

UN MODELLO TERRITORIALE PER SIMULARE SCENARI ALTERNATIVI DI USO DEL SUOLO AGRICOLO

Marta CARPANI (*), Carlo GIUPPONI (*), Roberta SALVETTI (**), Arianna AZZELLINO (**), Renato VISMARA (**), Paolo PARATI (***), Manfredi VALE (***), Marco ACUTIS (**)

(*) Università di Milano, Dipartimento di Produzione Vegetale (DiProVe) - Via Celoria 2 20133 Milano Italia, 02.503.16596, 02.503.16575

(**) Politecnico di Milano, Dipartimento DIAR - Sezione Ambientale - P.za Leonardo da Vinci 32 20133 Milano Italia, 02.23996431

(***) ARPAV - Osservatorio Regionale Acque Interne, P. le Stazione 1 35131 Padova Italia, 049.8767.535

Riassunto

Il presente lavoro si inserisce in un progetto di ricerca a scala regionale per lo sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni basato sulla simulazione delle dinamiche idrologiche e chimiche. L'obiettivo è la rappresentazione dello stato attuale e la stima delle conseguenze dell'inquinamento diffuso di origine agricola sulla qualità idrica dei corsi d'acqua.

Attraverso l'analisi di dati statistici e geografici è stata sviluppata una "Mappa dei sistemi agricoli". Essa ha consentito l'esecuzione di simulazioni di calibrazione e analisi di scenario utilizzando il modello SWAT.

Abstract

The present work is one component of a research project at regional scale for the development of a decision support system based on hydrological and chemical simulations. The purpose is to analyse the present situation and to assess alternative scenarios of agricultural non-point pollution and its effects on surface water quality.

The analysis of statistical and geographic data allowed the development of a map of "Agricultural systems". This map allowed to provide information for the model calibration and scenario analyses utilizing the SWAT model.

Introduzione

La gestione del territorio e la tutela delle risorse naturali trovano nel territorio agricolo delle problematiche di complessità particolare.

L'inquinamento diffuso di origine agricola è uno dei problemi di maggiore attualità nelle pianure coltivate dei paesi europei e la Pianura Padano-Veneta non fa eccezione. Tale problema è una delle componenti dell'ancora più complessa questione dell'inquinamento delle risorse idriche. Inquinamenti puntuali di origine civile e industriale (in qualche caso anche agricola in particolare nei casi di attività zootecniche a carattere industriale), si combinano con fenomeni diffusi di origine prevalentemente agro-zootecnica, ma anche civile e industriale nel caso di insediamenti sparsi e non collettati agli impianti di depurazione.

Normative nazionali ed europee, come la recente Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60, impongono l'ottenimento di obiettivi di qualità delle acque, ovvero il rispetto di una serie di parametri che consentano il raggiungimento dello stato ecologico "buono" entro limiti di tempo definiti (in questo caso il 2015). Gli enti regionali competenti si stanno adeguando a questi obiettivi, a partire dal consolidamento delle reti di monitoraggio, per cui nuove banche dati sull'ambiente si stanno rendendo via via disponibili. Ciò apre nuove possibilità di analisi dei fenomeni che, vista l'elevatissima complessità in termini di numero di variabili coinvolte ma anche di variabilità

spaziale e temporale, richiedono l'adozione di modelli di simulazione idrologica e chimica.

Tali modelli, ed in particolare quelli di tipo meccanicistico, che sono in grado di simulare i fenomeni sulla base di algoritmi e variabili di diretto significato fisico, rappresentano gli strumenti fondamentali di pianificazione del territorio, per l'ottenimento degli obiettivi di qualità prefissati.

Il comparto agricolo rappresenta spesso la componente di maggiore complessità nella modellistica, in termini di identificazione delle fonti, descrizione dei fenomeni spazio-temporale e simulazione, anche nel contesto di valutazione di scenari alternativi.

Il presente lavoro si inserisce in un programma di ricerca finanziato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente del Veneto e condotto in collaborazione con il Dipartimento di Produzione Vegetale (Università Statale) e il Dipartimento di Ingegneria Ambientale (Politecnico) di Milano. Obiettivo generale del progetto è la costruzione di un sistema di supporto alle decisioni basato su simulazioni delle dinamiche idrologiche e chimiche, utilizzando i modelli QUAL2E (US-EPA, Brown, Barnwell, 1987) e SWAT (USDA-AVSWAT2000 interface, Di Luzio et al., 2002) e sul sistema di supporto alle decisioni mDSS (Giupponi et al., 2004).

In particolare in questa sede si riferisce delle elaborazioni statistiche e geografiche prodotte allo scopo di fornire ai modelli ideologici una solida base di informazioni per la descrizione dei sistemi agricoli presenti nel territorio del Bacino Scolante in Laguna di Venezia (BSLV). Una rappresentazione di tali sistemi specifica per l'implementazione di un modello ideologico a scala di bacino deve essere in grado di rappresentare le tipicità territoriali in termini di distribuzione:

- delle colture agrarie
- delle attività zootecniche
- delle agrotecniche (impiego di fertilizzanti, irrigazione, ecc.)
- delle rotazioni agrarie, ovvero della successione delle colture nel tempo.

Le prime due tipologie di informazione si possono ricavare da mappe di copertura del suolo e dai censimenti dell'agricoltura, mentre la terza e la quarta richiedono appositi studi sul territorio; in questo caso si è fatto riferimento ad una ricerca parallela (Progetto AGeNDA) sullo stesso territorio, condotta a scala aziendale (Giupponi et al., 2004).

In un contesto di mera simulazione dell'esistente, la mappa di copertura del suolo, integrata con informazioni sulle agrotecniche, può considerarsi una soluzione efficiente per fornire un piano informativo al modello di bacino (in questo caso SWAT), che successivamente identifica le unità idrologiche territoriali dette HRU (*Hydrologic Response Units*) con procedure di *map overlay* applicate ai piani tematici dei suoli e del clima. Tuttavia, in una prospettiva di analisi multitemporale e, soprattutto, di creazione di scenari alternativi da analizzare con il sistema multicriteriale di supporto alle decisioni mDSS, si rende necessario un approccio più efficiente alla generazione di unità territoriale che rappresentino sistemi agricoli plausibili sulla base degli effetti di determinanti (*driving forces*) e vincoli di volta in volta diversi.

In questo lavoro si è quindi sviluppato un approccio originale che passa per l'identificazione di sistemi agricoli, ovvero di unità territoriali omogenee sulla base dell'attuale distribuzione delle attività agro-zootecniche insediate, caratterizzate in termini di: mix di colture (omologo della mappa di copertura del suolo), ma anche di carichi di bestiame, successioni di colture (rotazioni) e agrotecniche (fertilizzazioni minerali, impiego di reflui zootecnici, meccanizzazione, ecc.).

In presenza di variazioni di scenario, come ad esempio in questo caso l'introduzione delle recenti normative per il contenimento dell'inquinamento da nitrati (RdV, 2004a), diventa così possibile rappresentare la variazione attesa sugli elementi sensibili del sistema agricolo (carichi di bestiame, impieghi di concimi) e propagarla in modo efficiente sulla base di un numero gestibile di tipologie di sistemi territoriali effettivamente presenti e di concreto significato agronomico.

Costruzione della mappa dei sistemi agricoli

L'approccio adottato dal modello SWAT per la creazione delle HRU si basa su una procedura di *overlay mapping* che utilizza come base geografica la mappa dei sottobacini e rispetto ad essa

identifica le combinazioni significative di uso del suolo e pedoclima¹. Importante dal punto di vista della correttezza modellistica è notare che la tipologia di uso del suolo viene poi utilizzata per le simulazioni di lungo periodo, vale a dire che le diverse tipologie di uso devono essere identificate in modo che abbiano una loro robustezza dal punto di vista della logica di gestione agronomica. In altre parole, nelle simulazioni di lungo periodo non è assolutamente opportuno identificare i diversi usi in termini di singole colture, ma piuttosto in termini di successioni colturali, per evitare che si creino dei nonsensi dal punto di vista tecnico (es. bietola che segue se stessa sullo stesso campo per più anni), ma anche degli scompensi in termini di simulazione idrologica, ad esempio nel bilancio idrico o dell'erosione per l'accumularsi di effetti dovuti all'irrealistico ripetersi delle colture in monosuccessione.

Sulla base di queste premesse è stata sviluppata una procedura di elaborazione dei dati basata sull'utilizzo dei software Microsoft ExcelTM e StatisticaTM per la gestione dei dati alfanumerici e del GIS IdrisiTM per la gestione dei dati geografici.

Le fonti dei dati utilizzati per la costruzione di una mappa "sintetica" dell'uso del suolo del BSLV, definita "mappa dei sistemi agricoli" derivano sostanzialmente dai dati del Censimento dell'agricoltura (ISTAT, 2000), della mappa di copertura del suolo da telerilevamento, *Land Cover 2000* (ARPAV, 2003) e da un esteso rilevamento sulle agrotecniche, direttamente presso le aziende agricole (circa 550) (Giupponi et al., 2004).

L'algoritmo sviluppato per la costruzione della mappa si è articolato secondo una serie di passi riportati sinteticamente di seguito:

- 1) riaggregazione dei dati Istat per comune in tipologie di colture rappresentative;
- 2) conversione dei dati sui carichi zootecnici per comune in unità di azoto escreto;
- 3) *cluster analysis* col metodo *k-means*, sui dati statistici prodotti nelle due fasi precedenti, includendo le coordinate dei centroidi comunali normalizzati², ottenendo:
 - 5 gruppi di mix colturali;
 - 2 gruppi di carichi zootecnici;
- 4) *overlay* dei piani tematici delle due mappe dei *cluster*, identificando 8 gruppi tipici (es. ordinamento maidicolo con zootecnia) e creazione della **"mappa degli ordinamenti produttivi agricoli"** del BSLV (Figura 1);
- 5) identificazione di 9 tipologie di rotazioni colturali tipiche sulla base dei dati rilevati in azienda,

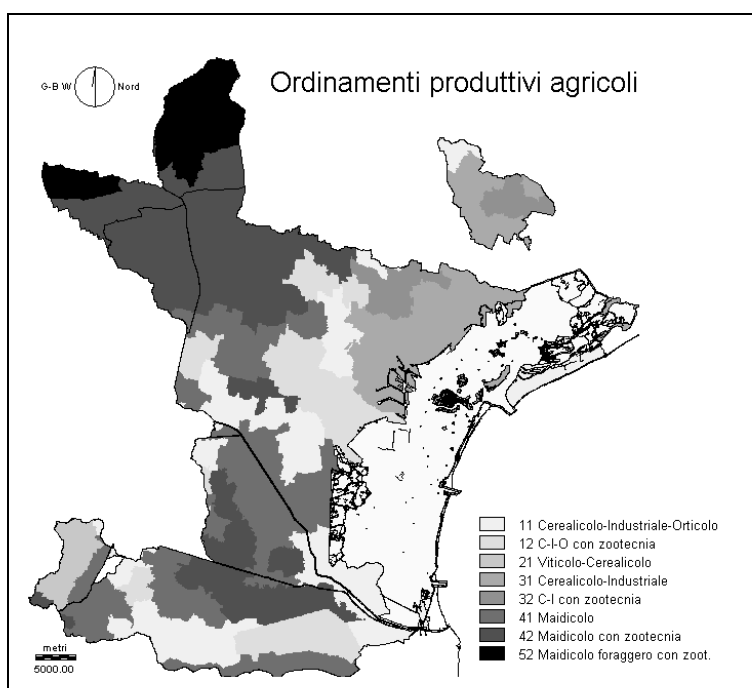


Figura 1 - Mappa degli ordinamenti produttivi agricoli prodotta dalla cluster analysis dei dati censuari a scala comunale

¹ Da notare a questo proposito che le HRU non vengono allocate in maniera spazialmente esplicita all'interno del sottobacino, ma solo in termini di presenza a proporzione di copertura della superficie. È possibile impostare limiti variabili in termini di percentuale di superficie da considerare rappresentativa, ma in ogni caso l'effettiva distribuzione delle HRU all'interno del sottobacino non viene considerata.

² L'inserimento nel data base dei centroidi dei comuni ha permesso di inserire un fattore spaziale per favorire l'aggregazione territoriale dei cluster. La normalizzazione delle coordinate ha inoltre permesso di gestire il peso da attribuire a tale componente spaziale nell'ambito del processo di identificazione dei gruppi.

- per produrre delle combinazioni di successioni che diano concretezza agronomica agli ordinamenti produttivi;
- 6) attribuzione delle 9 rotazioni agli 8 *cluster* in modo da ottenere degli usi del suolo medi che rispecchino le tipicità territoriali e concordino con i totali del BSLV;
 - 7) creazione di un modello cartografico di assegnazione di celle *random* entro le porzioni agricole secondo la mappa “*Land Cover 2000*”;
 - 8) assegnazione delle celle in proporzione alle tipologie di rotazione;
 - 9) produzione della “**mappa dei sistemi agricoli**” (rotazioni e carichi zootecnici) che rappresenti la distribuzione delle colture, dei carichi zootecnici e delle agrotecniche del BSLV (Figura 2);
 - 10) costruzione di itinerari colturali (successione tipica di agrotecniche) per le principali colture da attribuire ai diversi sistemi agricoli per la simulazione territoriale dei fenomeni idrologici e chimici.

La mappa dei sistemi agricoli così creata ha permesso di eseguire le simulazioni di calibrazione e verifica del modello idrologico, offrendo una rappresentazione corretta e fedele dal punto di vista geografico e agronomico dell’uso agricolo del territorio. La stessa mappa ha costituito successivamente la base per una efficiente simulazione degli scenari di uso agricolo alternativi. Di particolare interesse per gli aspetti di gestione dei dati geografici e modellistica territoriale è il passaggio fra la mappa degli ordinamenti produttivi, che segue i confini comunali, essendo costituita da aggregazioni di comuni su base statistica, e la mappa dei sistemi agricoli, che è invece la tipica mappa raster basata su una rappresentazione pixel per pixel. Di seguito si dirà delle opportunità offerte dalla costruzione di pacchetti di successioni colturali per la costruzione di scenari e le simulazioni modellistiche, ma in questa sede è opportuno notare in primo luogo che le attività agro-zootecniche sono così localizzate nei pixel effettivamente classificati come agricoli dalla mappa *Land cover 2000*, il che evidentemente aumenta l’accuratezza di descrizione spaziale. Ciò che è comunque di maggiore interesse è il fatto che, avendo soddisfatto il vincolo di rappresentatività della distribuzione delle colture negli ambiti di interesse (intero BSLV, comuni e sottobacini), i pixel interessati dalle diverse rotazioni, rappresentano in pratica delle unità territoriali minime che si avvicinano moltissimo alla rappresentazione spazio-temporale di ciò che avviene nelle unità colturali delle aziende insediate nel territorio.

Procedure di elaborazione dei dati

I punti 1 e 2 delle operazioni che hanno portato alla costruzione della mappa dei sistemi agricoli possono essere definite come elaborazione preliminare dei dati statistici. I dati Istat riguardanti le colture, gli allevamenti e l’irrigazione sono stati così analizzati e riaggregati a scala comunale.

I dati relativi alle colture praticate, agli allevamenti zootecnici ed all’irrigazione sono stati considerati necessari e sufficienti per una completa caratterizzazione dello scenario agricolo del bacino, rappresentato tramite la mappa dei sistemi agricoli al fine della successiva definizione automatica, da parte del modello, delle HRU in modo tale da aumentarne la rappresentatività.

Tra dati Istat relativi alle colture sono stati considerati quelli a scala comunale, selezionando

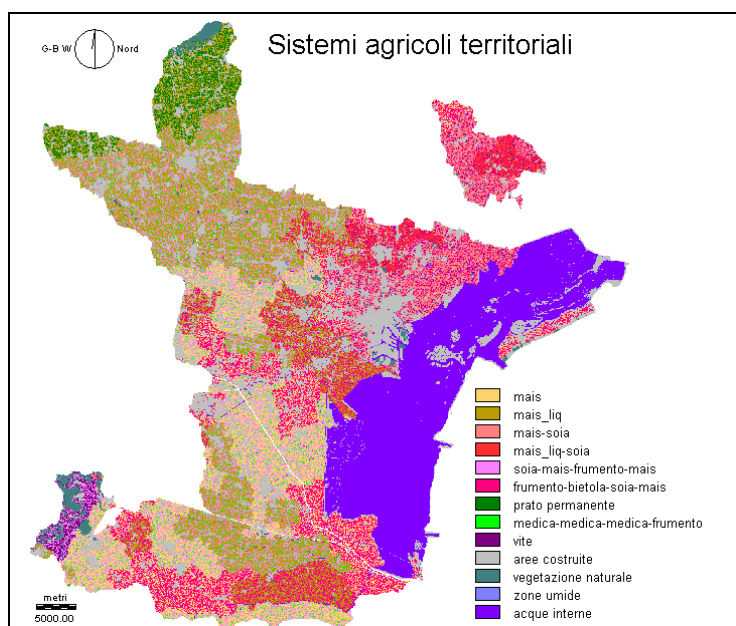


Figura 2 - Mappa dei sistemi territoriali agricoli

dall'elenco completo dei comuni della regione Veneto i soli appartenenti al bacino scolante, per un totale di 108 comuni. I dati così estratti sono stati inseriti nella tabella complessiva dei dati preliminarmente elaborati insieme a quelli relativi ai carichi zootecnici e all'irrigazione.

I dati Istat relativi alle diverse tipologie di animali allevati estratti su base comunale sono stati pre-elaborati dall'ARPAV ottenendo la tabella relativa al carico d'azoto di ogni singolo comune del bacino, differenziato per tipologia animale. Il calcolo di tali valori si basa sull'applicazione di coefficienti di carico attribuiti in funzione del peso vivo medio di ogni capo. I coefficienti di carico ed il peso vivo medio sono dati che si riferiscono a tabelle contenute nel Piano di Tutela delle Acque (RdV, 2004b) e, per quanto riguarda i coefficienti di carico, nella bozza di Programma d'azione sui nitrati (RdV, 2004a). I valori così calcolati sono stati sommati al fine di ottenere il carico complessivo a livello comunale.

Tale valore è stato poi ripartito in funzione della SAU (Superficie Agricola Utilizzata) di pertinenza di ogni comune generando il carico potenziale di azoto di origine zootecnica espresso in kg N ha^{-1} .

Oltre ai dati relativi alle colture ed agli allevamenti ARPAV ha fornito i dati relativi all'irrigazione anch'essi elaborati in modo da ottenere un raggruppamento secondo il metodo irriguo (soccorsi, scorrimento, per aspersione) prevalentemente impiegato sul territorio comunale.

L'integrazione dei dati relativi al metodo irriguo, nonché alle percentuali di superficie irrigua relativa a SAU, mais, soia e foraggiere, ha consentito la successiva creazione di gruppi tenendo conto del ruolo dell'irrigazione. Tali informazioni diverranno rilevanti successivamente, in particolare per la costruzione di scenari alternativi in termini di pianificazione irrigua, una delle strategie inserite anche nelle misure agro-ambientali finanziate nel BSLV, con lo scopo di ridurre gli scarichi di nutrienti in laguna, attraverso l'utilizzazione di sistemi irrigui a maggiore efficienza: in particolare passando da sistemi gravitazionali a scorrimento a sistemi per aspersione.

Rotazioni agrarie e agrotecniche

Il passaggio dalle statistiche sulle colture alle rotazioni è stato ottenuto producendo delle sequenze di colture ed entrando successivamente nella definizione degli itinerari colturali, ovvero delle date nelle quali vengono generalmente applicate le diverse agrotecniche. Le rotazioni colturali tipiche individuate per le colture oggetto di studio (frumento, mais, soia, bietola, prato e vite) sono nove:

1. monosuccessione di mais con concimazione esclusivamente chimica
2. monosuccessione di mais concimato anche con liquami
3. mais-soia, con concimazione esclusivamente chimica
4. soia-mais concimate anche con liquami
5. soia-mais-frumento-mais
6. frumento-barbabietola da zucchero-soia-mais
7. prato stabile
8. medica-medica-medica-frumento
9. vigneto

Il passaggio da rotazione tipica a uso del suolo per il modello SWAT è stato gestito attraverso la costruzione di pacchetti di successioni omogenei di 4 anni (es. per la rotazione 3, mais-soia-mais-soia). Questi pacchetti di successioni colturali sono stati formalizzati quindi come itinerari colturali descritti con le date di esecuzione delle operazioni per le diverse colture, giorno per giorno per un totale di 365×4 giorni. La costruzione di tali pacchetti pluriennali ha anche permesso di produrre scenari realistici per quelle operazioni, in particolare le applicazioni di concimi organici, che tipicamente non vengono eseguite allo stesso modo tutti gli anni, ma seguendo la successione delle colture.

Vari accorgimenti sono stati adottati per produrre delle simulazioni il più possibile realistiche. Una problematica su cui è stata posta l'attenzione riguarda il bilanciamento delle colture negli anni. Per far questo sono state alternate le diverse colture nell'anno iniziale delle rotazioni, per evitare di avere sbilanciamenti nella proporzione delle colture anno per anno.

Anche per quanto concerne la fertilizzazione, sia essa minerale o organica, le date tipiche per ogni

coltura sono state modificate di qualche giorno per evitare la concentrazione delle fertilizzazioni in uno stesso giorno in aree estese.

Con questo sistema si semplifica anche la simulazione di scenari alternativi in termini di agrotecniche, già provati nell'ambito del progetto. Essa comporta in pratica solo la sostituzione di questi pacchetti con altri con le stesse successioni ma con itinerari modificati (es. diverse dosi di fertilizzanti). Nel caso invece di variazioni di politiche che possano portare a variazione nelle proporzioni delle diverse colture, si tratterebbe di analizzare le più probabili scelte degli agricoltori nei diversi sistemi agricoli territoriali, variando le proporzioni delle diverse rotazioni all'interno dei diversi sistemi tipici.

Una serie di verifiche è stata effettuata per evitare che le assunzioni, i raggruppamenti e le semplificazioni possano introdurre delle distorsioni a livello territoriale. In particolare per la fertilizzazione organica, le dosi tipiche previste per la liquamazione, presente solo per le rotazioni mais-soia e prato, sono state adattate, per ottenere la coerenza con i quantitativi complessivi disponibili, non solo a livello di intero bacino scolante, ma anche nell'ambito della diversità di carichi zootecnici dei diversi sottobacini.

Considerazioni conclusive

Il modello cartografico descritto in questo lavoro fornisce in primo luogo una soluzione efficiente ad un problema generale molto sentito nella gestione delle risorse naturali e nella programmazione territoriale: la simulazione dei fenomeni legati all'uso agro-zootecnico del territorio in modo accurato sia dal punto di vista spaziale che territoriale.

In secondo luogo il sistema di gestione delle informazioni elaborato permette di supportare in modo efficace, ma anche trasparente e ripetibile, la costruzione di scenari ipotetici, risultanti da effetti di forze determinanti come variazioni delle politiche a livello europeo o dei mercati internazionali, o derivanti da misure di intervento nell'ambito della redazione di piani e programmi a livello locale.

La mappa dei sistemi agricoli ha la caratteristica di raggruppare le diverse macroaree del territorio in funzione dei caratteri d'omogeneità che le caratterizzano. Questo ha consentito di evitare la perdita di dettaglio dell'informazione senza penalizzare la rappresentatività del modello.

Bibliografia

ARPAV (2003), Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto, Carta della copertura del suolo del Bacino Scolante in Laguna di Venezia

Brown L.C. and Barnwell T.O. (1987), The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual. EPA 300/3- 87/007, EPA Environmental Research Laboratory, Athens, GA

Di Luzio M., Srinivasan R., Arnold J.G. and Neitsch S.L. (2002), Arcview Interface for SWAT 2000. User's Guide. Blackland Research & Extension Center, Texas Agricultural Experiment Station - Grassland, Soil and Water Research Laboratory, USDA Agricultural Research Service

Giupponi C., Acutis M., Bechini L., Bocchi S., and Maggiore T. (2004), Tools for sustainable farming systems in northern Italy, In: S. E. Jacobsen, C. R. Jensen, and J. R. Porter (eds.), VIII ESA Congress: European agriculture in a global context, Book of Proceedings, Copenhagen (Dk), ESA-KVL: 603-604

Giupponi C., Mysiak J., Fassio A., and Cogan V. (2004), MULINO-DSS: a computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale, Mathematics and Computers in Simulation, 64(1):13-24

ISTAT, Istituto Nazionale di Statistica, Censimenti (2000), 5° censimento generale dell'agricoltura RdV (Regione del Veneto) (2004a), Direzione Politiche Agricole, bozza di programma d'azione per le zone vulnerabili da nitrati, 31 maggio 2004

RdV (Regione del Veneto) (2004b), Piano di Tutela delle Acque, DGRV 4453 del 29.12.2004.