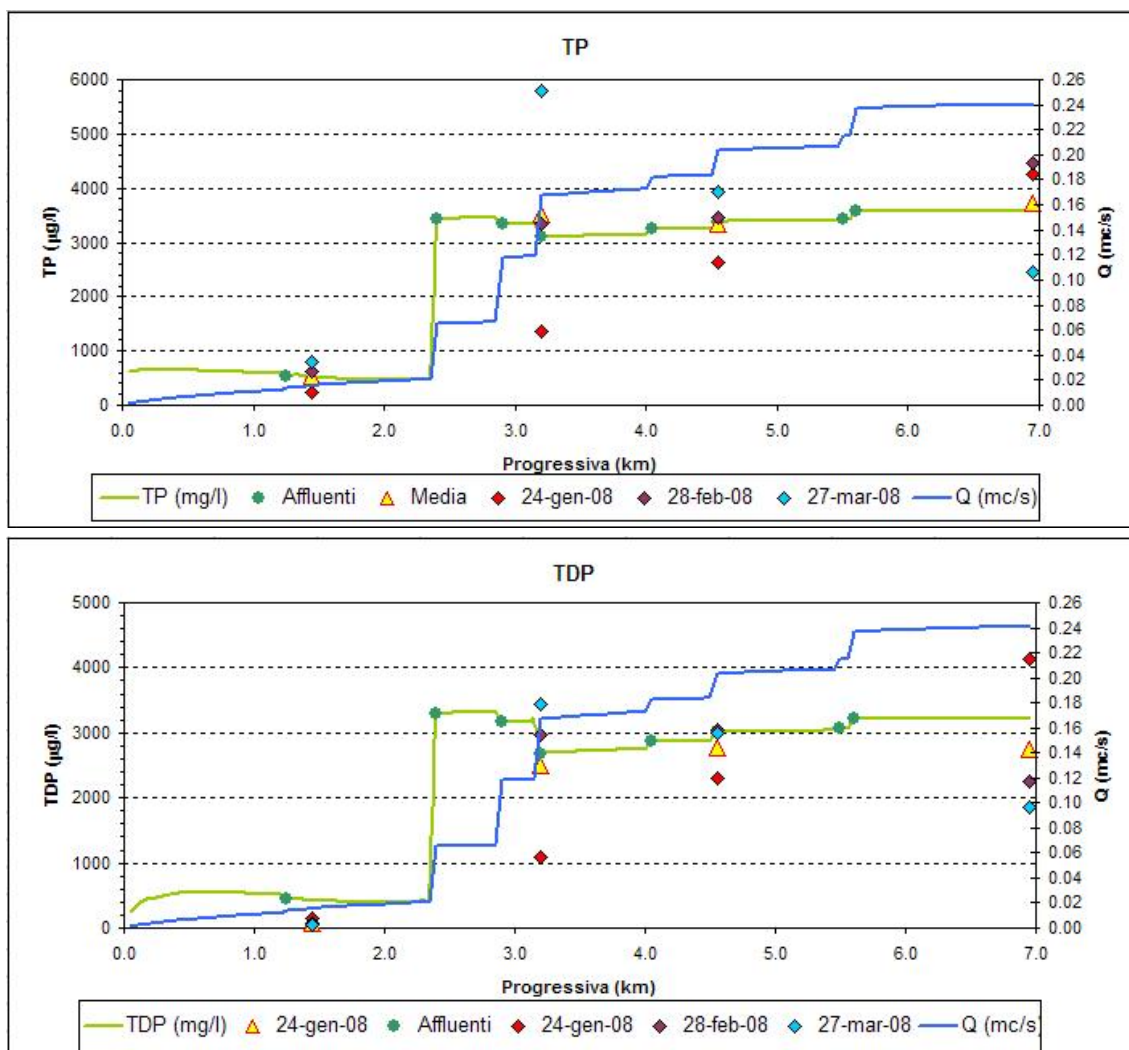


Fig. 6.6 – Andamento simulato del fosforo totale e del fosforo disciolto (in verde) rispetto ai dati medi misurati nel periodo secco (triangoli gialli)

#### 6.4.2 Periodo irriguo – Maggio, giugno, luglio

Il secondo scenario considerato è stato quello estivo, in corrispondenza dei mesi di maggio, giugno e luglio. La portata di riferimento per il periodo è stata desunta anche in questo caso dai risultati del bilancio idrologico dove era stato individuato un coefficiente idrometrico pari a circa 0,2 l/s/ha.

Le osservazioni che si possono fare riguardo agli andamenti sono molto simili a quelle già formulate per il periodo invernale.

L'unica differenza di rilievo riguarda le concentrazioni medie dell'azoto, sia nella forma totale che in quella ammoniacale, che risulta essere inferiore di circa tre volte di quelle riscontrate durante il periodo secco. La spiegazione di questa situazione

deve essere ricercata nell'aumento dei volumi d'acqua che circolano nei canali durante i mesi estivi comportando una maggiore diluizione delle sostanze inquinanti. Contrariamente a quanto accade per l'azoto, le concentrazioni di fosforo in periodo irriguo mantengono un andamento del tutto sovrapponibile a quello invernale.

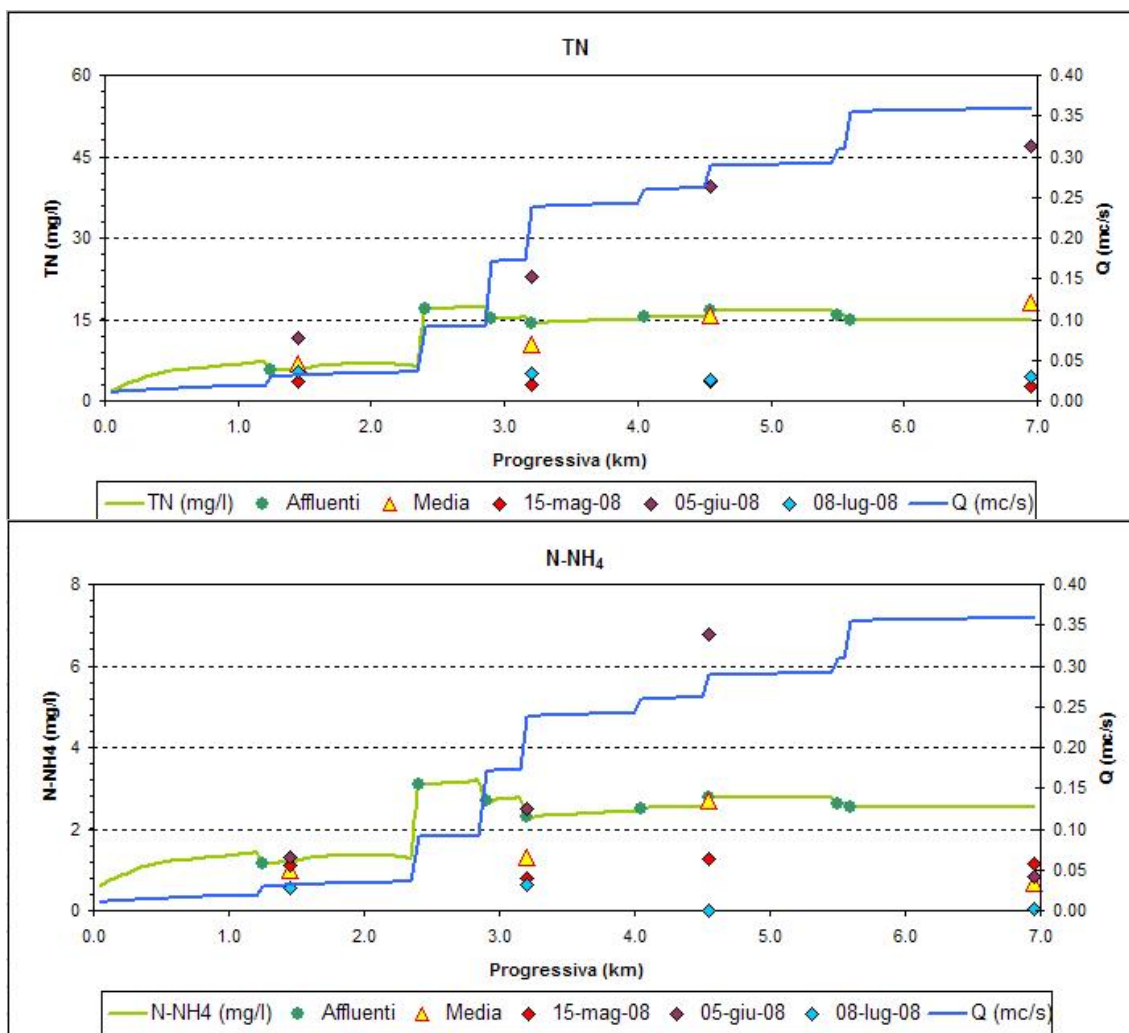


Fig. 6.7 – Andamento simulato dell'azoto totale e dell'azoto ammoniacale (in verde) rispetto ai dati medi misurati nel periodo irriguo (triangoli gialli)

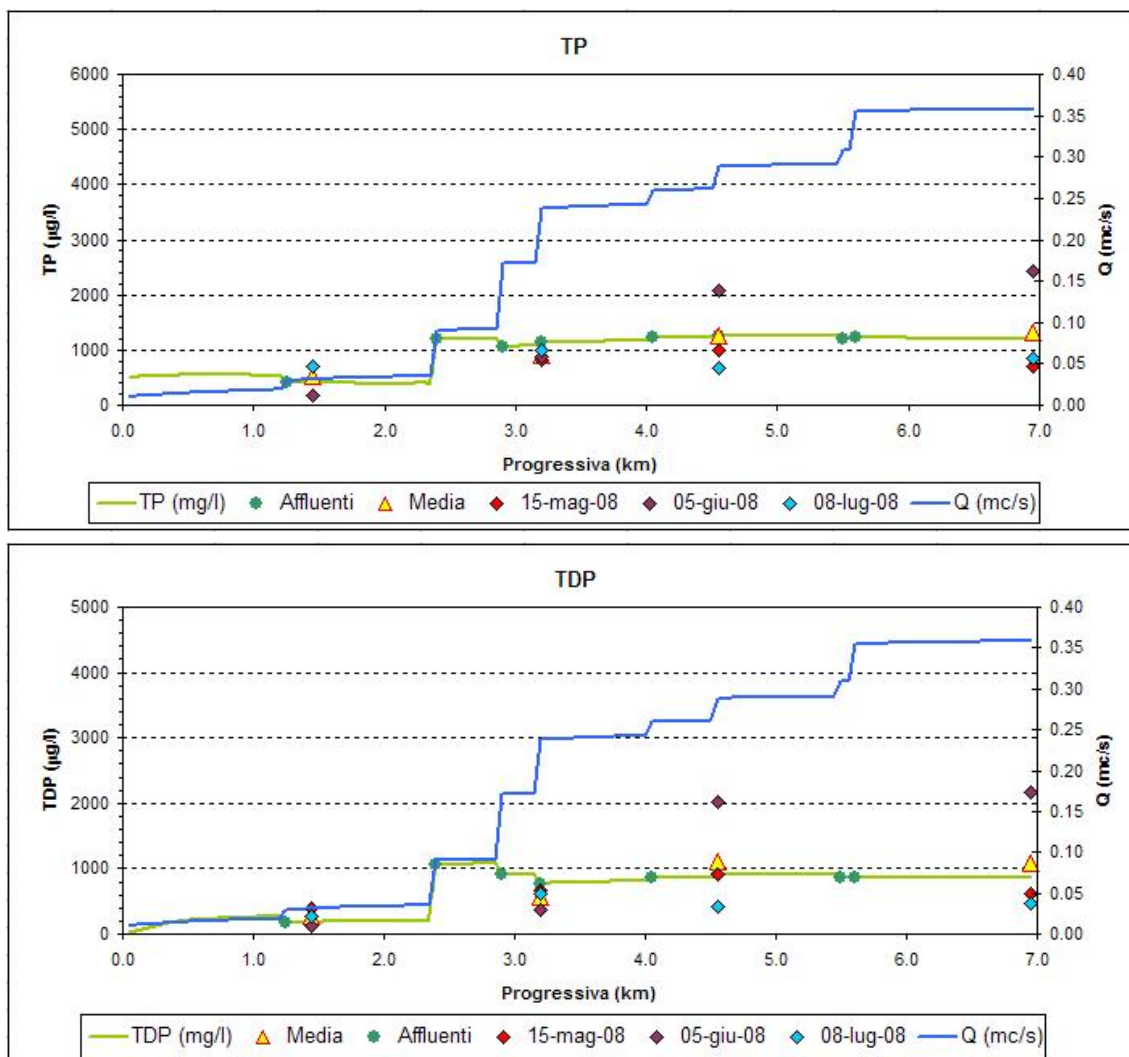


Fig. 6.8 – Andamento simulato del fosforo totale e del fosforo disciolto (in verde) rispetto ai dati medi misurati nel periodo irriguo (triangoli gialli)

## **6.5 Applicazione del modello qualitativo all'area vasta**

Il processo di calibrazione precedentemente presentato ha permesso di identificare i valori dei parametri richiesti dal programma *QUAL2E* adatti a descrivere la dinamica degli inquinanti che si muovono all'interno del reticolo idrografico. I risultati ottenuti sono stati quindi utilizzati al fine di indagare il comportamento della rete che insiste sull'area vasta, obiettivo principale dello studio.

Per la realizzazione del file sorgente è stata seguita una procedura del tutto simile a quella adottata per il bacino pilota; sono state quindi utilizzate le scale di deflusso identificate mediante la simulazione con SWMM allo scopo di descrivere le caratteristiche geometriche della rete, mentre sono stati aggiornati i punti di scarico puntuale accorpandoli dove necessario. Per quanto concerne i carichi distribuiti è stato anche in questo caso necessario utilizzare i valori di coefficienti idrometrici identificati con il bilancio idrologico al fine di trasformare i carichi in massa, in concentrazioni sversate.

Le concentrazioni iniziali del sistema poi, non disponendo di misure dirette o di elaborati precedenti effettuati sull'intera area di studio, sono state inserite estendendo quelle individuate per il bacino pilota, ipotizzando di avere uniformità sul territorio; per il ramo iniziale della rete, corrispondente alla stazione di monitoraggio "Case Tirelli" sono state invece utilizzati i valori risultanti dalle simulazioni di calibrazione.

I risultati delle simulazioni che sono stati riportati di seguito fanno riferimento ai due scenari caratteristici, periodo secco e periodo irriguo, e alle variazioni degli agenti inquinanti lungo l'asta principale selezionata sulla rete in esame: rami 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 21, 22, 23, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 57, 58, 66.

Le componenti giudicate più significative a descrivere lo stato qualitativo del sistema sono l'azoto totale (TN), l'azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_3$ ), il fosforo totale (TP) e il fosforo disciolto (TDP).

### **6.5.1 Periodo secco – Gennaio, febbraio, marzo**

Il primo scenario considerato è stato quello invernale, in corrispondenza dei mesi di gennaio, febbraio e marzo. La portata di riferimento per il periodo è stata desunta come per il bacino pilota dal bilancio idrologico dove era stato individuato un coefficiente idrometrico pari a circa 0,03 l/s/ha.

Osservando i grafici seguenti, formulati dal modello, non si riscontrano forti variazioni di concentrazione degli inquinanti in corrispondenza delle intersezioni con gli affluenti, se non nel caso della seconda confluenza; ciò è dovuto alla ridotta lunghezza dei canali che riversano le acque nell'asta principale, tranne per l'appunto



del secondo affluente, ed anche alla presenza del depuratore Reggiolo Nuovo che scarica giornaliero pari a quasi 9000 m<sup>3</sup>.

Dal confronto degli andamenti dell'azoto e del fosforo si riscontra poi un'evoluzione molto simile: fino al ramo 7, coincidente con il bacino pilota, le concentrazioni tendono a crescere a causa della forte concentrazione di allevamenti di bestiame e quindi un robusto utilizzo di fertilizzanti organici da parte delle attività agricole; successivamente il carico si mantiene sostanzialmente costante, presentando quindi un bilanciamento i benefici di autodepurazione delle acque e i contributi che si incontrano lungo l'asta principale. L'andamento di azoto e fosforo si differenzia solamente in corrispondenza del depuratore Reggiolo Nuovo nel quale si osserva un effetto di diluizione per l'azoto, grazie anche alla presenza dell'affluente che sversa le sue acque nella stessa zona, e un aumento di concentrazione del fosforo totale.

Confrontando invece singolarmente i risultati simulati con quelli misurati per le diverse sostanze si riscontra una buona aderenza sia per quanto riguarda la descrizione del fosforo, sia per quella dell'azoto.

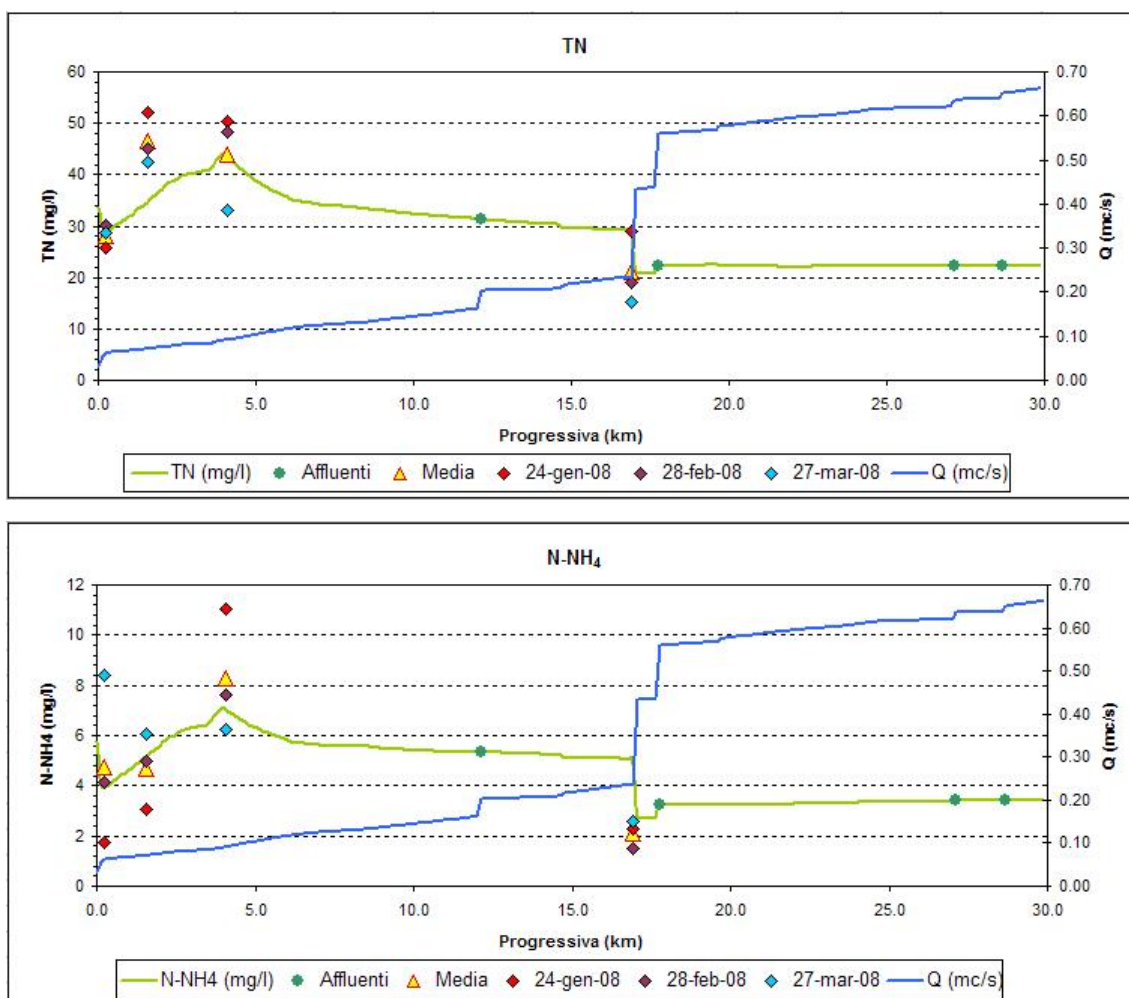


Fig. 6.9 – Andamento simulato dell'azoto totale e dell'azoto ammoniacale (in verde) rispetto ai dati medi misurati nel periodo secco (triangoli gialli)

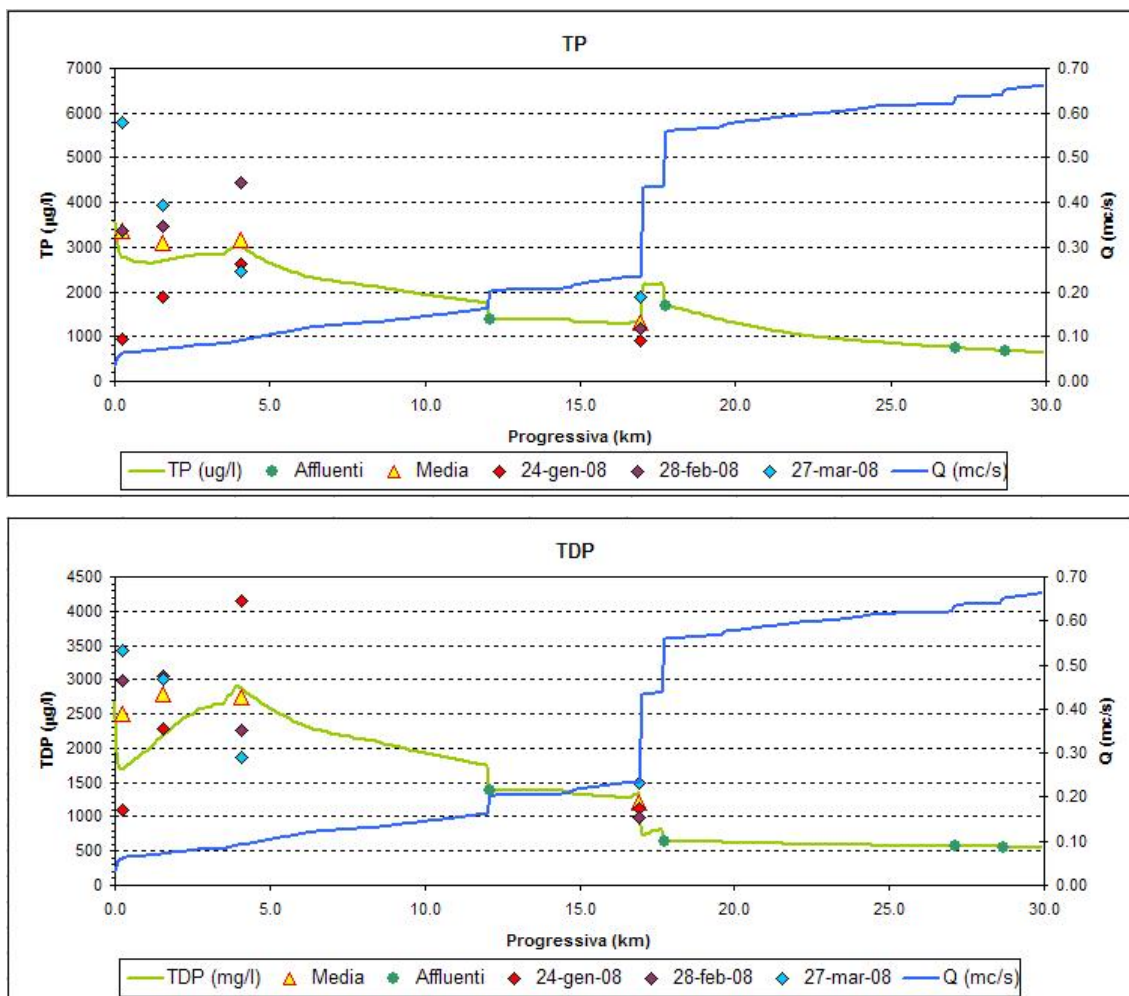


Fig. 6.10 – Andamento simulato del fosforo totale e del fosforo disciolto (in verde) rispetto ai dati medi misurati nel periodo secco (triangoli gialli)

### 6.5.2 Periodo irriguo – Maggio, giugno, luglio

Il secondo scenario considerato è stato quello estivo, in corrispondenza dei mesi di maggio, giugno e luglio. Il coefficiente udometrico, come nel caso estivo riferito al bacino pilota, è stato assunto pari a circa 0,2 l/s/ha.

Le osservazioni che si possono fare riguardo agli andamenti sono molto simili a quelle già formulate per il periodo invernale.

L'unica differenza di rilievo riguarda le concentrazioni medie dell'azoto, sia nella forma totale che in quella ammoniacale, che risultano essere circa dimezzate rispetto a quelle riscontrate durante il periodo secco e presentano un andamento molto più costante lungo l'intera asta principale. La spiegazione di questa situazione deve essere ricercata nell'aumento dei volumi d'acqua che circolano nei canali durante i mesi estivi comportando una maggiore diluizione delle sostanze inquinanti.

Lo stesso accade per il fosforo per il quale si osserva un forte abbattimento delle concentrazioni pur mantenendo un andamento qualitativamente sovrapponibile a quello invernale.

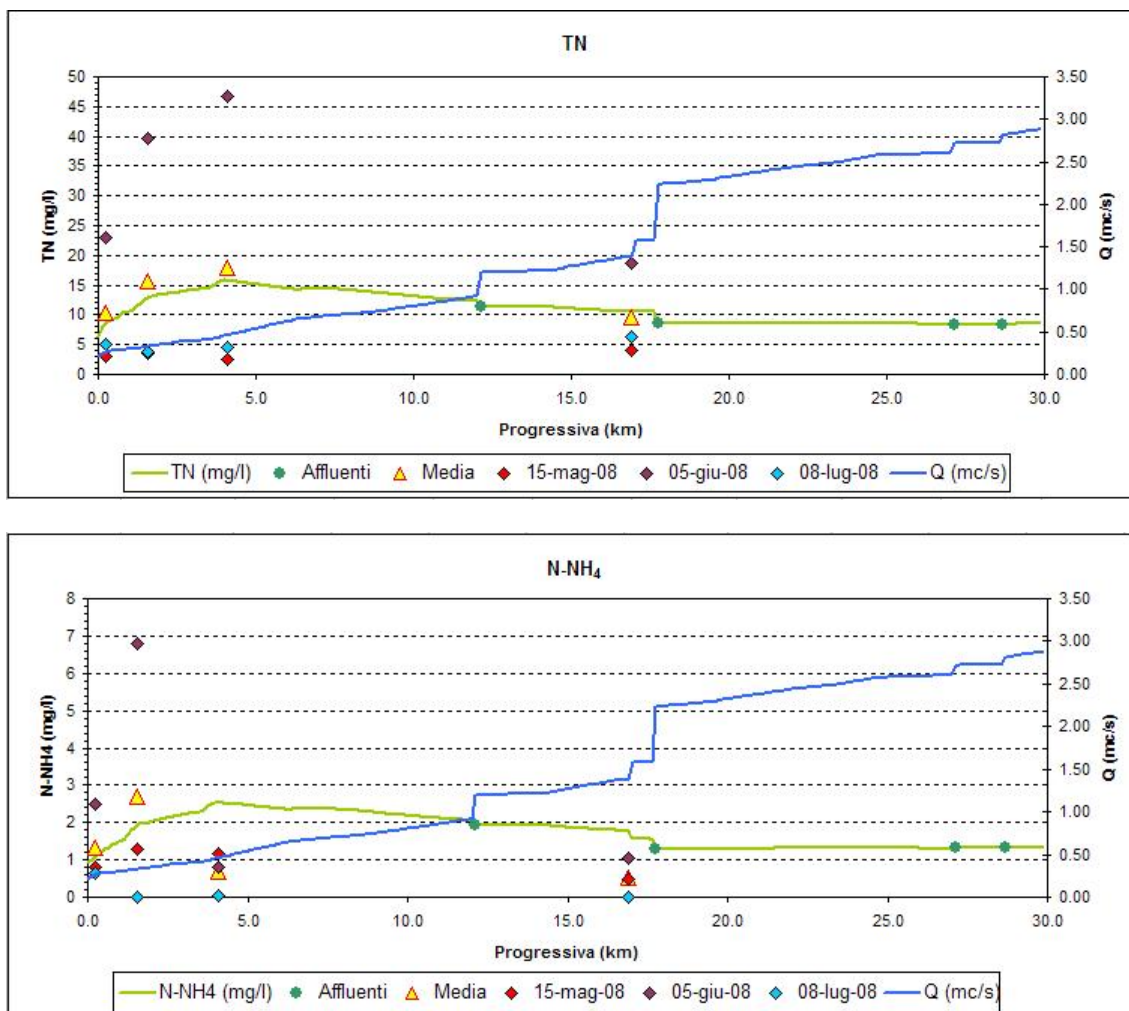


Fig. 6.11 – Andamento simulato dell'azoto totale e dell'azoto ammoniacale (in verde) rispetto ai dati medi misurati nel periodo irriguo (triangoli gialli)

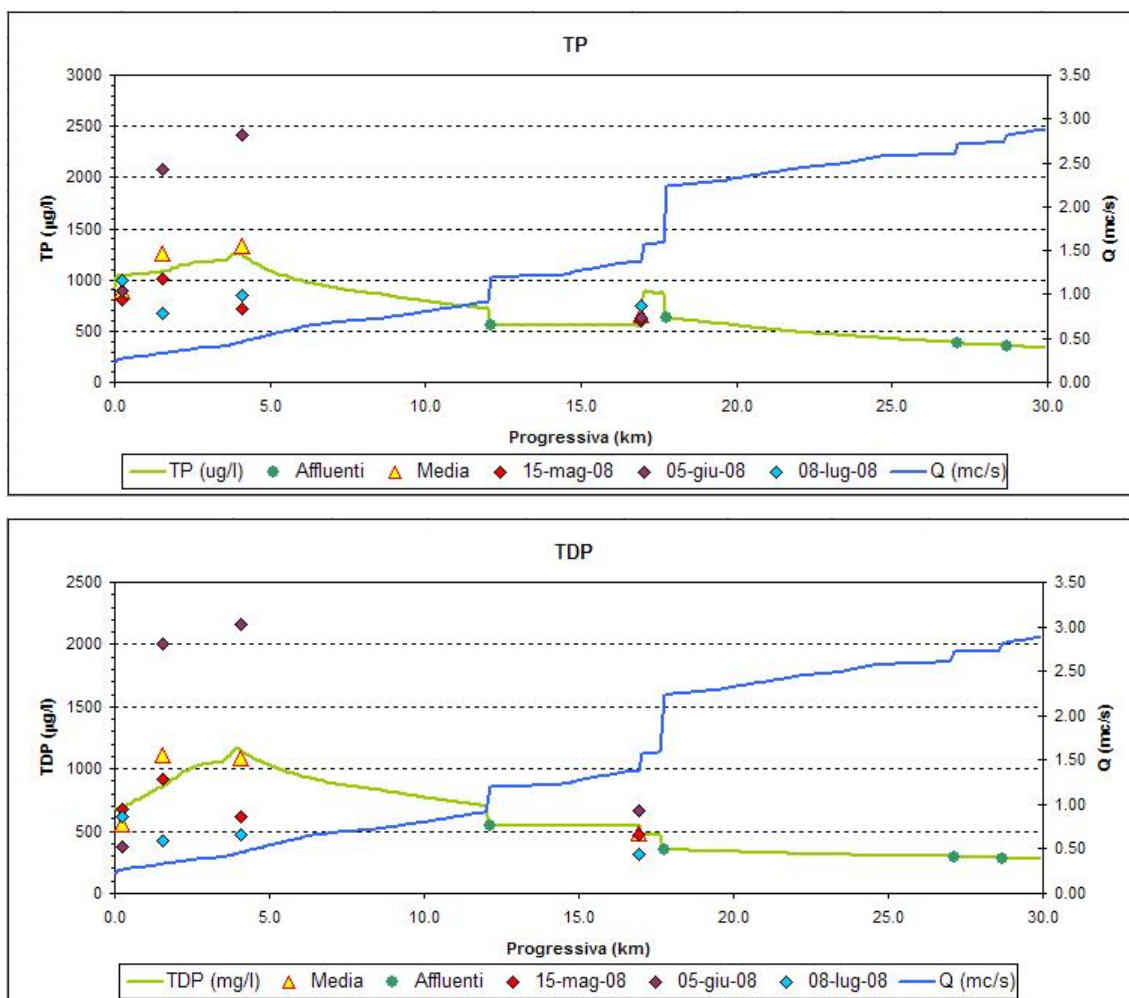


Fig. 6.12 – Andamento simulato del fosforo totale e del fosforo disciolto (in verde) rispetto ai dati medi misurati nel periodo irriguo (triangoli gialli)

Le simulazioni mostrano una buona rappresentazione dei valori sperimentali misurati sia in condizioni irrigue che in condizioni invernali e pertanto si può ritenere che il modello matematico ottenuto sia adeguato per la fase successiva di valutazione di scenari di progetto con l'inserimento di fasce tampone.

## **7. SIMULAZIONE QUALITATIVA CON LA PRESENZA DI FASCE TAMPONE**

### **7.1 Criteri guida per la pianificazione delle fasce tampone**

I fattori ritenuti fondamentali per individuare le aree su cui collocare le fasce tampone e per valutare l'efficienza depurativa delle stesse, sono essenzialmente l'idrogeologia del sito, la disponibilità di sostanza organica e presenza di carichi inquinanti. Nel caso dell'azoto e in particolare per rimuovere i nitrati, è necessario che la fascia riparia sia attraversata da un flusso sub-superficiale di acqua inquinata, in altri termini è necessaria la presenza di una falda acquifera in contatto con la rizosfera, cioè quella zona con la maggiore densità di radici che interessa i primi metri di suolo al di sotto del piano campagna.

Tale flusso può anche essere generato dall'acqua di irrigazione o di pioggia che si infiltra nel terreno e trasporta con moto sub-orizzontale i nutrienti verso i corpi idrici drenanti. Questo fattore di carattere idrogeologico, che determina elevati tassi di umidità dei suoli, favorisce l'instaurarsi di condizioni anaerobiche, fondamentali perché possa avvenire la reazione batterica di denitrificazione, che trasforma il nitrato in azoto molecolare gassoso.

Tra le caratteristiche ambientali, rilevanti nel determinare la soggiacenza della falda, sono da annoverare quelle topografiche, come la pendenza e più in generale la morfologia del declivio.

Un altro fattore ambientale cruciale nel definire la funzionalità delle fasce riparie è la permeabilità del suolo che determina il tempo di residenza dell'acqua sotterranea. In suoli troppo permeabili il tempo di residenza dell'acqua può non essere sufficientemente lungo per sviluppare condizioni anaerobiche, al contrario, se la permeabilità è molto bassa, il flusso di nitrato può essere così limitato da impedire la denitrificazione. Le condizioni ottimali per consentire alte efficienze di attività batteriche si hanno in suoli con valori intermedi di permeabilità associati ad un'appropriata geomorfologia.

La disponibilità di carbonio organico, come carbonio organico disciolto nell'acqua sotterranea e percentuale di sostanza organica nel suolo, costituisce uno dei criteri per valutare la probabile buona funzionalità di fasce tampone. Terreni ricchi di sostanza organica (>2,5%), possono infatti sostenere maggiormente l'attività metabolica delle comunità batteriche denitrificanti. Inoltre, la sostanza organica favorisce la formazione di habitat anaerobici dal momento che la sua mineralizzazione attraverso la respirazione aerobica contribuisce al consumo di ossigeno.

Tale criterio, comunque, permette di individuare aree di maggior interesse, ma non è limitativo in assoluto: bisogna infatti considerare che la messa a dimora di fasce tampone (in particolare quelle "plurifilare", più ampie) può contribuire ad arricchire il

terreno di carbonio organico, attraverso la formazione della lettiera da cui il carbonio ridotto si diffonde negli orizzonti più profondi.

Per quanto riguarda i fattori da considerare nel prevedere l'idoneità delle fasce tampone nell'attenuazione dei carichi di fosforo, occorre ricordare che questo nutriente è veicolato soprattutto attraverso le acque di ruscellamento conseguenti agli eventi meteorici o alle attività di irrigazione. Quindi quanto più i suoli sono impermeabili, l'intensità di pioggia elevata e la sistemazione dei terreni tende a favorire il deflusso superficiale, tanto più le aree sono idonee. In pratica le fasce tampone che intercettano il runoff sono efficaci proprio in quelle aree dove le fasce tampone da deflusso subsuperficiale sono poco efficaci e viceversa.

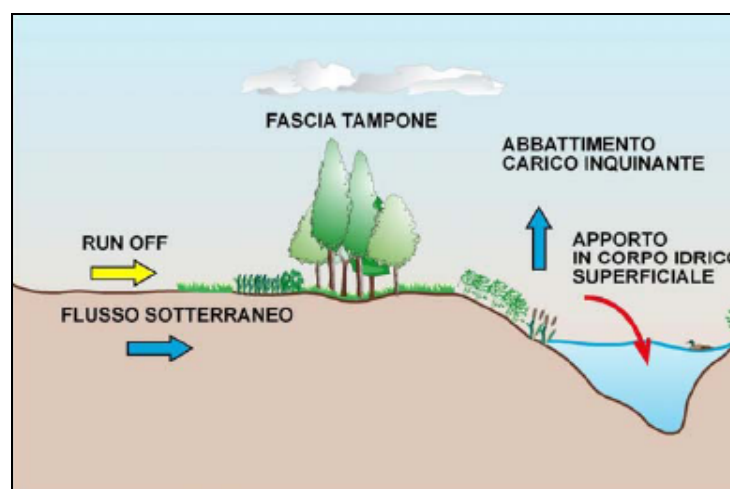


Fig. 7.1 – Rappresentazione schematica del ruolo delle fasce tampone per l'abbattimento del carico inquinante veicolato nel reticolo delle acque superficiali.

Una volta individuata la migliore localizzazione delle fasce, minimizzando l'intralcio alle lavorazioni meccaniche e sottraendo la minor superficie utile per le colture, ed effettuato il dimensionamento dello spazio da attribuire alla fascia tampone, si deve procedere alla scelta della specie: questa viene eseguita in base alle condizioni pedo-climatiche della zona, al fine di evitare ambienti potenzialmente ospitali per patogeni e parassiti comuni alle coltivazioni limitrofe.

## 7.2 Simulazione con l'inserimento delle fasce tampone

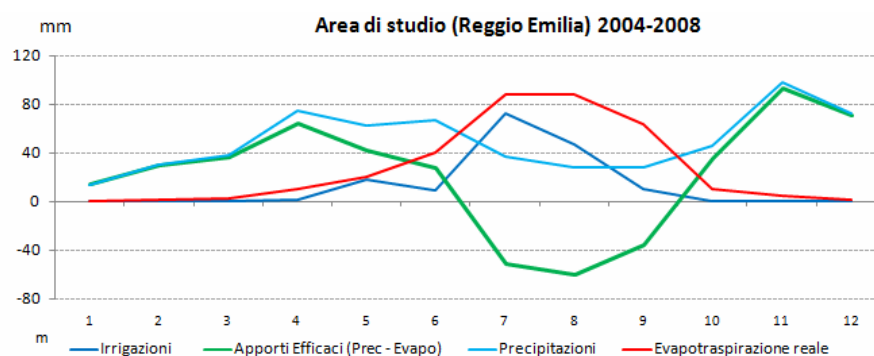
Come si è visto i criteri per definire una distribuzione ottimale delle fasce tampone vegetate sono molteplici a causa dei numerosi fattori che influenzano le dinamiche di abbattimento degli inquinanti. Il criterio che è stato adottato nel presente elaborato è stato quello di valutare l'interazione fra il fondo dell'alveo e l'altezza della falda; si è quindi ipotizzato di inserire le fasce tampone laddove la falda raggiunge o supera il livello del fondo canale.

Valutare la modalità di circolazione dell'acqua nel suolo significa considerare principalmente le modalità di abbattimento dell'azoto, ma questo è un approccio accettabile in quanto rispetto ai carichi sulle superfici agricole circa il 20-30% dell'azoto raggiunge i canali di drenaggio, mentre il fosforo viene quasi interamente assorbito ad esclusione di pochi punti percentuali. L'abbattimento del fosforo è stato comunque stimato laddove sia stato giudicato opportuno inserire le fasce tampone.

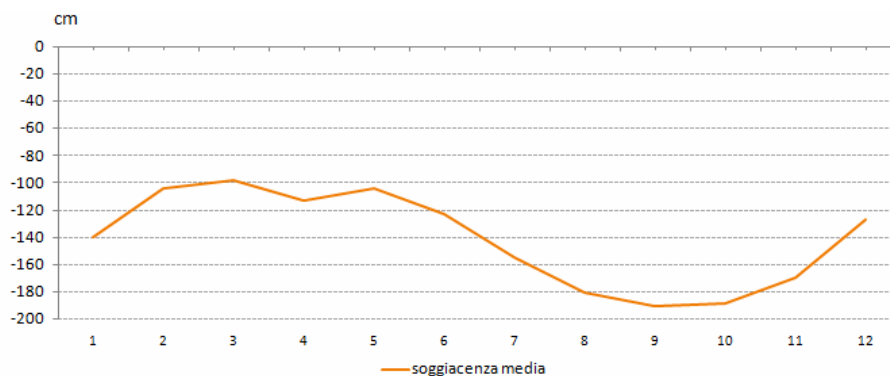
Il procedimento pratico compiuto è stato quello di considerare la rete scolante simulata con il software SWMM, nella quale sono presenti le caratteristiche geometriche e principalmente la profondità dei canali.

Per definire e quantificare l'interazione tra la falda ipodermica e il reticolo idrico superficiale, si è provveduto a creare una mappa della piezometria sia dell'area vasta sia del bacino campione. A questo proposito si sono utilizzati i dati della rete di monitoraggio della falda ipodermica della Regione Emilia Romagna.

Prima di affrontare questa analisi si è provveduto ad analizzare le voci del bilancio idrico della zona.







|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>Precipitazioni</b>     | 596 mm    |
| <b>Irrigazioni</b>        | 140 mm    |
| <b>Soggiacenza media</b>  | -1.7 m    |
| <b>Escursione annuale</b> | 0.5 m     |
| <b>Periodo di minimo</b>  | autunno   |
| <b>Periodo di massimo</b> | primavera |

Figura 7.2 – Soggiacenza media mensile del Pozzo di Correggio (2004-2008) ed analisi dell'andamento delle voci di bilancio per lo stesso periodo

La Figura 7.2 mostra l'andamento medio mensile (periodo 2004-2008) della soggiacenza del pozzo di Correggio: il massimo livello piezometrico viene raggiunto da febbraio a maggio, mentre il minimo livello nei mesi estivi ed autunnali. Nella stessa Figura si è voluto evidenziare l'andamento delle principali voci del bilancio idrico per lo stesso periodo di analisi. I dati di precipitazione e temperatura si riferiscono alla stazione di Brunoria, mentre l'evapotraspirazione potenziale è stata calcolata con il metodo di Thornthwaite. Applicando i coefficienti colturali tipici della pianura padana (Allen et al., 1998) si è calcolata l'evapotraspirazione reale. Per gli apporti efficaci si intende invece la differenza tra la somma delle entrate (precipitazioni ed irrigazioni) e l'evapotraspirazione reale.

Confrontando la curva mensile degli apporti efficaci rispetto a quella della piezometria, notiamo che quest'ultima mostra un ritardo (time-lag) inferiore al mese rispetto alle entrate. Un tempo di risposta di questa lieve entità (situazione simile a quella del sito Bedollo) trova probabilmente le sue origini in un livello medio di soggiacenza che non supera qualche metro.

Sulla base di questa analisi si è ricostruita la piezometria per il mese di marzo e di ottobre in modo da caratterizzare le due situazioni idrologiche limite. La piezometria annuale media della zona è stata considerata la media di queste due.

In generale sono stati identificati pertanto due scenari:

- *Livello di marzo*: ci si trova al termine della stagione invernale durante la quale le prolungate precipitazioni e la scarsa evapotraspirazione hanno permesso la ricarica dell'acquifero e quindi una condizione di "falda alta";

- *Livello di ottobre*: ci si trova al termine della stagione estiva caratterizzate da una robusta evapotraspirazione e, nonostante la presenza dell'irrigazione, si identifica una condizione di "falda bassa".

Ponendo a confronto i livelli di falda con le profondità dei canali è stato possibile stimare dove il deflusso sub superficiale possa influire sul livello idrico dei canali stessi, quindi dove la presenza delle fasce tampone possa fornire un contributo positivo all'abbattimento dei nutrienti. Di seguito vengono riportate due figure (Fig. 7.3 e 7.4) rappresentanti l'interazione della falda con il fondo alveo della rete drenante, rispettivamente nelle condizioni di "falda alta"

e di "falda bassa"; si può attribuire una corrispondente attitudine all'inserimento di fasce tampone seguendo la scala cromatica da nulla (marrone), bassa, media, moderata fino ad alta (blu).

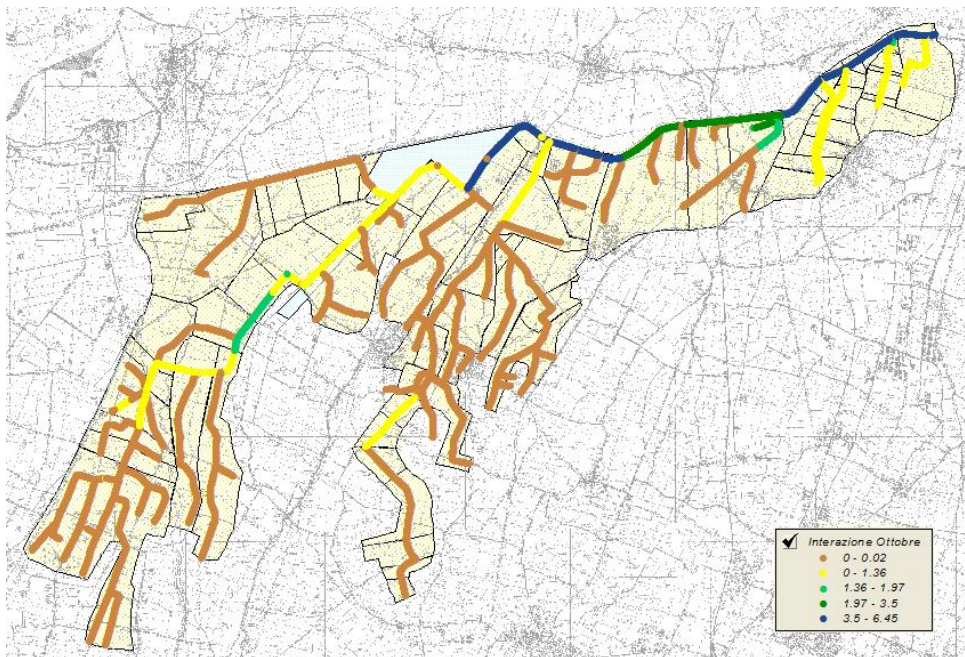


Fig. 7.3 – Differenza di livello tra la falda e il fondo canale nel caso di “falda bassa”.

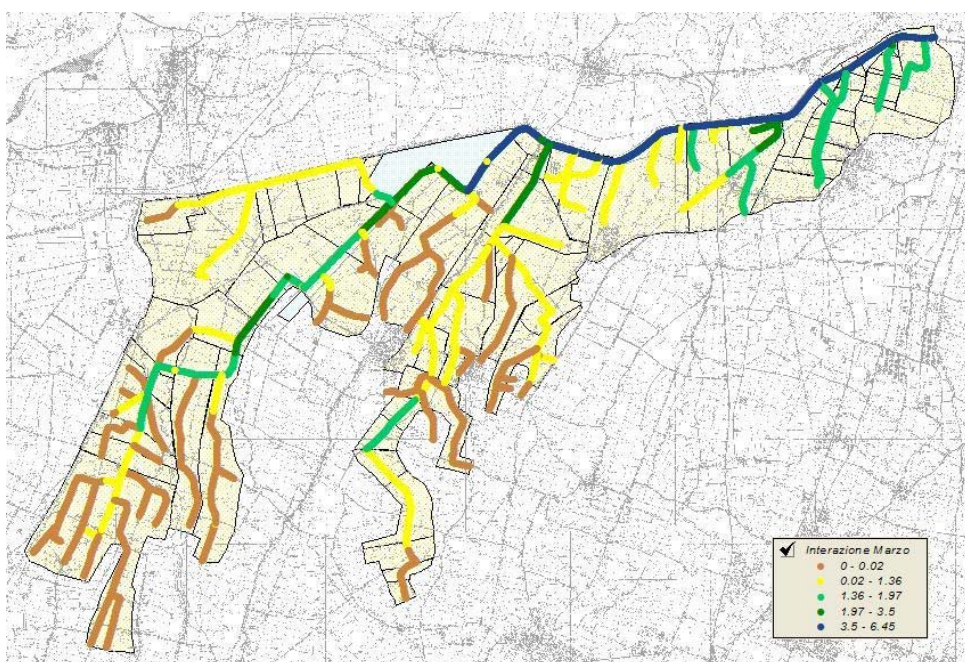


Fig. 7.4 – Differenza di livello tra la falda e il fondo canale nel caso di “falda alta”.

L'efficienza di rimozione è stata assunta per l'azoto pari a valori tra il 70% e il 100%, mentre per il fosforo compresi tra il 30% e il 70%.

Preso atto di questi dati si è ritenuto opportuno correlare il grado di riempimento dei canali ipoteticamente dovuto al livello della falda, con le percentuali di abbattimento

dei nutrienti. In altre parole si avrebbe la rimozione del 100% di azoto e del 70% di fosforo se la falda si trovasse al livello campagna, ma rispettivamente del 70% e del 30% se la falda coincidesse con il fondo dell'alveo.

Seguendo l'approccio presentato è emerso che i canali idonei a beneficiare dell'effetto di riduzione dei nutrienti per mezzo delle fasce tampone sono circa il 60%, per una lunghezza complessiva di circa 100 km su 170 km totali.

I risultati così ottenuti però sono riferiti alla rete rappresentata con *SWMM*, ben più particolareggiata rispetto a quella simulata mediante il programma di calcolo *QUAL2E*. Con il software GIS, utilizzando il metodo di Thiessen, sono state individuate le porzioni di rete secondaria che afferiscono ai singoli canali principali e l'abbattimento percentuale dei nutrienti è stato ottenuto come media dei singoli valori, pesata rispetto alla lunghezza dei canali.

Le condizioni identificate come "falda alta" e "falda bassa" sono stati accostati sia allo scenario irriguo estivo sia a quello non irriguo invernale; in questo modo si intende rappresentare un quadro più completo delle condizioni che si possono ritrovare nell'arco dell'anno, tenendo conto che periodi siccitosi o piovosi interferiscono pesantemente con il livello dell'acquifero scostandolo dal semplice valore medio stagionale.

Gli abbattimenti percentuali di azoto e fosforo sono stati quindi applicati ai dati relativi ai carichi distribuiti, procedendo nuovamente con le simulazioni qualitative, delle quali in seguito sono stati riportati i grafici riassuntivi dei risultati ottenuti.

I primi quattro grafici si riferiscono alle condizioni invernali o di tempo secco, mentre i successivi alle condizioni estive irrigue (fig. da 7.5 a Fig. 7.8).

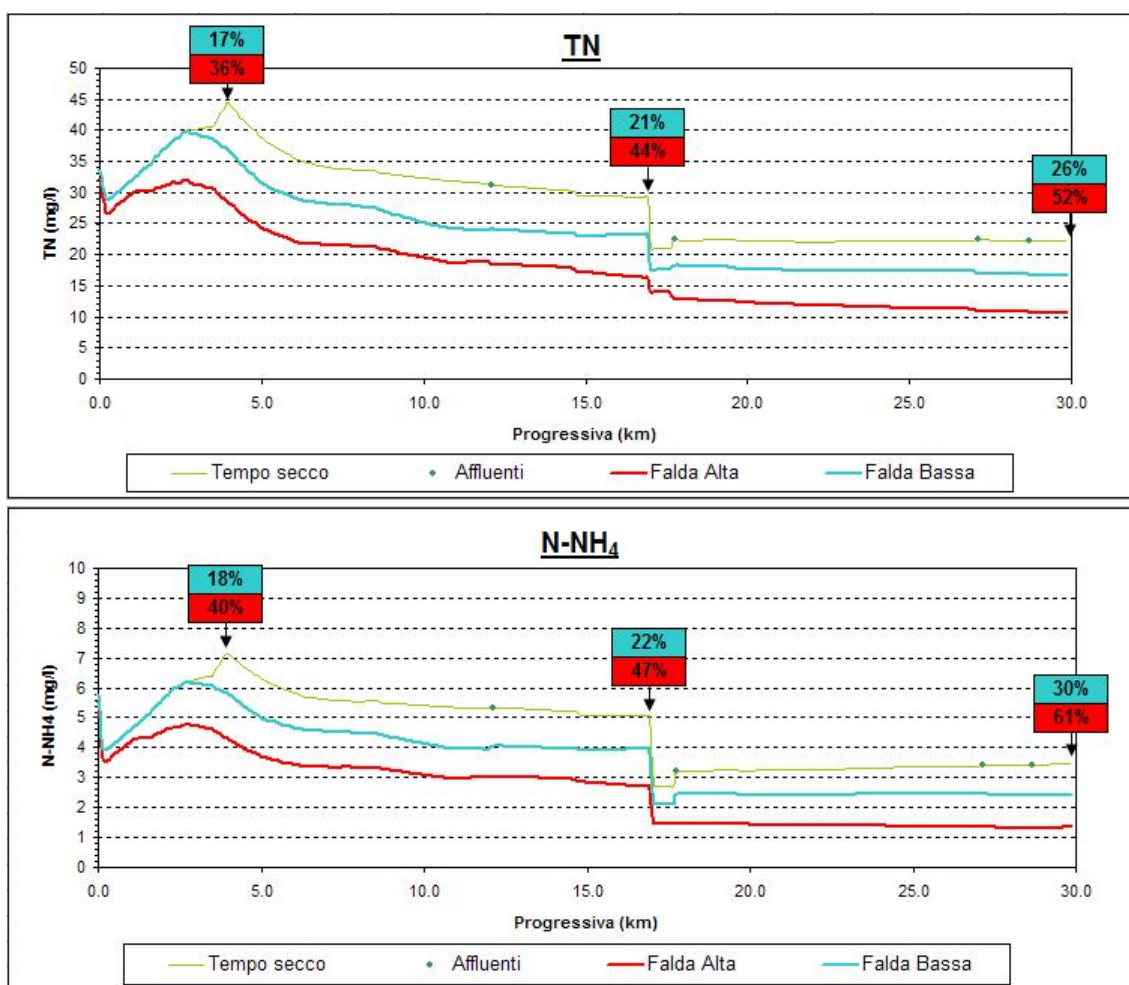


Fig. 7.5 – Andamento simulato dell'azoto totale e dell'azoto ammoniacale nelle condizioni attuali (in verde), con l'inserimento delle fasce tampone con falda bassa (azzurro) e con falda alta (rosso). I riquadri riportano gli abbattimenti percentuali alla stazione S. Vittoria, al depuratore Reggiolo Nuovo e in uscita dal bacino.



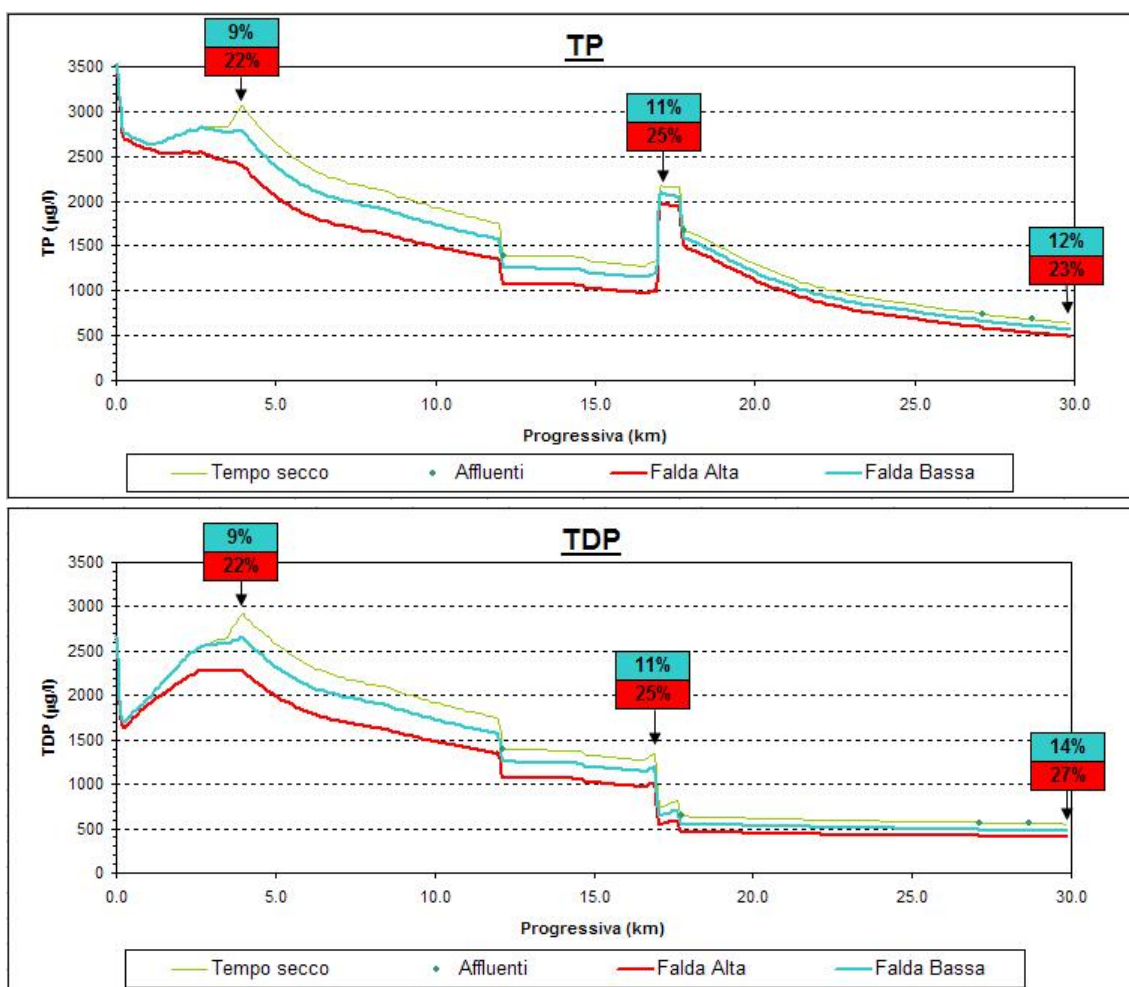


Fig. 7.6 – Andamento simulato del fosforo totale e del fosforo disciolto nelle condizioni attuali (in verde), con l'inserimento delle fasce tampone con falda bassa (azzurro) e con falda alta (rosso). I riquadri riportano gli abbattimenti percentuali alla stazione S. Vittoria, al depuratore Reggolo Nuovo e in uscita dal bacino

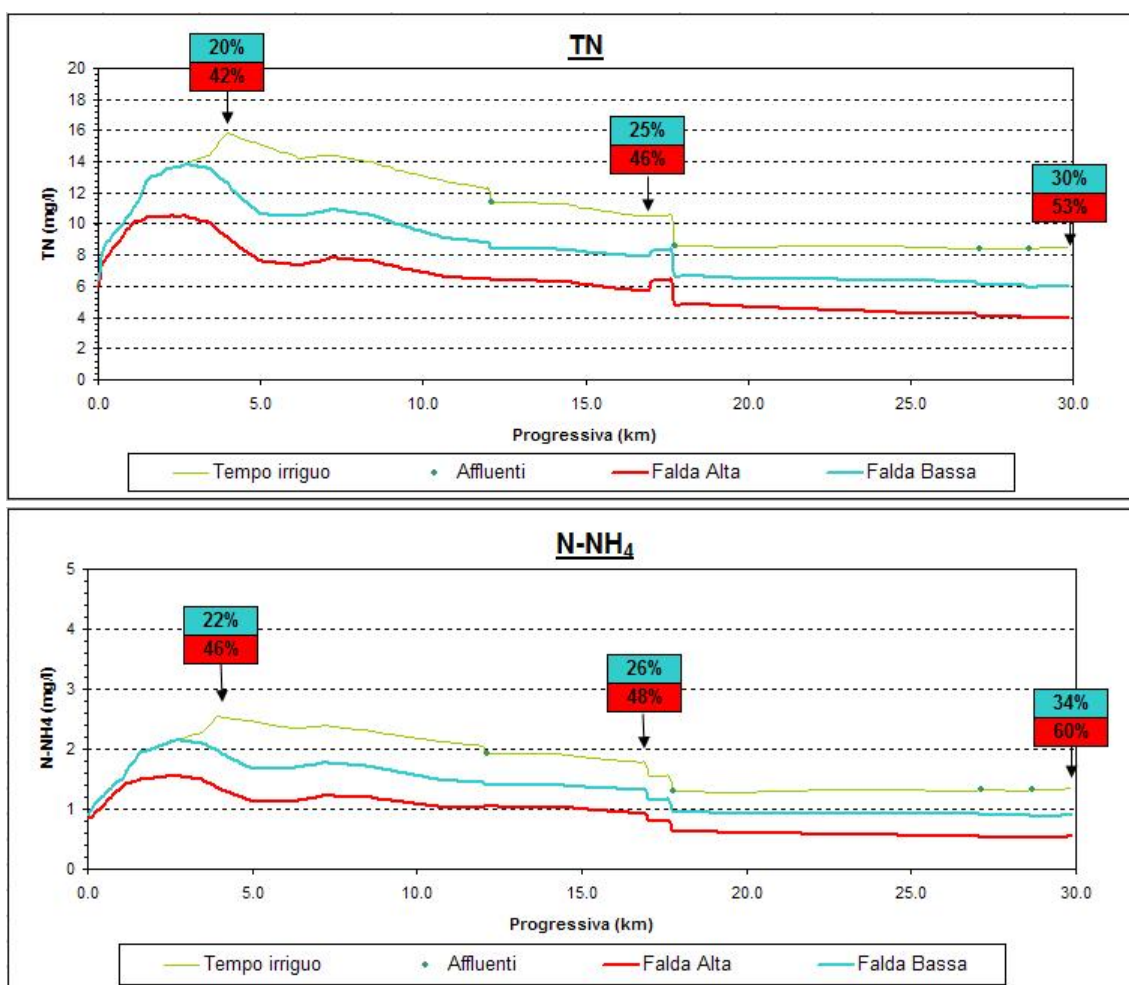


Fig. 7.7 – Andamento simulato dell'azoto totale e dell'azoto ammoniacale nelle condizioni odierne (in verde), con l'inserimento delle fasce tampone con falda bassa (azzurro) e con falda alta (rosso). I riquadri riportano gli abbattimenti percentuali alla stazione S. Vittoria, al depuratore Reggiolo Nuovo e in uscita dal bacino.

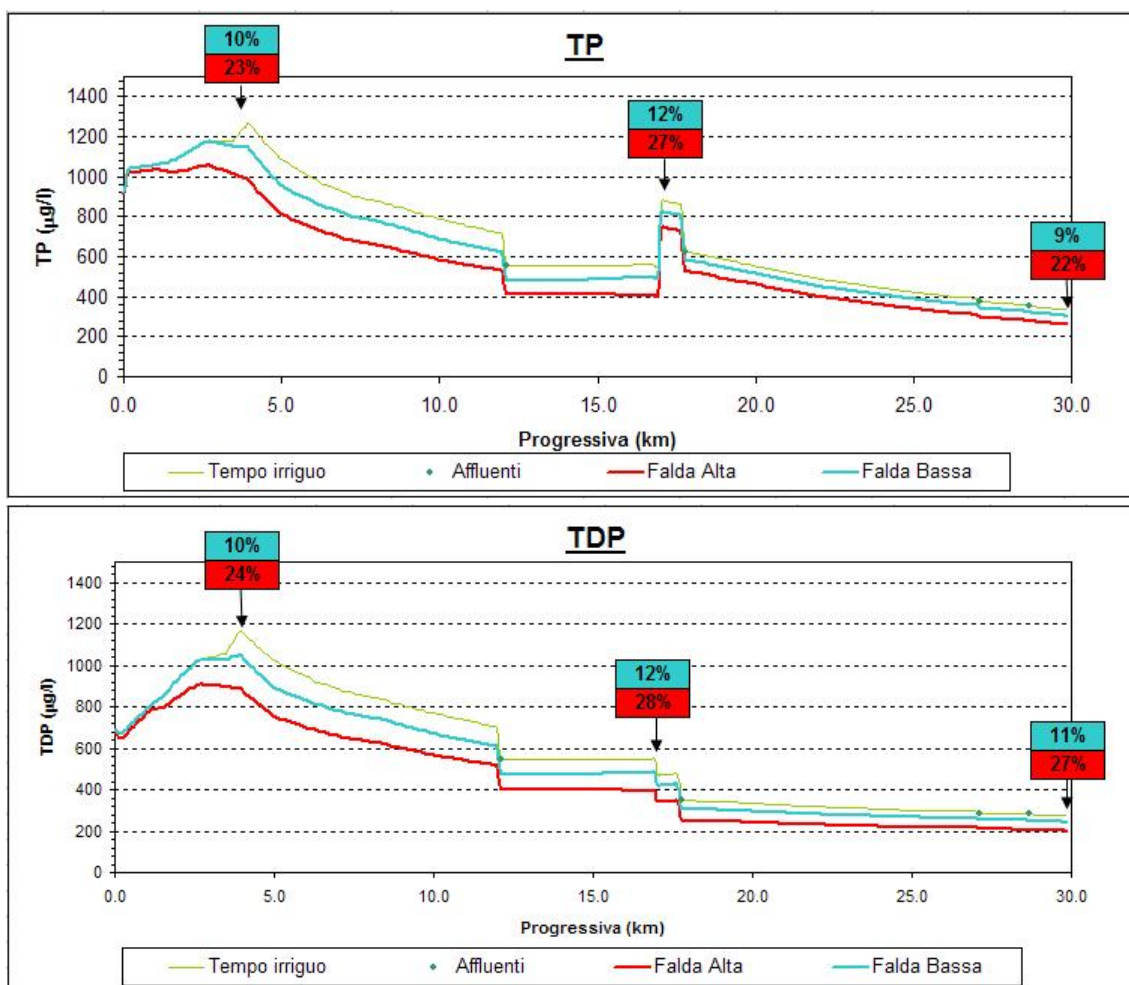


Fig. 7.8 – Andamento simulato del fosforo totale e del fosforo disciolto nelle condizioni odierne (in verde), con l'inserimento delle fasce tampone con falda bassa (azzurro) e con falda alta (rosso). I riquadri riportano gli abbattimenti percentuali alla stazione S. Vittoria, al depuratore Reggiolo Nuovo e in uscita dal bacino.



### 7.2.1 Discussione dei risultati:

Come già precedentemente descritto, il criterio adottato per valutare i benefici prodotti dalle fasce tampone, ha permesso individuare circa 100 chilometri di canali idonei all'installazione su 170 chilometri totali dell'area studiata.

Dal punto di vista dell'occupazione del suolo si potrebbe ipotizzare di introdurre delle fasce di larghezza di 5 m; in questo modo verrebbe coperta una superficie pari a circa 0.5 km<sup>2</sup>, ossia si sottrarrebbe al territorio agricolo totale esaminato (125 km<sup>2</sup>) una superficie pari allo 0.4 %.

Se si considera invece che la superficie media di un appezzamento è di circa 1 ha, si potrebbe ragionare supponendo di introdurre una fascia tampone lungo uno dei quattro lati, nell'ipotesi che questo lambisca un canale di drenaggio; in questo modo sottrarremmo alla superficie coltivata il 5% del totale lavorabile.

Ad ogni modo, ritornando al criterio adottato per la distribuzione delle fasce tampone, si è osservato un abbattimento degli inquinanti alla sezione di chiusura del bacino tra il 26% e il 53% per l'azoto totale, in funzione del livello di falda presente, e tra il 9% e il 23% per il fosforo totale.

Si è ritenuto inoltre interessante osservare l'evoluzione degli abbattimenti percentuali dei differenti inquinanti, combinando gli scenari invernali ed estivi e quelli di "falda alta" e di "falda bassa".

Allo scopo di meglio comprendere i grafici di seguito riportati si è giudicato utile affiancarli con dei diagrammi a torta, mediante i quali viene rappresentata l'incidenza delle differenti tipologie di scarico rispetto ai chilogrammi medi mensili complessivamente sversati nella rete.

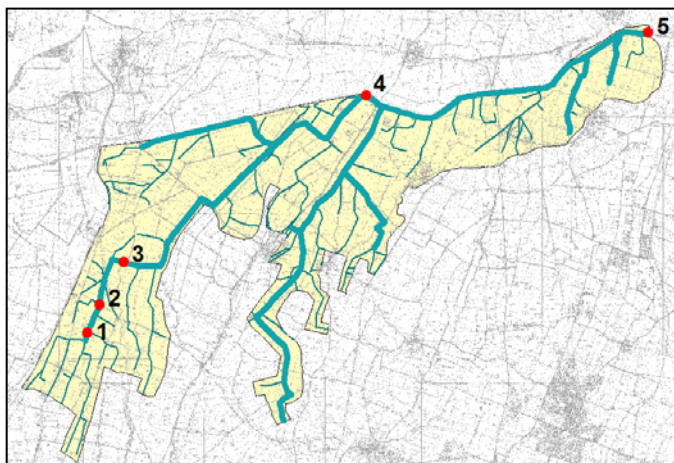
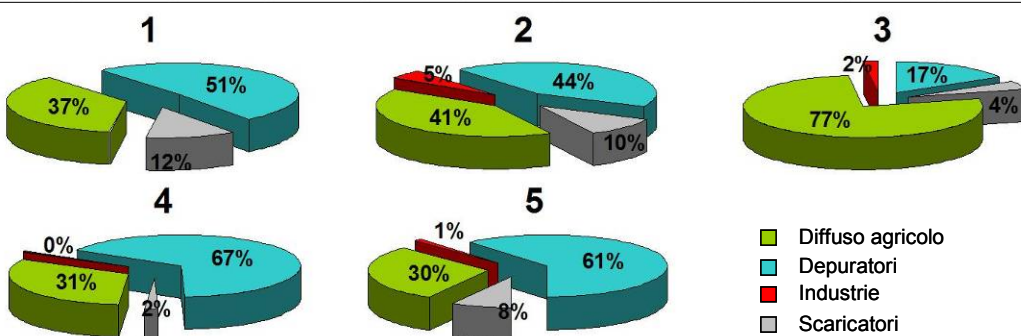
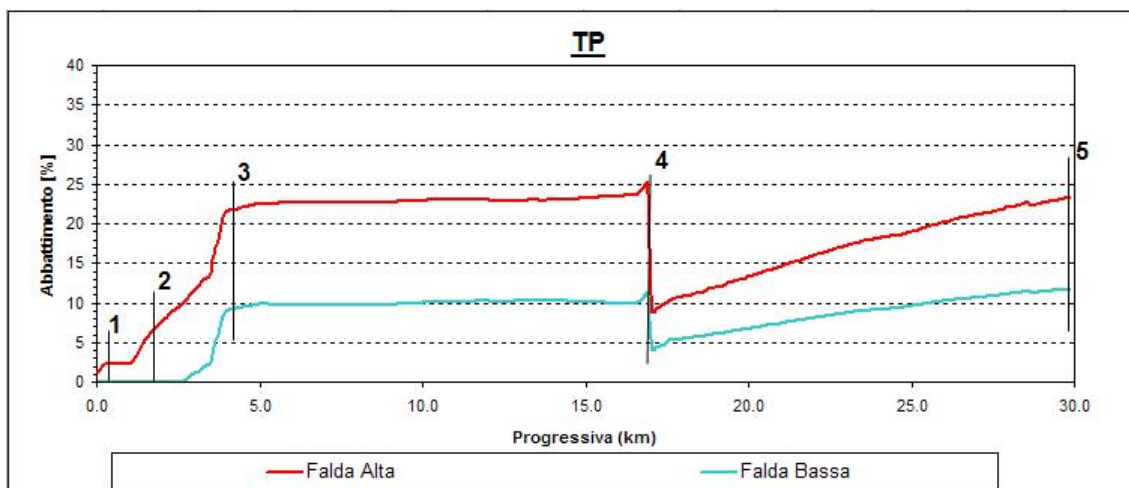
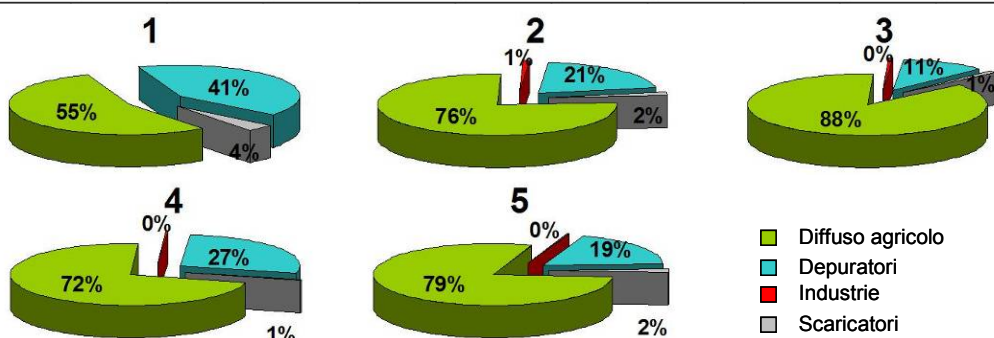
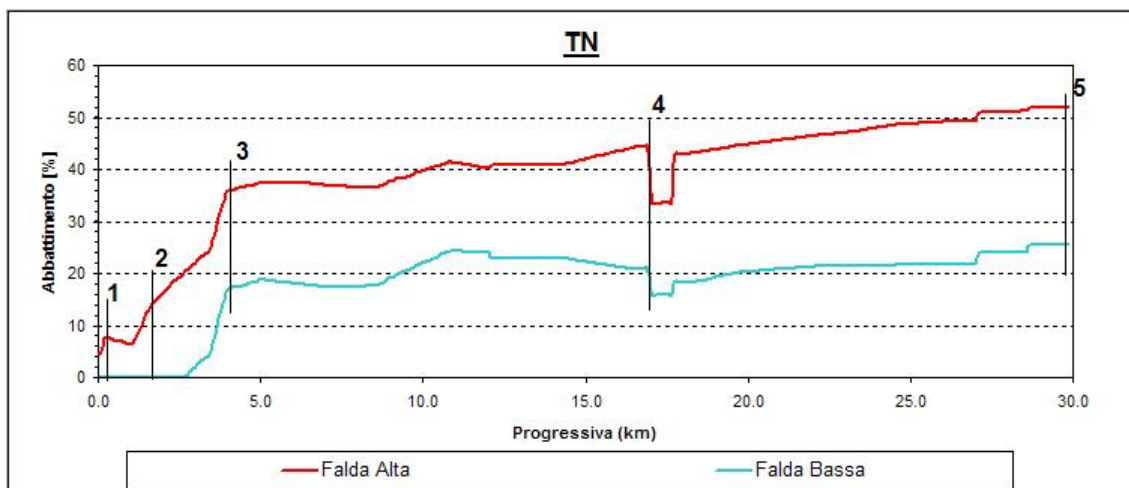
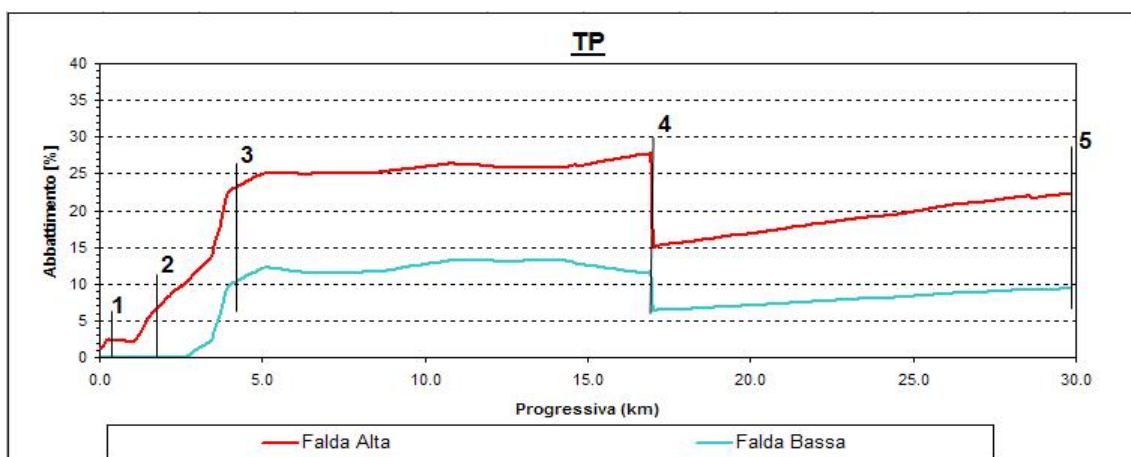
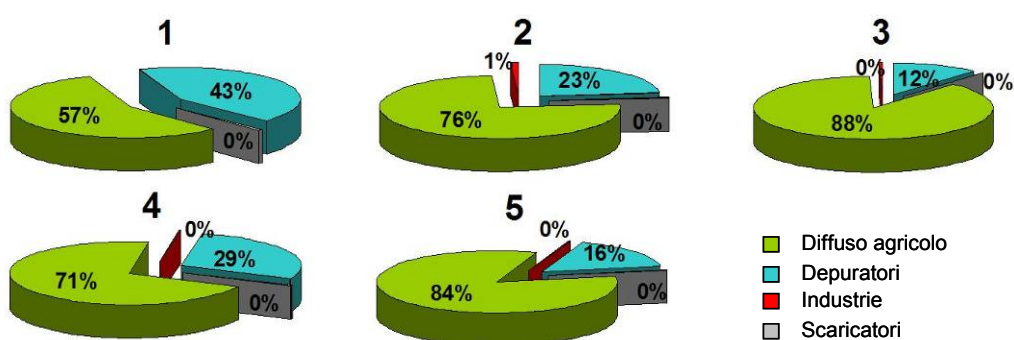
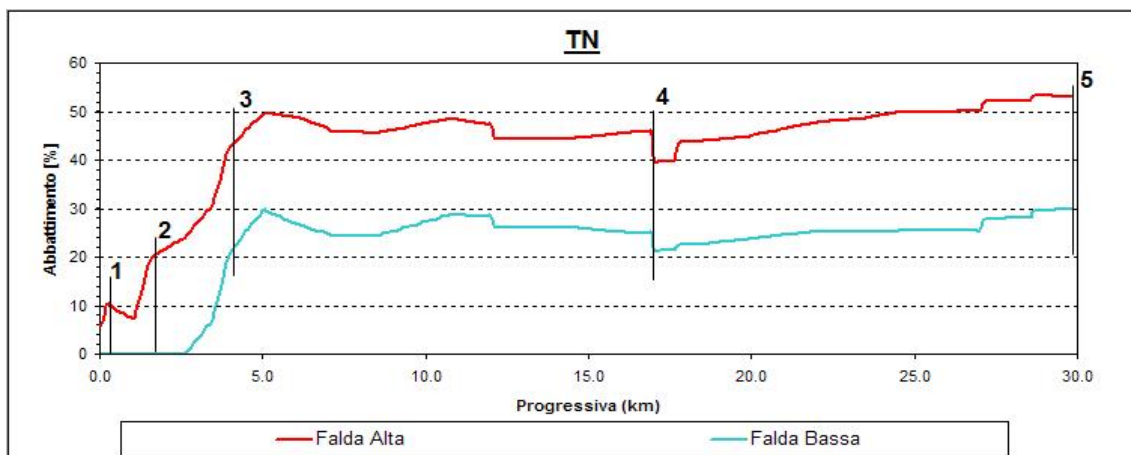
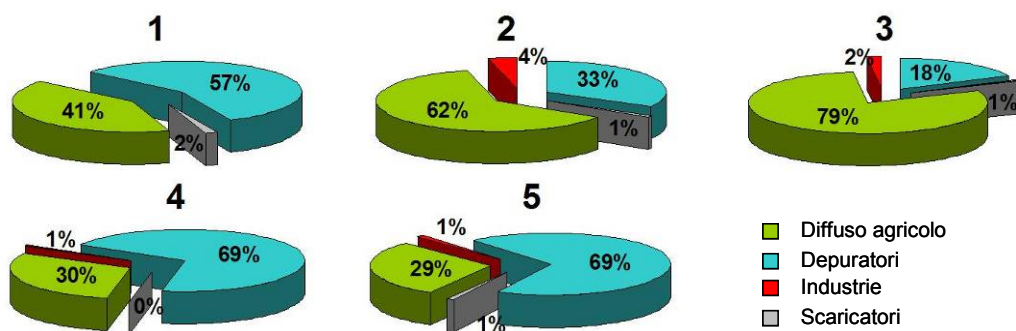


Fig. 7.9 – Punti significativi.







I punti considerati, posti in evidenza in figura 7.9, trovano corrispondenza con le stazioni di monitoraggio già illustrate precedentemente, ovvero “Case Tirelli”, “Ponte Forca”, “S. Vittoria”, “Cavo Bondeno” alle quali si aggiunge la chiusura del bacino.

In questo modo si è inteso illustrare come le fasce tampone diano vita a un significativo beneficio laddove vi sia una forte incidenza di carico diffuso; contrariamente si osserva una forte diminuzione dei rendimenti in corrispondenza dei punti in cui scarichi di altro genere acquistano un peso maggiore, come ad esempio nel caso del punto numero 4 nelle cui vicinanze è presente il depuratore Reggiolo Nuovo.

Ulteriore osservazione si può fare per il tratto compreso tra i punti 1 e 3, lungo il quale, nonostante una forte incidenza dei carichi di origine diffusa, la ridotta interferenza tra la rete drenante e la falda ostacolano l'azione delle fasce tampone, manifestando una scarsa attitudine a questo genere di soluzione.

Al fine poi di permettere una migliore comprensione degli effetti che le fasce tampone potrebbero avere sull'intero bacino oggetto di studio si è ritenuto opportuno riportare su GIS i risultati per l'intera rete simulata con QUAL2E e non solo per l'asta principale come avvenuto nei grafici precedenti. Le figure seguenti riportano pertanto le concentrazioni dei nutrienti, in termini prima di azoto totale, valutato nelle condizioni di tempo secco e di tempo irriguo, e successivamente di fosforo totale. Al fine di evidenziare maggiormente gli abbattimenti conseguenti alla presenza delle fasce tampone vengono accoppiate le figure relative ai valori simulati nelle condizioni attuali e a quelli conseguenti all'introduzione delle fasce riparie.



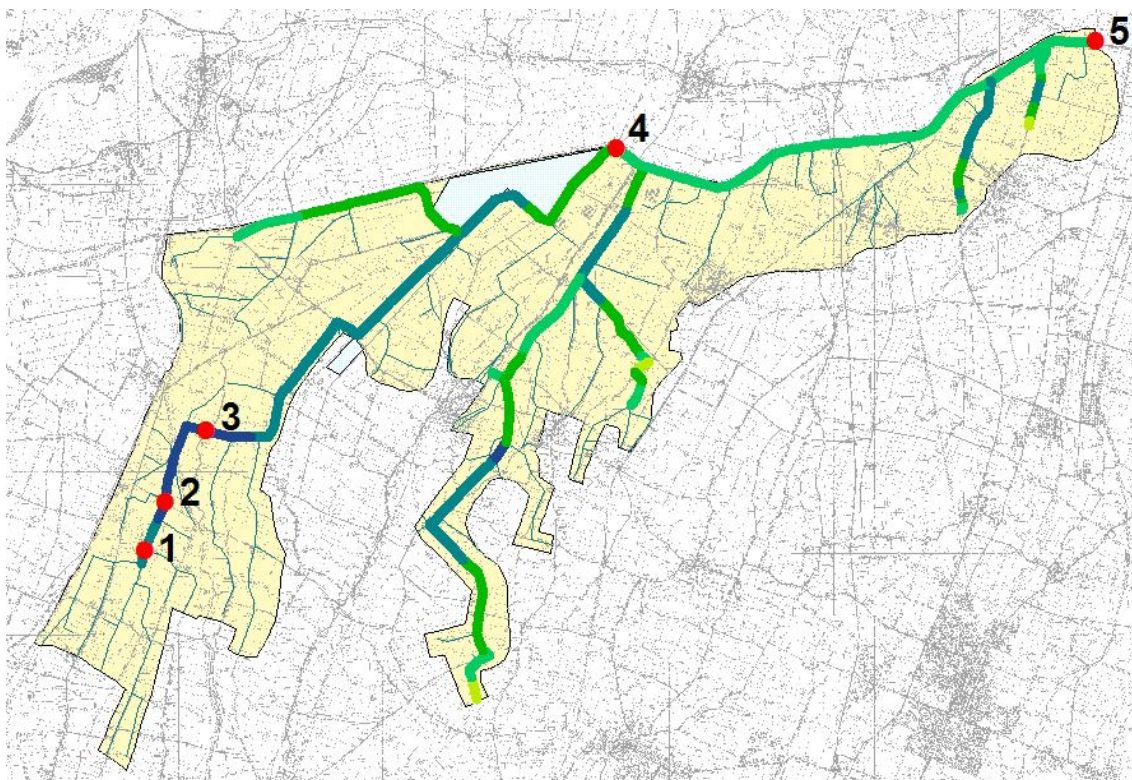


Fig. 7.10 – Concentrazioni dell'azoto totale evidenziate dalla simulazione con QUAL2E, nelle condizioni di tempo secco e di falda alta.

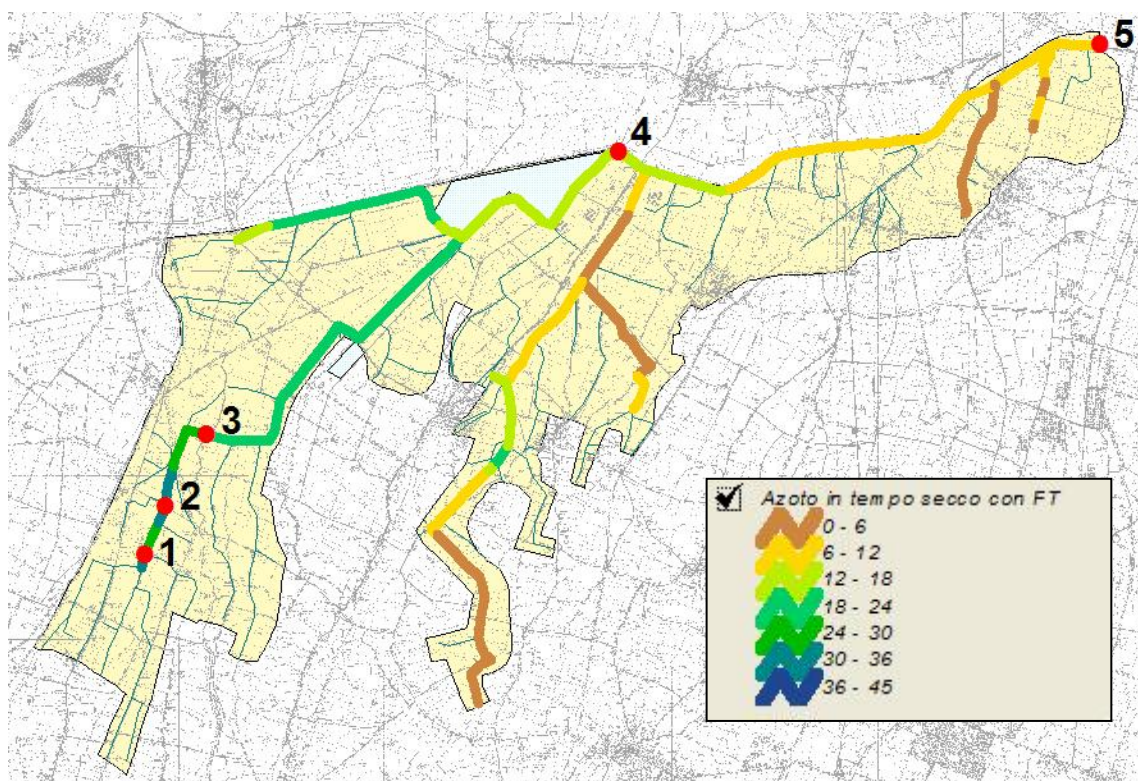


Fig. 7.11 – Concentrazioni dell'azoto totale evidenziate dalla simulazione con QUAL2E, a seguito dell'introduzione delle fasce tampone; le condizioni sono di tempo secco e di falda alta.



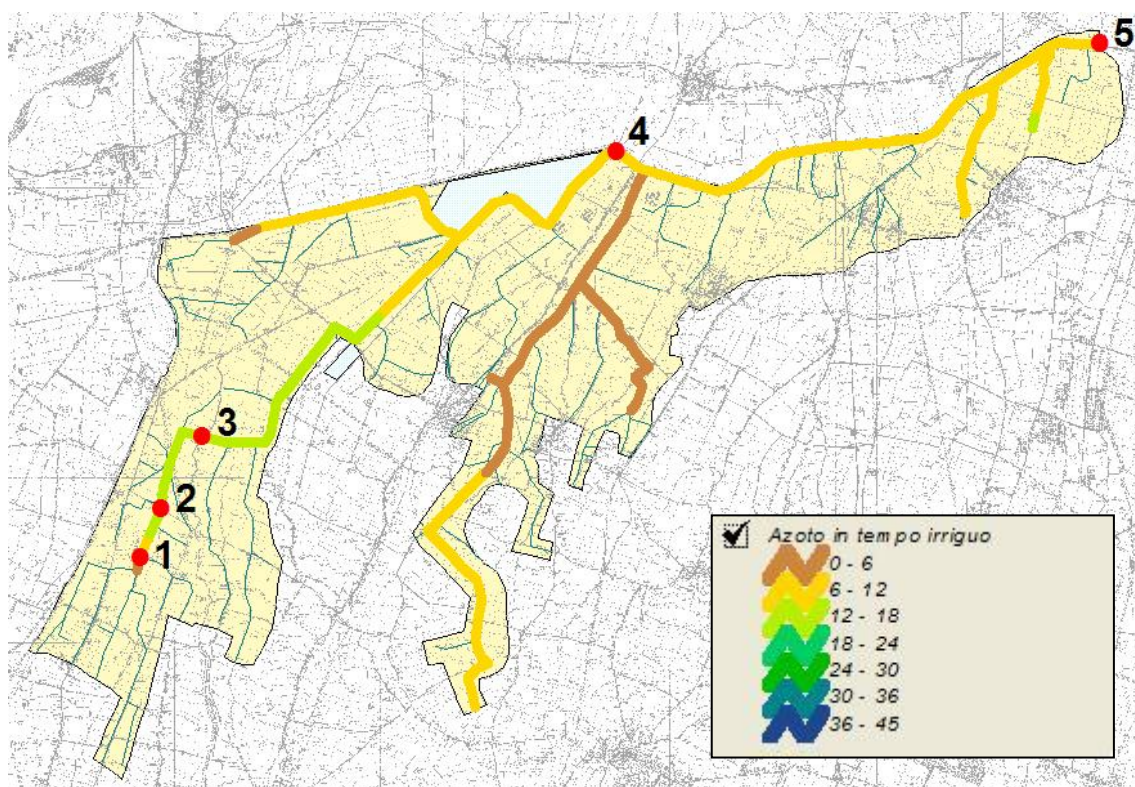


Fig. 7.12 – Concentrazioni dell'azoto totale evidenziate dalla simulazione con QUAL2E, nelle condizioni di tempo irriguo e di falda bassa.



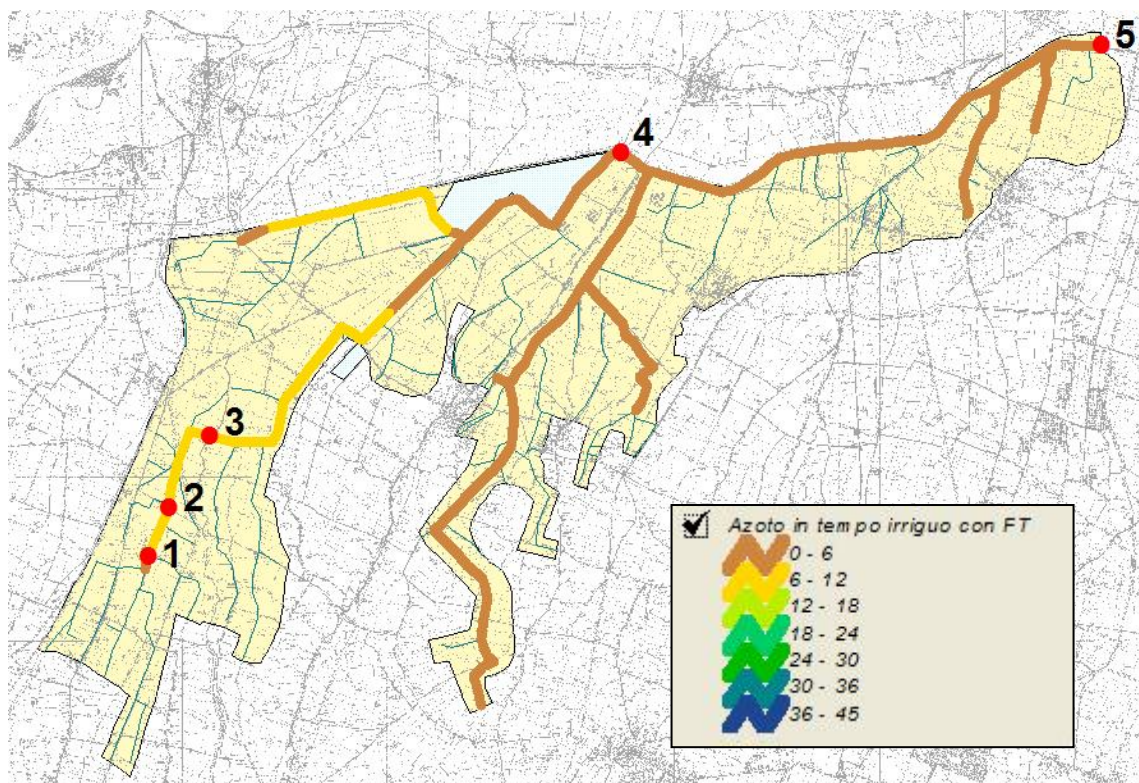


Fig. 7.13 – Concentrazioni dell'azoto totale evidenziate dalla simulazione con QUAL2E, a seguito dell'introduzione delle fasce tampone; le condizioni sono di tempo irriguo e di falda bassa.

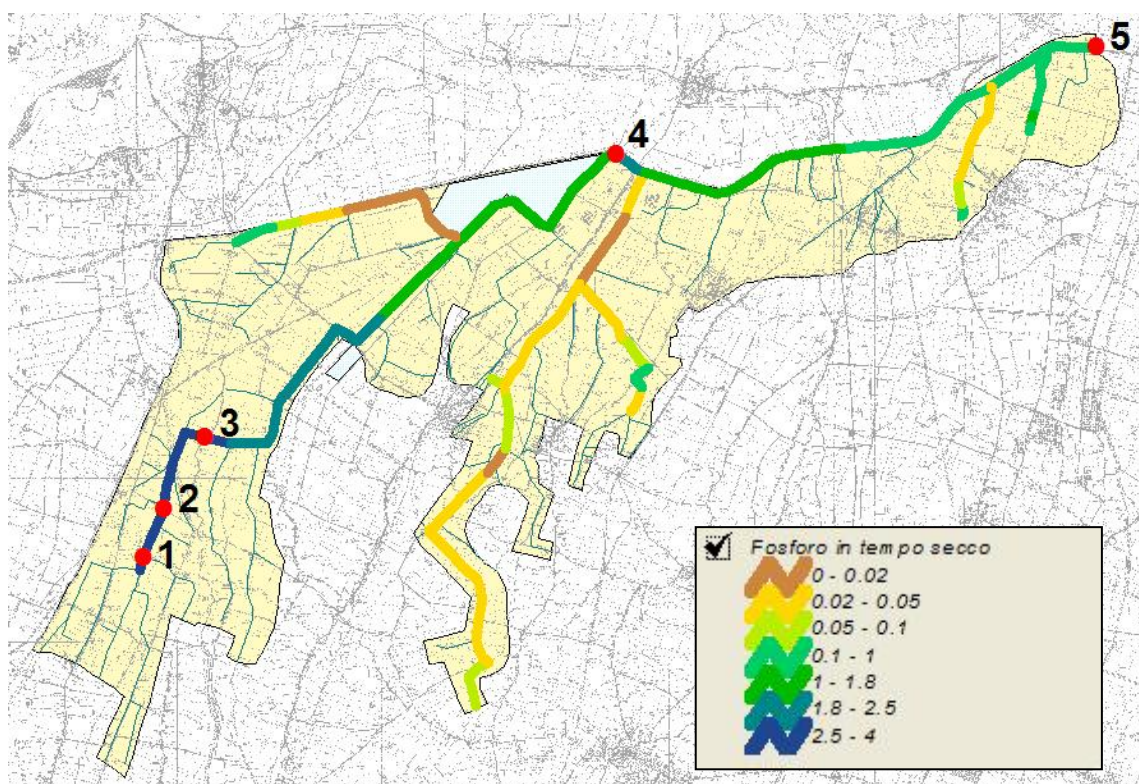


Fig. 7.14 – Concentrazioni del fosforo totale evidenziate dalla simulazione con QUAL2E, nelle condizioni di tempo secco e di falda alta.



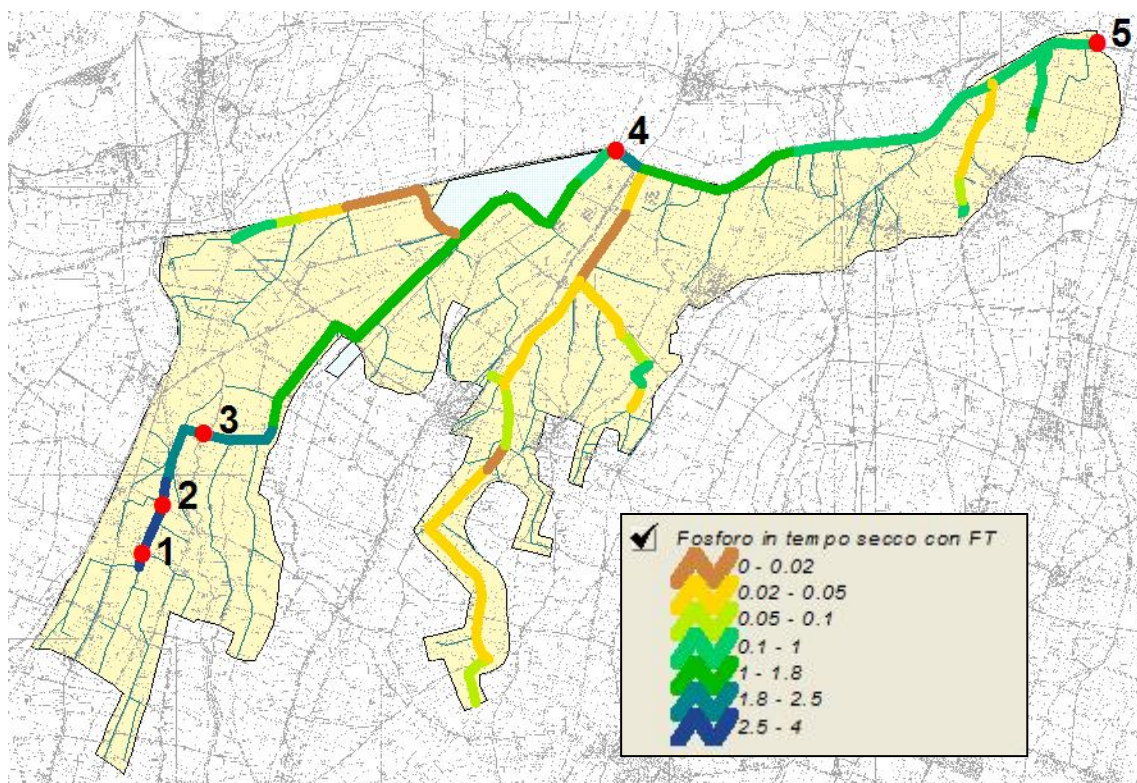


Fig. 7.15 – Concentrazioni del fosforo totale evidenziate dalla simulazione con QUAL2E, a seguito dell'introduzione delle fasce tampone; le condizioni sono di tempo secco e di falda alta.

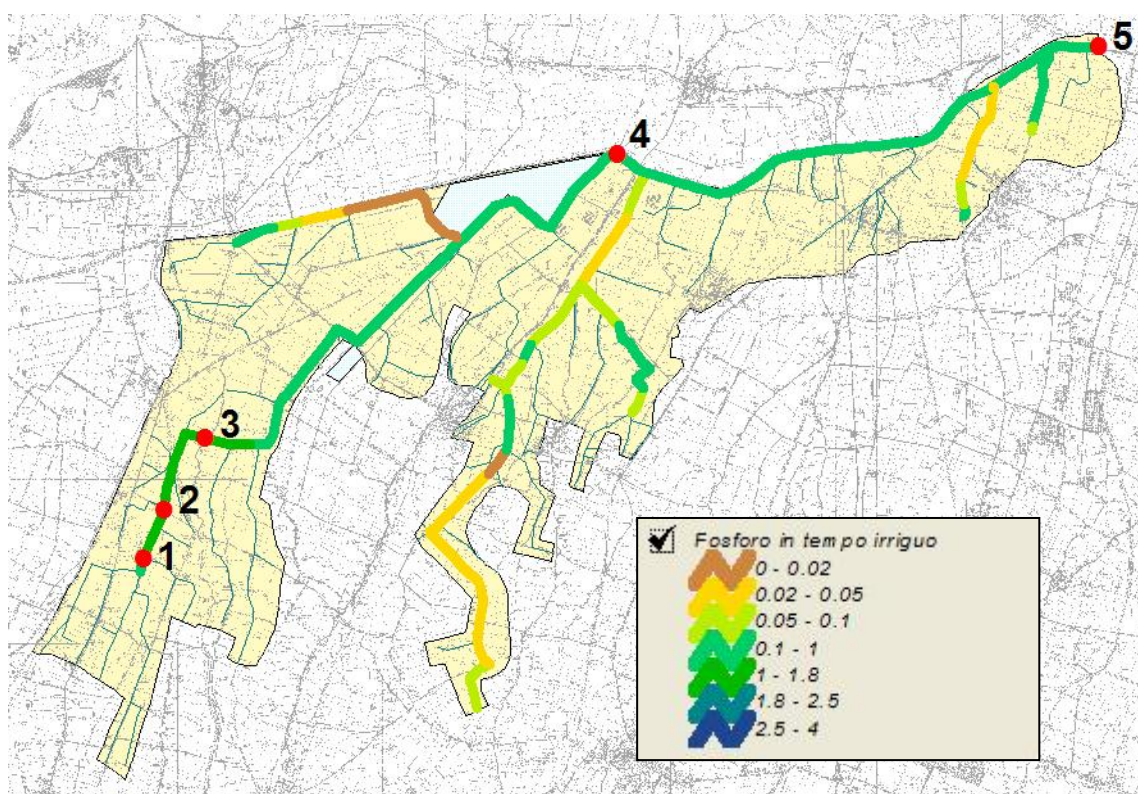


Fig. 7.16 – Concentrazioni del fosforo totale evidenziate dalla simulazione con QUAL2E, nelle condizioni di tempo irriguo e di falda bassa.



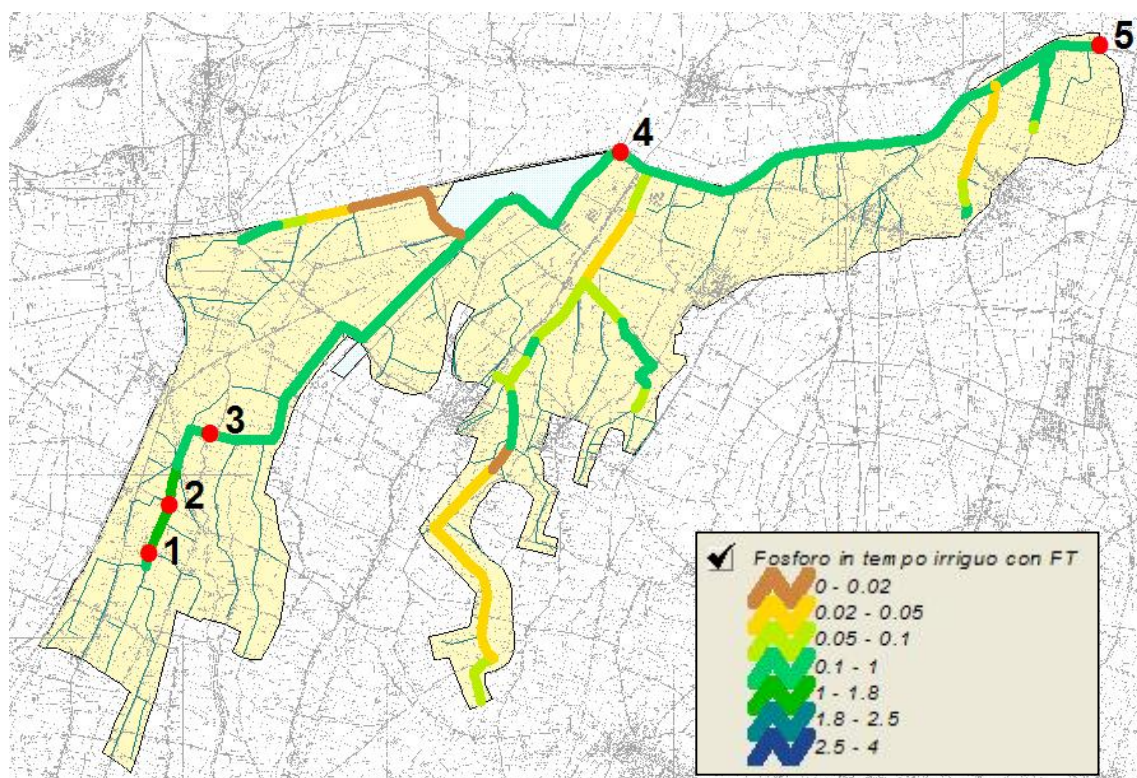


Fig. 7.17 – Concentrazioni del fosforo totale evidenziate dalla simulazione con QUAL2E, a seguito dell'introduzione delle fasce tampone; le condizioni sono di tempo irriguo e di falda bassa.

## 8. CONCLUSIONI

Lo scopo dell'attività di modellazione numerica del reticolo dei canali di bonifica era di valutare l'efficacia dell'introduzione di "fasce tampone vegetate" nella rimozione dei nutrienti.

Per raggiungere tale obiettivo si è adottato il codice di calcolo QUAL2E per lo studio degli aspetti qualitativi e il codice SWMM per la simulazione del funzionamento idraulico del sistema.

Occorre evidenziare che la simulazione di un sistema di bonifica è un'operazione estremamente complessa a causa della natura artificiale del reticolo con la presenza di numerosi manufatti (soglie, paratoie, impianti di sollevamento,...) che modificano il funzionamento dei canali a seconda di si trovi in una condizione estiva irrigua o in una condizione invernale di solo drenaggio delle acque.

Questo fa sì che il funzionamento del sistema vari nel corso dell'anno, non solo per effetto degli eventi pluviometrici, come accade nei corsi d'acqua naturali, ma grazie all'attività del Consorzio di Bonifica che distribuisce l'acqua per l'irrigazione.

Il buon risultato ottenuto nella modellazione è stato soprattutto grazie al fatto che il Consorzio di Bonifica Parmigiana Moglia-Secchia aveva già predisposto una rappresentazione dell'intero sistema di canali all'interno del codice di calcolo SWMM completo di manufatti e organi. L'attività sperimentale realizzata durante il progetto RIMEDIA è pertanto servita esclusivamente ad ottenere una calibrazione di dettaglio del modello SWMM.

Ottenuta quindi una calibrazione ottimale del funzionamento idraulico del sistema si è passati all'analisi degli aspetti di qualità delle acque.

La raccolta di dati sperimentali inerenti la qualità delle acque nei canali ha permesso di raggiungere una soddisfacente calibrazione del modello numerico.

Il passo successivo è stato quello di inserire le fasce tampone, cercando di individuare i canali lungo i quali la presenza di un intervento di questo tipo possa produrre benefici significativi, in termini di abbattimento dei nutrienti.

Il criterio per definire una distribuzione ottimale delle fasce tampone adottato nel presente studio è stato quello di valutare l'iterazione fra il fondo dell'alveo e l'altezza della falda; si è quindi ipotizzato di inserire le fasce tampone laddove la falda raggiunge o supera il livello del fondo canale. Questo è stato ovviamente possibile grazie alla conoscenza di dettaglio della geometria del reticolo di canali. Questo approccio ha permesso di individuare circa 100 km di canali idonei all'installazione delle fasce tampone su 170 km totali dell'area studiata.

Complessivamente la modellazione quali-quantitativa ha evidenziato un abbattimento degli inquinanti alla sezione di chiusura del bacino tra il 26% e il 53% per l'azoto totale, in funzione del livello di falda presente, e tra il 9% e il 23% per il fosforo totale.

Occorre poi evidenziare che le fasce tampone danno luogo a un significativo beneficio laddove vi sia una forte incidenza di carico diffuso; contrariamente si osserva una forte diminuzione dei rendimenti in corrispondenza dei punti in cui scarichi di altro genere acquistano un peso maggiore, come ad esempio nel caso della presenza di un depuratore.

A conclusione dell'attività di modellazione quali-quantitativa del reticolo dei canali di bonifica sono emerse diverse tipi di considerazioni. Occorre infatti evidenziare che l'adozione di modelli quali lo SWMM e il QUAL2E richiede una conoscenza di grande dettaglio del sistema di canali. Nel caso oggetto di studio è stato possibile grazie alla grande conoscenza che il Consorzio di Bonifica Parmigiana Moglia-Secchia ha del territorio e alla disponibilità di un modello numerico già funzionante per gli aspetti idraulici. Questo ovviamente non è comune a tutti i Consorzi di Bonifica e quindi laddove ciò non è possibile sicuramente diventa molto difficile riuscire ad applicare i modelli numerici quali quelli sopra descritti.

Probabilmente laddove la conoscenza dei sistemi di scolo risulta più carente la scelta dei modelli matematici dovrebbe orientarsi su semplici bilanci senza addentrarsi nelle cinetiche che i modelli di simulazione sono in grado di riprodurre.

Comunque, indipendentemente dalla tipologia di modelli di simulazione da utilizzarsi, le campagne di monitoraggio, orientate a conoscere la qualità delle acque nei canali nei diversi periodi dell'anno, sono fondamentali per caratterizzare i sistemi di bonifica proprio a causa della loro complessa articolazione e iterazione con il territorio.

In conclusione l'efficacia delle fasce tampone è sicuramente dimostrata, anche se questo risultato è comunque da legare alle caratteristiche del territorio, alla struttura del reticolo di canali e alla natura delle sorgenti inquinanti, per cui ogni estensione ad altri territori dovrebbe essere preceduta da analisi di dettaglio dei carichi inquinanti e dell'iterazione tra falda e canali di scolo.