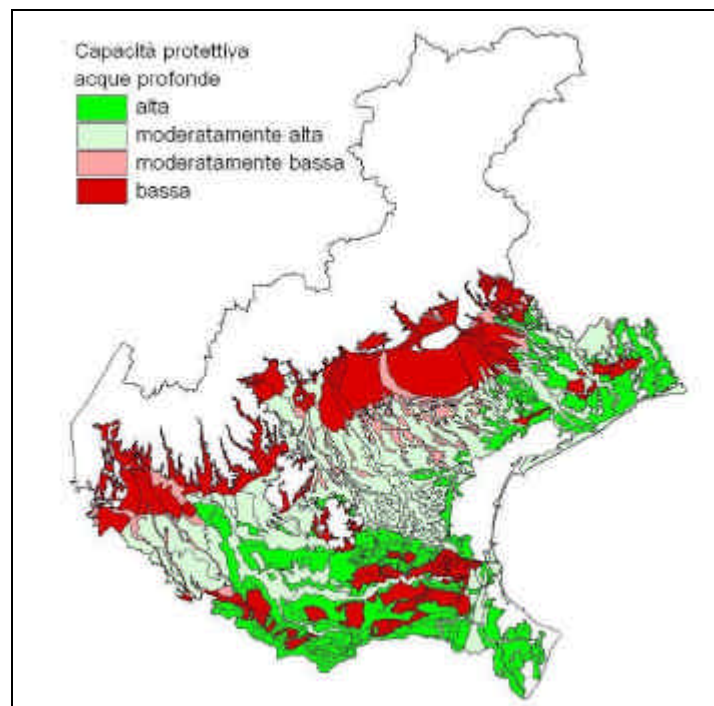


**VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' PROTETTIVA DEL SUOLO
NEI CONFRONTI DELL'INQUINAMENTO DELLE FALDE NELLA
PIANURA VENETA**



31/12/2005

VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' PROTETTIVA DEL SUOLO NEI CONFRONTI DELL'INQUINAMENTO DELLE FALDE NELLA PIANURA VENETA

Responsabile del progetto	Maurizio Dissegna ¹
Coordinamento progetto	Paolo Giandon ² , Ialina Vinci ²
Coordinamento tecnico-scientifico	Francesca Ragazzi ²
Rilevamento dei suoli	Francesca Ragazzi ² , Roberta Cappellin ² Adriano Garlato ² , Francesca Pocaterra ²
Analisi di laboratorio	
<i>Analisi fisiche</i>	CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica - Unità di Firenze - Pedologia Applicata
<i>Analisi chimico-fisiche</i>	Laboratorio ARPAV di Castelfranco Veneto
Dati meteorologici	ARPAV - Centro Meteorologico di Teolo
Elaborazione dati	
<i>Elaborazione statistica e modellistica</i>	Fabrizio Ungaro ³ , Costanza Calzolari ³
<i>Estensione cartografica</i>	Francesca Ragazzi ² , Luciano Fantinato ²

¹ Regione Veneto – Direzione Foreste ed Economia Montana

² ARPAV – Osservatorio Regionale Suolo

³ CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica - Unità di Firenze - Pedologia Applicata

INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
2.	METODOLOGIA	6
2.1.	Riferimenti tecnico-scientifici.....	6
2.2.	Rilevamento di campagna e misure idrologiche	6
2.3.	Scelta degli scenari pedologico-climatico-culturali per le simulazioni di bilancio idrico con MACRO	7
2.4.	Bilancio azotato.....	12
3.	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI BILANCIO IDRICO E AZOTATO	15
3.1.	Simulazioni di bilancio idrico: risultati	15
3.2.	Simulazioni di bilancio azotato: risultati	25
3.3.	Capacità protettiva dei suoli capisaldo	35
3.4.	Conclusioni dell'elaborazione dei dati	46
4.	ESTENSIONE CARTOGRAFICA DEI RISULTATI	47
4.1.	Definizione della carta della capacità protettiva dei suoli di pianura	47
5.	BIBLIOGRAFIA	54

1. INTRODUZIONE

Con deliberazione n. 3397 del 05.10.1999 la Giunta Regionale ha incaricato il Centro Agroambientale, ora Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti, di realizzare il progetto triennale “Carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000”, approvato dall’ARPAV con DDG n. 64 del 10.02.2000, che si è concluso in data 31.10.2003.

Con deliberazione della Giunta Regionale n. 3303 del 31.10.03 è stato approvato un progetto di prosecuzione della cartografia pedologica che prevede tra altre attività, l’elaborazione di una carta della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee con applicazione delle metodologie di valutazione proposte dalla normativa nazionale e regionale. Con deliberazione n. 977 del 11.12.03 il Direttore Generale dell’ARPAV ha approvato la realizzazione del suddetto progetto ed ha approvato lo schema di convenzione con la Regione Veneto.

Lavorando nell’ambito del Piano di Tutela delle Acque, si è ritenuto successivamente di non limitare l’indagine ai soli aspetti legati al suolo, ma di estendere lo studio per giungere alla stima del rischio di percolazione dell’azoto nelle falde, combinando la carta della capacità protettiva dei suoli con quella del surplus di azoto.

Come è riconosciuto anche a livello normativo dal D.Lgs. 152/99 sulla tutela delle acque, il suolo è in grado di funzionare da filtro naturale dei nutrienti apportati con le concimazioni minerali ed organiche, riducendo le quantità potenzialmente immesse nelle acque. Questa capacità di attenuazione, definita anche “capacità protettiva” del suolo, dipende da caratteristiche del suolo, fattori ambientali (condizioni climatiche e idrologiche) e fattori antropici (ordinamento colturale e pratiche agronomiche). Le complesse interazioni tra tali fattori sono difficilmente valutabili utilizzando approcci di tipo qualitativo, che non derivino da dati sperimentali relativi ai diversi contesti ambientali.

Nell’ambito della Regione Veneto, questa problematica è stata per la prima volta affrontata in occasione del progetto di valutazione dell’attitudine allo spargimento dei liquami zootecnici nel territorio del bacino scolante in laguna di Venezia (Calzolari *et al.*, 2004); questo progetto prevedeva la realizzazione di una cartografia attraverso la sovrapposizione di due tematismi, la carta di orientamento pedologico allo spargimento dei liquami e la carta di vulnerabilità degli acquiferi, come previsto dalla metodologia definita con DGRV n. 615/1996 (figura 1). L’elaborazione della carta di orientamento pedologico allo spargimento dei liquami viene realizzata utilizzando un approccio di tipo qualitativo che considera alcune caratteristiche del suolo e dell’ambiente (drenaggio interno, tessitura, scheletro, presenza di orizzonti organici e di crepacciature, inondabilità, pendenza) che, in diverse combinazioni, fanno sì che i suoli vengano raggruppati in quattro classi di attitudine.

Il risultato viene sovrapposto ad una carta della vulnerabilità intrinseca dei corpi idrici sotterranei, definita sulla base della permeabilità e dello spessore dei materiali sovrastanti gli acquiferi, del tipo di circolazione idrica e delle modalità di alimentazione (metodica CNR-SINTACS, Civita e De Maio, 1997); a ciascun poligono ottenuto dalla sovrapposizione dei due tematismi viene assegnata la classe più limitante all’uso dei liquami. Le classi finali corrispondono a diversi carichi massimi di azoto apportabili al suolo con i reflui zootecnici.

Ritenendo questo approccio qualitativo di facile applicazione, ma non sempre idoneo a interpretare l’interazione tra i diversi fattori ambientali (suolo, clima, uso del suolo), sono state messe a punto delle metodologie che, sulla base di misurazioni dirette delle

caratteristiche idrologiche, consentono un approccio più oggettivo al problema. Tali metodologie erano state sviluppate precedentemente in un progetto interregionale (progetto SINA “Carta pedologica in aree a rischio ambientale”) coordinato dalla Regione Emilia-Romagna, con la partecipazione delle regioni della pianura padana (Lombardia, Piemonte, Veneto e Friuli Venezia Giulia) ed il coordinamento scientifico del CNR-IRPI di Firenze (Calzolari *et al.*, 2001). Nell’ambito del progetto SINA sono stati scelti, tra i più diffusi, un modello per la simulazione del bilancio idrico del suolo, il modello MACRO (Jarvis, 1994), basato sul comportamento funzionale del suolo in un preciso contesto climatico e culturale, e un modello per la simulazione del bilancio dell’azoto (SOIL-N) in grado di lavorare in collegamento con MACRO. Entrambi i modelli sono stati calibrati e validati su lisimetri e parcelle sperimentali, sia presso l’Istituto Sperimentale Agronomico (ISA) di Modena, sia presso il Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA) di Reggio Emilia.

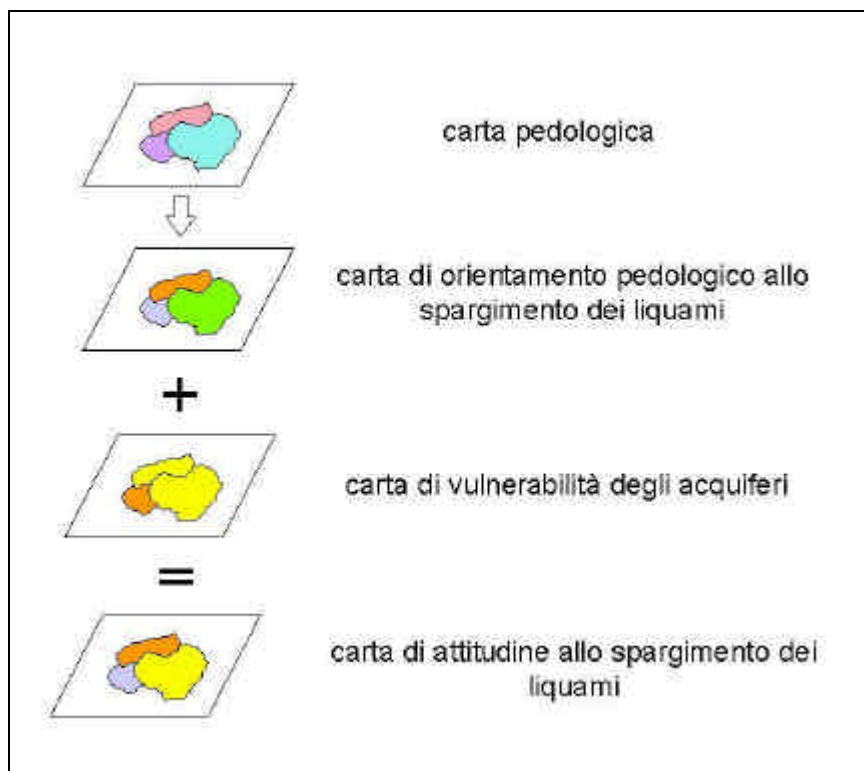


Figura 1: Metodologia di realizzazione della carta di attitudine allo spargimento dei liquami zootecnici (dgrv 615/1996).

2. METODOLOGIA

2.1. Riferimenti tecnico-scientifici

Nell'ambito del progetto è stata utilizzata la metodologia di lavoro messa a punto e condivisa fra le cinque regioni padano-venete coinvolte nel sopra citato progetto SINA-Carta Pedologica in Aree a Rischi Ambientale, per arrivare ad uniformare ed armonizzare le valutazioni utilizzando un approccio dinamico, fisicamente basato sulle risposte funzionali del suolo quale parte integrante del sistema suolo-pianta-atmosfera in un determinato contesto agro-ambientale e gestionale.

Tale metodologia prevede:

- la scelta di un certo numero di suoli capisaldo dell'area di studio, rappresentativi di tipologie di comportamento differenziate;
- la descrizione dei profili in campo secondo le tecniche standard integrate da un'accurata descrizione delle caratteristiche legate al comportamento fisico-idrologico del suolo;
- il campionamento per misure routinarie e per misure fisiche idrologiche, densità apparente (BD), conducibilità idrica satura (Ks) e curva di ritenzione idrica (pF);
- l'uso del modello di bilancio idrico MACRO, eventualmente accoppiato al modello di simulazione dei flussi azotati SOILN;
- l'attribuzione a classi di capacità protettiva dei suoli, basate sui flussi in uscita dal suolo.

Attraverso criteri di similitudine, e con l'ausilio di pedofunzioni per la stima dei parametri necessari in input al modello MACRO, è inoltre possibile, con un buon grado di confidenza, estendere la procedura a suoli non rilevati appositamente per pervenire all'estensione geografica dei risultati.

2.2. Rilevamento di campagna e misure idrologiche

Nel territorio di pianura sono state scelte 27 unità tipologiche di suolo tra le più diffuse e le più idonee a rappresentare diverse situazioni pedopaesaggistiche e climatiche; di queste, 13 erano già state considerate nell'ambito del bacino scolante in laguna di Venezia (Ragazzi *et al.*, 2004). Per ogni unità è stato descritto in campagna un profilo rappresentativo, con particolare attenzione alle caratteristiche legate al comportamento fisico-idrologico (Wolf, 1998) come l'aggregazione delle particelle di suolo (struttura) e i macrovuoti (fessure, vuoti planari, vuoti tubulari e sferici). Sono stati raccolti campioni indisturbati (metodo dei cilindretti) per la misura della curva di ritenzione (pF), della conducibilità idrica satura (Ksat) e della densità apparente. In totale sono state realizzate 205 misure di Ksat e 177 curve pF.

Le misure delle curve di ritenzione, relativamente a 9 punti umidità/tensione, sono state effettuate su campioni indisturbati posti in cassetta Stackman e quindi in piastra di Richards, secondo le correnti metodologie (Klute, 1986); i dati sperimentali di ritenzione idrica sono stati interpolati con il programma RETC (van Genuchten *et al.*, 1991) adottando il modello di Brooks e Corey (1964) i cui parametri sono richiesti dal modello di bilancio idrico MACRO. La conducibilità è stata misurata con permeometro a carico costante (Klute e Dirksen, 1986). Sono state infine effettuate 277 misure di densità apparente, sia con il metodo dello scavo (77 misure) che del cilindretto (200 misure), queste ultime ripetute in triplo dove possibile (Blake e Hartge, 1986).



Figura 2: Prelievo di campioni indisturbati con il metodo del cilindretto per la misura di alcune caratteristiche fisiche.

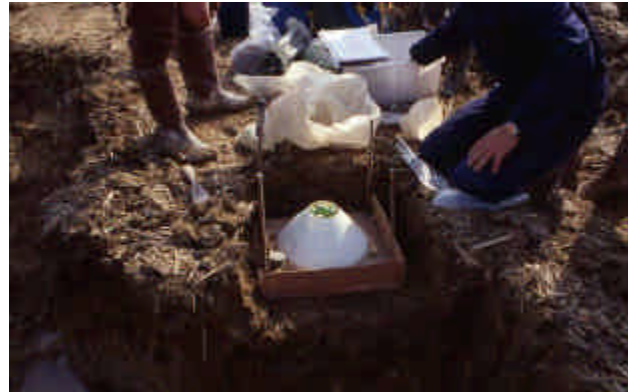


Figura 3: Determinazione della densità apparente con il metodo dello scavo.

2.3. Scelta degli scenari pedologico-climatico-colturali per le simulazioni di bilancio idrico con MACRO

Stazioni meteorologiche

Per le simulazioni sono stati utilizzati i dati (precipitazioni e temperature giornaliere) di tre stazioni meteorologiche della rete ARPAV, Castelfranco Veneto, Zero Branco e Agna, rappresentative dei principali tipi climatici individuati nella pianura veneta (tabella 1). I dati utilizzati sono relativi ad un periodo di nove anni, dal 01.01.1994 al 31.12.2002 (figura 4).

Tabella 1. Caratteristiche delle stazioni meteorologiche utilizzate.

Stazione climatica	T media annua °C	Oscillazione annua °C	termica	Precipitazione media 1994-2002 mm	Intensità pioggia oraria	di media
Castelfranco	13°23	10°06		1013.4	7.6	
Zero Branco	13°03	9°88		915.1	5.6	
Agna	13°45	10°26		752.9	4.6	

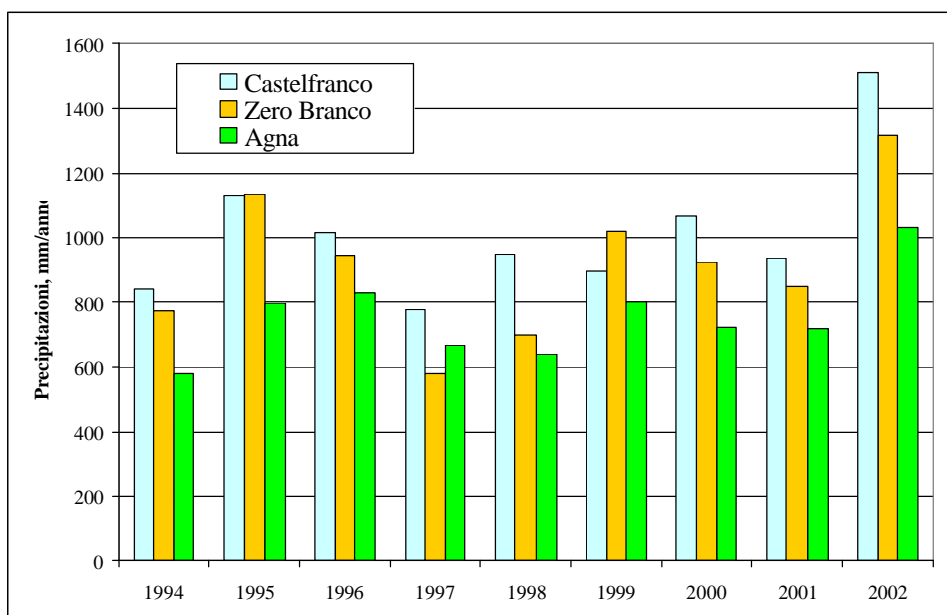


Figura 4. Precipitazioni medie annue per le tre stazioni nel periodo considerato (1994-2002).

Falda

Per simulare la presenza di falda all'interno di alcuni suoli, caratterizzati da falda superficiale, sono state imposte condizioni di saturazione alla base del profilo.

Nella simulazione della falda alla base del profilo sono stati adottati i seguenti modelli:

- simulazione con falda con andamento "regolare" situata a 200 cm;
- simulazione con falda con andamento "regolare" situata a 120 cm;
- simulazione con falda con andamento "inverso" posta a 150 cm;
- simulazione con falda con andamento "inverso" posta a 150 cm in ambiente lagunare.

Per andamento "regolare" si intende la normale oscillazione stagionale della falda, con movimento verso il basso del livello di falda durante la fase di scarica nei mesi secchi e verso l'alto durante la fase di ricarica nei mesi autunno-invernali; tale tipo di movimento è stato imposto al modello mediante l'opportuna variazione del parametro GWFLUX durante l'anno (GWFLUX = 0.23 mm/h per simulare il movimento durante la fase di scarica e GWFLUX = 0.00 mm/h nella fase di innalzamento, la cui velocità è determinata dal gradiente di potenziale esistente nel suolo). Per andamento "inverso" si intende un tipo di movimento della falda opposto rispetto a quello precedente, ed è dovuto o alla presenza di un ambiente di tipo lagunare o all'azione artificiale delle idrovore che provocano l'innalzamento della falda durante i mesi secchi a scopo irriguo; anche in questo caso si varia opportunamente il valore del parametro GWFLUX (GWFLUX = 0.08 mm/h: velocità di abbassamento controllata durante la fase di autunno-invernale di scarica e GWFLUX = 0.00 mm/h nella fase di innalzamento, la cui velocità è determinata dal gradiente di potenziale esistente nel suolo durante i mesi primaverili-estivi). Nel caso di falda posta alla base del profilo a 200 cm, il profilo è stato "allungato" fino a tale profondità aumentando lo spessore degli ultimi strati, lasciando invariato a 10 il loro numero.

Gli scenari in termini di presenza e oscillazione della falda sono quindi i seguenti:

- i) i suoli simulati con falda a 200 cm sono quelli relativi ai profili SINAP3 (MOG), SINAP4 (ZRM), SINAP5 (CMS), SINAP11 (ALB), SINAP12 (PDS), SINAP19 (BOI), RV12P14 (CAE), e RVAP25 (QUA); in tutti questi casi la falda è stata posta a 200 cm con una velocità di abbassamento stagionale pari a 0.23 mm/h;
- ii) i suoli simulati con falda a 150 cm sono quelli relativi ai profili SINAP3 (MOG), SINAP8 (MMZ), SINAP11(ALB), SINAP19 (CBO), RV11P2 (TRN), RVAP25 (QUA) e RVAP31(CON); per i suoli simulati con falda a 150 cm, è stato posto il livello iniziale della falda a 150 cm; in questi suoli l'andamento della falda ha un movimento opposto a quello normalmente riscontrabile, scendendo durante i mesi invernali e alzandosi durante quelli estivi (valore di velocità della falda imposto: 0.08 mm/h nei mesi autunno invernali e 0 mm/h durante i mesi primaverili estivi);
- iii) i suoli simulati con falda a 120 cm sono quelli relativi ai profili VE2P137 (CVL) e SINAP19 (TOL); in questi casi la falda è permanente, senza oscillazioni stagionali.

In presenza di falda superficiale (120 e 150 cm), e talvolta anche con falda a 200 cm, si genera un flusso laterale nel sistema drenante. Il flusso laterale alla base del profilo (Gstot, mm) che si genera dopo aver attraversato tutto il profilo nei suoli con falda superficiale andrebbe tenuto separato dal runoff perchè rappresenta una discriminante nel funzionamento idraulico del suolo, essendo sempre un flusso verticale lungo il profilo che in corrispondenza dell'ultimo strato viene dirottato lateralmente. Tuttavia ai fini della valutazione della capacità protettiva poiché questi flussi finiscono nella rete drenante superficiale e non in profondità, le attribuzioni delle classi vengono effettuate con e senza l'apporto di tali flussi.

Suoli

I suoli caposaldo, rappresentativi delle unità tipologiche di suolo (UTS, ovvero delle unità distinte all'interno del continuum dei suoli), più diffuse nella pianura veneta, sono stati oggetto di due serie di simulazioni. Nella prima, realizzata nel 2004 per produrre degli elaborati per il piano di tutela delle acque, sono stati presi in considerazione 12 profili ricollegati alle seguenti UTS: SNF, ZRM, CMS, MOG, PDS, MMZ, ALB, CVL, NOA, TSR, CAE e TRN, secondo le combinazioni suolo-stazione meteorologica-falda riportate nella tabella 2. In questa occasione è stato utilizzato per tutte le UTS il modello MACRO di simulazione del bilancio idrico e soltanto per 7 di esse il modello SOILN di simulazione del bilancio azotato.

Tabella 2. Prima serie di 12 profili simulati.

UTS	Profili caposaldo	Stazione meteo	Falda	note
SNF	SINAP2	Agna	no	
		Castelfranco	no	
		Zero Branco	no	
ZRM	SINAP13	Agna	200 cm	
		Castelfranco	no	
		Zero Branco	200 cm	
CMS	SINAP5	Agna	200 cm	
		Castelfranco	200 cm	
		Zero Branco	200 cm	
MOG	SINAP4	Agna	200 cm	

			150 cm	laguna
			100 cm	risorgiva
		Zero Branco	200 cm	
			150 cm	laguna
			100 cm	risorgiva
PDS	SINAP12	Agna	200 cm	
		Zero Branco	200 cm	
MMZ	SINAP8	Agna	150 cm	idrovara
ALB	SINAP11	Agna	200 cm	
			150 cm	idrovara
		Zero Branco	200 cm	
CVL	VE2P137	Agna	no	
			120 cm	
		Zero Branco	no	
			120 cm	
NOA	RV12P12	Zero Branco	no	
CBO	BSL2P27	Agna	150 cm	idrovara
MAN	TV3P30	Castelfranco	no	
		Zero Branco	no	
TRS	BSL1P23	Castelfranco	no	
		Zero Branco	no	

Nella seconda serie di simulazioni, effettuate con entrambi i modelli, MACRO e SOILN, conclusa nel 2006, sono state prese in considerazione sei nuove UTS (BOI, BSL, CON, CUS, GRV, QUA) e quattro UTS che erano state già oggetto di simulazione con MACRO ma i cui parametri erano stati stimati con pedofunzioni di trasferimento (Ungaro et al., 2005) e che sono state simulate con i parametri derivati da successive misure fisico-idrologiche (CBO, TOL, MAN, TRS). Sono inoltre state considerate tre UTS della precedente serie (ALB, MOG, NOA), per le quali sono state eseguite ulteriori simulazioni in diverse condizioni di stazione meteorologica e di falda.

Tabella 3. Seconda serie di 13 profili simulati.

<i>UTS</i>	<i>Profilo</i>	<i>Stazione meteo</i>	<i>Falda</i>
BOI	SINAP16	Castelfranco	assente
		Zero Branco	200
BSL	RVAP11	Agna	assente
CON	RVAP31	Agna	150
CUS	SINAP18	Castelfranco	assente
		Zero Branco	assente
GRV	SINAP14	Castelfranco	assente
QUA	RVAP25	Agna	150
		Zero Branco	150
ALB	SINAP11	Zero Branco	150
MOG	SINAP3	Castelfranco	150
		Castelfranco	200
NOA	RV12P12	Castelfranco	no
<i>UTS</i>	<i>Profilo</i>	<i>Stazione meteo</i>	<i>Falda</i>
MMZ	SINAP8	Zero Branco	150
CBO	SINAP19	Agna	150
TOL	RVAP29	Agna	120
		Zero Branco	120
		Agna	assente
		Zero Branco	assente
MAN	SINAP15	Castelfranco	assente
		Zero Branco	assente
TRS	SINAP17	Castelfranco	assente

L'intervallo temporale considerato nelle simulazioni è quello 1994-2002: gli anni 1992 e 2003 sono stati scartati perché incompleti, il 1993 perché il modello riesce a gestire fino a 20 cambiamenti nei valori dei parametri ed essendoci in media almeno due valori l'anno da modificare per descrivere l'andamento della falda il numero massimo di anni simulabili risulta essere pari a nove. La variazione della stazione meteorologica abbinata ha consentito di osservare il comportamento dello stesso suolo a seconda della quantità e distribuzione delle piogge nonché della variazione dei valori degli altri parametri meteorologici.

Scenari colturali

Lo scenario colturale adottato nell'attuale serie di simulazioni è quello di monosuccessione di mais irriguo; ciò che varia è la modalità di irrigazione, in base alle pratiche agricole comunemente utilizzate nell'area: 10 irrigazioni annue di 58 mm ciascuna per i suoli dell'alta pianura (MAN, BSL, GRV, CUS, TRS), 1 irrigazione annua di soccorso pari 40 mm per i restanti suoli di bassa pianura.

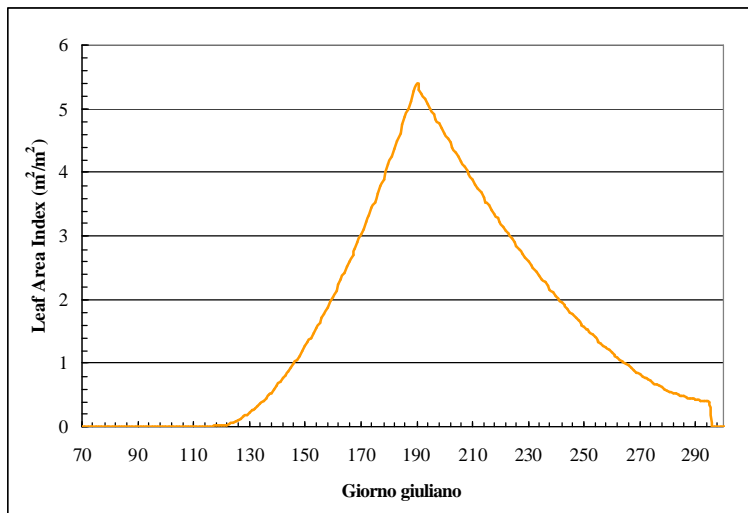


Figura 5. Sviluppo del LAI del mais.

I parametri utilizzati in MACRO per la simulazione del mais sono riportati in tabella 4; la curva di sviluppo del LAI del mais con i parametri utilizzati è illustrata in figura 5.

Tabella 4. Parametri colturali utilizzati per il mais.

Parametro	Descrizione	Valore
BETA	Fattore di adattabilità radicale per il prelievo idrico	0.5
CRITAIR (%)	Contenuto in aria critico per l'assorbimento radicale	5
IDSTART (doy)	Giorno dell'emergenza della coltura	118
LAIMAX (m ² /m ²)	Indice di area fogliare massimo	5.4
ROOTMAX (m)	Massima profondità delle radici	1.2 - 1.6
ZALP (-)	Fattore di correzione per l'evaporazione da chioma	1.5
CANCAP (mm)	Capacità di immagazzinamento della chioma	2
DFORM	Fattore di forma per la diminuzione del LAI tra IDMAX e IHARV	1.7
IHARV (doy)	Giorno della raccolta	295
LAIMIN (m ² /m ²)	Indice di area fogliare minimo	0.01
RPIN (%)	% di apparato radicale nel primo 25% dello spessore esplorato dalle radici	60
ZDATEMIN (doy)	Giorno dell'anno corrispondente a ROOTINIT, LAIMIN e ZHMIN	119
CFORM	Fattore di forma per l'incremento del LAI tra ZDATEMIN e IDMAX	1.8
IDMAX	Giorno dell'anno corrispondente a LAIMAX e ROOTMAX	190
LAIHAR (m ² /m ²)	Indice di area fogliare al momento della raccolta	0.4
ROOTINIT (m)	Lunghezza delle radici a ZDATEMIN	0.01
WATEN (m)	Tensione critica per l'assorbimento radicale	10
ZHMIN	Altezza della coltura a ZDATEMIN	0.01

2.4. Bilancio azotato

La simulazione del bilancio azotato ha considerato due scenari caratterizzati da due diversi apporti di fertilizzante azotato, secondo quanto riportato nella tabella 5; i valori di azoto minerale in input al modello SOILN sono quelli in g/m² (parametro FERN).

Tabella 5. Interventi di concimazione minerale del mais.

Intervento	Data	Fertilizzante	Dose q/ha	Titolo % N	q/ha	N kg/ha	FERN g/m ²	%
DOSE 1								
Presemina	15-mar	8.24.24	4	8	0.32	32	3.2	13
Semina	15-apr	8.24.24	2	8	0.16	16	1.6	6
Copertura	30-mag	urea	2.5	45	1.13	112.5	11.3	45
Copertura	15-giu	urea	2	45	0.9	90	9	36
Totale			10.5		2.5	250.5	25.1	100.0
DOSE 2								
Presemina	15-mar	8.24.24	6.4	8	0.51	51	5.1	13
Semina	15-apr	8.24.24	3.2	8	0.26	26	2.6	6
Copertura	30-mag	urea	4.0	45	1.80	180	18.0	45
Copertura	15-giu	urea	3.2	45	1.44	144	14.4	36
Totale			16.8		4.0	400.0	40.0	100.0

Il modello di simulazione del bilancio azotato, SOILN (Eckersten et al., 1996), utilizza come variabili guida gli output di MACRO in termini di bilancio idrico e termico del suolo (Larsson and Jarvis, 1999). Anche in SOILN il suolo viene suddiviso in strati, e in ogni strato l'azoto minerale è rappresentato da due pool, uno per l'azoto ammoniacale ed uno per l'azoto nitrico; il primo è considerato immobile o suddiviso in due frazioni, mobile ed immobile, definite dall'utente, il secondo mobile.

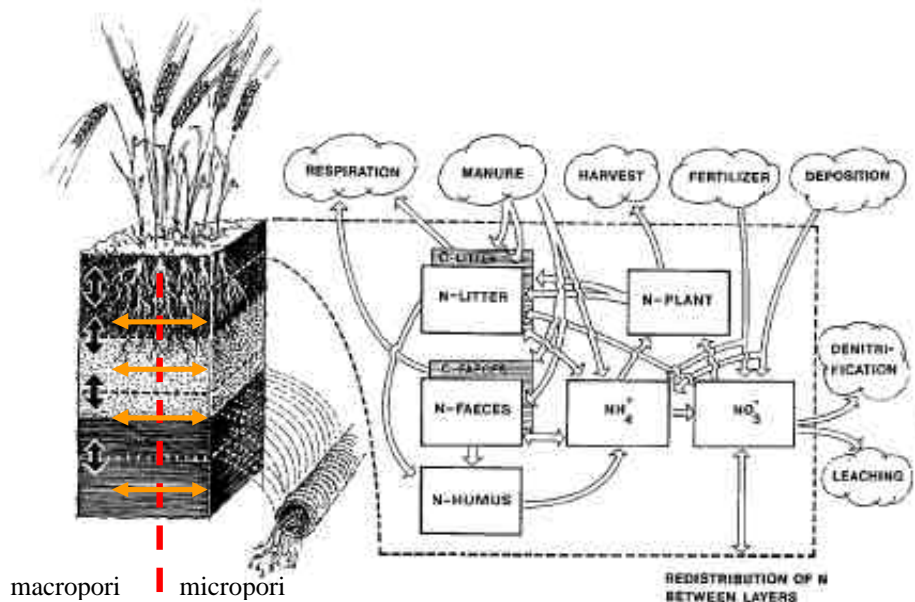


Figura 6. Struttura concettuale del modello SOILN (modificato da Larsson, 1999)

Il pool ammoniacale è arricchito da azoto fornito attraverso applicazioni di letame, mineralizzazione della sostanza organica e deposizione atmosferica, mentre è impoverito da immobilizzazione in materiale organico, dall'ossidazione a nitrati e dall'assorbimento radicale da parte delle piante. Il pool nitrico si arricchisce a seguito di nitrificazione di composti ammoniacali, apporti di fertilizzanti, risalita capillare di acqua dal subsoil e deposizione atmosferica; viene invece impoverito a seguito di lisciviazione, denitrificazione e assorbimento radicale. Le perdite per lisciviazione vengono distinte, in termini di quantità e concentrazioni tra i due domini di porosità che caratterizzano il profilo di simulazione. In SOILN la biomassa microbica non è considerata esplicitamente, ma facente parte di un pool organico stabile a turnover lento, definito come "HUMUS", al quale si contrappone un pool di sostanza organica più giovane, turnover rapido, definito come "LITTER", del quale fanno parte i residui colturali e le radici che rimangono nel terreno dopo la raccolta.

L'equilibrio tra i processi opposti di immobilizzazione e mineralizzazione (e conseguente lisciviazione di nitrati) dipende infatti sostanzialmente dai seguenti parametri del modello:

1. parametro CNORG (rapporto C/N dei microrganismi e dei prodotti umificati): valori più alti, in un range che in letteratura viene posto tra 5 e 10, indicano una maggiore mineralizzazione dei residui colturali; il valore utilizzato nelle simulazioni varia con la tessitura, ed è attribuito in base alla % di argilla, ponderata sullo spessore degli orizzonti di tutto il profilo, tanto più elevato quanto questa è bassa, in un range che per i profili simulati varia da 6.4 ad 8.
2. parametro LITHF (frazione di umificazione del C della "lettiera"): controlla la mineralizzazione dei residui colturali; valori bassi (range 0.2-0.9) indicano un turn-

over veloce ossia una rapida mineralizzazione; il valore utilizzato nelle simulazioni è pari a 0.3.

3. parametro LITK (tasso specifico di decomposizione della “lettiera): controlla la decomposizione dei residui colturali in condizioni ottimali di temperatura ed umidità; il valore adottato nelle simulazioni varia con la tessitura, ed è attribuito in base alla % di argilla, ponderata sullo spessore degli orizzonti di tutto il profilo; il valore è tanto più elevato quanto più questa è bassa, in un range che per i profili simulati varia da 0.035 a 0.07.

Nel valutare i risultati delle simulazioni, va considerato un altro elemento importante oltre l'entità dei flussi idrici: se il contenuto in C organico del profilo è basso o molto basso, finché non si accumula una quantità tale di C da soddisfare le esigenze respiratorie e metaboliche dei microrganismi, l'azoto tenderà necessariamente ad accumularsi insieme alla sostanza organica fino a raggiungere un C/N compatibile con le esigenze metaboliche della microfauna.

Questo processo può durare alcuni mesi: il C/N dei residui del mais è intorno a 57-60 (valori da letteratura), quello dei microrganismi 5-10, quella della sostanza organica del suolo tra 8 e 15 nei suoli agricoli (nelle simulazioni è stato adottato un valore pari a 8.3 suggerito dalle sperimentazioni agronomiche in Emilia Romagna nell'ambito del progetto SINA-Carta pedologica in aree a rischio ambientale).

In pratica in questo caso i microbi devono incorporare nelle loro cellule 8 parti di C per ogni parte di N; poiché solo 1/3 del C metabolizzato dai microbi è incorporato nelle loro cellule (il resto è respirato come CO₂) i microrganismi hanno bisogno di 1g di N per ogni 24 g di C. Quindi ne segue che:

- 1) se i residui colturali hanno un C/N >25, i microrganismi (quelli che SOILN definisce come “HUMUS” pool organico stabile a turnover “lento” contrapposto a “LITTER” pool organico dinamico a turnover rapido) immobilizzeranno tutto l'azoto per “abbassare” il C/N al loro valore incorporandolo nella biomassa (il che può portare anche a deficienze per le colture in campo, fenomeno noto come “*nitrate depression period*”);

- 2) la mineralizzazione della sostanza organica può essere rallentata se non c'è sufficiente N nei residui colturali o nella soluzione circolante. In questo caso quindi l'aggiunta di un residuo con un elevato C/N fa sì che finché il C/N non si abbassa fino a valori prossimi a 20, l'azoto viene “bloccato” nella biomassa. Raggiunto un valore di C/N più basso nei residui l'azoto comincia ad essere rilasciato ma il suolo a quel punto si è già arricchito con azoto ed humus, cosa questa che accade praticamente in tutte le simulazioni effettuate ad eccezione di quelle dei suoli organici (MMZ e CBO). In questo caso le simulazioni indicano che la mineralizzazione e la denitrificazione dei pool organici presenti nel suolo sono i processi dominanti nelle condizioni agro-ambientali simulate. I mollisuoli e gli istosuoli infatti mostrano spesso alti livelli di nitrificazione in seguito ad interventi di bonifica e messa a coltura, e se si trovano in condizioni di falda permanente o oscillante si ha una conseguente perdita di azoto minerale per denitrificazione. Sebbene la maggior parte della sostanza organica sia in forme resistenti alla degradazione microbica, la quantità di carbonio organico è tale che anche una sua parziale degradazione comporta un rilascio di quantità considerevoli di azoto nitrico (Brady and Weil 2002).

In totale sono state effettuate per i 20 profili selezionati 68 simulazioni di bilancio azotato.

3. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI BILANCIO IDRICO E AZOTATO

3.1. Simulazioni di bilancio idrico: risultati

In tabella 6 sono riassunti i risultati delle simulazioni effettuate da MACRO nei 9 anni considerati (1994-2002) in termini di valori cumulati, mentre in tabella 7 i valori sono espressi in percentuale agli apporti idrici cumulati (precipitazioni e irrigazioni).

Tabella 6. Risultati delle simulazioni con MACRO 1994-2002; *PRECIRA*: precipitazioni + irrigazioni, valori cumulati; *TRUNOFF*: runoff cumulato; *TFLOWOUT*: flusso cumulato micro+macropori; *TFLOW*: flusso cumulato, micropori; *GSTOT*: flusso cumulato in scoline; *flusso utile*: flusso alla base del profilo, al netto della risalita di falda, valori cumulati. *: simulazione con valori di *Ksat* misurati; **: simulazione con valori di *Ksat* stimati.

UTS	Profilo	Stazione		PRECIRA	TRUNOFF	TFLOWOUT	TFLOW	GSTOT	Flusso utile
		meteorologica	Falda	mm	mm	mm	mm	mm	mm
ALB	SINAP11	Agna	150	7200	1432	52	0	0	52
ALB	SINAP11	Zero bianco	200	8830	1850	399	0	7	399
BOI	SINAP16	Castelfranco	assente	9490	148	3340	70	0	3340
BOI	SINAP16	Zero Branco	200	8830	2060	1020	-18	38	1038
BSL	RVAP11	Agna	assente	12100	0	4960	4870	0	4960
CAE	RV12P14	Agna	200	7200	0	579	-194	0	773
CBO	SINAP16	Agna	150	7200	208	399	-1230	328	1629
CMS	SINAP5	Zero Branco	200	8830	93	1868	0	0	1868
CON	RVAP31	Agna	150	7200	1540	-496	-544	36	48
CUS	SINAP18	Castelfranco	assente	14400	80	6800	2440	0	6800
CUS	SINAP18	Zero Branco	assente	13700	82	6370	2420	0	6370
CVL	VE2P137	Agna	120	7200	0	624	-227	836	851
GRV*	SINAP14	Castelfranco	assente	14400	3560	2940	1280	0	2940
GRV**	SINAP14	Castelfranco	assente	14400	0	6600	1570	0	6600
MAN	SINAP15	Castelfranco	assente	14400	0	6930	6780	0	6930
MAN	SINAP15	Zero Branco	assente	13700	0	6520	6370	0	6520
MMZ	SINAP8	Agna	150	7200	563	98	-959	59	1057
MMZ	SINAP8	Zero Branco	150	8830	854	1030	-640	137	1670
MOG	SINAP3	Zero Branco	200	8830	690	1035	-95	13	1130
MOG	SINAP3	Castelfranco	200	9490	771	1280	-86	11	1366
NOA	RV12P12	Zero Branco	assente	8830	0	893	719	0	893
NOA	RV12P12	Castelfranco	assente	9490	1	2130	1660	0	2130
NOA	RV12P12	Zero Branco	200	8830	274	1400	-163	14	1563
PDS	SINAP12	Zero Branco	200	8830	337	1281	0	13	1281
QUA	RVAP25	Agna	150	7200	1820	292	-394	178	686
QUA	RVAP25	Zero Branco	150	8830	2690	748	-270	267	1018
SNF	SINAP2	Castelfranco	assente	14400	0	6400	6270	0	6400
TOL	RVAP29	Agna	assente	7200	0	1990	1990	0	1990
TOL	RVAP29	Agna	120	7200	0	428	-654	1300	1082
TOL	RVAP29	Zero Branco	assente	8830	0	3200	3200	0	3200
TOL	RVAP29	Zero Branco	120	8830	0	952	-571	1940	1523
TRN	RV11P2	Agna	150	7200	425	-228	-851	438	623
TRS	BSL1P23	Castelfranco	assente	14400	0	6478	6426	0	6478
TRS	SINAP17	Castelfranco	assente	14400	0	6790	4550	0	6790
ZRM	SINAP4	Zero Branco	200	8830	1825	488	-236	3	724
Media				9907	609	2445	1242	160	2649
Dev std				2779	911	2543	2401	409	2389

Min	7200	0	-496	-1230	0	48
Mediana	8830	93	1280	0	0	1563
Max	14400	3560	6930	6780	1940	6930

Tabella 7. Risultati delle simulazioni con MACRO 1994-2002, valori percentuali rispetto agli apporti idrici cumulati (PRECIRA: precipitazioni + irrigazioni); TRUNOFF: runoff cumulato; TFLOWOUT: flusso cumulato micro+macropori; TFLOW: flusso cumulato, micropori; GSTOT: flusso cumulato in scoline; flusso utile 1: flusso alla base del flusso utile: flusso alla base del profilo, al netto della risalita di falda, valori cumulati. *: simulazione con valori di Ksat misurati; **: simulazione con valori di Ksat stimati.

UTS	Stazione		Falda	PRECIRA	TRUNOFF	TFLOWOUT	TFLOW	GSTOT	Flusso utile
	Profilo	meteorologica		mm	%	%	%	%	%
ALB	SINAP11	Agna	150	7200	19.9	0.7	0	0	0.7
ALB	SINAP11	Zero bianco	200	8830	21	4.5	0	0.1	4.5
BOI	SINAP16	Castelfranco	assente	9490	1.6	35.2	0.7	0	35.2
BOI	SINAP16	Zero Branco	200	8830	23.3	11.6	-0.2	0.4	11.8
BSL	RVAP11	Agna	assente	12100	0	41	40.2	0	41
CAE	RV12P14	Agna	200	7200	0	8	-2.7	0	10.7
CBO	SINAP16	Agna	150	7200	2.9	5.5	-17.1	4.6	22.6
CMS	SINAP5	Zero Branco	200	8830	1.1	21.1	0	0	21.1
CON	RVAP31	Agna	150	7200	21.4	-6.9	-7.6	0.5	0.7
CUS	SINAP18	Castelfranco	assente	14400	0.6	47.2	16.9	0	47.2
CUS	SINAP18	Zero Branco	assente	13700	0.6	46.5	17.7	0	46.5
CVL	VE2P137	Agna	120	7200	0	8.7	-3.1	11.6	11.8
GRV*	SINAP14	Castelfranco	assente	14400	24.7	20.4	8.9	0	20.4
GRV**	SINAP14	Castelfranco	assente	14400	0	45.8	10.9	0	45.8
MAN	SINAP15	Castelfranco	assente	14400	0	48.1	47.1	0	48.1
MAN	SINAP15	Zero Branco	assente	13700	0	47.6	46.5	0	47.6
MMZ	SINAP8	Agna	150	7200	7.8	1.4	-13.3	0.8	14.7
MMZ	SINAP8	Zero Branco	150	8830	9.7	11.7	-7.2	1.6	18.9
MOG	SINAP3	Zero Branco	200	8830	7.8	11.7	-1.1	0.1	12.8
MOG	SINAP3	Castelfranco	200	9490	8.1	13.5	-0.9	0.1	14.4
NOA	RV12P12	Zero Branco	assente	8830	0	10.1	8.1	0	10.1
NOA	RV12P12	Castelfranco	assente	9490	0	22.4	17.5	0	22.4
NOA	RV12P12	Zero Branco	200	8830	3.1	15.9	-1.8	0.2	17.7
PDS	SINAP12	Zero Branco	200	8830	3.8	14.5	0	0.1	14.5
QUA	RVAP25	Agna	150	7200	25.3	4.1	-5.5	2.5	9.5
QUA	RVAP25	Zero Branco	150	8830	30.5	8.5	-3.1	3	11.5
SNF	SINAP2	Castelfranco	assente	14400	0	44.4	43.5	0	44.4
TOL	RVAP29	Agna	assente	7200	0	27.6	27.6	0	27.6
TOL	RVAP29	Agna	120	7200	0	5.9	-9.1	18.1	15
TOL	RVAP29	Zero Branco	assente	8830	0	36.2	36.2	0	36.2
TOL	RVAP29	Zero Branco	120	8830	0	10.8	-6.5	22	17.2
TRN	RV11P2	Agna	150	7200	5.9	-3.2	-11.8	6.1	8.7
TRS	BSL1P23	Castelfranco	assente	14400	0	45	44.6	0	45
TRS	SINAP17	Castelfranco	assente	14400	0	47.2	31.6	0	47.2
ZRM	SINAP4	Zero Branco	200	8830	20.7	5.5	-2.7	0	8.2
Media				9907	6.8	20.5	8.7	2	23.2
Dev std				2779	9.6	17.6	19.1	5.1	15.5
Min				7200	0	-6.9	-17.1	0	0.7
Mediana				8830	1.1	13.5	0	0	17.7
Max				14400	30.5	48.1	47.1	22	48.1

La figura 9 mostra i flussi utili alla base del profilo, sempre suddivisi nelle due componenti, ossia rispettivamente attraverso micropori e macropori. Come si può notare, nei profili simulati con la presenza della falda alla base del profilo, il flusso utile avviene prevalentemente per via macropori, a causa della differenza di gradiente che si viene a creare fra i macropori interessati dalla falda in movimento verso il basso e gli strati sovrastanti. Nei suoli nei quali invece non è stata simulata la falda, il flusso in discesa avviene prevalentemente via micropori.

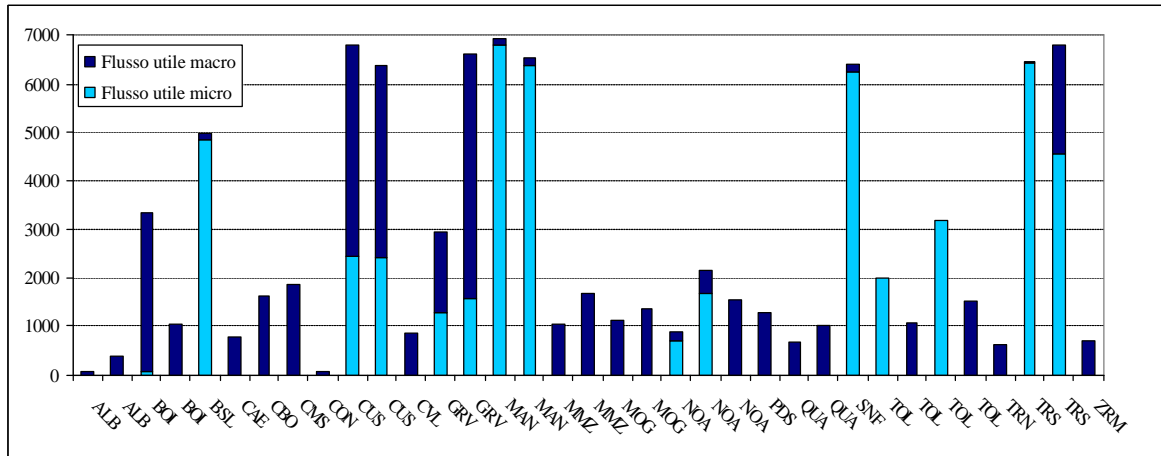


Figura 9. Ripartizione dei flussi utili tra micro e macroporosità, valori cumulati 1994-2002 (mm).

In figura 10 vengono confrontati i flussi totali e utili relativi (%), ossia rapportati alla voce di input del bilancio idrico (pioggia e irrigazioni), sempre calcolati al 10° strato e comprensivi del contributo al flusso laterale.

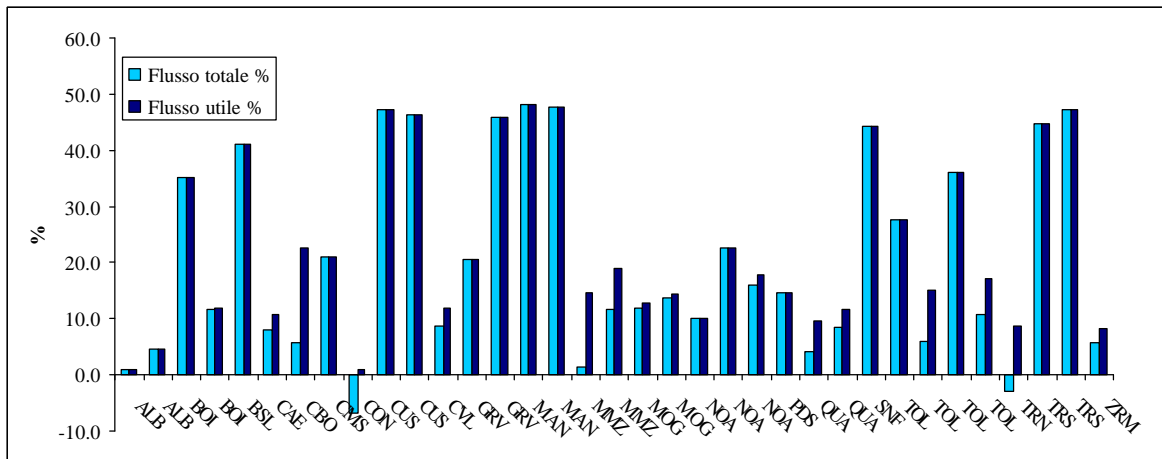


Figura 10. Flussi relativi, totali ed utili, in uscita alla base del profilo.

I risultati ottenuti sono stati sottoposti a test statistici di significatività (Unequal N HSD test) al fine di verificare l'esistenza di differenze statisticamente significative tra i diversi scenari considerati in termini di unità tipologica di suolo, di stazione meteorologica con associata irrigazione e di falda.

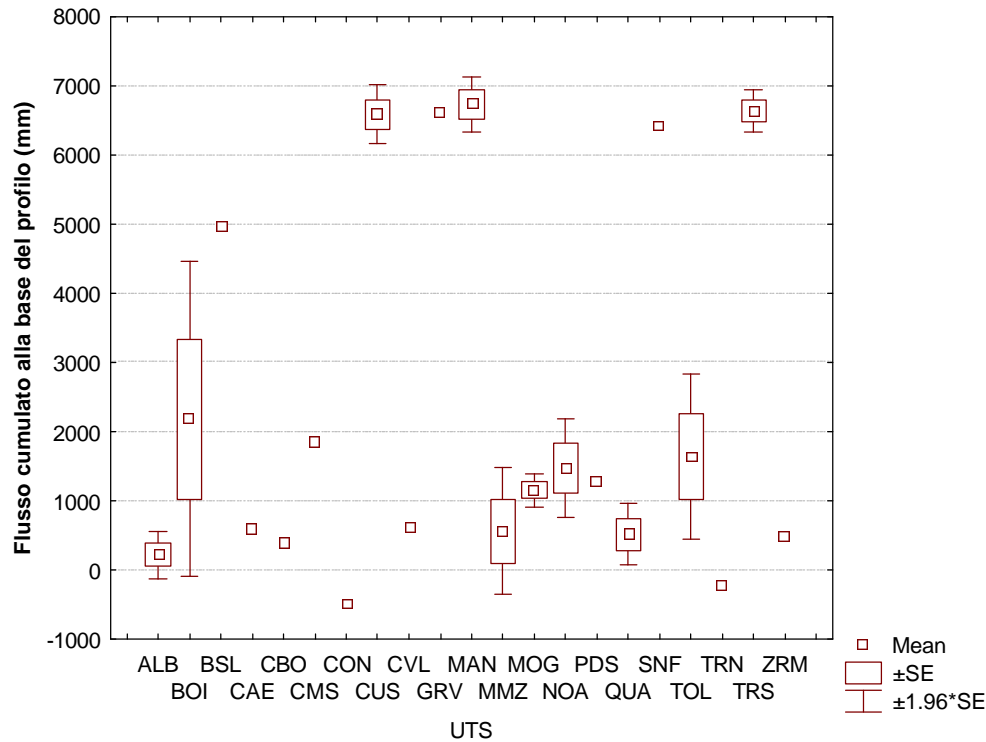


Figura 11. Flusso cumulato alla base del profilo: dati aggregati in funzione dell'UTS.

In termini di unità tipologica, il flusso cumulato alla base del profilo (mm, figura 11) mostra un certo numero di differenze statisticamente significative ($p < .05$), evidenziate in rosso nella tabella seguente (tabella 8).

	ALB	BOI	BSL	CAE	CBO	CMS	CON	CUS	CVL	GRV	MAN	MMZ	MOG	NOA	PDS	QUA	SNF	TOL	TRN	TRS	ZRM	
	225.6	2180	4960	579	399	1868	-496	6585	624	6600	6725	564.1	1158	1474	1281	520	6400	1643	-227.8	6634	488	
ALB		0.688	0.079	1.000	1.000	0.992	1.000	0.000	1.000	0.009	0.000	1.000	0.999	0.984	1.000	1.000	0.011	0.953	1.000	0.000	1.000	
BOI	0.688		0.681	0.994	0.982	1.000	0.729	0.011	0.995	0.120	0.008	0.883	0.998	1.000	1.000	0.862	0.154	1.000	0.840	0.010	0.989	
BSL	0.079	0.681		0.126	1.000	0.533	0.030	0.993	0.133	0.992	0.984	0.123	0.256	0.364	0.295	0.117	0.998	0.432	0.043	0.990	0.112	
CAE	1.000	0.994	0.126		1.000	0.999	1.000	0.014	1.000	0.014	0.012	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.018	1.000	1.000	0.013	1.000	
CBO	1.000	0.982	1.001	1.000		0.998	1.000	0.011	1.000	0.011	0.009	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.014	1.000	1.000	0.011	1.000	
CMS	0.992	1.000	0.533	0.999	0.998		0.856	0.081	1.000	0.079	0.067	0.999	1.000	1.000	1.000	0.999	0.103	1.000	0.934	0.076	0.999	
CON	1.000	0.729	0.030	1.000	1.000	0.856		0.004	1.000	0.003	0.003	1.000	0.991	0.959	0.983	1.000	0.004	0.924	1.000	0.003	1.000	
CUS	0.000	0.011	0.993	0.014	0.011	0.081	0.004		0.015	1.000	1.000	0.001	0.002	0.003	0.037	0.001	1.000	0.004	0.005	1.000	0.013	
CVL	1.000	0.995	0.133	1.000	1.000	1.000	0.015			0.015	0.013	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.019	1.000	1.000	0.014	1.000	
GRV	0.009	0.120	0.992	0.014	0.011	0.079	0.003	1.000	0.015		1.000	0.014	0.031	0.047	0.036	0.013	1.000	0.059	0.005	1.000	0.012	
MAN	0.000	0.008	0.984	0.012	0.009	0.067	0.003	1.000	0.013	1.000		0.001	0.001	0.002	0.031	0.001	1.000	0.003	0.004	1.000	0.010	
MMZ	1.000	0.883	0.123	1.000	1.000	0.999	1.000	0.001	1.000	0.014	0.001		1.000	0.999	1.000	1.000	0.018	0.996	1.000	0.001	1.000	
MOG	0.999	0.998	0.256	1.000	1.000	1.000	0.991	0.002	1.000	0.031	0.001	1.000		1.000	1.000	1.000	0.040	1.000	0.999	0.002	1.000	
NOA	0.984	1.000	0.364	1.000	1.000	1.000	0.959	0.003	1.000	0.047	0.002	0.999	1.000		1.000	0.999	0.061	1.000	0.988	0.003	1.000	
PDS	1.000	1.000	0.295	1.000	1.000	1.000	0.983	0.037	1.000	0.036	0.031	1.000	1.000	1.000		1.000	0.047	1.000	0.997	0.035	1.000	
QUA	1.000	0.862	0.117	1.000	1.000	0.999	1.000	0.001	1.000	0.013	0.001	1.000	1.000	0.999	1.000		0.017	0.994	1.000	0.001	1.000	
SNF	0.011	0.154	0.998	0.018	0.014	0.103	0.004	1.000	0.019	1.000	1.000	0.018	0.040	0.061	0.047	0.017		0.077	0.006	1.000	0.016	
TOL	0.953	1.000	0.432	1.000	1.000	1.000	0.924	0.004	1.000	0.059	0.003	0.996	1.000	1.000	1.000	1.000	0.994	0.077		0.973	0.004	1.000
TRN	1.000	0.840	0.043	1.000	1.000	0.934	1.000	0.005	1.000	0.005	0.004	1.000	0.999	0.988	0.997	1.000	0.006	0.973		0.005	1.000	
TRS	0.000	0.010	0.990	0.013	0.011	0.076	0.003	1.000	0.014	1.000	1.000	0.001	0.002	0.003	0.035	0.001	1.000	0.004	0.005		0.012	
ZRM	1.000	0.989	0.112	1.000	1.000	0.999	1.000	0.013	1.000	0.012	0.010	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.016	1.000	1.000	0.012		

Tabella 8. Flusso cumulato alla base del profilo: test di significatività delle medie (Unequal N HSD test).

Cinque delle UTS di alta pianura, CUS, GRV, MAN, SNF e TRS sono significativamente diverse ($p < .05$) da quasi tutte le altre, mentre l'UTS BSL, cui è associata la stazione meteorologica di Agna e che si contraddistingue per un flusso medio cumulato pari a 4960 mm e quindi inferiore a quello delle altre UTS di alta pianura, risulta statisticamente differente solo dalle UTS CON (-496 mm) e TRN (-228 mm) entrambe caratterizzate da flusso utile negativo. Tutte le unità caratterizzate da valori di flusso cumulato inferiore ai 2000 mm non mostrano differenze statisticamente significative.

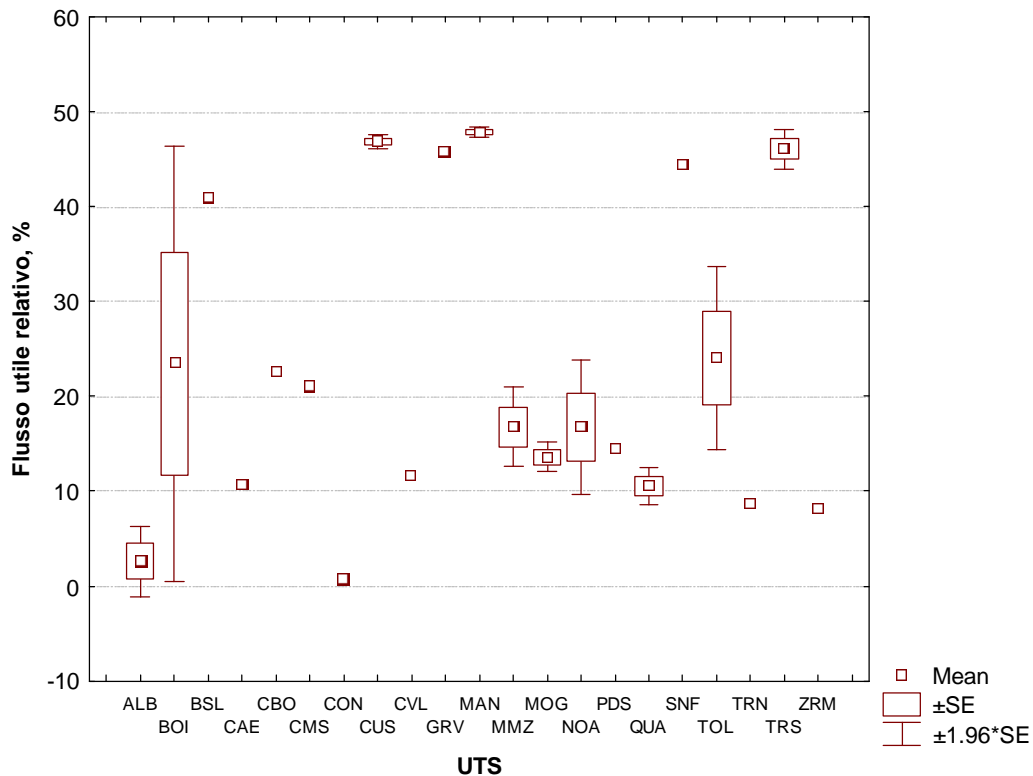


Figura 12. Flusso utile relativo: dati aggregati in funzione dell'UTS.

Nel considerare invece i flussi utili relativi, rapportati cioè agli input (precipitazioni più irrigazioni) si ottiene il quadro riportato in figura 12, dove si può osservare come la differenza tra le UTS di alta pianura e le altre unità sia meno marcata: infatti i test di significatività delle medie (tabella 9) indicano come le UTS CUS (46.9%), MAN (47.9%) e TRS (46.1%) siano significativamente diverse ($p < .05$) non da quindici UTS come nel caso precedente ma da solo quattro di esse: ALB (2.6%), CON (0.7%), MOG (13.6%), e QUA (10.5%). Al livello di significatività prescelto, la UTS SNF non mostra differenze statisticamente significative nei valori medi di flusso utile relativo (44.4%) rispetto alle altre, mentre nel caso della UTS GRV (45.8%) si osserva un sola differenza statisticamente significativa rispetto alla UTS CON (0.7%). Inoltre risultano significativamente differenti: il valore medio dell'UTS BSL (41%) e SNF (44.4%) rispetto alla UTS CON (0.7%); i valori medi delle UTS GRV (45.8%) e SNF (44.4%) rispetto all'UTS ALB (2.6%); i valori medi delle UTS CUS (46.9%), GRV (45.8%) e TRS (46.1%) rispetto all'UTS MMZ (16.8%) ma in tutti questi casi il livello di probabilità p è < 0.1 .

Ovviamente aggregando i risultati in termini di UTS, in funzione degli scenari simulati combinando suolo, presenza e livello della falda e stazione meteo (con associata la relativa irrigazione), i valori medi per ciascuna UTS saranno influenzati non solo dai parametri

fisico-idrologici che la caratterizzano ma anche dalle condizioni al contorno inferiore del sistema (falda) e dalle variabili guida (apporti meteorici ed irrigui). Per questo motivo sono state anche valutate le differenze esistenti tra i valori di flusso totale e di flusso utile relativo osservabili aggregando i dati non più in funzione dell'unità tipologica di suolo, ma anche in funzione del tipo di falda e degli apporti idrici in ingresso nel sistema simulato.

	ALB	BOI	BSL	CAE	CBO	CMS	CON	CUS	CVL	GRV	MAN	MMZ	MOG	NOA	PDS	QUA	SNF	TOL	TRN	TRS	ZRM
	2.6	23.5	41.0	10.7	22.6	21.2	0.7	46.9	11.8	45.8	47.9	16.8	13.6	16.8	14.5	10.5	44.4	24.0	8.7	46.1	8.2
ALB		0.398	0.119	1.000	0.876	0.925	1.000	0.003	1.000	0.057	0.002	0.874	0.982	0.877	0.999	0.999	0.071	0.362	1.000	0.004	1.000
BOI	0.398		0.950	0.998	1.000	1.000	0.749	0.253	0.999	0.772	0.209	1.000	0.993	1.000	1.000	0.931	0.837	1.000	0.988	0.294	0.984
BSL	0.119	0.950		0.364	0.929	0.882	0.089	1.000	0.413	1.000	1.000	0.676	0.503	0.674	0.551	0.354	1.000	0.961	0.279	1.000	0.263
CAE	1.000	0.998	0.364		0.999	1.000	1.000	0.166	1.000	0.192	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.233	0.996	1.000	0.185	1.000
CBO	0.876	1.000	0.929	0.999		1.000	0.792	0.674	1.000	0.729	0.620	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.798	1.000	0.993	0.717	0.991
CMS	0.925	1.000	0.882	1.000	1.000		0.857	0.594	1.000	0.650	0.539	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.724	1.000	0.998	0.637	0.997
CON	1.000	0.749	0.089	1.000	0.792	0.857		0.036	0.999	0.042	0.031	0.974	0.997	0.975	0.994	1.000	0.052	0.720	1.000	0.041	1.000
CUS	0.003	0.253	1.000	0.166	0.674	0.594	0.036		0.193	1.000	1.000	0.063	0.031	0.063	0.279	0.016	1.000	0.282	0.122	1.000	0.114
CVL	1.000	0.999	0.413	1.000	1.000	1.000	0.999	0.193		0.223	0.168	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.269	0.998	1.000	0.216	1.000
GRV	0.057	0.772	1.000	0.192	0.729	0.650	0.042	1.000	0.223		1.000	0.420	0.283	0.418	0.318	0.186	1.000	0.799	0.142	1.000	0.133
MAN	0.002	0.209	1.000	0.143	0.620	0.539	0.031	1.000	0.168	1.000		0.051	0.025	0.050	0.244	0.013	1.000	0.233	0.105	1.000	0.098
MMZ	0.874	1.000	0.676	1.000	1.000	1.000	0.974	0.063	1.000	0.420	0.051		1.000	1.000	1.000	1.000	0.490	1.000	1.000	0.075	1.000
MOG	0.982	0.993	0.503	1.000	1.000	1.000	0.997	0.031	1.000	0.283	0.025	1.000		1.000	1.000	1.000	0.338	0.988	1.000	0.037	1.000
NOA	0.877	1.000	0.674	1.000	1.000	1.000	0.975	0.063	1.000	0.418	0.050	1.000	1.000		1.000	1.000	0.487	0.998	1.000	0.075	1.000
PDS	0.999	1.000	0.551	1.000	1.000	1.000	0.994	0.279	1.000	0.318	0.244	1.000	1.000	1.000		1.000	0.378	1.000	1.000	0.309	1.000
QUA	0.999	0.931	0.354	1.000	0.999	1.000	1.000	0.016	1.000	0.186	0.013	1.000	1.000	1.000	1.000		0.226	0.907	1.000	0.019	1.000
SNF	0.071	0.837	1.000	0.233	0.798	0.724	0.052	1.000	0.269	1.000	1.000	0.490	0.338	0.487	0.378	0.226		0.860	0.174	1.000	0.163
TOL	0.362	1.000	0.961	0.996	1.000	1.000	0.720	0.282	0.998	0.799	0.233	1.000	0.988	0.998	1.000	0.907	0.860		0.983	0.325	0.978
TRN	1.000	0.988	0.279	1.000	0.993	0.998	1.000	0.122	1.000	0.142	0.105	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.174	0.983		0.137	1.000
TRS	0.004	0.294	1.000	0.185	0.717	0.637	0.041	1.000	0.216	1.000	1.000	0.075	0.037	0.075	0.309	0.019	1.000	0.325	0.137		0.128
ZRM	1.000	0.984	0.263	1.000	0.991	0.997	1.000	0.114	1.000	0.133	0.098	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.163	0.978	1.000	0.128	

Tabella 9. Flusso utile relativo: test di significatività delle medie (Unequal N HSD test).

Nelle figure 10 e 11 sono riportati i valori medi aggregati in termini di stazione meteorologica e apporto irriguo, rispettivamente per il flusso cumulato (fig. 10) e per il flusso utile relativo (fig.11). Appare ben evidente la differenza sia in termini assoluti che relativi tra gli scenari caratterizzati da un apporto irriguo annuo di 580 mm e gli scenari caratterizzati da una sola irrigazione di soccorso, anche se tale differenza è ovviamente assai più contenuta nel caso del flusso relativo: nel caso dei flussi assoluti (tabella 10) si osservano infatti ben nove differenze significative ($p < .05$) e tra queste risulta significativa la differenza tra i valori medi relativi alle stazioni di Agna e Castelfranco Veneto con sola irrigazione di soccorso, mentre standardizzando sugli input (tabella 11) si osservano solo cinque differenze significative, tra le due situazioni caratterizzate da cospicui apporti irrigui associati alle maggiori precipitazioni (stazioni di Zero Branco e Castelfranco Veneto) e quelle caratterizzate dalla sola irrigazione di soccorso.

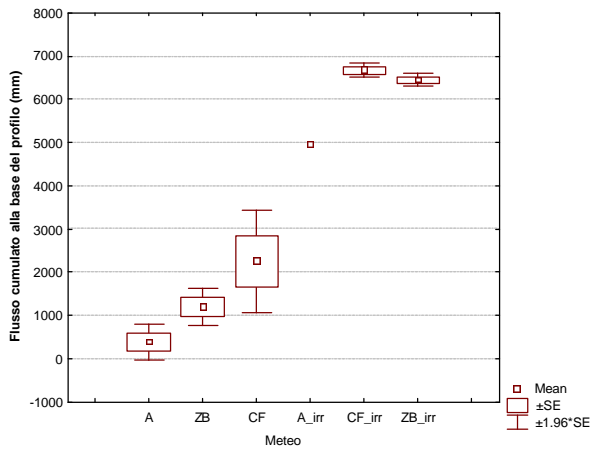


Figura 13.

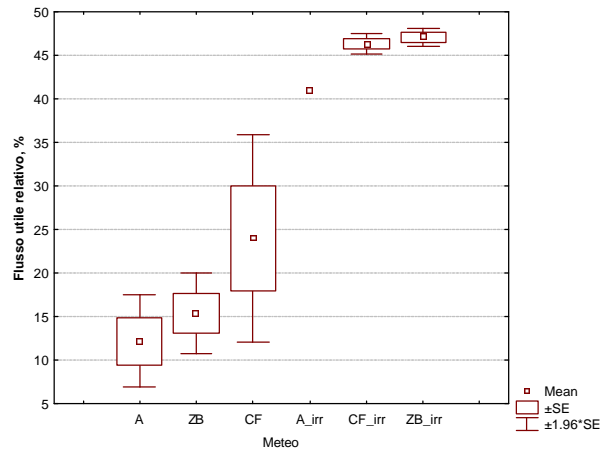


Figura 14.

	A	ZB	CF	A_irr	CF_irr	ZB_irr
Media, mm	374	1193	2250	4960	6666	6445
A		0.098	0.021	0.001	0.000	0.000
ZB	0.098		0.401	0.005	0.000	0.000
CF	0.021	0.401		0.075	0.000	0.000
A_irr	0.001	0.005	0.075		0.478	0.622
CF_irr	0.000	0.000	0.000	0.478		0.999
ZB_irr	0.000	0.000	0.000	0.622	0.999	

Tabella 10.

	A	ZB	CF	A_irr	CF_irr	ZB_irr
Media, %	12.2	15.4	24.0	41.0	46.3	47.0
A		0.933	0.417	0.109	0.000	0.001
ZB	0.933		0.729	0.193	0.000	0.003
CF	0.417	0.729		0.613	0.014	0.051
A_irr	0.109	0.193	0.613		0.996	0.993
CF_irr	0.000	0.000	0.014	0.996		1.000
ZB_irr	0.001	0.003	0.051	0.993	1.000	

Tabella 11.

Nel caso del regime di falda, per il quale sono state individuate quattro diverse possibilità (assenza di falda, falda a 200 cm con minimo estivo, falda a 150 cm con massimo estivo e minimo invernale, falda permanente a 120 cm) i flussi utili sono ovviamente superiori in caso di assenza di falda (valore medio cumulato 4957 mm), condizione nella quale non si verifica ingresso di acqua per risalita capillare alla base del profilo, anche se tale aspetto è enfatizzato dalla presenza dei profili irrigui dell'alta pianura nel gruppo degli scenari senza falda (figura 15). Filtrando gli apporti meteorici ed irrigui e considerando i flussi utili, al netto cioè della risalita capillare, si ottiene un quadro che meglio rappresenta l'effetto della presenza e della profondità della falda alla base del profilo (figura 16).

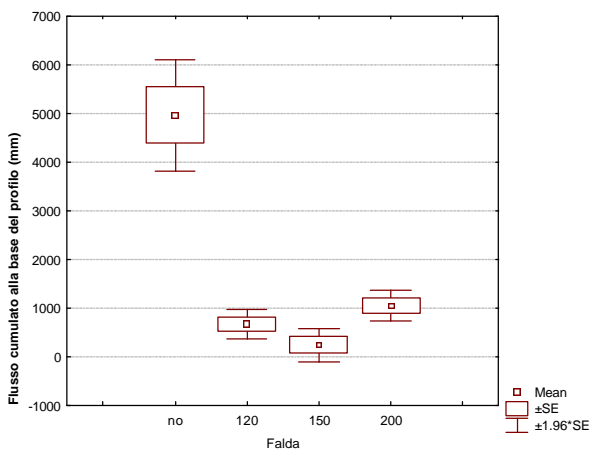


Figura 15.

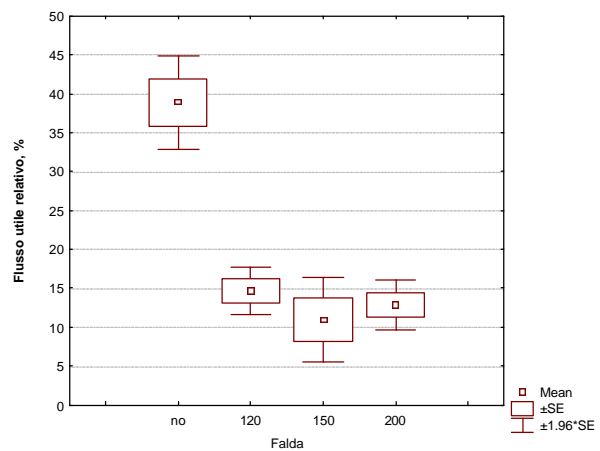


Figura 16.

I maggiori valori in termini di flusso relativo che si osservano nelle situazioni di falda a 120 cm possono essere spiegati nel primo caso ricordando che si tratta di simulazioni

relative alle UTS CVL e TOL, caratterizzate da tessitura sabbiosa lungo tutto il profilo e valori di conducibilità elevati, tra 200 e circa 500 mm/ora.

	assente	120	150	200
Media, mm	4957	668	236.9	1039
assente		0.0065	0.0002	0.0002
120	0.0065		0.9839	0.9897
150	0.0002	0.9839		0.6982
200	0.0002	0.9897	0.6982	

Tabella 12.

	assente	120	150	200
Media, %	38.9	14.7	10.9	12.9
assente		0.0116	0.0002	0.0002
120	0.0116		0.9532	0.9942
150	0.0002	0.9532		0.9714
200	0.0002	0.9942	0.9714	

Tabella 13.

In termini di significatività dei valori medi, i flussi relativi non si differenziano da quelli assoluti: in entrambi i casi si osservano differenze significative ($p < .05$) tra gli scenari in assenza di falda e quelli caratterizzati da falda. In termini assoluti si osserva il seguente ordine di flusso crescente: falda 150 < falda 120 < falda 200; relativizzando i dati agli apporti irrigui e pluviometrici, l'ordine cambia divenendo: falda 150 < falda 200 < falda 120.

Al fine di valutare l'incidenza delle diverse combinazioni suolo-falda-stazione meteo/irrigazione, è stata effettuata un'analisi delle componenti della varianza, dove gli effetti combinati di tipologia di suolo, presenza e livello di falda e apporti meteorici e irrigui, che potrebbero essere considerati come effetti "classificatori" in termini di definizione dei possibili scenari, sono assunti essere selezionati casualmente all'interno di una popolazione infinita di possibili livelli. Le variabili indipendenti, in questo caso falda, suolo e clima, sono assunte avere effetti random sulle variabili dipendenti, in questo caso gli output del modello di bilancio idrico. La variazione nei livelli dei fattori random è assunta essere rappresentativa della variazione della popolazione complessiva di tutti i possibili livelli. Quindi la variazione nei livelli di un fattore random può essere usata per stimare la variazione nella popolazione. Cosa ancora più importante, la covariazione tra i livelli di un fattore random e le risposte di una variabile dipendente può essere usata per stimare la componente di varianza della popolazione nella variabile dipendente attribuibile al fattore random.

I risultati dell'analisi delle componenti della varianza per il flusso cumulato alla base del profilo e per il flusso utile relativo sono sinteticamente illustrati nelle figure 14 e 15. Nel primo caso, il fattore suolo e quello clima/irrigazione sono responsabili rispettivamente del 13 e del 11% della variazione osservata nel flusso cumulato, preceduti dalla falda che da sola spiegherebbe il 69% della variazione nel flusso e da quote minori imputabili a effetti incrociati tra i precedenti fattori (4% nel loro complesso). Nel caso del flusso utile relativo la situazione appare sensibilmente modificata: in questo caso la variazione nel fattore clima/irrigazione spiegherebbe solo il 4% della variazione osservabile nella variabile dipendente, mentre il ruolo giocato dal fattore UTS risulta notevolmente superiore, spiegando quasi il 30% della variazione osservata nel flusso utile relativo. La % di variazione dovuta al fattore falda appare sensibilmente ridotta (59%) da quanto osservato nel caso del flusso totale, mentre il ruolo dei fattori incrociati appare leggermente più rilevante (5.4%).

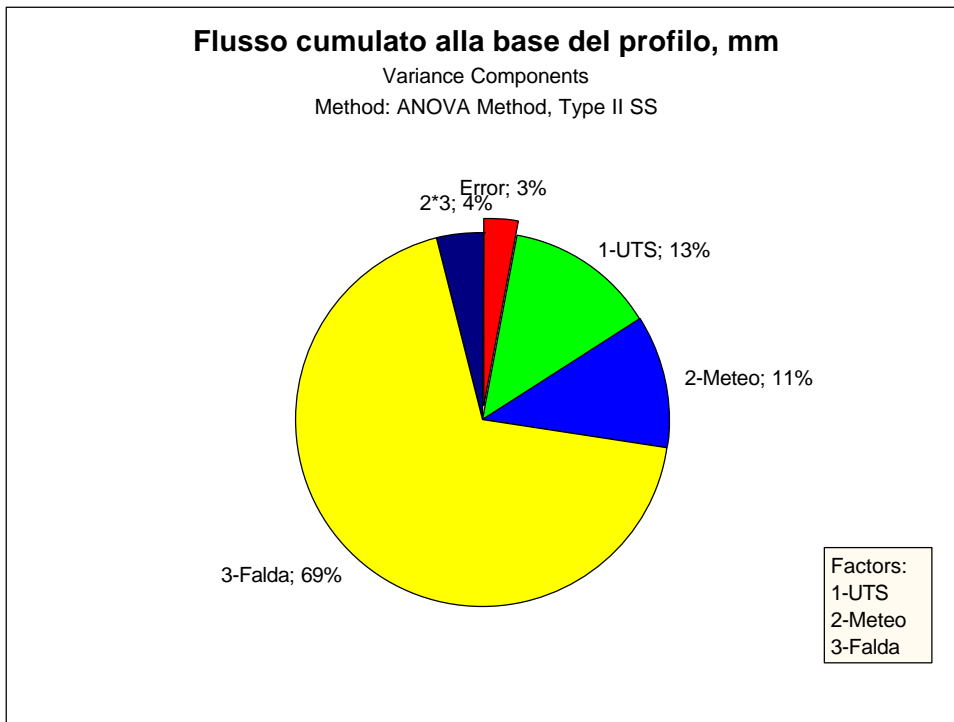


Figura 117. Flusso cumulato alla base del profilo: componenti della varianza.

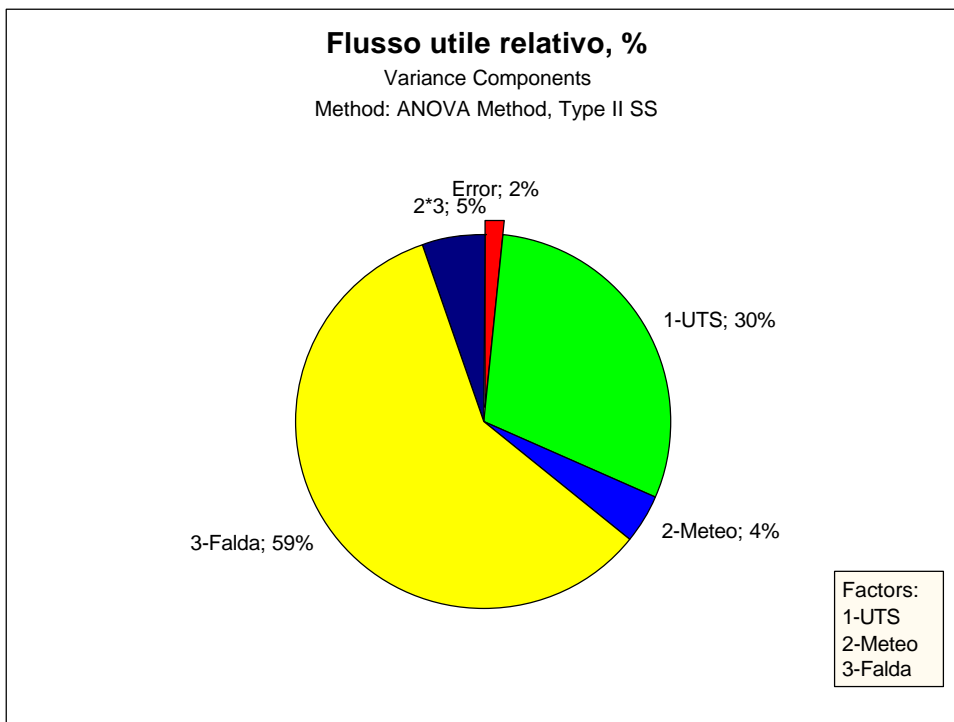


Figura 18. Flusso utile relativo alla base del profilo: componenti della varianza.

3.2. Simulazioni di bilancio azotato: risultati

Nella tabella 14 sono riassunti i risultati delle simulazioni effettuate da SOILN con apporti di fertilizzante azotato pari a 250 kg/ha/anno per l'arco temporale di 9 anni considerato (1994-2002) in termini di valori cumulati, mentre in tabella 15 i valori sono relativi agli apporti di nitrati contenuti sia nel fertilizzante minerale applicato sia nelle forme di deposizione atmosferica per via umida e via secca, con un range variabile, a seconda dell'entità dell'infiltrazione cumulata nei nove anni, tra 232 e 237 g/m².

Tabella 14. Risultati delle simulazioni con SOILN 1994-2002 dose singola, valori cumulati; Input: deposizione umida e secca + concimazione, valori cumulati (g/m²); NHARV: asportazioni alla raccolta (g/m²); TOTDEN: denitrificazione totale cumulata (g/m²); **D** Nmin: variazione pool N minerale (g/m²); **D** Norg: variazione pool N organico (g/m²); DLOSSM: perdite cumulate di nitrati via macropori (g/m²); DLOSST: perdite cumulate di nitrati via micropori (g/m²); Nleach: perdite nette cumulate di nitrati via micro+macropori (g/m²); SURRLOSS: perdite di nitrati per runoff superficiale (g/m²).*: simulazione con valori di Ksat misurati; **: simulazione con valori di Ksat stimati.

UTS	Profilo	Stazione meteo	Falda	Input	NHARV	TOTDEN	D Nmin	D Norg	DLOSSM	DLOSST	N leach	SURRLOSS
ALB	SINAP11	Agna	150	232.37	108.90	1.72	-4.68	39.81	0.206	0.000	0.206	86.426
ALB	SINAP11	Zero bianco	150	232.65	131.41	6.49	-4.56	26.85	1.711	-0.002	1.709	70.759
BOI	SINAP16	Castelfranco	assente	233.92	141.55	4.27	-7.60	84.57	6.675	0.127	6.802	4.330
BOI	SINAP16	Zero Branco	200	232.54	132.30	7.01	-7.26	61.52	3.438	-0.002	3.437	35.538
BSL	RVAP11	Agna	assente	235.35	149.49	14.25	-8.10	52.44	0.054	27.224	27.278	0.000
CAE	RV12P14	Agna	200	232.68	146.40	1.07	-0.85	81.84	4.250	-0.019	4.231	0.000
CBO	SINAP16	Agna	150	233.21	93.03	92.22	8.38	-66.10	97.633	-0.056	97.578	8.108
CMS	SINAP5	Zero Branco	200	233.54	151.53	11.07	-4.90	70.89	1.309	0.000	1.309	3.643
CON	RVAP31	Agna	150	231.79	92.97	3.21	-4.60	56.34	0.530	-0.036	0.494	83.362
CUS	SINAP18	Castelfranco	assente	236.62	154.29	32.60	-0.48	13.71	20.833	11.801	32.634	3.904
CUS	SINAP18	Zero Branco	assente	236.26	152.51	31.34	-0.31	15.59	21.002	12.044	33.045	4.081
CVL	VE2P137	Agna	120	232.54	139.58	5.06	-4.51	91.76	0.419	-0.023	0.396	0.259
GRV*	SINAP14	Castelfranco	assente	234.54	74.91	18.13	-2.60	16.66	2.968	1.766	4.734	122.707
GRV**	SINAP14	Castelfranco	assente	236.67	162.68	5.45	-4.87	45.78	22.175	5.479	27.654	-0.030
MAN	SINAP15	Castelfranco	assente	236.67	143.62	9.48	-3.81	45.07	0.218	42.086	42.304	0.002
MAN	SINAP15	Zero Branco	assente	236.30	140.67	9.13	-3.90	45.17	0.202	45.084	45.286	0.000
MMZ	SINAP8	Agna	150	232.34	153.79	2.75	241.26	-396.30	189.770	-0.080	189.690	41.157
MMZ	SINAP8	Agna	150	233.14	134.18	2.84	135.86	-385.32	279.480	-0.047	279.434	66.144
MOG	SINAP3	Castelfranco	200	233.54	130.97	3.65	-6.78	75.67	1.229	-0.008	1.222	28.801
MOG	SINAP3	Zero Branco	200	233.39	128.28	3.71	-6.60	75.44	1.802	-0.017	1.784	30.772
NOA	RV12P12	Castelfranco	assente	234.01	135.06	3.29	-5.85	100.02	0.225	1.176	1.401	0.095
NOA	RV12P12	Zero Branco	assente	233.60	132.86	3.17	-5.74	100.35	1.763	1.195	2.958	0.000
NOA	RV12P12	Zero Branco	200	233.47	134.86	3.29	-6.10	94.73	2.253	-0.016	2.236	4.460
PDS	SINAP12	Zero Branco	200	233.39	148.73	9.98	-6.42	73.41	3.387	0.000	3.387	4.302
QUA	RVAP25	Agna	150	231.63	69.92	2.81	-3.63	36.16	1.265	-0.020	1.246	125.125
QUA	RVAP25	Zero Branco	150	232.24	54.97	2.72	-2.91	26.41	1.344	-0.011	1.333	149.718
SNF	SINAP2	Castelfranco	assente	236.61	142.94	6.89	-6.27	62.58	0.795	29.665	30.460	0.000
TOL	RVAP29	Agna	120	232.72	126.29	1.14	-1.07	105.82	0.604	-0.065	0.539	0.000
TOL	RVAP29	Agna	assente	232.72	123.46	1.12	-1.09	108.53	0.000	0.708	0.708	0.000
TOL	RVAP29	Zero Branco	120	233.64	126.48	2.37	-1.11	104.19	1.767	-0.057	1.710	0.000
TOL	RVAP29	Zero Branco	assente	233.64	123.50	2.36	-1.12	106.37	0.000	2.538	2.538	0.000
TRN	RV11P2	Agna	150	232.42	166.13	3.73	-12.82	64.00	1.211	-0.082	1.129	10.248
TRS	BSL1P23	Castelfranco	assente	236.87	136.10	11.76	-7.70	73.17	0.000	23.541	23.541	0.000
TRS	SINAP17	Castelfranco	assente	236.67	183.17	16.01	-0.07	18.07	7.618	11.837	19.454	0.000
ZRM	SINAP4	Zero Branco	200	232.94	86.65	1.35	-4.26	46.77	0.696	-0.014	0.682	101.749

Tabella 15. Risultati delle simulazioni con SOILN 1994-2002 dose singola, valori relativi % ; Input: deposizione umida e secca + concimazione, valori cumulati (g/m²); NHARV: asportazioni alla raccolta (%); TOTDEN: denitrificazione totale cumulata (%); D Nmin: variazione pool N minerale (%); D Norg: variazione pool N organico (%); DLOSSM: perdite cumulate di nitrati via macropori (%); DLOSST: perdite cumulate di nitrati via micropori (%); Nleach: perdite nette cumulate di nitrati via micro+macropori (%); SURRLOSS: perdite di nitrati per runoff superficiale (%).*: simulazione con valori di Ksat misurati; **: simulazione con valori di Ksat stimati.

UTS	Profilo	Stazione meteo	Falda	Input	NHARV	TOTDEN	D Nmin	D Norg	DLOSSM	DLOSST	N leach	SURRLOSS
ALB	SINAP11	Agna	150	232.37	46.86	0.74	-2.01	17.13	0.09	0.00	0.09	37.19
ALB	SINAP11	Zero bianco	150	232.65	56.48	2.79	-1.96	11.54	0.74	0.00	0.73	30.41
BOI	SINAP16	Castelfranco	assente	233.92	60.51	1.83	-3.25	36.15	2.85	0.05	2.91	1.85
BOI	SINAP16	Zero Branco	200	232.54	56.89	3.01	-3.12	26.46	1.48	0.00	1.48	15.28
BSL	RVAP11	Agna	assente	235.35	63.52	6.05	-3.44	22.28	0.02	11.57	11.59	0.00
CAE	RV12P14	Agna	200	232.68	62.92	0.46	-0.37	35.17	1.83	-0.01	1.82	0.00
CBO	SINAP16	Agna	150	233.21	39.89	39.54	3.59	-28.34	41.86	-0.02	41.84	3.48
CMS	SINAP5	Zero Branco	200	233.54	64.88	4.74	-2.10	30.35	0.56	0.00	0.56	1.56
CON	RVAP31	Agna	150	231.79	40.11	1.38	-1.98	24.31	0.23	-0.02	0.21	35.96
CUS	SINAP18	Castelfranco	assente	236.62	65.21	13.78	-0.20	5.79	8.80	4.99	13.79	1.65
CUS	SINAP18	Zero Branco	assente	236.26	64.55	13.27	-0.13	6.60	8.89	5.10	13.99	1.73
CVL	VE2P137	Agna	120	232.54	60.02	2.18	-1.94	39.46	0.18	-0.01	0.17	0.11
GRV*	SINAP14	Castelfranco	assente	234.54	31.94	7.73	-1.11	7.10	1.27	0.75	2.02	52.32
GRV**	SINAP14	Castelfranco	assente	236.67	68.74	2.30	-2.06	19.34	9.37	2.32	11.68	-0.01
MAN	SINAP15	Castelfranco	assente	236.67	60.68	4.01	-1.61	19.04	0.09	17.78	17.87	0.00
MAN	SINAP15	Zero Branco	assente	236.3	59.53	3.86	-1.65	19.12	0.09	19.08	19.16	0.00
MMZ	SINAP8	Agna	150	232.34	66.19	1.18	103.84	-170.57	81.68	-0.03	81.64	17.71
MMZ	SINAP8	Agna	150	233.14	57.55	1.22	58.27	-165.27	119.88	-0.02	119.86	28.37
MOG	SINAP3	Castelfranco	200	233.54	56.08	1.56	-2.90	32.40	0.53	0.00	0.52	12.33
MOG	SINAP3	Zero Branco	200	233.39	54.96	1.59	-2.83	32.32	0.77	-0.01	0.76	13.18
NOA	RV12P12	Castelfranco	assente	234.01	57.72	1.41	-2.50	42.74	0.10	0.50	0.60	0.04
NOA	RV12P12	Zero Branco	assente	233.6	56.88	1.36	-2.46	42.96	0.75	0.51	1.27	0.00
NOA	RV12P12	Zero Branco	200	233.47	57.76	1.41	-2.61	40.57	0.97	-0.01	0.96	1.91
PDS	SINAP12	Zero Branco	200	233.39	63.73	4.28	-2.75	31.45	1.45	0.00	1.45	1.84
QUA	RVAP25	Agna	150	231.63	30.19	1.21	-1.57	15.61	0.55	-0.01	0.54	54.02
QUA	RVAP25	Zero Branco	150	232.24	23.67	1.17	-1.25	11.37	0.58	0.00	0.57	64.47
SNF	SINAP2	Castelfranco	assente	236.61	60.41	2.91	-2.65	26.45	0.34	12.54	12.87	0.00
TOL	RVAP29	Agna	120	232.72	54.27	0.49	-0.46	45.47	0.26	-0.03	0.23	0.00
TOL	RVAP29	Agna	assente	232.72	53.05	0.48	-0.47	46.64	0.00	0.30	0.30	0.00
TOL	RVAP29	Zero Branco	120	233.64	54.13	1.01	-0.48	44.59	0.76	-0.02	0.73	0.00
TOL	RVAP29	Zero Branco	assente	233.64	52.86	1.01	-0.48	45.53	0.00	1.09	1.09	0.00
TRN	RV11P2	Agna	150	232.42	71.48	1.60	-5.52	27.54	0.52	-0.04	0.49	4.41
TRS	BSL1P23	Castelfranco	assente	236.87	57.46	4.96	-3.25	30.89	0.00	9.94	9.94	0.00
TRS	SINAP17	Castelfranco	assente	236.67	77.39	6.76	-0.03	7.64	3.22	5.00	8.22	0.00
ZRM	SINAP4	Zero Branco	200	232.94	37.20	0.58	-1.83	20.08	0.30	-0.01	0.29	43.68

Nel tabella 16 sono riassunti i risultati delle simulazioni effettuate da SOILN con apporti di fertilizzante azotato pari a 400 kg/ha/anno per l'arco temporale di 9 anni considerato (1994-2002) in termini di valori cumulati, mentre in tabella 17 i valori sono relativi agli apporti di nitrati contenuti sia nel fertilizzante minerale applicato sia nelle forme di deposizione per via umida e via secca con un range variabile, a seconda dell'entità dell'infiltrazione cumulata nei nove anni, tra 366 e 372 g/m².

Tabella 16. Risultati delle simulazioni con SOILN 1994-2002 dose doppia, valori cumulati; Input: deposizione umida e secca + concimazione, valori cumulati (g/m²); NHARV: asportazioni alla raccolta (g/m²); TOTDEN: denitrificazione totale cumulata (g/m²); D Nmin: variazione pool N minerale (g/m²); D Norg: variazione pool N organico (g/m²); DLOSSM: perdite cumulate di nitrati via macropori (g/m²); DLOSST: perdite cumulate di nitrati via micropori (g/m²); Nleach: perdite nette cumulate di nitrati via micro+macropori (g/m²); SURRLOSS: perdite di nitrati per runoff superficiale (g/m²).*: simulazione con valori di Ksat misurati; **: simulazione con valori di Ksat stimati.

UTS	Profilo	Stazione meteo	Falda	Input	NHARV	TOTDEN	D Nmin	D Norg	DLOSSM	DLOSST	N leach	SURRLOSS
ALB	SINAP11	Agna	150	367.82	137.22	7.11	5.90	54.75	0.21	0.00	0.21	162.62
ALB	SINAP11	Zero bianco	150	367.20	140.99	23.32	27.53	45.97	6.75	0.00	6.75	122.65
BOI	SINAP16	Castelfranco	assente	368.47	195.79	10.71	-6.14	149.59	8.24	0.15	8.40	10.12
BOI	SINAP16	Zero Branco	200	367.09	160.39	13.33	-3.90	104.03	9.57	0.00	9.57	83.68
BSL	RVAP11	Agna	assente	369.90	201.32	22.96	-0.85	104.05	0.09	42.34	42.42	-0.01
CAE	RV12P14	Agna	200	367.23	182.36	1.47	49.81	115.36	18.22	-0.02	18.20	0.00
CBO	SINAP16	Agna	150	367.76	178.64	183.70	88.20	-351.77	243.89	-0.12	243.77	25.21
CMS	SINAP5	Zero Branco	200	368.99	180.01	30.30	15.59	98.28	38.84	0.00	38.84	6.01
CON	RVAP31	Agna	150	366.34	126.78	5.73	-4.49	96.41	0.48	-0.03	0.45	141.46
CUS	SINAP18	Castelfranco	assente	371.17	194.48	39.49	-9.17	104.69	23.91	12.11	36.02	5.70
CUS	SINAP18	Zero Branco	assente	370.81	191.19	38.02	-9.06	107.01	24.79	12.83	37.62	6.03
CVL	VE2P137	Agna	120	367.99	184.92	6.33	8.76	127.19	40.82	-0.02	40.79	0.00
GRV*	SINAP14	Castelfranco	assente	369.09	100.57	27.62	-2.61	39.95	3.76	2.04	5.79	197.76
GRV**	SINAP14	Castelfranco	assente	371.22	203.01	11.51	-1.85	83.74	59.42	15.39	74.81	0.00
MAN	SINAP15	Castelfranco	assente	371.22	189.87	12.95	-3.90	84.88	0.50	86.92	87.42	0.00
MAN	SINAP15	Zero Branco	assente	370.85	186.15	11.93	-3.96	84.35	0.40	91.97	92.37	0.00
MMZ	SINAP8	Agna	150	367.79	151.35	2.72	316.05	-385.30	212.20	-0.08	212.12	70.85
MMZ	SINAP8	Agna	150	367.69	131.58	2.81	179.48	-375.48	317.63	-0.05	317.59	111.72
MOG	SINAP3	Castelfranco	200	368.09	172.51	8.20	-4.80	127.59	1.37	-0.01	1.37	63.22
MOG	SINAP3	Zero Branco	200	368.84	170.09	7.65	-5.56	127.63	1.05	-0.01	1.05	67.97
NOA	RV12P12	Castelfranco	assente	368.56	194.03	7.85	-5.13	169.33	0.43	1.39	1.82	0.66
NOA	RV12P12	Zero Branco	assente	368.15	193.72	6.53	-5.41	168.49	3.16	1.67	4.84	0.00
NOA	RV12P12	Zero Branco	200	368.02	193.46	7.06	-5.48	163.20	2.86	-0.02	2.85	6.94
PDS	SINAP12	Zero Branco	200	368.84	180.64	33.42	-4.92	145.78	6.25	0.00	6.25	7.67
QUA	RVAP25	Agna	150	366.18	77.20	5.34	-1.83	50.87	0.97	-0.02	0.96	233.64
QUA	RVAP25	Zero Branco	150	366.79	64.16	4.26	-2.43	39.83	1.05	-0.01	1.05	259.93
SNF	SINAP2	Castelfranco	assente	372.06	198.45	8.90	-6.40	108.01	1.70	61.38	63.09	0.00
TOL	RVAP29	Agna	120	367.27	194.33	1.89	1.32	168.08	1.72	-0.07	1.65	0.00
TOL	RVAP29	Agna	assente	367.27	191.83	1.80	-0.42	171.43	0.00	2.61	2.61	0.00
TOL	RVAP29	Zero Branco	120	368.19	195.34	3.45	-0.66	166.52	3.61	-0.06	3.55	0.00
TOL	RVAP29	Zero Branco	assente	368.19	192.37	3.06	-1.12	168.58	0.00	5.29	5.29	0.00
TRN	RV11P2	Agna	150	366.97	201.26	11.12	15.55	113.79	7.74	-0.08	7.66	17.60
TRS	SINAP17	Castelfranco	assente	372.32	194.39	16.56	-7.71	136.19	0.00	32.83	32.83	0.00
TRS	SINAP17	Castelfranco	assente	371.22	209.07	23.23	-7.29	110.20	13.94	22.10	36.04	0.00
ZRM	SINAP4	Zero Branco	200	368.39	106.61	2.81	-3.85	69.06	0.66	-0.01	0.64	193.11

Tabella 17. Risultati delle simulazioni con SOILN 1994-2002 dose doppia, valori relativi %; Input: deposizione umida e secca + concimazione, valori cumulati (g/m²); NHARV: asportazioni alla raccolta (g/m²); TOTDEN: denitrificazione totale cumulata (g/m²); D Nmin: variazione pool N minerale (g/m²); D Norg: variazione pool N organico (g/m²); DLOSSM: perdite cumulate di nitrati via macropori (g/m²); DLOSST: perdite cumulate di nitrati via micropori (g/m²); Nleach: perdite nette cumulate di nitrati via micro+macropori (g/m²); SURRLOSS: perdite di nitrati per runoff superficiale (g/m²).*: simulazione con valori di Ksat misurati; **: simulazione con valori di Ksat stimati.

UTS	Profilo	Stazione meteo	Falda	Input	NHARV	TOTDEN	D Nmin	D Norg	DLOSSM	DLOSST	N leach	SURRLOSS
ALB	SINAP11	Agna	150	367.82	37.3	1.9	1.6	14.9	0.1	0.0	0.1	44.2
ALB	SINAP11	Zero bianco	150	367.20	38.4	6.3	7.5	12.5	1.8	0.0	1.8	33.4
BOI	SINAP16	Castelfranco	assente	368.47	53.1	2.9	-1.7	40.6	2.2	0.0	2.3	2.7
BOI	SINAP16	Zero Branco	200	367.09	43.7	3.6	-1.1	28.3	2.6	0.0	2.6	22.8
BSL	RVAP11	Agna	assente	369.90	54.4	6.2	-0.2	28.1	0.0	11.4	11.5	0.0
CAE	RV12P14	Agna	200	367.23	49.7	0.4	13.6	31.4	5.0	0.0	5.0	0.0
CBO	SINAP16	Agna	150	367.76	48.6	50.0	24.0	-95.7	66.3	0.0	66.3	6.9
CMS	SINAP5	Zero Branco	200	368.99	48.8	8.2	4.2	26.6	10.5	0.0	10.5	1.6
CON	RVAP31	Agna	150	366.34	34.6	1.6	-1.2	26.3	0.1	0.0	0.1	38.6
CUS	SINAP18	Castelfranco	assente	371.17	52.4	10.6	-2.5	28.2	6.4	3.3	9.7	1.5
CUS	SINAP18	Zero Branco	assente	370.81	51.6	10.3	-2.4	28.9	6.7	3.5	10.1	1.6
CVL	VE2P137	Agna	120	367.99	50.3	1.7	2.4	34.6	11.1	0.0	11.1	0.0
GRV*	SINAP14	Castelfranco	assente	369.09	27.2	7.5	-0.7	10.8	1.0	0.6	1.6	53.6
GRV**	SINAP14	Castelfranco	assente	371.22	54.7	3.1	-0.5	22.6	16.0	4.1	20.2	0.0
MAN	SINAP15	Castelfranco	assente	371.22	51.1	3.5	-1.1	22.9	0.1	23.4	23.6	0.0
MAN	SINAP15	Zero Branco	assente	370.85	50.2	3.2	-1.1	22.7	0.1	24.8	24.9	0.0
MMZ	SINAP8	Agna	150	367.79	41.2	0.7	85.9	-104.8	57.7	0.0	57.7	19.3
MMZ	SINAP8	Agna	150	367.69	35.8	0.8	48.8	-102.1	86.4	0.0	86.4	30.4
MOG	SINAP3	Castelfranco	200	368.09	46.9	2.2	-1.3	34.7	0.4	0.0	0.4	17.2
MOG	SINAP3	Zero Branco	200	368.84	46.1	2.1	-1.5	34.6	0.3	0.0	0.3	18.4
NOA	RV12P12	Castelfranco	assente	368.56	52.6	2.1	-1.4	45.9	0.1	0.4	0.5	0.2
NOA	RV12P12	Zero Branco	assente	368.15	52.6	1.8	-1.5	45.8	0.9	0.5	1.3	0.0
NOA	RV12P12	Zero Branco	200	368.02	52.6	1.9	-1.5	44.3	0.8	0.0	0.8	1.9
PDS	SINAP12	Zero Branco	200	368.84	49.0	9.1	-1.3	39.5	1.7	0.0	1.7	2.1
QUA	RVAP25	Agna	150	366.18	21.1	1.5	-0.5	13.9	0.3	0.0	0.3	63.8
QUA	RVAP25	Zero Branco	150	366.79	17.5	1.2	-0.7	10.9	0.3	0.0	0.3	70.9
SNF	SINAP2	Castelfranco	assente	372.06	53.3	2.4	-1.7	29.0	0.5	16.5	17.0	0.0
TOL	RVAP29	Agna	120	367.27	52.9	0.5	0.4	45.8	0.5	0.0	0.4	0.0
TOL	RVAP29	Agna	assente	367.27	52.2	0.5	-0.1	46.7	0.0	0.7	0.7	0.0
TOL	RVAP29	Zero Branco	120	368.19	53.1	0.9	-0.2	45.2	1.0	0.0	1.0	0.0
TOL	RVAP29	Zero Branco	assente	368.19	52.2	0.8	-0.3	45.8	0.0	1.4	1.4	0.0
TRN	RV11P2	Agna	150	366.97	54.8	3.0	4.2	31.0	2.1	0.0	2.1	4.8
TRS	BSL1P23	Castelfranco	assente	372.32	52.2	4.4	-2.1	36.6	0.0	8.8	8.8	0.0
TRS	SINAP17	Castelfranco	assente	371.22	56.3	6.3	-2.0	29.7	3.8	6.0	9.7	0.0
ZRM	SINAP4	Zero Branco	200	368.39	28.9	0.8	-1.0	18.7	0.2	0.0	0.2	52.4

In figura 19 è riportato il grafico con la quantità di nitrati totali medi annui in uscita alla base del profilo, via micro- e macropori per le due dosi di concime minerale applicato. Come si nota dal grafico, i flussi totali medi annui alla base del profilo sono nettamente maggiori nei due profili organici delle aree di bonifica della bassa pianura recente dell'Adige (MMZ, CBO), i quali, a causa dell'elevato contenuto in carbonio organico, sono caratterizzati nelle condizioni ambientali e colturali simulate da alti livelli di nitrificazione e, a causa della presenza della falda, da conseguenti notevoli perdita di azoto minerale per denitrificazione. Seguono in ordine di lisciviazione decrescente i suoli di alta pianura, ricchi di scheletro e caratterizzati da notevoli apporti irrigui; come si può

osservare nei dati riportati nelle tabelle, l'ordine varia a seconda della dose. Nel caso della dose più bassa l'ordine è il seguente: MAN > CUS > SNF > GRV > BSL > TRS, mentre per la dose più elevata si osserva il seguente ordinamento decrescente: MAN > GRV > SNF > BSL > CVL > CMS. In questo secondo caso tra i primi sei profili in termini di lisciviazione cumulata di nitrati compaiono oltre a quattro suoli di alta pianura anche le UTS CVL e CMS caratterizzate da tessitura grossolana ed elevati valori di conducibilità idrica saturata in presenza di falda.

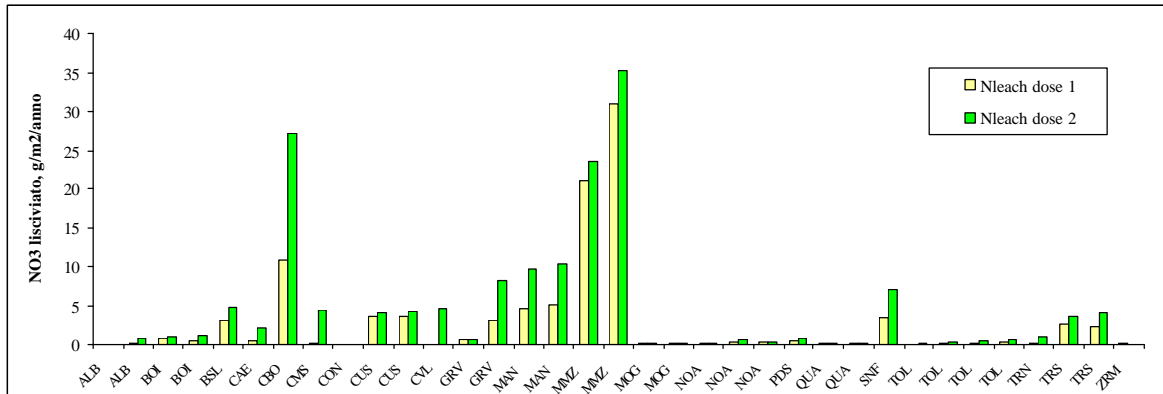


Figura 19. Perdite medie di nitrati alla base del profilo, g/m²/anno.

Il profilo SINA P11 (UTS ALB) presenta in assoluto le perdite di nitrati più contenute per entrambe le dosi di fertilizzante applicato, soprattutto se simulato in abbinamento con i dati meteorologici di Agna. La figura 20 mostra i flussi utili sempre alla base del profilo suddivisi nelle due componenti, ossia rispettivamente attraverso micropori e macropori. Come si può notare, analogamente a quanto osservato per i flussi, nei profili simulati con la presenza della falda alla base del profilo, la lisciviazione dei nitrati avviene prevalentemente per via macropori. Nei suoli nei quali invece non è stata simulata la falda, il flusso in discesa avviene prevalentemente via micropori o macropori in funzione del valore del parametro ASCALE (mm) che descrive sinteticamente l'effetto della struttura sulla ripartizione dei flussi e dei soluti e del contenuto idrico nei due domini di porosità.

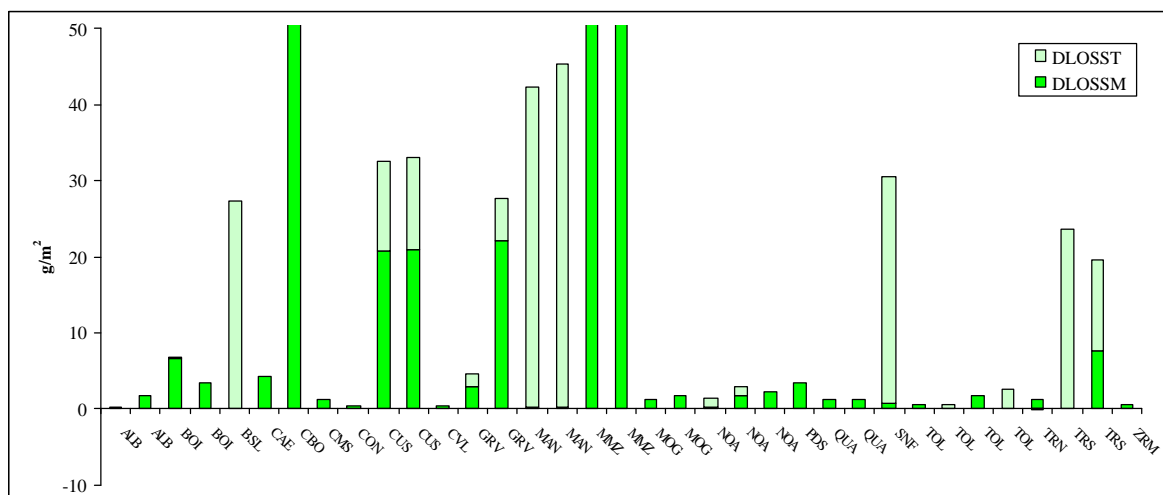


Figura 20. Perdite cumulative di nitrati alla base del profilo 1994-2002, g/m²; DLOSST: perdite via micropori; DLOSSM: perdite via macropori. I valori relativi ai suoli organici CBO e MMZ sono troncati per motivi di scala.

I risultati delle simulazioni di bilancio azotato sono stati sottoposti a test statistici di significatività al fine di verificare l'esistenza di differenze statisticamente significative nei valori medi e relativi delle quantità di nitrati lisciviati in funzione degli scenari simulati in termini di unità tipologica di suolo, falda e stazione meteorologica.

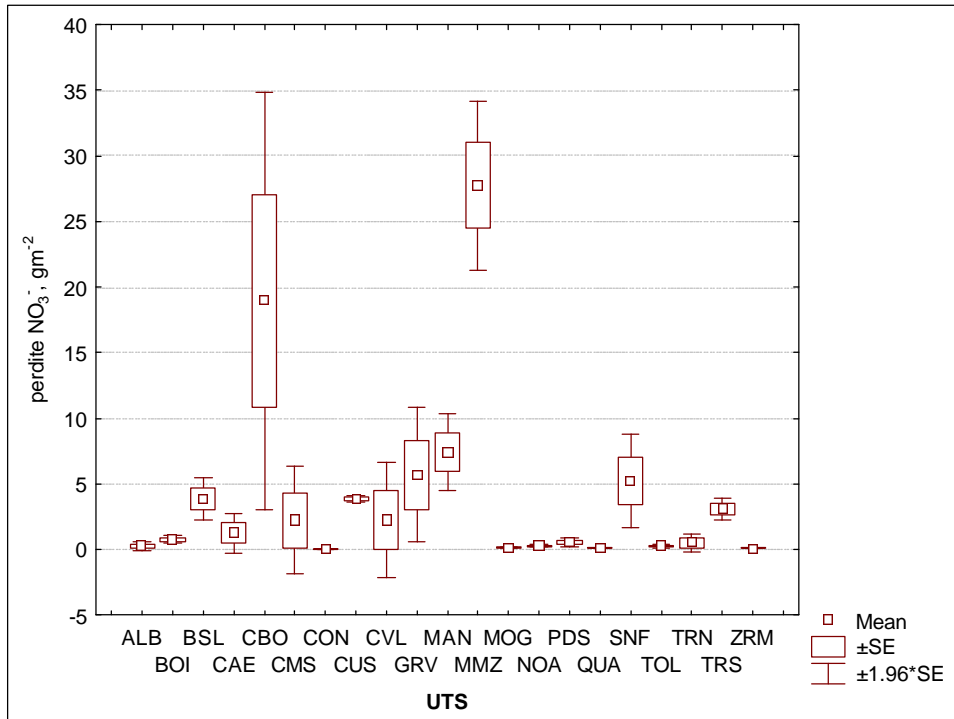


Figura 21. Lisciviazione media annua alla base del profilo (g/m^2) nelle diverse UTS, dosi singola e doppia.

Media g/m^2	ALB	BOI	BSL	CAE	CBO	CMS	CON	CUS	CVL	GRV	MAN	MMZ	MOG	NOA	PDS	QUA	SNF	TOL	TRN	TRS	ZRM
	0.247	0.783	3.872	1.246	18.964	2.231	0.052	3.870	2.288	5.693	7.427	27.745	0.151	0.298	0.536	0.127	5.197	0.258	0.488	3.108	0.074
ALB		1.000	0.998	1.000	0.000	1.000	1.000	0.926	1.000	0.881	0.046	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.945	1.000	1.000	0.993	1.000
BOI	1.000		1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.983	1.000	0.949	0.094	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.981	1.000	1.000	0.999	1.000
BSL	0.998	1.000		1.000	0.000	1.000	0.996	1.000	1.000	1.000	0.999	0.000	0.997	0.998	0.999	0.997	1.000	0.998	0.999	1.000	0.997
CAE	1.000	1.000	1.000		0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.980	0.732	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995	1.000	1.000	1.000	1.000
CBO	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.011	0.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
CMS	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000		1.000	1.000	1.000	0.999	0.917	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
CON	1.000	1.000	0.996	1.000	0.000	1.000		0.996	1.000	0.848	0.427	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.924	1.000	1.000	1.000	1.000
CUS	0.926	0.983	1.000	1.000	0.000	1.000	0.996		1.000	1.000	0.937	0.000	0.909	0.934	0.999	0.904	1.000	0.928	0.999	1.000	0.997
CVL	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000		0.999	0.924	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
GRV	0.881	0.949	1.000	0.980	0.002	0.999	0.848	1.000	0.999		1.000	0.000	0.865	0.889	0.922	0.861	1.000	0.883	0.916	1.000	0.852
MAN	0.046	0.094	0.999	0.732	0.011	0.917	0.427	0.937	0.924	1.000		0.000	0.040	0.049	0.551	0.039	1.000	0.047	0.538	0.749	0.432
MMZ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MOG	1.000	1.000	0.997	1.000	0.000	1.000	1.000	0.909	1.000	0.865	0.040	0.000		1.000	1.000	1.000	0.935	1.000	1.000	0.990	1.000
NOA	1.000	1.000	0.998	1.000	0.000	1.000	1.000	0.934	1.000	0.889	0.049	0.000	1.000		1.000	1.000	0.950	1.000	1.000	0.994	1.000
PDS	1.000	1.000	0.999	1.000	0.000	1.000	1.000	0.999	1.000	0.922	0.551	0.000	1.000	1.000		1.000	0.968	1.000	1.000	1.000	1.000
QUA	1.000	1.000	0.997	1.000	0.000	1.000	1.000	0.904	1.000	0.861	0.039	0.000	1.000	1.000	1.000		0.932	1.000	1.000	0.989	1.000
SNF	0.945	0.981	1.000	0.995	0.001	1.000	0.924	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.935	0.950	0.968	0.932		0.946	0.965	1.000	0.926
TOL	1.000	1.000	0.998	1.000	0.000	1.000	1.000	0.928	1.000	0.883	0.047	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.946		1.000	0.993	1.000
TRN	1.000	1.000	0.999	1.000	0.000	1.000	1.000	0.999	1.000	0.916	0.538	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.965	1.000		1.000	1.000
TRS	0.993	0.999	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.749	0.000	0.990	0.994	1.000	0.989	1.000	0.993	1.000		1.000
ZRM	1.000	1.000	0.997	1.000	0.000	1.000	1.000	0.997	1.000	0.852	0.432	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.926	1.000	1.000	1.000	

Tabella 18. Nitrati lisciviati alla base del profilo, valori medi ($g/m^2/anno$): test di significatività delle medie.

In figura 21 sono riportati, aggregati in funzione delle UTS, le quantità medie annue di nitrati lisciviati alla base del profilo, considerando sia la dose singola che la doppia. Come si può facilmente rilevare in tabella 18, i test di significatività delle medie rilevano il comportamento peculiare dei due suoli organici CBO (18.9 g/m²/anno) e MMZ (27.7 g/m²/anno), che si differenziano da tutti gli altri ma non tra di loro. Inoltre tra i suoli di alta pianura si distingue il MAN la cui lisciviazione media di nitrati (7.43 g/m²/anno) risulta statisticamente differente da quella osservata per QUA (0.13 g/m²/anno), MOG (0.15 g/m²/anno), ALB (0.25 g/m²/anno), TOL (0.26 g/m²/anno) e NOA (0.30 g/m²/anno).

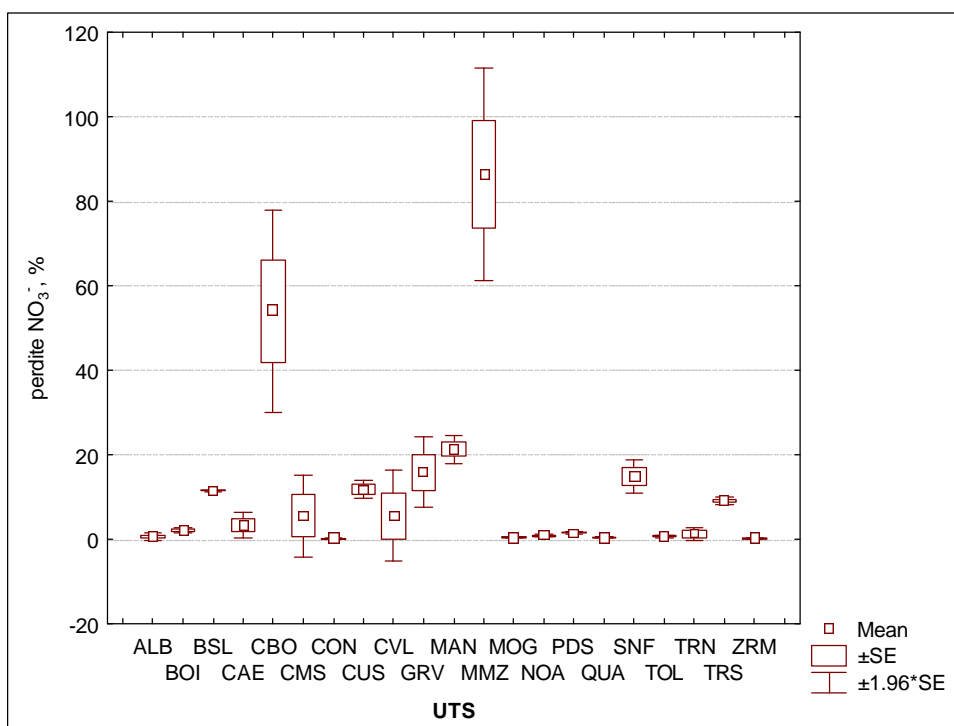


Figura 22. Lisciviazione relativa alla base del profilo (%) nelle diverse UTS, dosi singola e doppia.

Le risposte delle diverse UTS in termini relativi sono riportate in figura 22: in questo caso si osservano i medesimi andamenti rilevati per i dati espressi in termini di valori medi annui e le stesse differenze significative. A differenza di quanto osservato nei valori medi, tuttavia, le UTS MMZ e CBO risultano statisticamente diverse nei loro valori medi relativi, pari rispettivamente a 86.4 e 54.1%. Tra i suoli di alta pianura anche in questo caso è l'UTS MAN a distinguersi significativamente da un gruppo di UTS con valori di perdite medie relative inferiori all'1% (QUA, MOG, ALB, TOL e NOA).

Al fine di analizzare l'influenza dei fattori ambientali e di gestione agronomica quali la stazione meteorologica, la presenza e la profondità della falda, gli apporti irrigui e di fertilizzante minerale, sono state escluse dai dati le due UTS caratterizzate da suoli organici, in quanto il loro peculiare comportamento in termini di bilancio azotato in generale e di perdite di nitrati liberati in seguito ai notevoli processi di mineralizzazione a carico dei pool presenti negli orizzonti organici tende a mascherare il ruolo giocato dagli altri fattori ambientali e ad aumentare notevolmente la variabilità osservata, ad esempio, a livello di raggruppamenti in termini di stazione meteorologica.

A titolo di esempio si riportano in figura 23.a e 23.b i valori medi e gli intervalli di confidenza relativi alle perdite medie annue di nitrati in funzione della stazione meteorologica e degli apporti irrigui: si osserva chiaramente come la presenza dei suoli

organici in corrispondenza della stazione di Agna (fig. 23.a) renda poco efficaci e comprensibili i test statistici aumentando notevolmente la variabilità del data set.

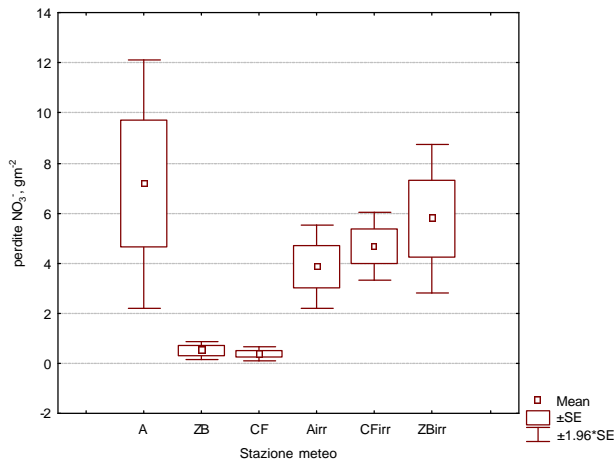


Figura 23.a

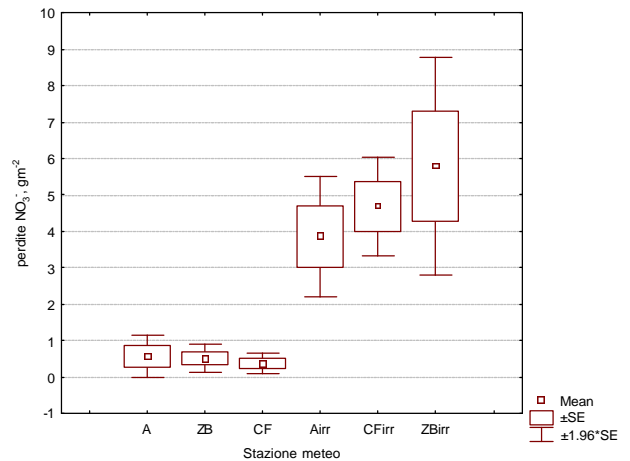


Figura 23.b

Nel primo caso risultano infatti statisticamente differenti le medie relative ad Agna e Zero Branco con sola irrigazione di soccorso; nel secondo, più logicamente, risultano significative le differenze tra i tre scenari caratterizzati da ingenti apporti irrigui (580 mm/anno) e i tre caratterizzati dalla sola irrigazione di soccorso. Queste considerazioni valgono sia osservando i valori in senso assoluto (figure 23.a e 23.b) sia quelli relativi (tabelle 19 e 20).

Media %	A	ZB	CF	Airr	CFirr	ZBirr
	21.69	1.45	1.20	11.53	13.61	17.05
A		0.0293	0.5610	0.9969	0.9378	0.9996
ZB	0.0293		1.0000	0.9970	0.7297	0.9048
CF	0.5610	1.0000		0.9966	0.9140	0.8988
Airr	0.9969	0.9970	0.9966		1.0000	0.9999
CFirr	0.9378	0.7297	0.9140	1.0000		0.9999
ZBirr	0.9996	0.9048	0.8988	0.9999	0.9999	

Tabella 19.

Media %	A	ZB	CF	Airr	CFirr	ZBirr
	1.47	1.45	1.20	11.53	13.61	17.05
A		1.0000	1.0000	0.0409	0.0001	0.0001
ZB	1.0000		1.0000	0.0400	0.0001	0.0001
CF	1.0000	1.0000		0.0329	0.0001	0.0001
Airr	0.0409	0.0400	0.0329		0.9887	0.5606
CFirr	0.0001	0.0001	0.0001	0.9887		0.6853
ZBirr	0.0001	0.0001	0.0001	0.5606	0.6853	

Tabella 20.

L'effetto della presenza e della profondità della falda è facilmente apprezzabile in figura 24 dove sono illustrati i valori medi per le perdite in nitrati (g/m²/anno) in funzione del regime di falda imposto al contorno inferiore del sistema da simulare.

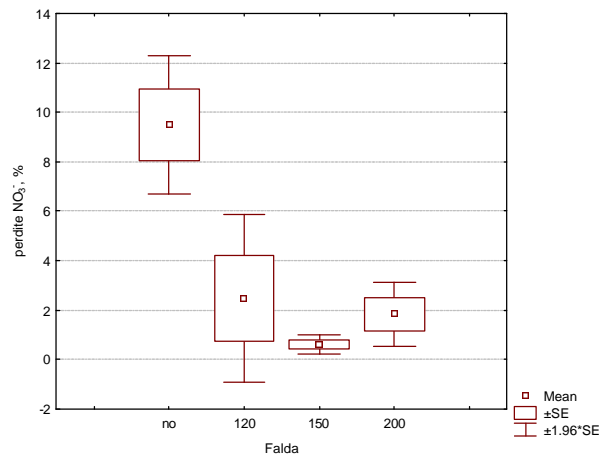


Figura 24 Perdite relative % in funzione del regime di falda imposto.

In questo caso il valore medio osservato in assenza di falda (9.5%) si distingue in maniera significativa da quello relativo alle due falde più profonde.

Un altro importante livello da considerare è l'effetto delle due differenti dosi di concime minerale apportate; anche in questo caso i risultati relativi ai suoli con orizzonti organici sono stati omessi. In termini di valori medi annui di nitrati lisciviati alla base del profilo, la dose doppia comporta un rilascio più che doppio ($2.40 \text{ g/m}^2/\text{anno}$) rispetto alla dose singola ($1.15 \text{ g/m}^2/\text{anno}$) e in questo caso la differenza tra i due valori medi è statisticamente significativa. In termini relativi le differenze tra le due dosi non sono più significative come è logico attendersi; tuttavia il valore relativo per la dose doppia (5.8 %) è pur sempre maggiore rispetto a quello calcolato per la dose singola (4.4%).

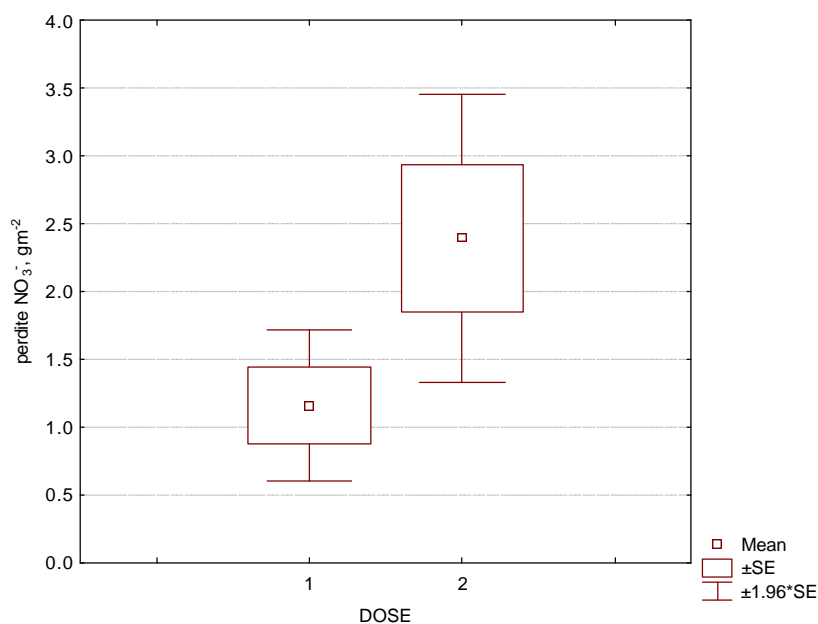


Figura 25. Perdite medie annue ($\text{g/m}^2/\text{anno}$) in funzione degli apporti di fertilizzanti minerali.

Anche per gli output di SOILN è stata effettuata un'analisi delle componenti della varianza per valutare l'incidenza delle diverse combinazioni suolo-falda-stazione meteo/irrigazione. Anche in questo caso, al fine di rendere più chiaramente interpretabili i risultati dell'analisi, gli output delle simulazioni relative ai due profili con orizzonti organici sono stati esclusi dal data set. I risultati dell'analisi delle componenti della varianza per il flusso cumulato alla base del profilo e per il flusso utile relativo sono sinteticamente illustrati nelle figure 23 e 24. Nel primo caso, il fattore suolo e quello clima/irrigazione sono responsabili rispettivamente del 37 e del 26% della variazione osservata nella quantità media annua di nitrati lisciviati, mentre la falda e la dose apportata spiegano rispettivamente l'11% ed il 4% della variazione osservata; quote minori imputabili a effetti incrociati tra i precedenti fattori arrivano nel complesso a spiegare circa il 16% della varianza, con un ruolo leggermente maggiore giocato dal fattore "clima x falda", lasciando un 6% di errore. Il termine di errore si riduce al 3% nel caso della perdita di nitrati espressa come quantità relativa agli apporti, e la situazione appare sensibilmente modificata secondo quanto era logico attendersi: la variazione nel fattore dose si riduce a circa l'1% con aumento della percentuale di varianza spiegata dalla variabilità negli altri fattori: suolo 39%, clima 28% e falda 15% rispettivamente. Il ruolo dei fattori incrociati appare sensibilmente ridotto, con un totale di varianza ad essi imputata pari al 14%, accompagnata dalla scomparsa del fattore "falda x dose".

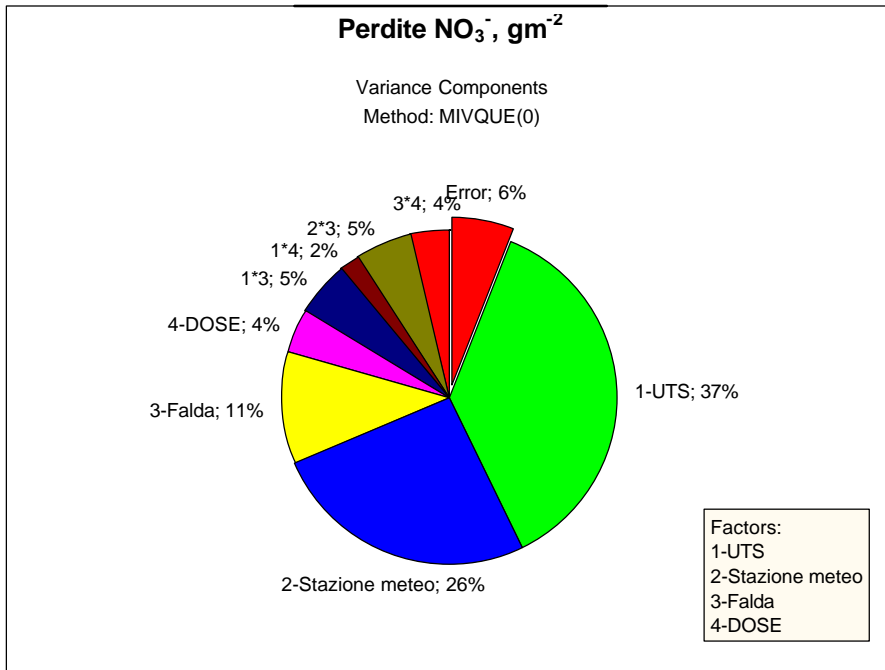


Figura 26. Perdite di nitrati per lisciviazione, valori medi annui: componenti della varianza

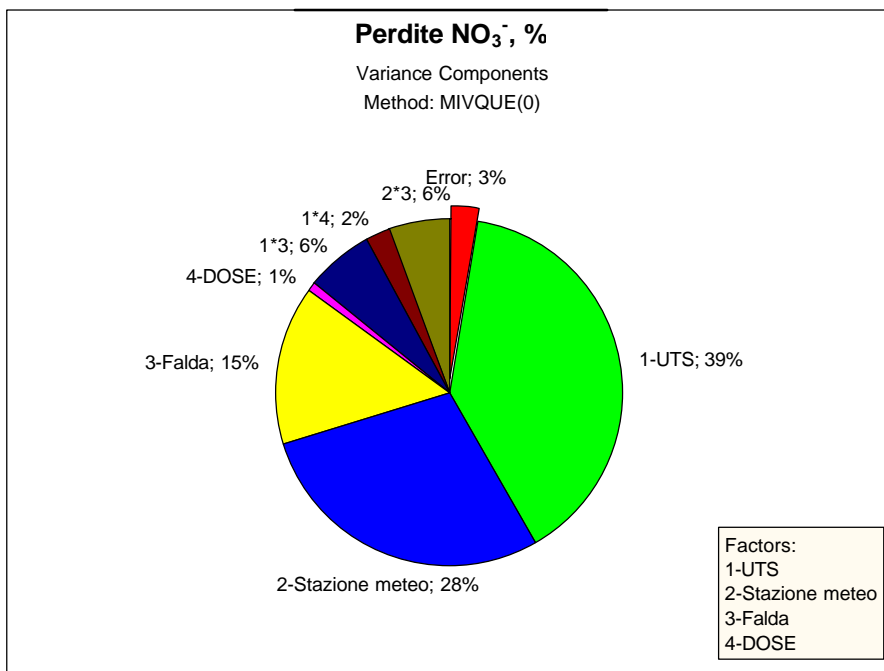


Figura 27. Perdite di nitrati per lisciviazione, valori relativi in funzione degli apporti: componenti della varianza

3.3. Capacità protettiva dei suoli capisaldo

Sulla base dei risultati delle simulazioni effettuate sono state attribuite a ciascuna UTS delle classi di capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque profonde. Come nella prima serie di simulazioni, tali classi sono state definite sulla base dell'analisi dei risultati delle simulazioni effettuate durante il progetto SINA e sono basate sui flussi in uscita alla base del profilo, assumendo, sulla base di simulazioni con il programma SOILN per la valutazione del destino di composti azotati nel suolo, una relazione fra flussi e quantità di nitrati dilavati. Le classi sono definite secondo gli intervalli di valori riportati in tabella 21 e possono essere definite in funzione dei flussi utili relativi o dei flussi medi annui

Tabella 21. Limiti proposti per la capacità protettiva acque profonde.

CLASSE	TFLOW rel %	NO ₃ ⁻ , rel. %	TFLOW mm/anno	NO ₃ ⁻ , g/m ² /anno
VL	>40%	>15%	>600	>8
ML	29-40%	10.1-15%	320 - 600	5-8
MH	12-28%	5.1-10%	140 - 320	2-5
H	<12%	<5%	>140	<2

Applicando queste classi ai risultati delle simulazioni dei profili selezionati, si ottengono i risultati riportati nella tabella 22. La capacità protettiva è espressa sia come valore assoluto, sia come valore relativo, ossia in rapporto agli input idrici apportati (meteorici ed irrigui). Anche le perdite di azoto vengono espresse come valori assoluto e relativo, ossia in rapporto alla quantità di azoto somministrata con la fertilizzazione. Le classi di capacità protettiva calcolate utilizzando le perdite di nitrati, medie o relative, sono state attribuite sia in base ai soli risultati (flusso utile relativo, TFLOW rel%, con o senza il contributo al flusso laterale in scolina alla base del profilo) delle simulazioni di bilancio idrico effettuate con MACRO, utilizzando la seguente relazione (Calzolari e Ungaro, 2001):

$$\text{NO}_3^-, \text{ rel. \%} = 0.1388 (\text{TFLOW rel \%})^{1.2618},$$

sia utilizzando i risultati delle simulazioni con SOILN per le due dosi, anche al fine di valutare la capacità di stimare le perdite azotate basandosi sui soli output di MACRO.

Come indicato nella tabella 22, nella quale i valori di flusso utile sono comprensivi del contributo al flusso laterale in scolina alla base del profilo, i suoli a minor capacità protettiva (classe VL) sono quelli dell'alta pianura, sia che abbiano tessitura grossolana come quelli delle unità tipologiche SNF e MAN, che più fine, come l'unità TRS e BSL, ma maggiormente ricchi in scheletro; a parità di suolo e di pratiche irrigue questi ultimi presentano un comportamento più protettivo se associati ad una stazione caratterizzata da una piovosità inferiore, come Agna.

I suoli altamente protettivi risultano essere quelli delle unità tipologiche ALB, CAE, CON, PDS, NOA (in assenza di falda e nella stazione meteo di Zero Branco) e ZRM; all'interno di queste possiamo ulteriormente distinguerne alcune maggiormente protettive, come è il caso di ALB, la cui qualità non viene influenzata dall'abbinamento con la stazione meteorologica adottata nella simulazione. In altri casi, invece, l'unità di suolo passa ad una categoria più bassa se associata ad una stazione più piovosa. E' il caso dell'unità NOA che se associata alla stazione di Agna risulta essere altamente protettiva, mentre passa a mediamente protettiva se associata a Castelfranco; allo stesso modo si comporta l'unità MOG, che viene penalizzata dall'associazione con la stazione di Castelfranco.

Tabella 22. Classi di capacità protettiva nei confronti delle acque profonde attribuite in base agli output di MACRO: flusso utile relativo (%) e flusso utile medio (mm/anno) comprensivi del contributo al flusso laterale in scolina. *: simulazione con valori di Ksat misurati; **: simulazione con valori di Ksat stimati.

SITO	UTS	METEO	Falda	flusso utile relativo	flusso utile medio	Classe in base al flusso utile relativo	Classe in base al flusso utile medio
SINAP11	ALB	Agna	150	0.7	5.8	VH	VH
SINAP11	ALB	Zero Branco	150	4.6	45.1	VH	VH
SINAP16	BOI	Castelfranco	assente	35.2	371.1	ML	ML
SINAP16	BOI	Zero Branco	200	12.2	119.5	MH	VH
RVAP11	BSL	Agna	assente	41.0	551.1	VL	ML
RV12P14	CAE	Agna	200	10.8	85.9	VH	VH
SINAP19	CBO	Agna	150	27.2	217.4	MH	MH
SINAP5	CMS	Zero Branco	200	21.2	207.5	MH	MH
RVAP31	CON	Agna	150	1.2	9.3	VH	VH
SINAP18	CUS	Castelfranco	assente	47.6	755.6	VL	VL
SINAP18	CUS	Zero Branco	assente	46.5	707.8	VL	VL
CVL	CVL	Agna	120	23.5	187.4	MH	MH
SINAP14	GRV*	Castelfranco	assente	20.4	326.7	MH	ML
SINAP14	GRV**	Castelfranco	assente	45.8	733.3	VL	VL
SINAP15	MAN	Castelfranco	assente	48.1	770.0	VL	VL
SINAP15	MAN	Zero Branco	assente	47.6	724.4	VL	VL
SINAP8	MMZ	Agna	150	15.5	124.0	MH	VH
SINAP8	MMZ	Agna	150	20.5	200.8	MH	MH
SINAP4	MOG	Zero Branco	200	12.9	126.9	MH	VH
SINAP4	MOG	Castelfranco	200	14.5	152.9	MH	MH
RV12P12	NOA	Castelfranco	assente	22.4	236.7	MH	MH
RV12P12	NOA	Zero Branco	assente	10.1	99.2	VH	VH
RV12P12	NOA	Zero Branco	200	17.9	175.2	MH	MH
SINA12	PDS	Zero Branco	200	14.7	143.8	MH	MH
RVAP25	QUA	Agna	150	12.0	96.0	MH	VH
RVAP25	QUA	Zero Branco	150	14.6	142.8	MH	MH
SINAP2	SNF	Castelfranco	assente	44.6	711.1	VL	VL
RVAP29	TOL	Agna	assente	33.1	264.7	ML	MH
RVAP29	TOL	Agna	120	27.6	221.1	MH	MH
RVAP29	TOL	Zero Branco	assente	39.5	384.8	ML	ML
RVAP29	TOL	Zero Branco	120	36.2	355.6	ML	ML
RV11P2	TRN	Agna	150	14.8	117.9	MH	VH
SINAP17	TRS	Castelfranco	assente	47.5	754.4	VL	VL
BSL1	TRS	Castelfranco	assente	45.1	719.7	VL	VL
SINA13	ZRM	Zero Branco	200	8.2	80.8	VH	VH

I valori di flusso utile medio (mm/anno) e di flusso utile relativo (%) raggruppati in termini classi di vulnerabilità attribuite in funzione dei valori limite riportati nella tabella 21 sono stati analizzati al fine di evidenziare l'esistenza di eventuali differenze statisticamente significative tra i valori medi dei quattro gruppi (figura 28). Nel caso delle classi definite in base al flusso medio annuo, tutti i valori medi risultano essere significativamente differenti tra loro al livello $p < 0.05$ (tabella 23); nel caso delle classi definite in base al flusso utile relativo le classi ML e VL risultano essere significativamente differenti tra loro al livello $p < 0.10$ (tabella 24) mentre tutte le altre differenze sono significative per $p < 0.05$ (tabella 24).

Media	VH	ML	MH	VL
mm/anno	82.3	425.9	185.4	734.6
VH		0.00016	0.00025	0.00016
ML	0.00016		0.00016	0.00016
MH	0.00025	0.00016		0.00016
VL	0.00016	0.00016	0.00016	

Tabella 23.

Media	VH	ML	MH	VL
% rel.	8.0	35.7	45.9	18.3
VH		0.00016	0.00016	0.00016
ML	0.00016		0.05465	0.00052
MH	0.00016	0.05465		0.00016
VL	0.00016	0.00052	0.00016	

Tabella 24.

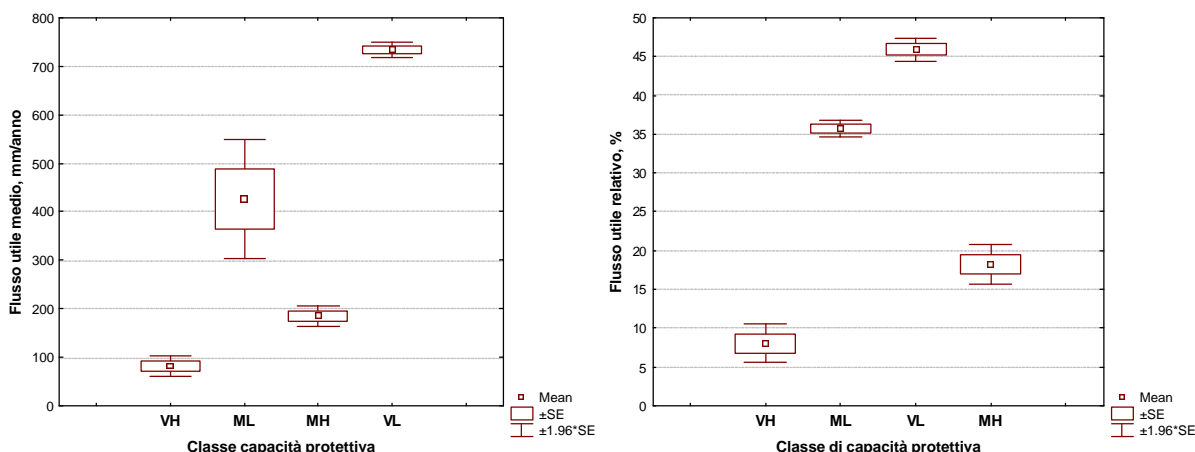


Figura 28. Classi di capacità protettiva in funzione del flusso utile relativo (destra) e del flusso utile medio annuo (sinistra).

In tabella 25 l'attribuzione delle classi di vulnerabilità è fatta considerando i valori di flusso utile medio e relativo, al netto del contributo al flusso laterale in scolina alla base del profilo: i flussi sono quindi quelli dai soli macropori in caso di presenza di falda e flusso cumulato dai micropori negativo, da micro- e macropori nel caso in cui i valori cumulati dai due siano entrambi positivi.

Dall'esame delle attribuzioni delle classi di capacità protettiva riportate nelle tabelle 22 e 25, si rileva come il considerare il contributo al flusso laterale in scolina alla base del profilo quale componente del flusso utile (tabella 22), comporti una valutazione più cautelativa nel caso dei suoli con falda, con conseguente attribuzione di una classe di capacità protettiva più bassa in 7 casi su 35 per le stime in base al flusso utile relativo e in 5 casi su 35 per le stime in base al flusso utile medio. In particolare nel caso del flusso relativo, le attribuzioni passano dalla classe VH alla classe MH in cinque casi (TRN con falda a 150 cm, QUA con falda a 150 cm, BOI con falda a 200 cm e CVL con falda a 120 cm) e dalla classe ML a MH in due casi (TOL con falda a 120 cm). Nel caso del flusso medio le attribuzioni passano dalla classe VH alla classe MH in quattro casi (TRN con falda a 150 cm, QUA con falda a 150 cm e stazione meteo Zero bianco, CVL con falda a 120 cm e TOL con falda a 120 cm e stazione meteo Agna) e dalla classe ML a MH in un solo caso (TOL con falda a 120 cm e stazione meteo Zero Branco).

Tabella 25. Classi di capacità protettiva nei confronti delle acque profonde attribuite in base agli output di MACRO: flusso utile relativo (%) e flusso utile medio (mm/anno), al netto del contributo al flusso laterale in scolina alla base del profilo. *: simulazione con valori di Ksat misurati; **: simulazione con valori di Ksat stimati. Sono evidenziati i casi in cui l'esclusione del contributo al flusso laterale in scolina comporta l'attribuzione di una classe di capacità protettiva diversa da quelle riportate in tabella 22.

SITO	UTS	METEO	Falda	Flusso utile relativo	Flusso utile medio	Classe in base al flusso utile relativo	Classe in base al flusso utile medio
SINAP11	ALB	Agna	150	0.7	5.8	VH	VH
SINAP11	ALB	Zero Branco	150	4.5	44.3	VH	VH
SINAP16	BOI	Castelfranco	assente	35.2	371.1	ML	ML
SINAP16	BOI	Zero Branco	200	11.8	115.3	VH	VH
RVAP11	BSL	Agna	assente	41.0	551.1	VL	ML
RV12P14	CAE	Agna	200	10.8	85.9	VH	VH
SINAP19	CBO	Agna	150	22.6	181.0	MH	MH
SINAP5	CMS	Zero Branco	200	21.2	207.5	MH	MH
RVAP31	CON	Agna	150	0.7	5.3	VH	VH
SINAP18	CUS	Castelfranco	assente	47.6	755.6	VL	VL
SINAP18	CUS	Zero Branco	assente	46.5	707.8	VL	VL
CVL	CVL	Agna	120	11.8	94.5	VH	VH
SINAP14	GRV*	Castelfranco	assente	20.4	326.7	MH	ML
SINAP14	GRV**	Castelfranco	assente	45.8	733.3	VL	VL
SINAP15	MAN	Castelfranco	assente	48.1	770.0	VL	VL
SINAP15	MAN	Zero Branco	assente	47.6	724.4	VL	VL
SINAP8	MMZ	Agna	150	14.7	117.5	MH	VH
SINAP8	MMZ	Agna	150	18.9	185.6	MH	MH
SINAP4	MOG	Zero Branco	200	12.8	125.5	MH	VH
SINAP4	MOG	Castelfranco	200	14.4	151.7	MH	MH
RV12P12	NOA	Castelfranco	assente	22.4	236.7	MH	MH
RV12P12	NOA	Zero Branco	assente	10.1	99.2	VH	VH
RV12P12	NOA	Zero Branco	200	17.7	173.7	MH	MH
SINA12	PDS	Zero Branco	200	14.5	142.3	MH	MH
RVAP25	QUA	Agna	150	9.5	76.2	VH	VH
RVAP25	QUA	Zero Branco	150	11.5	113.1	VH	VH
SINAP2	SNF	Castelfranco	assente	44.6	711.1	VL	VL
RVAP29	TOL	Agna	120	15.0	120.2	MH	VH
RVAP29	TOL	Agna	assente	27.6	221.1	MH	MH
RVAP29	TOL	Zero Branco	120	17.4	169.2	MH	MH
RVAP29	TOL	Zero Branco	assente	36.2	355.6	ML	ML
RV11P2	TRN	Agna	150	8.7	69.2	VH	VH
SINAP17	TRS	Castelfranco	assente	47.5	754.4	VL	VL
BSL1	TRS	Castelfranco	assente	45.1	719.7	VL	VL
SINA13	ZRM	Zero Branco	200	8.2	80.4	VH	VH

Anche in questo caso, i valori di flusso utile medio (mm/anno) e di flusso utile relativo (%) raggruppati in termini classi di vulnerabilità attribuite in funzione dei valori limite riportati nella tabella 27 sono stati analizzati al fine di evidenziare l'esistenza di eventuali differenze statisticamente significative tra i valori medi dei quattro gruppi (figura 29). Sia nel caso delle classi definite in base al flusso medio annuo sia nel caso di quelle definite in base al flusso relativo, tutti valori medi risultano essere significativamente differenti tra loro al livello $p < 0.05$ (tabelle 27 e 28).

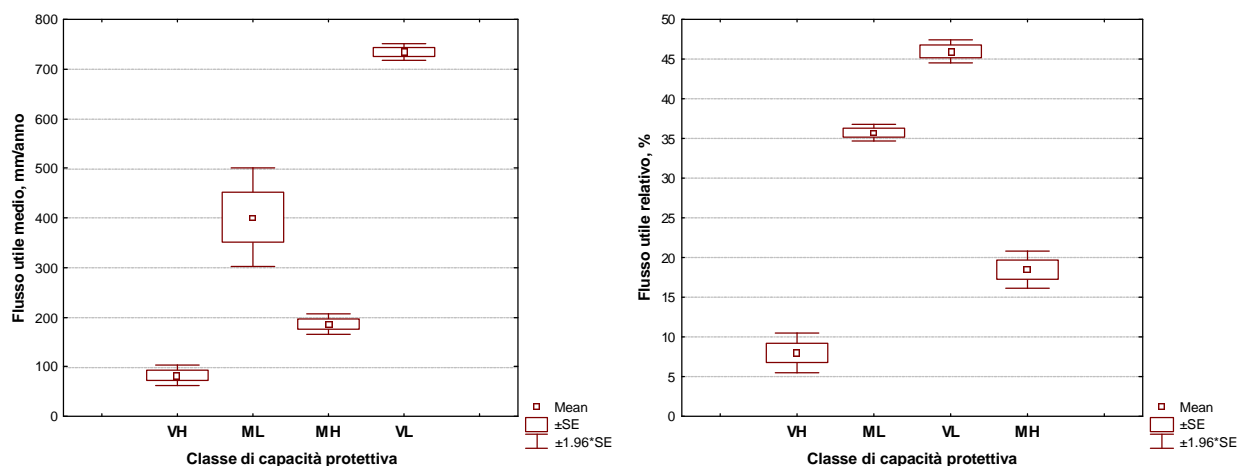


Figura 29. Classi di capacità protettiva in funzione del flusso utile relativo (des.) e del flusso utile medio annuo (sin.).

Media	VH	ML	VL	MH
mm/anno	82.3	401.1	185.4	734.6
VH		0.00017	0.00033	0.00017
ML	0.00017		0.00017	0.00017
VL	0.00033	0.00017		0.00017
MH	0.00017	0.00017	0.00017	

Tabella 27.

Media	VH	ML	VL	MH
% rel.	8.0	35.7	46.0	18.4
VH		0.00017	0.00017	0.00017
ML	0.00017		0.04762	0.00051
VL	0.00017	0.04762		0.00017
MH	0.00017	0.00051	0.00017	

Tabella 28.

Da quanto sopra appare evidente come, anche a fronte dei cambiamenti nell'attribuzione delle classi di capacità protettiva, in termini di valori medi annui o relativi le differenze nelle attribuzioni non modificano significativamente le statistiche descrittive dei quattro gruppi: i valori medi sono sostanzialmente coincidenti ad eccezione di quelli per la classe ML definita in termini di valori medi che passano da 401 a 425 mm/anno.

Al fine di verificare la validità delle classi utilizzate in termini di intervalli di valori limite tra due classi adiacenti, è stata effettuata una analisi di raggruppamento (*cluster analysis*), un metodo che può essere pensato come una analisi della varianza invertita: definito il numero delle classi, l'analisi sposterà gli oggetti da un gruppo all'altro al fine di minimizzare la varianza all'interno dei gruppi e massimizzare la variabilità tra gruppi.

L'analisi è stata effettuata individuando i quattro cluster simultaneamente in base al flusso medio e per quello relativo, entrambi al netto del contributo al flusso laterale in scolina alla base del profilo. Nel caso del flusso utile medio (figura 30), sono stati individuati quattro gruppi i cui membri sono del tutto coincidenti con quelli appartenenti alle classe definite in ambito SINA e i cui limiti sono riportati nella tabella 10. Nel caso del flusso utile relativo (figura 31) invece la coincidenza tra cluster e classe di capacità protettiva non è totale: tre valori attribuiti alla classe MH sono collocati nel primo cluster ed il primo valore in termini relativi attribuito alla classe VL viene collocato nel terzo cluster anziché nel quarto (tabella 29). Il quarto cluster, coincidente con la classe di capacità protettiva VL, comprende tutti i profili di alta pianura irrigui (dieci apporti per ciclo colturale) ad eccezione dell'UTS BSL (stazione meteo Agna), ed è il cluster caratterizzato dal valore più basso del coefficiente di variabilità (3.12 %). All'estremo opposto, il primo cluster, del tutto coincidente nel caso del flusso medio utile con la classe di capacità protettiva VH, è caratterizzato da una notevole variabilità con un CV% prossimo a 50.

Tabella 29. Analisi di raggruppamento in funzione del flusso utile relativo e del flusso utile medio, entrambi al netto del contributo al flusso laterale in scolina alla base del profilo.

UTS	PROFILO	METEO	FALDA	Flusso utile medio, mm	Flusso utile relativo %	Capacità protettiva assoluta	Capacità protettiva relativa	CLUSTER
CON	RVAP31	A	150	5.33	0.67	VH	VH	1
ALB	SINAP11	A	150	5.79	0.72	VH	VH	1
ALB	SINAP11	ZB	200	44.33	4.5	VH	VH	1
TRN	RV11P2	A	150	69.24	8.7	VH	VH	1
QUA	RVAP25	A	150	76.22	9.5	VH	VH	1
ZRM	SINAP4	ZB	200	80.44	8.2	VH	VH	1
CAE	RV12P14	A	200	85.89	10.7	VH	VH	1
CVL	VE2P137	A	120	94.52	11.8	VH	VH	1
NOA	RV12P12	ZB	no	99.22	10.1	VH	VH	1
QUA	RVAP25	ZB	150	113.11	11.5	VH	VH	1
BOI	SINAP16	ZB	200	115.33	11.8	VH	VH	1
MMZ	SINAP8	A	150	117.46	14.7	VH	MH	1
TOL	RVAP29	A	120	120.22	15.0	VH	MH	1
MOG	SINAP3	ZB	200	125.51	12.8	VH	MH	1
			Media	82.33	9.34			
			Dev. Std.	39.67	4.53			
			CV%	48.19	48.49			
PDS	SINAP12	ZB	200	142.33	14.5	MH	MH	3
MOG	SINAP3	CF	200	151.74	14.4	MH	MH	3
TOL	RVAP29	ZB	120	169.22	17.2	MH	MH	3
NOA	RV12P12	ZB	200	173.67	17.7	MH	MH	3
CBO	SINAP16	A	150	181.00	22.6	MH	MH	3
MMZ	SINAP8	ZB	150	185.56	18.9	MH	MH	3
CMS	SINAP5	ZB	200	207.50	21.1	MH	MH	3
TOL	RVAP29	A	no	221.11	27.6	MH	MH	3
NOA	RV12P12	CF	no	236.67	22.4	MH	MH	3
			Media	185.42	19.62			
			Dev. Std.	31.22	4.29			
			CV%	16.84	21.84			
TOL	RVAP29	ZB	no	355.56	36.2	ML	ML	2
BOI	SINAP16	CF	no	371.11	35.2	ML	ML	2
BSL	RVAP11	A_irr	no	551.11	41.0	ML	VL	2
			Media	425.93	37.48			
			Dev. Std.	108.69	3.09			
			CV%	25.52	8.24			
CUS	SINAP18	ZB_irr	no	707.78	46.5	VL	VL	4
SNF	SINAP2	CF_irr	no	711.11	44.4	VL	VL	4
TRS	BSL1P23	CF_irr	no	719.73	45.0	VL	VL	4
MAN	SINAP15	ZB_irr	no	724.44	47.6	VL	VL	4
GRV	SINAP14	CF_irr	no	733.33	45.8	VL	VL	4
TRS	SINAP17	CF_irr	no	754.44	47.2	VL	VL	4
CUS	SINAP18	CF_irr	no	755.56	47.2	VL	VL	4
MAN	SINAP15	CF_irr	no	770.00	48.1	VL	VL	4
			Media	734.55	46.48			
			Dev. Std.	22.94	1.30			
			CV%	3.12	2.79			

Tabella 30. Analisi di raggruppamento in funzione del flusso utile relativo e del flusso utile medio, entrambi comprensivi del contributo al flusso laterale in scolina alla base del profilo.

UTS	PROFILO	METEO	FALDA	Flusso utile medio, mm	Flusso utile Relativo%	Capacità protettiva assoluta	Capacità protettiva relativa	CLUSTER
ALB	SINAP11	A	200	5.79	0.72	VH	VH	1
CON	RVAP31	A	150	9.32	1.17	VH	VH	1
ALB	SINAP11	ZB	200	45.10	4.60	VH	VH	1
ZRM	SINAP4	ZB	200	80.81	8.25	VH	VH	1
CAE	RV12P14	A	200	85.89	10.75	VH	VH	1
QUA	RVAP25	A	150	96.00	12.00	VH	MH	1
NOA	RV12P12	ZB	no	99.22	10.12	VH	VH	1
TRN	RV11P2	A	150	117.91	14.76	VH	MH	1
BOI	SINAP16	ZB	200	119.50	12.18	VH	MH	1
MMZ	SINAP8	A	150	124.00	15.52	VH	MH	1
MOG	SINAP3	ZB	200	126.90	12.95	VH	MH	1
QUA	RVAP25	ZB	150	142.78	14.55	MH	MH	1
PDS	SINA12	ZB	200	143.80	14.67	MH	MH	1
			Media	92.08	10.17			
			Dev. Std.	46.21	5.08			
			CV%	50.19	49.94			
MOG	SINA P3	CF	200	152.92	14.50	MH	MH	3
NOA	RV12P12	ZB	200	175.21	17.86	MH	MH	3
CVL	CVL	A	120	187.41	23.46	MH	MH	3
MMZ	SINAP8	ZB	150	200.78	20.46	MH	MH	3
CMS	SINAP5	ZB	200	207.50	21.17	MH	MH	3
CBO	SINAP19	A	150	217.44	27.18	MH	MH	3
TOL	RVAP29	A	no	221.11	27.64	MH	MH	3
NOA	RV12P12	CF	no	236.67	22.44	MH	MH	3
TOL	RVAP29	A	120	264.67	33.08	MH	ML	3
			Media	207.08	23.09			
			Dev. Std.	33.30	5.58			
			CV%	16.08	24.19			
TOL	RVAP29	ZB	no	355.56	36.24	ML	ML	2
BOI	SINAP16	CF	no	371.11	35.19	ML	ML	2
TOL	RVAP29	ZB	120	384.78	39.49	ML	ML	2
BSL	RVAP11	A_irr	no	551.11	40.99	ML	VL	2
			Media	435.67	38.56			
			Dev. Std.	100.21	3.01			
			CV%	23.00	7.80			
CUS	SINAP18	ZB_irr	no	707.78	46.50	VL	VL	4
SNF	SINAP2	CF_irr	no	711.11	44.60	VL	VL	4
TRS	BSL1P23	CF_irr	no	719.73	45.14	VL	VL	4
MAN	SINAP15	ZB_irr	no	724.44	47.59	VL	VL	4
GRV	SINAP14	A_irr	no	733.33	45.83	VL	VL	4
TRS	SINAP17	CF_irr	no	754.44	47.48	VL	VL	4
CUS	SINAP18	CF_irr	no	755.56	47.55	VL	VL	4
MAN	SINAP15	CF_irr	no	770.00	48.13	VL	VL	4
			Media	734.55	46.60			
			Dev. Std.	22.94	1.29			
			CV%	3.12	2.78			

Effettuando l'analisi sui flussi comprendenti anche il contributo al flusso laterale in scolina (tabella 30), la coincidenza con le classi individuate in base ai valori riportati nella tabella 29 è meno buona, in particolar modo per le classi basate sui flussi utili relativi. Tra

queste quella che mostra maggiori differenze con i cluster individuati su base statistica è la classe MH a causa di una certa sovrapposizione dei range tra i due cluster adiacenti (valore massimo cluster 1 15.52%, valore minimo cluster 2 14.50%), e per la presenza di alcuni valori assai prossimi al 12%, valore limite tra le due classi VH e MH (tabella 30). Per le altre tre classi la coincidenza è completa nel caso del flusso medio mentre nel caso del flusso relativo si osservano due differenze, una nella classe ML e una VL che nel caso della divisione su base statistica vengono attribuite al cluster 3 e 2 rispettivamente. In entrambi i casi si tratta di valori vicini ai limiti adottati per la definizione delle classi.

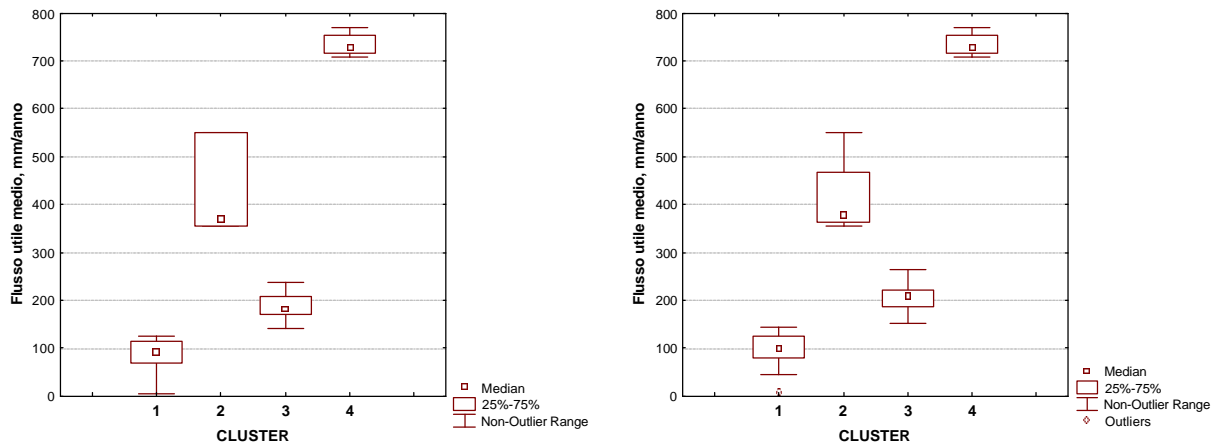


Figura 30. Cluster in in funzione del flusso utile medio comprensivo del flusso laterale (des.) e senza il flusso laterale (sin.).

Nei due casi la cluster analysis fornisce risultati molto simili attribuendo ai cluster gli stessi casi. Il quarto cluster, del tutto coincidente con la classe di capacità protettiva VL, comprende le stesse osservazioni, relative alle UTS di alta pianura irrigue, ad eccezione di BSL associata alla stazione meteorologica di Agna, che in entrambi i casi viene attribuita al cluster 2. Questo, tuttavia, nel caso dei flussi comprensivi del contributo al flusso laterale in scolina alla base del profilo comprende un caso in più, cui è assegnata la classe ML (TOL con falda a 120 cm e stazione meteo Zero Branco) che utilizzando i valori riportati in tabella 29 viene invece attribuito al cluster 3 e ricade in classe MH. Il cluster 3 comprende in entrambi i casi lo stesso numero di combinazioni (9), ma due di queste (PDS e CVL) cambiano attribuzione a seconda della definizione di flusso utile adottata.

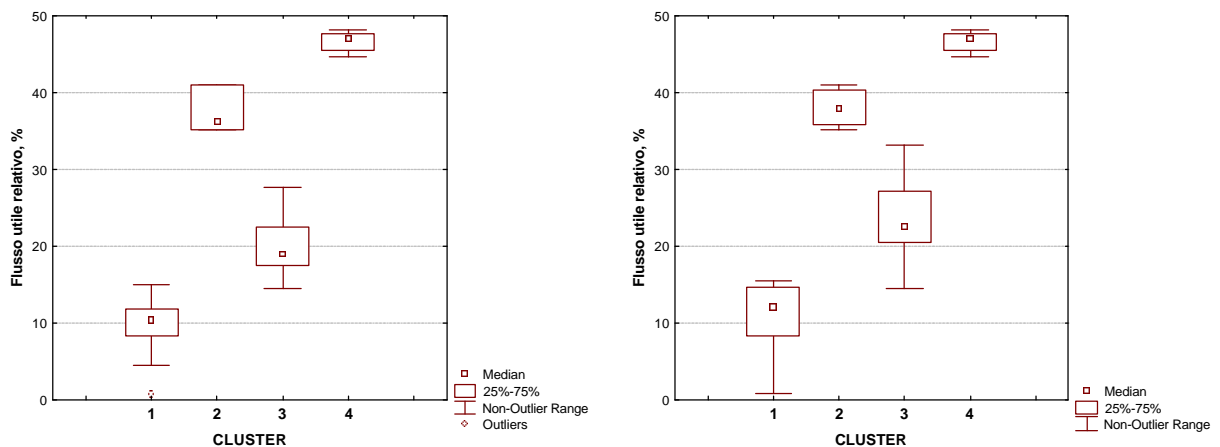


Figura 31. Cluster in in funzione del flusso utile relativo comprensivo del flusso laterale (destra) e senza il flusso laterale (sinistra).

Nelle tabelle 31 e 32 sono riportate, rispettivamente per la dose 1 e la dose 2 di concimazione minerale (pari rispettivamente a 25.05 e 40.1 g/m²/anno) le classi di capacità protettiva attribuite in base ai nitrati lisciviati alla base del profilo stimati in base al flusso utile relativo (comprensivo del contributo al flusso laterale) ottenuto con le simulazioni di bilancio idrico, e in base alla quantità di nitrati lisciviati relativamente agli apporti, ottenuta con le simulazioni di bilancio azotato con SOILN.

Tabella 31. Classi di capacità protettiva nei confronti delle acque profonde attribuite in funzione delle perdite relative di nitrati, dose 1 (25.05 g/m²/anno). *: simulazione con valori di Ksat misurati; **: simulazione con valori di Ksat stimati.

Profilo	UTS	METEO	Falda	Flussi utili % MACRO	N perso (% rel.) stimato con regressione in base ai flussi utili %	Classe in base alle perdite relative %	N lisciviato (g/m ² /anno) input: 25.05	N lisciviato simulazione SOILN valore medio su nove anni (g/m ² /anno)	N lisciviato simulazione SOILN valore medio su nove anni %	Classe in base alle perdite relative %
SINAP11	ALB	Agna	150	0.7	0.09	VH	0.02	0.02	0.09	VH
SINAP11	ALB	Zero Branco	150	4.6	0.95	VH	0.24	0.19	0.76	VH
SINAP16	BOI	Castelfranco	no	35.2	12.41	ML	3.11	0.76	3.02	VH
SINAP16	BOI	Zero Branco	200	12.2	3.25	VH	0.81	0.38	1.52	VH
RVAP11	BSL	Agna	no	41.0	15.04	VL	3.77	3.03	12.10	ML
RV12P14	CAE	Agna	200	10.8	2.78	VH	0.70	0.16	0.64	VH
SINAP19	CBO	Agna	150	27.2	8.96	MH	2.24	10.84	43.28	VL
SINAP5	CMS	Zero Branco	200	21.2	6.54	MH	1.64	0.15	0.58	VH
RVAP31	CON	Agna	150	1.2	0.17	VH	0.04	0.05	0.22	VH
SINAP18	CUS	Castelfranco	no	47.6	18.14	VL	4.54	3.63	14.47	ML
SINAP18	CUS	Zero Branco	no	46.5	17.63	VL	4.42	3.67	14.66	ML
CVL	CVL	Agna	120	23.5	7.44	MH	1.86	0.12	0.48	VH
SINAP14	GRV*	Castelfranco	no	20.4	6.24	MH	1.56	0.53	2.10	VH
SINAP14	GRV**	Castelfranco	no	45.8	17.32	VL	4.34	3.07	12.27	ML
SINAP15	MAN	Castelfranco	no	48.1	18.42	VL	4.61	4.70	18.76	VL
SINAP15	MAN	Zero Branco	no	47.6	18.16	VL	4.55	5.03	20.09	VL
SINAP8	MMZ	Agna	150	15.5	4.42	VH	1.11	21.08	84.14	VL
SINAP8	MMZ	Agna	150	20.5	6.26	MH	1.57	31.05	123.94	VL
SINAP4	MOG	Zero Branco	200	12.9	3.51	VH	0.88	0.20	0.79	VH
SINAP4	MOG	Castelfranco	200	14.5	4.05	VH	1.02	0.14	0.54	VH
RV12P12	NOA	Castelfranco	no	22.4	7.03	MH	1.76	0.16	0.62	VH
RV12P12	NOA	Zero Branco	no	10.1	2.58	VH	0.65	0.33	1.32	VH
RV12P12	NOA	Zero Branco	200	17.9	5.27	MH	1.32	0.25	0.99	VH
SINA12	PDS	Zero Branco	200	14.7	4.11	VH	1.03	0.38	1.50	VH
RVAP25	QUA	Agna	150	12.0	3.19	VH	0.80	0.14	0.55	VH
RVAP25	QUA	Zero Branco	150	14.6	4.07	VH	1.02	0.15	0.59	VH
SINAP2	SNF	Castelfranco	no	44.6	16.73	VL	4.19	3.38	13.51	ML
RVAP29	TOL	Agna	no	33.1	11.48	ML	2.88	0.06	0.24	VH
RVAP29	TOL	Agna	120	27.6	9.15	MH	2.29	0.08	0.31	VH
RVAP29	TOL	Zero Branco	no	39.5	14.35	ML	3.59	0.19	0.76	VH
RVAP29	TOL	Zero Branco	120	36.2	12.88	ML	3.23	0.28	1.13	VH
RV11P2	TRN	Agna	150	14.8	4.14	VH	1.04	0.13	0.52	VH
SINAP17	TRS	Castelfranco	no	47.5	18.11	VL	4.54	2.16	8.63	MH
BSL1P23	TRS	Castelfranco	no	45.1	16.99	VL	4.26	2.62	10.44	ML
SINA13	ZRM	Zero Branco	200	8.2	1.99	VH	0.50	0.08	0.30	VH

L'utilizzo del flusso relativo privo del contributo al flusso laterale comporta uno spostamento alla classe più protettiva adiacente in tre casi su 34: CVL con falda a 120 cm e TOL con falda a 120 cm nelle due stazioni meteorologiche di Agna e Zero Branco.

Tabella 32. Classi di capacità protettiva nei confronti delle acque profonde attribuite in funzione delle perdite relative di nitrati; dose 2 (40.1 g/m²/anno). *: simulazione con valori di Ksat misurati; **: simulazione con valori di Ksat stimati.

Profilo	UTS	METEO	Falda	Flussi utili % MACRO	N perso (% rel.) stimato con regressione in base ai flussi utili %	Classe in base alle perdite relative %	N lisciviato (g/m ² /anno) input: 40.1 g/m ² /anno	N lisciviato simulazione SOILN valore medio su nove anni (g/m ² /anno)	N lisciviato simulazione SOILN valore medio su nove anni	Classe in base alle perdite relative %
SINAP11	ALB	Agna	150	0.7	0.09	VH	0.04	0.02	0.06	VH
SINAP11	ALB	Zero Branco	150	4.6	0.95	VH	0.38	0.75	1.87	VH
SINAP16	BOI	Castelfranco	no	35.2	12.41	ML	4.98	0.93	2.33	VH
SINAP16	BOI	Zero Branco	200	12.2	3.25	VH	1.30	1.06	2.65	VH
RVAP11	BSL	Agna	no	41.0	15.04	VL	6.03	4.71	11.75	ML
RV12P14	CAE	Agna	200	10.8	2.78	VH	1.11	2.02	5.04	MH
SINAP19	CBO	Agna	150	27.2	8.96	MH	3.59	27.09	67.55	VL
SINAP5	CMS	Zero Branco	200	21.2	6.54	MH	2.62	4.32	10.76	ML
RVAP31	CON	Agna	150	1.2	0.17	VH	0.07	0.05	0.12	VH
SINAP18	CUS	Castelfranco	no	47.6	18.14	VL	7.27	4.00	9.98	MH
SINAP18	CUS	Zero Branco	no	46.5	17.63	VL	7.07	4.18	10.42	ML
CVL	CVL	Agna	120	23.5	7.44	MH	2.98	4.53	11.30	ML
SINAP14	GRV*	Castelfranco	no	20.4	6.24	MH	2.50	0.64	1.60	VH
SINAP14	GRV**	Castelfranco	no	45.8	17.32	VL	6.94	8.31	20.73	VL
SINAP15	MAN	Castelfranco	no	48.1	18.42	VL	7.38	9.71	24.22	VL
SINAP15	MAN	Zero Branco	no	47.6	18.16	VL	7.28	10.26	25.60	VL
SINAP8	MMZ	Agna	150	15.5	4.42	VH	1.77	23.57	58.78	VL
SINAP8	MMZ	Agna	150	20.5	6.26	MH	2.51	35.29	88.00	VL
SINAP4	MOG	Zero Branco	200	12.9	3.51	VH	1.41	0.12	0.29	VH
SINAP4	MOG	Castelfranco	200	14.5	4.05	VH	1.63	0.15	0.38	VH
RV12P12	NOA	Castelfranco	no	22.4	7.03	MH	2.82	0.20	0.51	VH
RV12P12	NOA	Zero Branco	no	10.1	2.58	VH	1.03	0.54	1.34	VH
RV12P12	NOA	Zero Branco	200	17.9	5.27	MH	2.11	0.32	0.79	VH
SINA12	PDS	Zero Branco	200	14.7	4.11	VH	1.65	0.69	1.73	VH
RVAP25	QUA	Agna	150	12.0	3.19	VH	1.28	0.11	0.27	VH
RVAP25	QUA	Zero Branco	150	14.6	4.07	VH	1.63	0.12	0.29	VH
SINAP2	SNF	Castelfranco	no	44.6	16.73	VL	6.71	7.01	17.48	VL
RVAP29	TOL	Agna	no	33.1	11.48	ML	4.60	0.18	0.46	VH
RVAP29	TOL	Agna	120	27.6	9.15	MH	3.67	0.29	0.72	VH
RVAP29	TOL	Zero Branco	no	39.5	14.35	ML	5.75	0.39	0.98	VH
RVAP29	TOL	Zero Branco	120	36.2	12.88	ML	5.16	0.59	1.46	VH
RV11P2	TRN	Agna	150	14.8	4.14	VH	1.66	0.85	2.12	VH
SINAP17	TRS	Castelfranco	no	47.5	18.11	VL	7.26	4.00	9.99	MH
BSL1P23	TRS	Castelfranco	no	45.1	16.99	VL	6.81	3.65	9.10	MH
SINA13	ZRM	Zero Branco	200	8.2	1.99	VH	0.80	0.07	0.18	VH

Le valutazioni della capacità protettiva basate sugli input dei due diversi modelli sono coincidenti in 15 casi su 35 per la dose 1 e in 16 casi su 35 per la dose 2. Se si escludono i suoli organici (4 simulazioni) per i quali il solo bilancio idrico non è sufficiente a valutare il rischio di lisciviazione, che in questo caso è assai elevato a causa della forte mineralizzazione dei residui organici presenti nel suolo, le due stime coincidono nel 48 e nel 52% dei casi, rispettivamente per la dose 1 e la dose 2. Nel caso della dose 1, le valutazioni basate sugli output di MACRO sono più cautelative (cioè portano ad assegnare una classe di capacità protettiva inferiore) rispetto a quelle basate sugli output di SOILN. Lo stesso accade nella maggior parte dei casi anche per la dose 2: in questo caso per tre

scenari l'attribuzione con MACRO appare però meno cautelativa rispetto a quella con SOILN, ma lo scarto in tutti casi avviene tra classi adiacenti e per valori molto vicini alle soglie utilizzate per la definizione delle classi.

L'accordo in termini di valori medi relativi tra le previsioni basate sulle simulazioni di bilancio idrico e quelle basate sulle simulazioni di bilancio azotato sono riportate nelle figure 32 e 33 rispettivamente per la dose singola e la dose doppia. Nel primo caso l'accordo sembra essere migliore con un valore di R^2 vicino a 0.70, mentre nel secondo caso il valore di R^2 si abbassa (0.54). In generale le perdite stimate con MACRO in base ai risultati della simulazione di bilancio idrico sono superiori a quelle ottenute dal modello di bilancio azotato: ciò si verifica nel 94% dei casi per la dose 1 e nel 77% dei casi per la dose 2.

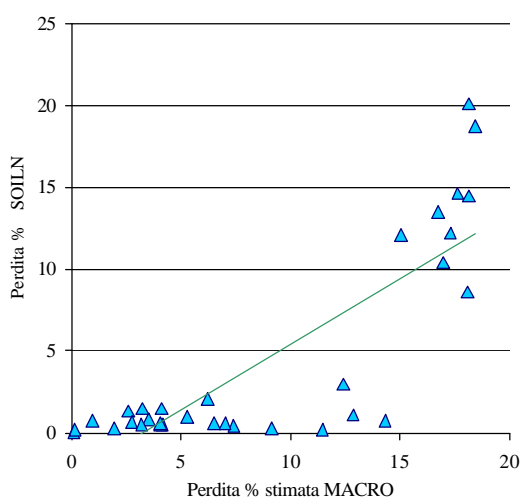


Figura 32.

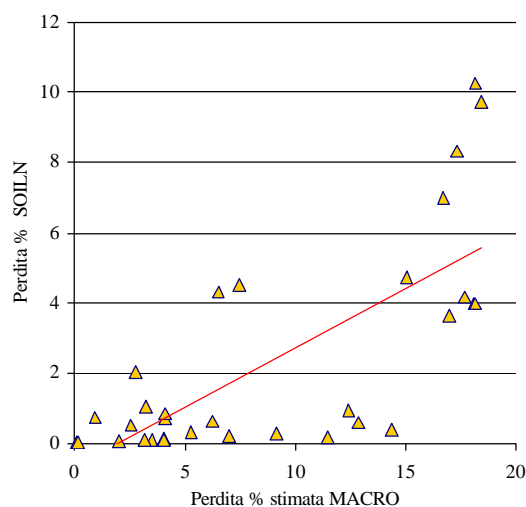


Figura 33.

Analizzando i valori medi sia in termini di perdite relative che assolute si rileva come, a prescindere dall'utilizzo degli output del solo bilancio idrico o di quelli del bilancio azotato, i valori medi di ciascuna delle quattro classi di capacità protettiva nei confronti delle acque profonde siano significativamente diversi al livello di probabilità $p < 0.05$ da tutti gli altri, siano questi espressi come percentuale relativa agli input (figura 34) o come valore medio annuo con l'eccezione delle classi MH ($3.16 \text{ gm}^{-2}\text{y}^{-1}$) ed ML ($3.71 \text{ gm}^{-2}\text{y}^{-1}$) espresse in termini di valore medio annuo sugli output di bilancio azotato simulati con SOILN (figura 35).

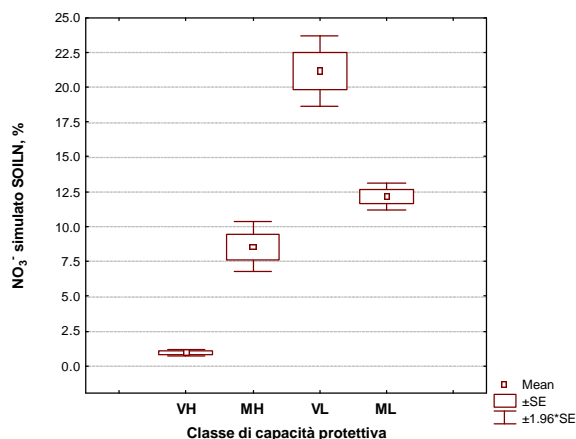
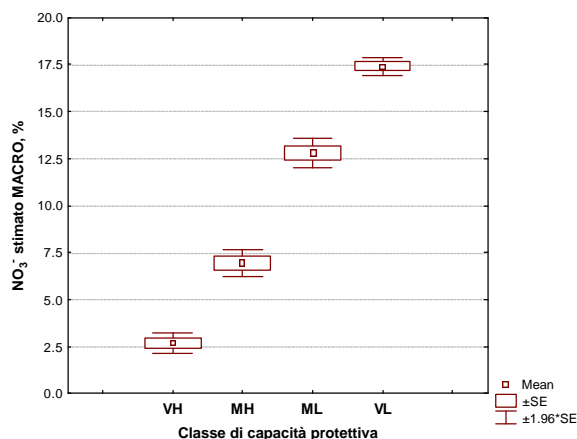


Figura 34. Classi di capacità protettiva, valori medi % relativi agli apporti azotati, definiti in base agli output di MACRO (sin.) e SOILN (des.)

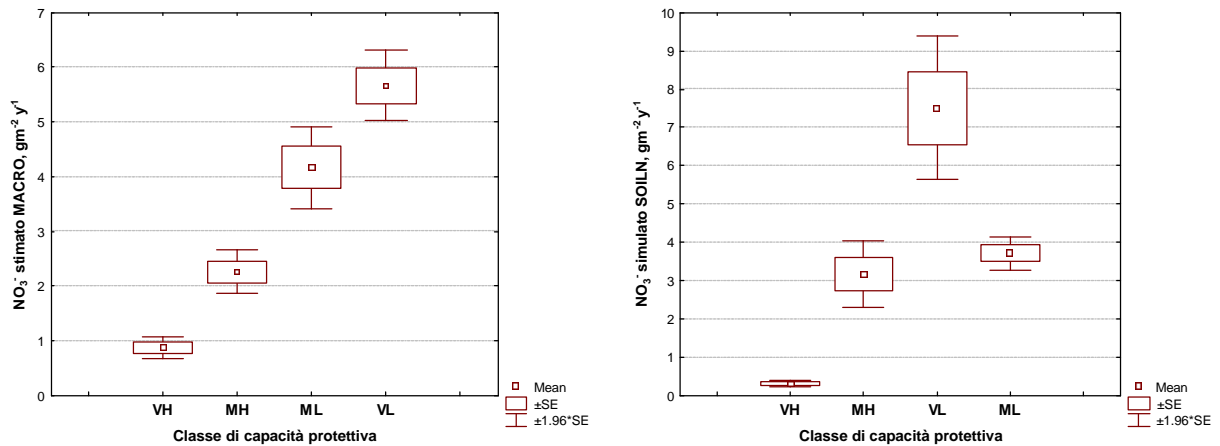


Figura 35. Classi di capacità protettiva, valori medi ($\text{gm}^{-2}\text{y}^{-1}$), definiti in base agli output di MACRO (sinistra) e SOILN (destra).

3.4. Conclusioni dell'elaborazione dei dati

I risultati ottenuti mostrano la solidità e l'applicabilità in diverse situazioni delle classi di vulnerabilità definite in base al flusso utile relativo ottenuto con MACRO. L'inclusione del contributo al flusso laterale in scoline alla base del profilo nel flusso utile porta ad attribuzioni più cautelative, con l'attribuzione di una classe di capacità protettiva più bassa nel 5% dei casi per le stime in base al flusso utile relativo e nel 7% dei casi per le stime in base al flusso utile medio.

Le valutazioni in termini di classe di capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque profonde appaiono essere in sostanziale coincidenza con quelle basate sugli output di SOILN o, in alcuni casi, più cautelative di queste, rendendo nel complesso più che affidabile il ricorso al solo bilancio idrico per l'attribuzione delle classi di capacità protettiva, con l'eccezione dei suoli con orizzonti organici. L'accordo in termini di classe di capacità protettiva è leggermente migliore nel caso in cui nel flusso utile relativo non venga incluso il contributo al flusso laterale in scoline alla base del profilo, con valutazioni coincidenti in 17 casi su 35 per la dose 1 e in 17 casi su 35 per la dose 2. Appena più sensibile il miglioramento in termini di valori medi relativi tra le previsioni basate sulle simulazioni di bilancio idrico e quelle basate sulle simulazioni di bilancio azotato, con valori di R^2 che passano da 0.68 a 0.78 e da 0.54 a 0.57 rispettivamente per la dose 1 e la dose 2.

Il ricorso al flusso utile relativo ottenuto con MACRO per una serie di scenari tipici in termini di suolo, stazione meteorologica e regime di falda mette in evidenza come classi basate su valori medi annui non standardizzati agli apporti meteorici e/o irrigui debbano essere necessariamente calibrate localmente sulla base di risultati ottenuti per le situazioni specifiche considerate.

4. ESTENSIONE CARTOGRAFICA DEI RISULTATI

4.1. Definizione della carta della capacità protettiva dei suoli di pianura

Tutte le unità tipologiche di suolo dell'area di pianura descritte nella carta dei suoli in scala 1:250.000 sono state classificate a partire dai risultati ottenuti dalle simulazioni del bilancio idrico con le 44 combinazioni suolo-clima-falda estendendoli, per analogia, ai suoli simili. Per le classi di capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque profonde si è fatto riferimento a quelle definite nell'ambito del progetto SINA – Carta pedologica in aree a rischio ambientale (Calzolari et al. 2001), riassunte nella tabella 33.

CLASSE DI CAPACITA' PROTETTIVA	Flussi relativi %	Perdite di NO ₃ ⁻ %
B (bassa)	>40%	>20%
MB (moderatamente bassa)	29-40%	11-20%
MA (moderatamente alta)	12-28%	6-10%
A (alta)	<12%	<5%

Tabella 33: Classi di capacità protettiva nei confronti delle acque profonde.

L'estensione cartografica (figura 36) è stata realizzata assegnando ad ogni unità cartografica (ovvero ad una porzione di territorio omogenea al suo interno per quanto riguarda il tipo o i tipi di suolo prevalenti) la classe di capacità protettiva del suolo più diffuso.

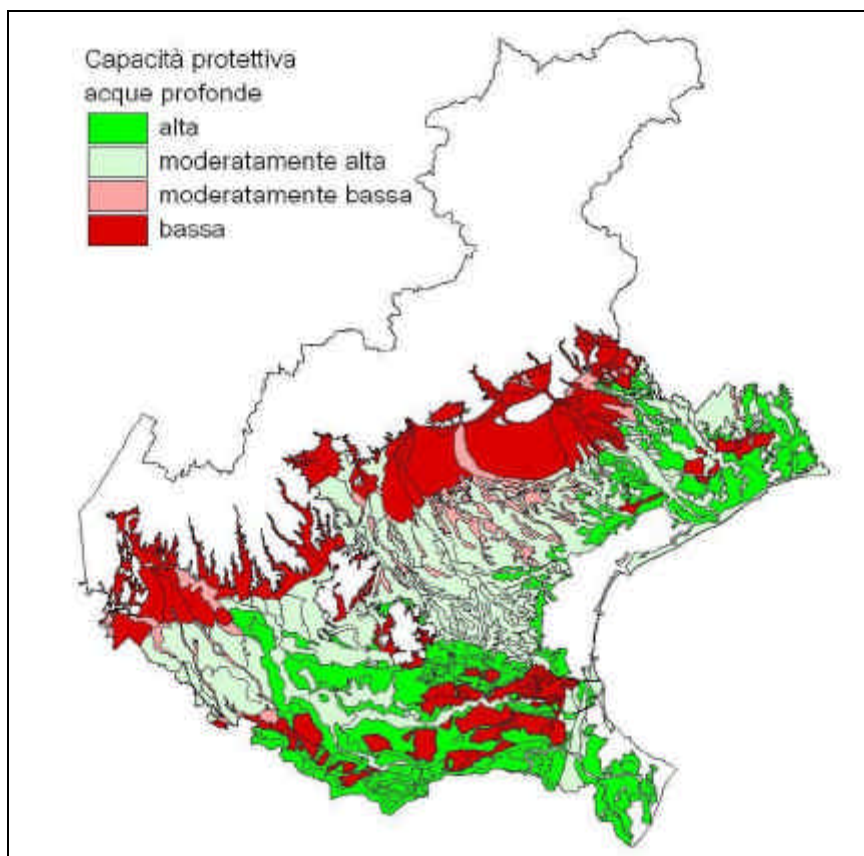


Figura 36: Carta della capacità protettiva nei confronti delle acque profonde dei suoli di pianura.

La carta evidenzia come i suoli a capacità protettiva bassa, perciò più vulnerabili, siano quelli di alta pianura, a tessitura grossolana e con ghiaia, nei quali i flussi alla base del profilo risultano elevati e i suoli organici (mollisuoli e istosuoli) delle aree palustri bonificate della pianura dell'Adige o delle risorgive per i quali i processi di mineralizzazione della sostanza organica liberano azoto. Leggermente più protettivi (classe moderatamente bassa) si sono rivelati i suoli a tessitura prevalentemente sabbiosa diffusi nelle aree di dosso della bassa pianura.

I suoli più protettivi per le falde sono quelli a tessiture fini (a prevalenza di argilla o limo) e soprattutto nelle aree con clima meno piovoso, dove i flussi sono risultati molto bassi; spesso però questi suoli hanno dimostrato un elevato scorrimento superficiale con un conseguente rischio di inquinamento delle acque superficiali.

La carta così realizzata rappresenta la capacità protettiva intrinseca del suolo a funzionare da filtro dei nutrienti, pur in determinate condizioni climatiche e ambientali. Per valutare il rischio che l'azoto apportato con concimazioni organiche e minerali raggiunga le acque di falda è però indispensabile conoscere gli effettivi apporti.

A questo scopo tra gli elaborati del piano di tutela delle acque è stata realizzata una carta che stima quanto dell'azoto zootecnico distribuito con le concimazioni sia in eccesso rispetto alle utilizzazioni da parte delle colture e quindi risulti potenzialmente inquinante.

Questa carta incrociata con la carta della capacità protettiva del suolo permette di dare una indicazione più precisa di quali aree siano a maggior rischio per la percolazione dell'azoto nelle acque di falda.

4.2. Stima del surplus di azoto

La metodologia seguita per la definizione dei carichi agricoli di azoto è articolata nelle seguenti fasi:

1. stima dei fabbisogni unitari di azoto a livello di comune sulla base della superficie occupata dalle diverse colture e dei loro fabbisogni nutritivi (in kg/ha/anno);
2. determinazione della differenza tra i dati vendita di concimi azotati e i fabbisogni di azoto a livello regionale e provinciale;
3. determinazione a livello di comune dell'azoto zootecnico disponibile sulla base della consistenza e tipo degli allevamenti zootecnici;
4. copertura della differenza tra fabbisogni e vendite con l'azoto zootecnico disponibile; la quota eventualmente eccedente rappresenta l'azoto zootecnico in eccesso;
5. stima a livello di comune delle asportazioni di azoto in funzione delle colture e delle superfici relative;
6. calcolo dell'azoto in eccesso come differenza tra azoto totale apportato e asportazioni;
7. stima del rischio di percolazione dell'azoto alla base delle radici delle piante.

Di seguito le singole fasi sono descritte in dettaglio insieme con una sintesi dei risultati relativi.

1. Stima dei fabbisogni unitari di azoto a livello di comune sulla base della superficie occupata dalle diverse colture e dei loro fabbisogni nutritivi (in kg/ha/anno).

Dal Censimento dell'Agricoltura 2000 sono state acquisite per ogni comune del Veneto le superfici occupate da ciascuna coltura (ha di SAU).

Successivamente le colture sono state raggruppate per gruppi omogenei in riferimento ai fabbisogni in azoto.

Per ciascun gruppo di colture sono state stimate le rese colturali utilizzando i dati rilevati dalla Regione Veneto¹ nelle diverse Regioni Agrarie (media degli anni 1995 al 2000) e, quando non disponibili, i dati rilevati dall'ISTAT su base provinciale (media degli anni 1999 al 2002); ai comuni appartenenti alla stessa regione agraria è stata attribuita, per singola coltura, la stessa resa colturale. In assenza di dati specifici della regione agraria le rese colturali sono state ricavate da:

- a) rese stimate in regioni agrarie limitrofe se simili (pianura, collina e montagna);
- b) riferimento alle rese di colture simili; ad esempio per il mais ceroso il dato di resa a livello provinciale ricavato dall'ISTAT è stato ripartito tra le diverse regioni agrarie della stessa provincia in funzione delle rese del mais granella (generalmente presente nei dati delle regioni agrarie);
- c) per alcune colture (es. erba medica) si è accettato il dato provinciale senza differenziarlo per regione agraria.

Per ogni coltura o gruppo di colture sono stati attribuiti i fabbisogni di azoto e fosforo definiti da ARPAV per l'elaborazione di piani di concimazioni sulla base delle analisi del terreno (Aichner et al., 1999) in condizioni normali di fertilità; per le colture principali (mais, prato, pomodoro, patata) le concimazioni azotate sono state modulate in funzione delle rese.

Per ciascun comune sono stati calcolati i fabbisogni totali di azoto moltiplicando la superficie occupata dalle singole colture per i relativi fabbisogni di azoto; il fabbisogno unitario per comune è stato ottenuto suddividendo il fabbisogno totale per la SAU comunale.

2. Determinazione della differenza tra i dati vendita di concimi azotati e i fabbisogni di azoto a livello regionale e provinciale

Sulla base dei dati ISTAT (2000-2001) riguardanti le vendite di fertilizzanti, per i quali la massima definizione disponibile è il livello provinciale, è stato ricavato l'azoto utilizzato in agricoltura. Per ciascuna provincia è stato confrontato il valore dei fabbisogni di azoto e fosforo, così come calcolati al punto precedente, con il valore dell'azoto e del fosforo venduti.

A scala regionale l'azoto venduto è risultato inferiore di poco meno dell'8% rispetto al relativo fabbisogno azotato; a livello provinciale Verona, Treviso, Padova, Venezia e Rovigo non evidenziano rilevanti differenze tra i due dati, mentre per le province di Belluno e Vicenza l'azoto venduto risulta molto inferiore del fabbisogno stimato.

¹ Dati forniti da: Ufficio Statistica Agraria - Servizio Consulenza alla Gestione e allo Sviluppo Rurale - Direzione Regionale Politiche Agroambientali e Servizi per l'Agricoltura della Regione del Veneto

3. Determinazione a livello di comune dell'azoto zootecnico disponibile sulla base della consistenza e tipo degli allevamenti zootecnici;

L'azoto zootecnico disponibile è stato calcolato sulla base dei dati forniti dal Centro Regionale di Epidemiologia Veterinaria (CREV) della Regione Veneto (Regione Veneto, 1997) e relativi alla consistenza massima (n. di capi allevati) e tipologia di allevamenti presenti in ciascun comune. Per il calcolo sono stati utilizzati dei coefficienti (Regione Veneto, 1993; Regione Piemonte, 2002) per la conversione del numero di capi allevati in peso vivo allevato, sulla base della specie (bovini, suini, avicoli, cunicoli, ecc.) e della categoria (età, sesso, ciclo produttivo, ecc.) e successivamente per la conversione del peso vivo in azoto ed in fosforo prodotto disponibile al campo, cioè al netto delle perdite in fase di stoccaggio. Non sono state considerate le perdite di azoto in fase di distribuzione per omogeneità con quanto fatto per i concimi, dato che le eventuali perdite per volatilizzazione sono di difficile quantificazione e comunque di entità relativamente contenuta rispetto all'apporto totale.

È da tener conto inoltre che in alcune aree della regione, in particolare dove sono presenti grossi allevamenti avicoli, le deiezioni sono talvolta avviate alla produzione di fertilizzanti e quindi sono destinate alla vendita in altri territori; non avendo elementi sufficienti a valutare l'entità di tale fenomeno per il calcolo dell'azoto e del fosforo si è considerato l'intero patrimonio zootecnico. La carta della distribuzione dei carichi di azoto e fosforo e dei relativi eccessi evidenzia chiaramente quali sono le aree con la maggiore concentrazione di allevamenti zootecnici.

I dati relativi alla consistenza e tipologia degli allevamenti forniti dal CREV offrono il vantaggio, rispetto ad altre fonti, del dettaglio a livello del singolo allevamento e, essendo gli allevamenti identificati con un opportuno codice, della possibilità di aggregare i dati dei singoli allevamenti per comune. Il fatto che la consistenza degli animali del singolo allevamento sia espressa quale capacità potenziale, permette di effettuare una stima prudenziale delle quantità di azoto contenute negli effluenti di allevamento, non suscettibile di sensibili aumenti nel breve medio periodo.

4. Copertura della differenza tra fabbisogni e vendite con l'azoto zootecnico disponibile; la quota eventualmente eccedente rappresenta l'azoto zootecnico in eccesso

Prendendo a riferimento il dato ricavato nel modo descritto al precedente punto 2, si è assunto che la differenza tra fabbisogni azotati e vendite di azoto sia coperta utilizzando l'azoto zootecnico disponibile calcolato come al punto 3; la rimanente quantità di azoto zootecnico rappresenta azoto in eccesso che si somma ai fabbisogni di azoto per determinare gli apporti finali di azoto.

Sono state utilizzate diverse procedure per considerare la quantità di azoto zootecnico da considerare a copertura dei fabbisogni colturali:

- a) nei comuni appartenenti alle Regioni Agrarie di montagna si è ipotizzato che il 50% del fabbisogno di N sia soddisfatto da apporti di origine zootecnica, per tener conto della maggiore differenza tra fabbisogni e vendite riscontrata per le province di BL e VI, giustificabile appunto ipotizzando nelle aree montane una maggior integrazione con azoto di origine zootecnica;
- b) nei restanti comuni si suppone che il maggior fabbisogno rispetto al venduto sia coperto da N di origine zootecnica, così come descritto al punto 2.

Poiché come riferimento si è mantenuto l'ambito comunale le quote di azoto minerale sostituito da azoto zootecnico sono state conteggiate solo dove quest'ultimo era effettivamente disponibile; escludendo quindi la compensazione dell'azoto zootecnico tra i diversi comuni;

Per il fosforo, essendoci sostanziale equivalenza tra fabbisogni e vendite, si è considerato tutto il fosforo zootecnico come eccedente.

5. Stima a livello di comune delle asportazioni di azoto in funzione delle colture e delle superfici relative

Per ogni coltura o gruppo di colture sono state stimate le asportazioni unitarie di azoto sulla base di dati bibliografici (Aichner et al., 1999)

Le asportazioni totali a livello comunale sono state calcolate tenendo conto della ripartizione colturale nel comune e in funzione delle rese di ciascuna coltura nelle diverse regioni agrarie così come descritto al punto 1.

6. Calcolo dell'azoto in eccesso come differenza tra azoto totale apportato e rispettive asportazioni

L'azoto totale apportato è stato calcolato sommando l'azoto apportato con concimi ottenuti con le modalità descritte al punto 2, con l'azoto di origine zootecnica ottenuto con le modalità descritte al punto 3.

La differenza tra apporti totali e asportazioni di azoto costituisce il surplus di azoto che viene rappresentato nella mappa dei surplus (figura 37).

I surplus calcolati sono stati raggruppati nelle seguenti classi:

CLASSE	AZOTO (kg N/ha)
Molto Basso	<50
Basso	50-100
Medio	100-150
Alto	150-200
Molto Alto	>200

Tabella 34: Classi di surplus di azoto.

Come si nota dalla figura 37 le aree in cui i surplus sono più elevati (colori rosso e rosa) sono localizzate nella fascia pedemontana e coincidono spesso con le aree a più bassa capacità protettiva.

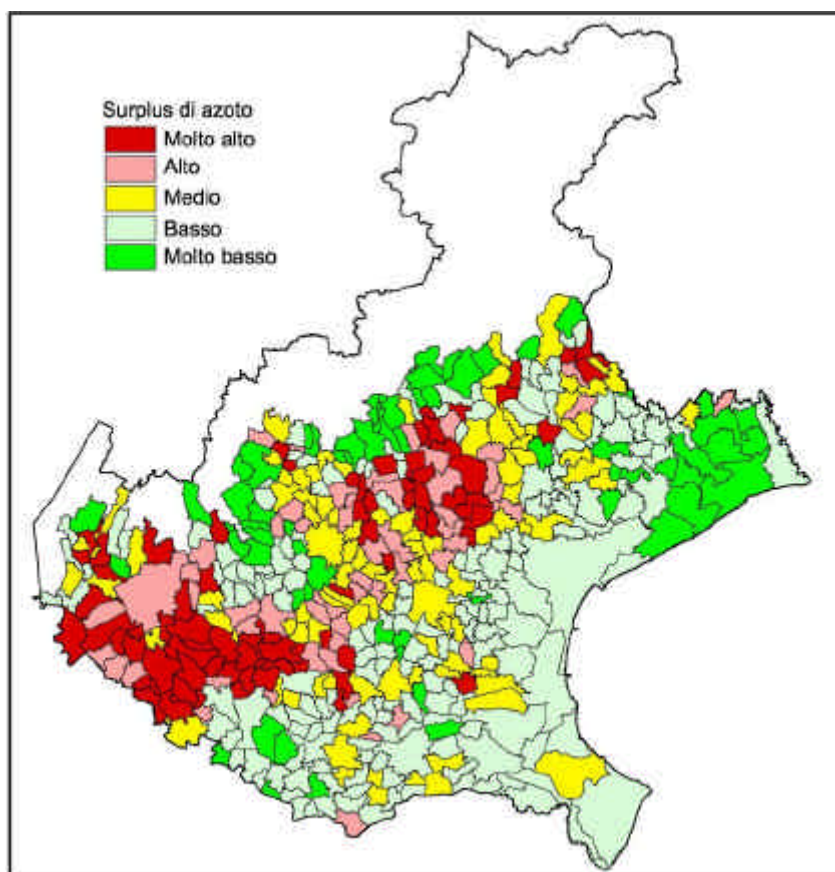


Figura 37: Carta del surplus di azoto calcolato su base comunale.

4.3. Stima del rischio di percolazione dell'azoto nelle falde

Le classi di capacità protettiva sono state combinate con le classi di azoto in eccesso per ottenere delle classi di rischio di percolazione dell'azoto alla base del profilo (figura 38); la combinazione è stata fatta utilizzando lo schema seguente.

Capacità protettiva	Eccesso di azoto distribuito al suolo				
	Molto Basso	Basso	Medio	Alto	Molto Alto
<i>Bassa</i>	Alta	Alta	Alta	Molto Alta	Molto Alta
<i>Moderatamente Bassa</i>	Media	Media	Media	Alta	Alta
<i>Moderatamente Alta</i>	Molto Bassa	Bassa	Bassa	Media	Media
<i>Alta</i>	Molto Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa	Bassa	Bassa

Tabella 35: Rischio di percolazione dell'azoto di origine agrozootecnica alla base del profilo.

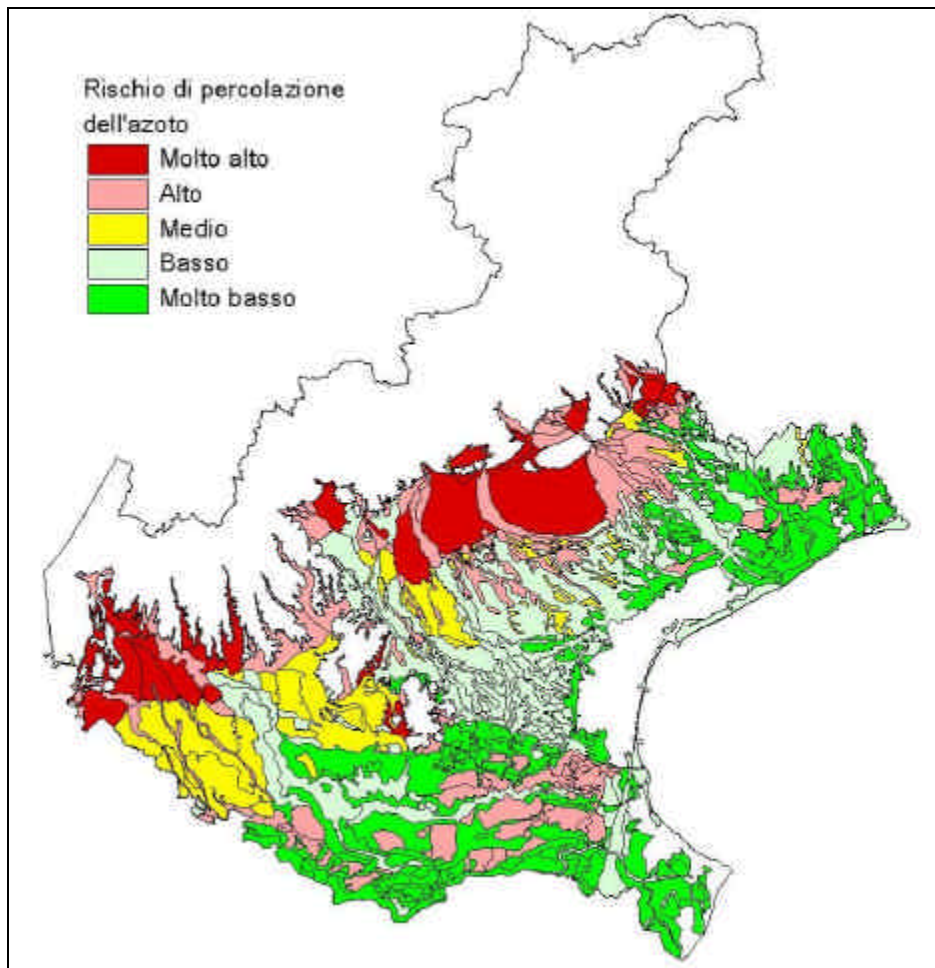


Figura 38: Rischio di percolazione dell'azoto nella pianura veneta.

Come si rileva dalla figura 38 le aree a maggior criticità (colore rosso) sono situate in alta pianura dove coesistono una bassa capacità protettiva del suolo e un elevato surplus di azoto dovuto ad una elevata concentrazione degli allevamenti.

Tale cartografia consente dunque di evidenziare quali siano gli ambiti di maggior criticità relativamente ai fenomeni di inquinamento delle acque sotterranee da nitrati di origine agricola nel territorio della pianura veneta. Si noti che anche nell'ambito delle zone vulnerabili designate dalla Regione Veneto ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs 152/99 si possono definire situazioni a diversa criticità per effetto dei carichi diversi oltre che diversa capacità protettiva del suolo (fino a 2 metri di profondità).

5. BIBLIOGRAFIA

Aichner M., Deluisa A., Dugoni F., Giandon P., Nassisi A. (1999) - “*Dall’analisi del terreno al consiglio di concimazione*”. ASSAM-Regione Marche e Società Italiana dei Laboratori Pubblici Agrochimici.

Blake G.R., Hartge K.H. (1986) - *Bulk density*. In: Klute A. Ed., *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 363-375.

Brady, N.C. and Weil, R.R. (2002) - *The nature and properties of Soils*. 13th Edition, Prentice Hall, New Jersey.

Brooks, R.H. e Corey, A.T. (1964) - *Hydraulic properties of porous media*. Hydrology paper no. 3. Colorado State University, Fort Collins.

Calzolari, C., Ungaro, F. (2001) - *Suoli capisaldo della pianura padano-veneta: bilanci idrici e capacità protettiva*. Rapporto 10.1 Progetto SINA-Carta Pedologica in aree a rischio ambientale, convenzione CNR IGES – regione Emilia Romagna – Servizio Cartografico a Geologico, 43 pp.

Calzolari C., Ungaro F., Ragazzi F., Vinci I., Cappellin R., Venuti L. (2004) - *Valutazione della capacità protettiva dei suoli nel bacino scolante in laguna di Venezia attraverso l’uso di modellistica*. Bollettino della Società Italiana di Scienza del Suolo, 53, pp. 415-421.

Civita M., De Maio M. (1997) - *SINTACS - un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all’inquinamento*. Metodologia e automatizzazione. Pitagora Editore, Bologna.

Eckersten, H., Jansson, P-E., Johnsson, H. (1996) - *SOILN model (ver. 9.1) User’s manual, 3rd edition*. Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Soil Sciences, Division of agricultural Hydrotechnics, Uppsala, 93 pp.

I.S.T.A.T. (2000). *Censimento generale dell’agricoltura*.
<http://sistar.regione.veneto.it/censagr/dettaglio2000/jsp/menu.jsp>

Jarvis, N.J. (1994) - *The MACRO model (Version 3.1). Technical description and sample simulations*. Reports and Dissert. 19, Dept. Soil Sci., Swedish Univ. Agric. Sci., Uppsala, Sweden, 51 pp.

Johnsson, H., Bergstrom, L., Jansson, P-E., Paustrian, K. (1987). *Simulation of soil nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 18, 333-356.

Klute A. (1986) - *Water retention: laboratory methods*. In: Klute A. Ed., *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 635-686.

Klute A., Dirksen C. (1986) - *Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods*. In: Klute A. Ed., *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 687-734.

Larsson, M.H. (1999) - *Quantifying macropore flow effects on nitrate and pesticide leaching in a structured clay soil. Field experiments and modelling with the MACRO and SOILN models*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 164, Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Larsson, M.H., Jarvis, N.J. (1999) - *Evaluation of a dual-porosity model to predict field-scale solute transport in a macroporous clay soil*. Journal of Hydrology, 215, 153-171.

Larsson, M.H., Jarvis, N.J. (1999) - *A dual-porosity model to quantify macropore flow effects on nitrate leaching*. Journal of Environmental Quality, 28, 1298-1307.

Provincia di Vicenza - Osservatorio Agroambientale (1997). *Guida tecnica e normativa per l'utilizzazione agronomica delle deiezioni zootecniche*.

Ragazzi F., Vinci I., Garlato A., Giandon P., Mozzi P. (2004). *Carta dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia*. ARPAV - Osservatorio Regionale Suolo, Castelfranco Veneto (TV).

Regione Piemonte (2002). *Regolamento regionale 18 ottobre 2002, n. 9/R* recante la designazione delle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e relativo programma d'azione.

Regione Veneto (1993). *DGRV 3 agosto 1993, n. 3782. Piano regionale di risanamento delle acque*. Allegato D. Norme per lo spargimento dei liquami provenienti da allevamenti zootecnici. Approvazione delle Linee guida per la predisposizione dei Piani di Concimazione.

Regione Veneto (1997).

<http://www.regione.veneto.it/Servizi+alla+Persona/Sanita/Prevenzione/SanitaAnimaleIgieneAllevamenti/Anagrafe+bovina.htm>

Ungaro, F., Calzolari, C., Busoni, E. (2005). *Development of pedotransfer functions using a group method of data handling for the soil of the Pianura Padano-Veneta region of North Italy. Water retention properties*. Geoderma, Vol 124/3-4 pp 293-317.

Van Genuchten, M. Th., Leij, F.J. e Yates, S.R. (1991) - *The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils*. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of research and Development, U.S. Environmental Protection agency, ADA, OK 74820, pp 85.

Wolf U. (1998) - *Per una descrizione ed interpretazione in campagna di alcuni caratteri direttamente collegati al comportamento idraulico del suolo*. Rapporto 3.1, progetto SINA-Carta pedologica in aree a rischio ambientale, CNR-IGES, Istituto per la Genesi e l'Ecologia del Suolo, Firenze.