

## **Allegato 1**

# Bilancio idrico dei suoli della conoide del fiume Taro

## PREMESSA

Relativamente al progetto “Approfondimento sulla vulnerabilità degli acquiferi della Conoide del fiume Taro”, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli ha dato la propria disponibilità per la definizione di alcune grandezze utili per la successiva modellazione matematica del flusso e del trasporto (nitrati) delle acque sotterranee della conoide del Fiume Taro.

In particolare si è stimato il quantitativo dell'infiltrazione efficace che attraverso i suoli scende verso la falda; successivamente verrà fornita la stima del quantitativo di nitrati che dal sistema suolo-pianta esce e scende verso la falda.

Dovendo lavorare alla scala di conoide, con l'obiettivo di dettagliare l'analisi rispetto al lavoro regionale, si è proceduto analogamente a quanto realizzato per la pianura reggiana e per il conoide del Marecchia, con la realizzazione di un prodotto finale in linea anche con le analoghe esperienze fatte in Regione. Tali elaborazioni si ritiene inoltre forniscano un contributo alla conoscenza delle dinamiche relative al trasferimento dei nitrati dal suolo alle falde che tiene conto anche del sistema suolo-clima-coltura, in zone dove, a scala regionale, tale fenomeno è più preoccupante (es.: conoide del Marecchia, Provincia di Reggio-Emilia e conoide del Taro).

L'analisi del bilancio idrico è stata realizzata dalla dott.ssa Letizia Fumagalli di *DISAT Università di Milano-Bicocca* con la collaborazione del SGSS.

La valutazione del bilancio idrico è stata effettuata adottando la metodica messa a punto dalla Regione Emilia Romagna nel corso del Progetto SINA “Carta Pedologica in Aree a Rischio Ambientale”, in particolare attraverso il sottoprogetto “Modelli e pedofunzioni per la stima delle qualità del suolo influenti sulla vulnerabilità delle acque”. Il sottoprogetto, condotto dal C.N.R.-I.R.P.I. di Firenze, raggiunse due obiettivi principali:

- individuare i modelli di simulazione MACRO (Jarvis, 1994) e SOILN (Eckersten et al., 1996; Larsson et al., 1999) al fine di valutare, in specifici sistemi agro-ambientali, la sensibilità dei suoli all'apporto di azoto e la conseguente capacità protettiva nei confronti della contaminazione da nitrati,
- mettere a punto specifiche pedofunzioni di trasferimento (PTF) per la determinazione di numerosi input richiesti dai modelli stessi, in particolare dei parametri idraulici;
- calibrare e validare i modelli e le pedofunzioni per i suoli regionali.

Il lavoro commissionato prevedeva la raccolta ed elaborazione di dati fisico-chimici relativi a suoli, coltura e ambiente per il loro utilizzo per la determinazione dei bilanci idrici dei suoli, la definizione del periodo di simulazione modellistica, la definizione degli elaborati di rappresentazione dei dati, l'elaborazione dei dati disponibili per la descrizione del bilancio idrico dei suoli.

## 1. FASI DI LAVORO

Il lavoro fino ad ora eseguito ha comportato le seguenti fasi:

- identificazione dei profili rappresentativi dell'area di studio;
- elaborazione dei dati climatici relativi al periodo indicato ai fini della simulazione modellistica;
- definizione degli scenari colturali e gestionali;
- elaborazione dei dati utili alla determinazione dei parametri di input dei modelli;
- definizione dei valori dei parametri idraulici dei suoli mediante l'utilizzo di PTF;
- predisposizione dei files e modellizzazione, che ha comportato l'applicazione per tutti i suoli del modello di flusso (MACRO);
- elaborazioni dei dati di percolazione relative ai suoli in funzione delle delineazioni pedologiche, a scala mensile e giornaliera;

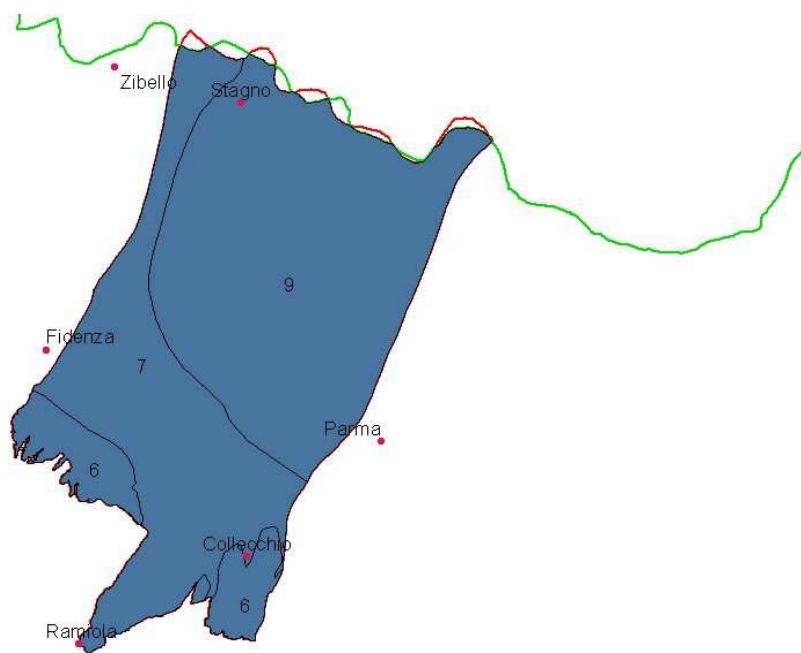
Si descrive di seguito nel dettaglio il lavoro svolto.

## 2. CLIMA E PERIODO CLIMATICO

I dati climatici relativi all'area di studio (precipitazioni e temperature), sono stati forniti dal Servizio Tecnico di Bacino di Parma per le stazioni di Parma, Collecchio, Ramiola, Stagno, Fidenza e Zibello. Tra queste, per il periodo di simulazione definito dal dr. Gianmarco Di Dio [gennaio 2005- dicembre 2006], è stata prescelta la stazione di Stagno, l'unica ad avere il dataset completo dei dati necessari per l'analisi del bilancio idrico.

Nella seguente fig. 1 sono riportate le localizzazioni delle stazioni.

**Figura 1 – Localizzazione delle stazioni meteorologiche**



### 3. MATERIALE e METODI

I parametri che definiscono il sistema fisico da simulare sono suddivisi nei seguenti gruppi:

- geometria del suolo;
- caratteristiche fisico-idrologiche del suolo;
- coltura;
- clima;
- irrigazioni;
- condizioni iniziali;
- condizioni al contorno

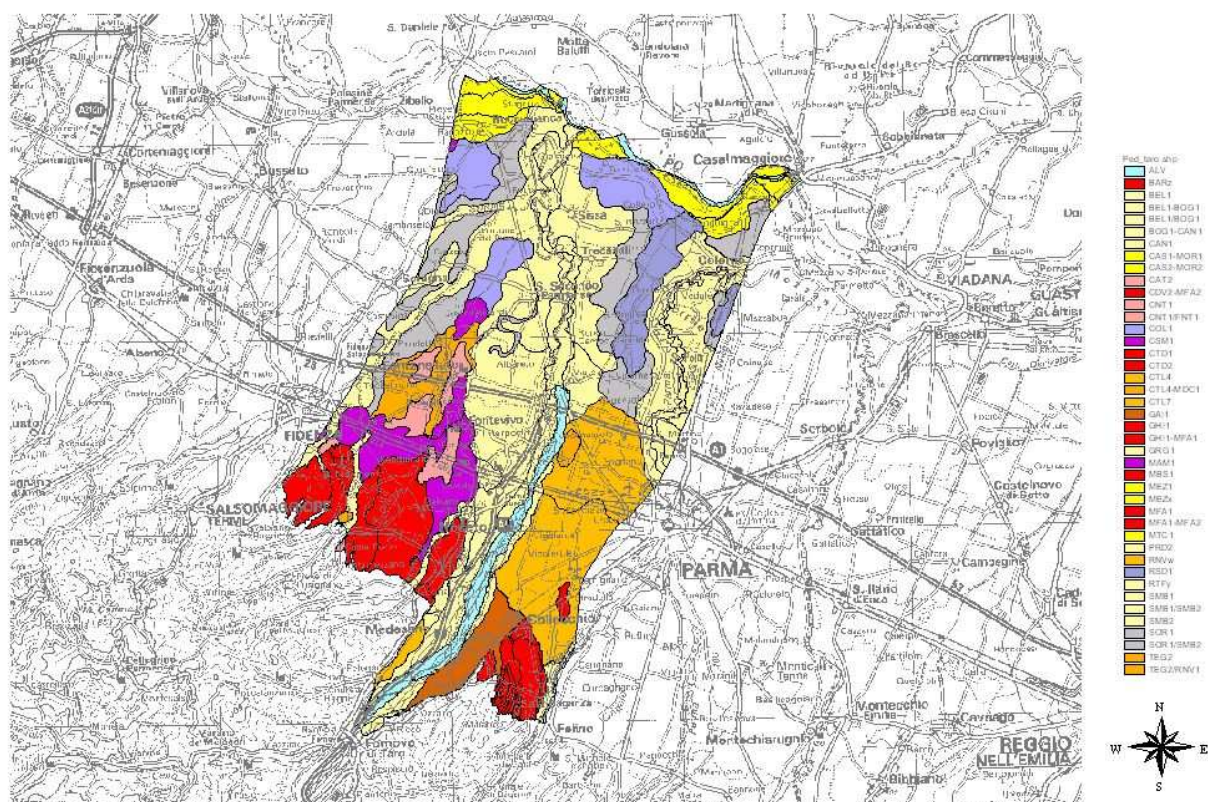
Per il lavoro presentato ci si è avvalsi di:

- dati della banca dati dei suoli della Regione Emilia Romagna relativamente alle caratteristiche tessiturali ed idrologiche dei suoli;
- valori di densità (indicazione di esperto, Servizio Geologico RER)
- valori di conducibilità idraulica (indicazione di esperto, Servizio Geologico RER)
- pedofunzioni di riferimento (Progetto SINA dall'I.R.P.I. C.N.R. di Firenze) nei seguenti files:
  - *New2003\_PTFretc\_scheletro\_ottobre 2003.xls*
  - *NEW2003\_PTFbd.xls*
  - *Nuove\_PTFKsat\_DATIARPAV.xls*
  - *SINA2\_PTFKsat.xls*
  - *MACROPTF\_nuova KSATMIN.xls*
- valori di riferimento dei parametri idraulici (Progetto SINA dall'I.R.P.I. C.N.R. di Firenze), nei seguenti files:
  - *RETC par medi per classi tessiturali.xls*
  - *Ksat tabelle TXT USDA.xls*
- classi irrigue e distribuzione temporale delle irrigazioni (ARPA Emilia Romagna)
- applicazione delle classi irrigue in funzione della tipologia del profilo secondo (indicazione di esperto, Servizio Geologico RER)
- consulenza del C.R.P.A. di Reggio Emilia per la distribuzione dei periodi colturali e degli interventi di pratica agronomica
- consulenza dell'I.S.A. (Istituto Sperimentale Agronomico) di Modena relativamente ai parametri colturali

## 4. SUOLI

Il Servizio Geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna ha selezionato dalla banca dati pedologica le 39 unità cartografiche della Carta dei suoli 1:50.000 (ed. deltot\_06) che ricadono nell'area di indagine:

BARz, BEL1, BEL1/BOG1, BEL1-BOG1, BOG1-CAN1, CAN1, CAS1-MOR1, CAS2-MOR2, CDV2-MFA2, CNT1, CNT1/FNT1, COL1, CSM1, CTD1, CTD2, CTL4, CTL4-MDC1, CTL7, GAI1, GHI1, GRG1, MAM1, MBS1, MEZ1, MEZx, MFA1, MFA1-MFA2, MTC1, PRD2, RNVw, RSD1, RTFy, SMB1, SMB1/SMB2, SMB2, SOR1, SOR1/SMB2, TEG2, TEG2/RNV1.



I suoli presenti sono 50 e in base alle caratteristiche che maggiormente ne influenzano il comportamento idrologico, sono stati raggruppati in 8 *gruppi funzionali*, di seguito descritti in Tabella 1.

Per ciascun gruppo funzionale è stato scelto un suolo di riferimento con relativo profilo corredato di analisi chimico-fisiche. Ove disponibili sono stati utilizzati profili locali, viceversa sono stati selezionati quelli più prossimi all'area di studio. Inizialmente sono state effettuate simulazioni di "controllo" superiori alle 8 richieste in base ai gruppi funzionali definiti.

**Tabella 1 – Descrizione dei gruppi funzionali di suoli**

CODICE GRUPPO FUNZIONALE	SIGLA SUOLO	DESCRIZIONE GRUPPO FUNZIONALE
1	BOG1; CAS1; CAS2; GRG1; MOR1; MOR2; MTCz; VIL2	TEX. MEDIA-GROSSOLANA-MOD.GROSS. (nel Taro Argilla ponderata da 13 a 15% negli orizzonti profondi); DISP.OSS=BUONA o moderata
2	BARz; CAN1;	SKELETRICI; TEX. MOD. GROSS. (Nel Taro Argilla ponderata 5%); DISP.OSS=BUONA
3	CDV2; FNT1; LBA1; MDC2; MFA1; RNV1; RNVw; RTF1; RTFy; SOR1	TEX. MOD.FINE-FINE (Nel Taro Argilla ponderata <40%); DISP.OSS=MODERATA;
5	BAS1; CAT1; CAT2; COL1; CSM1; FNL1; GLS2; MAM1; MFA2; RSD1	TEX. MOD.FINE-FINE (Nel Taro Argilla ponderata >40%); DISP.OSS=MODERATA-IMPERFETTA; Suoli vertici o Vertisuoli
6	BAR1; CNT1; CTD1; CTD2; GHI1; MBS1	TEX. MEDIA (suoli limoso-fini del Margine); DISP.OSS=MODERATA;
7	BEL1; GAI1; MEZ1; SCN5; SMB1	TEX. MEDIA (suoli limoso-fini della Piana alluvionale); DISP.OSS=BUONA;
9	CNO1	TEX.GROSSOLANA (Ustipsamment)
10	CTL4; CLT7; MEZx; MTC1; PRD1; PRD2; SMB2; TEG2	TEX. MEDIA-FINE (suoli limoso-fini - franco argilloso limosi - della Piana alluvionale); DISP.OSS=BUONA o moderata;

**Tabella 2 – Suoli di riferimento dei gruppi funzionali**

GRUPPI FUNZIONALI	SUOLO RIFERIMENTO	COD_PROF_RIF	REGGIO
1	BOG1	A1301P0017	R.EMILIA
2	CAN1	A5011P0003	R.EMILIA
3	SOR1	A5003V0016	PARMA
5	RSD1	E9001P0001	R.EMILIA
5	COL1	A5003V0005	PARMA
6	GHI1	A1301P0024	R.EMILIA
7	SMB1	A5004V0017	R.EMILIA
7	BEL1	A1301P0027	R.EMILIA
9	CNO1	A1105V0080	PIACENZA
10	SMB2	E7405P0002	R.EMILIA
10	CTL7	A1201P0028	R.EMILIA
10	CTL4	A1301P0041	R.EMILIA

Per i singoli profili sono disponibili le seguenti informazioni:

- ✓ Numero, tipo e spessore degli orizzonti (da 0 a 150 cm di profondità);
- ✓ Tessitura (% di Sabbia, Limo e Argilla);
- ✓ Presenza di scheletro (%);
- ✓ Struttura del suolo (dimensione (*size*), forma (*type*) e grado (*degree*) degli aggregati);
- ✓ Densità apparente (g/cm<sup>3</sup>);
- ✓ Contenuto in sostanza organica (%);
- ✓ Contenuto in azoto (‰).
- ✓ Classe di conducibilità idraulica (classi 1-6, cm/h).

Nella Tabella 1 sono riportate le caratteristiche fisico-chimiche degli orizzonti dei suoli utilizzate per le successive elaborazioni.

I valori di conducibilità idraulica del dominio dei macropori (KSATMIN) sono stati attribuiti, su indicazione di esperto, in funzione delle caratteristiche tessiturali degli orizzonti dei suoli sulla base dei risultati di un'analisi di sensibilità effettuata sui suoli reggiani.

**Tabella 3 – Caratteristiche dei suoli rappresentativi**

UTS	Oriz	Low lim	TXT USDA	Skel%	S%	L%	A%	CO%	BD	KSAT
BEL1	Ap	40	silt loam	0	24.36	57.94	17.70	1.87	1.40	20
BEL1	Bw	75	silt loam	0	27.42	53.78	18.80	0.35	1.45	10
BEL1	BC1	115	loam	0	40.26	45.74	14.00	0.23	1.45	10
BEL1	BC2	150	loam	0	45.14	41.36	13.50	0.31	1.45	10
BOG1	Ap	30	silt loam	0	10.86	70.64	18.50	1.37	1.40	20
BOG1	Bw	70	silt loam	0	7.21	78.59	14.20	0.56	1.45	10
BOG1	BC	100	silt loam	0	11.51	70.99	17.50	0.50	1.45	10
BOG1	2C	150	loamy sand	65	85.76	11.24	3.00	0.15	1.50	100
CAN1	Ap	35	silt loam	10	33.00	54.00	13.00	1.39	1.45	100
CAN1	2C	150	sand	70	90.00	5.00	5.00	0.41	1.45	500
CNO1	Ap	50	loamy sand	0	77.64	16.71	5.65	1.04	1.40	100
CNO1	C1	110	sand	0	90.80	6.94	2.26	0.35	1.45	500
CNO1	C2	200	sand	0	97.15	2.75	0.10	0.17	1.45	500
CTL4	Ap	50	silty clay loam	0	18.17	52.83	29.00	1.32	1.43	10
CTL4	Bw	85	clay loam	0	25.41	47.09	27.50	0.45	1.46	10
CTL4	Bk	120	silt loam	0	23.03	52.97	24.00	0.35	1.50	10
CTL4	BC	150	silt loam	0	20.53	58.77	20.70	0.30	1.50	10
CTL7	Ap	40	silty clay loam	0	14.00	54.00	32.00	1.39	1.47	10
CTL7	Bw	70	silty clay loam	0	12.00	56.00	32.00	0.87	1.50	1
CTL7	Bk1	100	silt loam	0	23.00	57.00	20.00	0.35	1.55	10
CTL7	Bk2	150	loam	0	48.00	39.00	13.00	0.17	1.55	10
GHI1	Ap	55	silt loam	0	11.00	77.00	12.00	1.51	1.60	2.5
GHI1	Bt1	90	silty clay loam	0	8.00	59.00	33.00	0.29	1.65	1
GHI1	Bt2	150	silty clay	0	7.00	43.00	50.00	0.23	1.70	1
RSD1	Ap1	10	silty clay	0	5.00	42.00	53.00	1.45	1.40	2.5
RSD1	Ap2	60	silty clay	0	5.00	42.00	53.00	1.33	1.40	1
RSD1	Bwss	85	clay	0	5.00	37.00	58.00	0.93	1.45	0.1
RSD1	Bsskg	135	clay	0	3.00	38.00	59.00	0.70	1.45	0.1
RSD1	BCssg	150	silty clay	0	2.00	46.00	52.00	0.64	1.45	0.1
SMB1	Ap1	30	silt loam	0	23.00	55.00	22.00	0.70	1.45	20
SMB1	Ap2	75	silt loam	0	16.00	60.00	24.00	0.52	1.47	10
SMB1	C	100	silt loam	0	25.00	52.00	23.00	0.41	1.50	10
SMB1	2Cg	150	silt loam	0	25.00	55.00	20.00	0.46	1.50	10
SMB2	Ap1	25	silty clay loam	0	9.00	62.00	29.00	1.39	1.45	20
SMB2	Ap2	65	silty clay loam	0	7.00	63.00	30.00	1.22	1.48	10
SMB2	Bw	100	silt loam	0	6.00	71.00	23.00	0.52	1.50	10
SMB2	BC	150	silt loam	0	23.00	58.00	19.00	0.35	1.48	10
COL1	Ap	60	silty clay	0	8.00	43.00	49.00	2.09	1.40	2.5
COL1	Bss	95	clay	0	5.00	39.00	56.00	1.28	1.40	1
COL1	Bssg	150	clay	0	7.00	34.00	59.00	0.81	1.45	0.1
SOR1	Ap1	30	silty clay	0	8.00	42.00	50.00	1.57	1.40	2.5
SOR1	Ap2	53	silty clay	0	8.00	42.00	50.00	1.57	1.40	1
SOR1	Bw1	80	clay	0	6.00	38.00	56.00	0.64	1.45	0.1
SOR1	Bw2	110	silty clay	0	5.00	44.00	51.00	0.52	1.45	0.1
SOR1	CBg	150	silty clay loam	0	6.00	58.00	36.00	0.41	1.45	0.1

#### 4.4. Pedofunzioni

Le pedofunzioni di trasferimento (PTF) utilizzate nel presente sono state elaborate nell'ambito del sottoprogetto SINA "Modelli e pedofunzioni per la stima delle qualità del suolo influenti sulla vulnerabilità



delle acque” (Ungaro, Calzolari, et al, 2001) e consentono di stimare i parametri idraulici tra cui la curva di ritenzione idrica secondo il modello di Brooks e Corey (1964). Esse, sviluppate usando la tecnica GMDH (*Group Method of Data Handling*), sono state calibrate partendo su un ampio data set di curve di ritenzione di orizzonti pedologici della Pianura Padana e validate su dati locali.

Le variabili richieste come input per l’uso delle citate PTF sono:

- ✓ *sabbia, limo e argilla (%)*;
- ✓ *carbonio organico (%)*;
- ✓ *scheletro (%)*;
- ✓ *densità apparente (g/cm<sup>3</sup>)*;
- ✓ *struttura (classi si dimensione, forma e grado di sviluppo)*.

I parametri di output dalle PTF e usati come input di MACRO sono:

- ✓ *contenuto idrico a saturazione (TPORV, cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)*;
- ✓ *contenuto idrico a saturazione dei micropori (XMPOR, cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)*;
- ✓ *potenziale d’ingresso dell’aria (CTEN, cm)*;
- ✓ *contenuto idrico residuale (RESID, cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)*;
- ✓ *indice di distribuzione dei pori (micropori) (ZLAMB, -)*;
- ✓ *conducibilità idraulica a saturazione dei micropori (KSM, mm/h)*;
- ✓ *indice di distribuzione dei macropori (ZN, -)*.
- ✓ *contenuto idrico alla capacità di campo (THETAINIT, cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)*;
- ✓ *contenuto idrico al punto di appassimento (WILT, cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)*.

Per una descrizione dettagliata delle procedure di calcolo utilizzate nelle PTF, si rimanda alla relazione “*Pedofunzioni per la stima dei parametri fisico-idrologici: implementazione banca dati dei suoli RER*” di F.Ungano F. e C.Calzolari e alla relazione “*Applicazione del modello di simulazione di MACRO ad alcuni suoli capisaldo della pianura padano-veneta*” (C.Calzolari, F.Ungaro, E.Busoni, P.Magazzini, P. Salvador Sanchiz, 1999)

Viene in particolare determinato il parametro di *lunghezza effettiva di diffusione (ASCAL, mm)* che controlla l’incidenza dei flussi gravitativi nei macropori, in base alla morfologia e alle dimensioni degli aggregati primari secondo i valori riportati in Tabella 4. Nel caso di orizzonti incoerenti o massivi il valore di ASCALE viene posto uguale ad 1 mm (zero nominale).

**Tabella 4- determinazione dell’ASCAL.**

Dimensioni	Forma			
	Granulare	Lamellare	Poliedrica	Prismatica
Fine	2*	10*	5*	10*
Media	3*	25*	10*	25*
Grossolana	5*	50*	25*	50*
Molto grossolana	10*	50*	50*	100*

*\*fattori moltiplicativi per il grado di espressione della struttura:*

1. molto debolmente e debolmente sviluppata: 1,0

2. moderatamente sviluppata 2,0

3. fortemente e molto fortemente sviluppata 3,0.

Ai parametri ZA (fattore di relazione tra conducibilità satura dei macropori e macroporosità), ZM (fattore di tortuosità dei micropori) e ZP (pendenza della curva di *shrinkage* caratteristica, -) vengono assunti i valori rispettivamente di 1, 0,5 e 1.

La presenza di *scheletro* negli orizzonti viene considerata modificando i parametri risultanti dalle PTF attraverso l'applicazione di un fattore moltiplicativo di correzione (*skel factor*) calcolato come:

$$\text{Skel factor} = 1 - (\% \text{ di scheletro} / 100) * (1 - 0,04)$$

**Tabella 4 – Parametri idraulici degli orizzonti dei suoli**

UTS	ORIZZ	USDA	Z	THETAR	THETAS	PSIe	LAMBDA	TPORV	FC	WILT	ZN	KSM	ASCALE	KSAT
BEL1	Ap	silt loam	40	0.050	0.421	37.985	0.135	0.472	0.328	0.215	5	0.034	10	20
BEL1	Bw	silt loam	75	0.035	0.430	43.381	0.135	0.453	0.336	0.214	5	0.027	20	10
BEL1	BC1	loam	115	0.023	0.435	29.743	0.152	0.453	0.310	0.183	5	0.064	25	10
BEL1	BC2	loam	150	0.023	0.433	25.989	0.161	0.453	0.296	0.170	5	0.088	25	10
BOG1	Ap	silt loam	30	0.027	0.420	54.352	0.105	0.472	0.353	0.244	5	0.013	50	20
BOG1	Bw	silt loam	70	0.049	0.427	32.386	0.144	0.453	0.321	0.206	5	0.050	20	10
BOG1	BC	silt loam	100	0.021	0.426	56.088	0.113	0.453	0.353	0.236	5	0.013	50	10
BOG1	2C	loamy sand	150	0.003	0.161	15.618	0.894	0.163	0.014	0.004	4	0.376	1	100
CAN1	Ap	silt loam	35	0.033	0.381	32.594	0.175	0.409	0.266	0.152	5	0.053	10	100
CAN1	2C	sand	150	0.010	0.143	23.562	0.915	0.149	0.022	0.010	5	0.149	1	500
CNO1	Ap	loamy sand	50	0.005	0.437	6.024	0.724	0.472	0.029	0.007	3	5.883	100	100
CNO1	C1	sand	110	0.055	0.437	6.024	0.673	0.453	0.081	0.057	3	5.582	100	500
CNO1	C2	sand	200	0.000	0.441	6.024	0.871	0.453	0.014	0.000	3	6.790	1	500
COL1	Ap	silty clay	60	0.144	0.465	68.804	0.094	0.472	0.422	0.338	6	0.008	50	2.5
COL1	Bss	clay	95	0.105	0.486	99.886	0.100	0.551	0.444	0.337	6	0.004	75	1
COL1	Bssg	clay	150	0.233	0.476	119.651	0.146	0.539	0.443	0.353	6	0.004	150	0.1
CTL4	Ap	silty clay loam	50	0.028	0.408	40.899	0.094	0.460	0.341	0.246	5	0.020	50	10
CTL4	Bw	clay loam	85	0.020	0.424	34.486	0.105	0.449	0.340	0.234	5	0.033	75	10
CTL4	Bk	silt loam	120	0.014	0.416	39.361	0.104	0.434	0.337	0.231	5	0.024	50	10
CTL4	BC	silt loam	150	0.013	0.418	44.476	0.107	0.434	0.340	0.230	5	0.020	25	10
CTL7	Ap	silty clay loam	40	0.025	0.403	47.817	0.092	0.445	0.342	0.247	5	0.014	50	10
CTL7	Bw	silty clay loam	70	0.027	0.408	53.318	0.096	0.434	0.347	0.249	5	0.012	20	1
CTL7	Bk1	silt loam	100	0.013	0.403	38.284	0.107	0.415	0.323	0.219	5	0.026	25	10
CTL7	Bk2	loam	150	0.018	0.409	24.288	0.149	0.415	0.284	0.169	5	0.088	25	10
GHI1	Ap	silt loam	55	0.036	0.411	21.082	0.144	0.479	0.289	0.182	5	0.114	20	2.5
GHI1	Bt1	silty clay loam	90	0.032	0.389	73.560	0.074	0.477	0.352	0.273	6	0.005	50	1
GHI1	Bt2	silty clay	150	0.040	0.476	98.895	0.078	0.543	0.437	0.335	6	0.003	50	1
RSD1	Ap1	silty clay	10	0.118	0.482	75.425	0.117	0.583	0.425	0.314	6	0.009	15	2.5
RSD1	Ap2	silty clay	60	0.118	0.480	75.425	0.117	0.581	0.423	0.313	6	0.009	10	1
RSD1	Bwss	clay	85	0.117	0.484	73.016	0.112	0.579	0.427	0.319	6	0.009	30	0.1
RSD1	Bsskg	clay	135	0.053	0.470	92.591	0.111	0.572	0.415	0.289	6	0.005	30	0.1
RSD1	BCssg	silty clay	150	0.007	0.474	199.986	0.132	0.515	0.446	0.272	7	0.001	100	0.1
SMB1	Ap1	silt loam	30	0.021	0.419	38.604	0.107	0.453	0.338	0.232	5	0.026	25	20
SMB1	Ap2	silt loam	75	0.017	0.419	50.319	0.098	0.445	0.352	0.247	5	0.014	50	10
SMB1	C	silt loam	100	0.023	0.415	56.507	0.148	0.434	0.325	0.194	5	0.016	1	10
SMB1	2Cg	silt loam	150	0.023	0.414	58.221	0.156	0.434	0.322	0.187	5	0.016	1	10
SMB2	Ap1	silty clay loam	25	0.020	0.404	66.048	0.088	0.453	0.354	0.258	6	0.007	50	20
SMB2	Ap2	silty clay loam	65	0.016	0.403	76.814	0.088	0.442	0.357	0.259	6	0.005	50	10
SMB2	Bw	silt loam	100	0.015	0.412	73.997	0.095	0.434	0.360	0.254	6	0.006	50	10
SMB2	BC	silt loam	150	0.016	0.422	42.093	0.114	0.442	0.338	0.225	5	0.024	25	10
SOR1	Ap1	silty clay	30	0.170	0.469	81.291	0.124	0.472	0.422	0.326	6	0.008	6	2.5
SOR1	Ap2	silty clay	53	0.157	0.469	66.684	0.095	0.472	0.426	0.343	6	0.009	50	1
SOR1	Bw1	clay	80	0.142	0.475	79.900	0.105	0.546	0.430	0.334	6	0.007	75	0.1
SOR1	Bw2	silty clay	110	0.081	0.473	91.511	0.098	0.532	0.427	0.319	6	0.005	75	0.1
SOR1	CBg	silty clay loam	150	0.024	0.440	85.035	0.086	0.453	0.395	0.291	6	0.005	75	0.1

## 5. COLTURA E PRATICHE AGRONOMICHE

Tra le diverse coltivazioni prevalenti nell'area di studio ai fini della modellizzazione si è convenuto di simulare una successione ripetuta di mais da granella che, oltre ad essere piuttosto diffusa sul territorio provinciale, può rappresentare una situazione di rischio in relazione alla definizione della capacità protettiva dei suoli a causa dell'esigenza irrigua e della sua coltivazione primaverile-estiva, priva di copertura nel periodo invernale.

Inoltre la simulazione dello sviluppo di tale specie vegetale, e quindi i parametri colturali necessari per la simulazione con MACRO, sono stati messi appunto e sperimentati con successo in precedenti approcci modellistici in maniera maggiore rispetto a quelli di altri tipi vegetazionali diffusi sul territorio, e risultano quindi più affidabili.

La simulazione ha tenuto conto delle caratteristiche della coltivazione del mais, che necessita di un periodo utile di coltivazione di 120-150 giorni, una aratura autunnale alla profondità di 30-40 cm e una irrigazione di soccorso, che ne avvantaggia la crescita.

Nello specifico della modellizzazione, secondo le indicazioni del C.R.P.A. di Reggio Emilia, è stata simulato uno scenario colturale di mais da granella che prevede la semina a metà aprile (18 aprile) e la raccolta a fine settembre (24 settembre), mentre al 2 di ottobre avviene l'aratura del campo.

I dati relativi allo sviluppo colturale utilizzati come input ai modelli MACRO sono stati invece messi a punto dall'I.S.A. Istituto Sperimentale Agronomico, sezione di Modena, in collaborazione con la Regione Emilia Romagna ("Simulating Nitrogen Dynamics in Agricultural Soils Fertilized with Pig Slurry and Urea", R.Marchetti, G.Ponzoni, P. Spallacci, 2003; "Valutazione di modalità alternative di definizione dei parametri idrologici per la stima del bilancio idrico di suoli rappresentativi della pianura emiliano-romagnola, Progetto di convenzione I.S.A.-MO e RER, 2003). I parametri utilizzati sono riportati in Tabella 6.

## 5.1. Irrigazioni

Per il calendario delle *irrigazioni* si è fatto riferimento ai valori indicati per precedenti simulazioni (Reggio Emilia, 1991-2000) dall'ARPA-SMR della Regione Emilia Romagna che, avvalendosi del modello di bilancio idrico CRITERIA, indicò le necessità colturali in relazione alle caratteristiche tessiturali dei vari profili nell'ambiente della pianura emiliano-romagnola.

In tal modo, in funzione della classe tessiturale del singolo terreno, furono individuati tre calendari irrigui, illustrati nella Tabella 5, rispettivamente di 100 mm/anno per i suoli a tessitura fine, di 120 mm/anno per i suoli a tessitura media e di 150 mm/anno per suoli a tessitura più grossolana o con scheletro, con 2/3 apporti all'anno, distribuiti nell'arco di dieci ore.

**Tabella 5 - suoli suddivisi nelle tre classi di irrigazione.**

<b>Classe di irrigazione MINIMA (100 mm/anno)</b>	<b>Classe di irrigazione MEDIA (120 mm/anno)</b>	<b>Classe di irrigazione MASSIMA (150 mm/anno)</b>
<b>50 mm (giorni 193-210)</b>	<b>40 mm (giorni 185-198-210)</b>	<b>50 mm (giorni 185-198-210)</b>
<b>SUOLI A TESSITURA FINE</b>	<b>SUOLI A TESSITURA MEDIA</b>	<b>SUOLI A TESSITURA GROSSOLANA O PRESENZA DI SCHELETRO.</b>
<i>Coltaro1 (COL1)</i>	<i>Cataldi/4 (CTL4)</i>	<i>Bellaria (BEL1)</i>
<i>Soragna1 (SOR1)</i>	<i>Cataldi/7 (CTL7)</i>	<i>Borghesa/1 (BOG1)</i>
<i>Risaia del Duca/1 (RSD1)</i>	<i>Ghiardo/1 (GHI1)</i>	<i>Candia/1 (CAN1)</i>
	<i>Sant'Omobono/1 (SMB1)</i>	<i>Ca' Nova/z (CNO1)</i>
	<i>Sant'Omobono/2 (SMB2)</i>	

**Tabella 6 – Parametri di input di macro e fonte del dato utilizzato**

<b>MACRO soil profile</b>			
<b>SIGLA</b>	<b>descrizione</b>	<b>provenienza del valore del parametro</b>	<b>valore</b>
<b>NLAYER</b>	numero di strati in cui viene suddiviso il profilo	in accordo con SOILN	10
<b>Z</b>	spessore di ciascun strato (mm)	da caratteristiche pedologiche	variabile
<b>MACRO site (stazione pedologica)</b>			
<b>RAINCO</b>	fattore di correzione per le precipitazioni;compensa le sottostime dovute a cattura da parte del vento	valore di default	1
<b>SNOWCO</b>	fattore di correzione per le precipitazioni nevose;compensa le sottostime dovute a deriva a causa del vento	valore di default	1
<b>ANNAMP</b>	ampiezza media dell'escursione termica alla stazione (°C)	dati metereologici della stazione di riferimento (Modena Burana)	12.1
<b>ANNTAV</b>	temperatura media annua della stazione (°C)	dati metereologici della stazione di riferimento (Modena Burana)	12.1
<b>RGWFLOW</b>	tempo di residenza per la falda (giorni)	valore di default	0
<b>SNOWMF</b>	fattore che regola la velocità di scioglimento della copertura nevosa quando la temperatura media giornaliera è sopra lo zero (mm/°C/d)	valore di default	4.5
<b>LAYERD</b>	profondità del sistema di drenaggio secondario (m)	no dreni	-
<b>PHI</b>	latitudine della stazione (gradi)	stazione di Villa Cella ( RE )	45.00
<b>RINTEN</b>	intensità media di precipitazione oraria alla stazione (mm/h)	elaborazione dati stazioni metereologiche RE	5
<b>DRAINDEP</b>	profondità dei dreni (m)	no dreni	-
<b>SPACE</b>	distanza tra i dreni (m)	no dreni	-
<b>MACRO condizioni iniziali e al contorno</b>			
<b>SOILINIT</b>	concentrazione di soluto al contorno inferiore (mg/m3)	non considerati i soluti con MACRO	0
<b>TEMPINI</b>	temperatura iniziale del suolo (°C)	Stazione Modena Burana elaborazione C.N.R. - I.R.P.I.	variabile
<b>THETAINI</b>	contenuto idrico volumetrico iniziale (%)	capacità di campo Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>MACRO trasporto di soluti</b>			
<b>AEXC</b>	acqua esclusa dal trasporto attivo dei soluti per esclusione anionica (%)	valore di default	0
<b>CONC</b>	concentrazione del soluto nelle precipitazioni (mg/m3)	non considerati i soluti con MACRO	0
<b>DIFF</b>	coefficiente di diffusione nell'acqua libera (m2/s)	valore di default	4.60E-10
<b>DV</b>	dispersivity (cm)	valore di default	1
<b>FSTAR</b>	prelievo si soluto da parte della coltura nel flusso di traspirazione	valore di default	1.0
<b>ZMIX</b>	profondità di mescolamento (mm)	I.S.A. Modena, 2003	3

**Tabella 6 – Parametri di input di macro e fonte del dato utilizzato (continuazione)**

<b>MACRO proprietà fisico idrologiche del suolo</b>			
<b>SIGLA</b>	<b>descrizione</b>	<b>provenienza del valore del parametro</b>	<b>valore</b>
<b>ASCALE</b>	lunghezza di diffusione (mm), controlla il tasso di scambio di acqua e soluti tra i due domini di flusso.	Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>CTEN</b>	potenziale idrico al limite tra i due domini di flusso (cm)	Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>GAMMA</b>	densità apparente	Servizio Geologico RER	variabile
<b>KSATMIN</b>	conducibilità idraulica in condizioni di saturazione dei macropori (cm/h)	Servizio Geologico RER – fasi di taratura	variabile
<b>KSM</b>	conducibilità idraulica in condizioni di saturazione dei micropori (cm/h)	Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>RESID</b>	contenuto idrico residuale (%)	Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>TPORV</b>	contenuto idrico a saturazione (%)	Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>WILT</b>	contenuto idrico al punto di appassimento (%); è la massima quantità di acqua asportabile dal terreno	Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>XMPOR</b>	contenuto idrico a saturazione dei micropori (%)	Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>ZA</b>	nella funzione di potenza che lega la conducibilità idraulica dei micropori alla macroporosità è l'esponente	C.N.R. I.R.P.I.	1
<b>ZLAMB</b>	indice di distribuzione dimensionale dei micropori; definisce la forma della curva di ritenzione nel dominio dei micropori	Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>ZM</b>	fattore di tortuosità (micropori)	C.N.R. I.R.P.I.	0.5
<b>ZN</b>	fattore di tortuosità (macropori)	Pedofunzioni C.N.R. I.R.P.I. di Firenze	variabile
<b>ZP</b>	pendenza della curva caratteristica di shrinkage; rapporto tra shrinkage volumetrico nel dominio dei micropori e il volume di acqua perso	C.N.R. I.R.P.I.	1

**Tabella 6 – Parametri di input di macro e fonte del dato utilizzato (continuazione)**

<b>MACRO coltura</b>			
<b>SIGLA</b>	<b>descrizione</b>	<b>provenienza del valore del parametro</b>	<b>valore</b>
<b>BETA</b>	fattore di adattabilità radicale;permette di prelevare acqua in eccesso da strati con contributo idrico ottimale per compensare eventuali deficit dovuti a carenza idrica in altri strati	I.S.A. Modena, 2003	0.5
<b>CANCAP</b>	capacità di intercettazione della chioma (mm)	I.S.A. Modena, 2003	2.2
<b>CFORM</b>	fattore di forma;controlla lo sviluppo dell'area fogliare tra l'emergenza e il massimo sviluppo della chioma	I.S.A. Modena, 2003	1.65
<b>CRITAIR</b>	contenuto critico di aria nel suolo per l'assorbimento radicale (%)	I.S.A. Modena, 2003	5
<b>DFORM</b>	fattore di forma;controlla la diminuzione dell'area fogliare tra il massimo sviluppo della chioma ed il raccolto	I.S.A. Modena, 2003	0.58
<b>IDMAX</b>	giorno di massimo sviluppo dell'area fogliare	indicazioni C.R.P.A.	193
<b>IDSTART</b>	giorno di emergenza	indicazioni C.R.P.A.	108
<b>IHARV</b>	giorno del raccolto	indicazioni C.R.P.A.	267
<b>LAIHARV</b>	indice di area fogliare al momento del raccolto	I.S.A. Modena, 2003	1
<b>LAIMAX</b>	massimo indice di area fogliare	I.S.A. Modena, 2003	4.5
<b>LAIMIN</b>	indice di area fogliare in corrispondenza di ZDATEMIN	I.S.A. Modena, 2003	0.005
<b>ROOTINIT</b>	profondità radicale in corrispondenza di ZDATEMIN (m)	I.S.A. Modena, 2003	0.05
<b>ROOTMAX</b>	massima profondità radicale	I.S.A. Modena, 2003	1.5
<b>RPIN</b>	distribuzione delle radici (%)	I.S.A. Modena, 2003	40
<b>NCROP</b>	numero di colture all'anno		1
<b>WATEN</b>	tensione critica per l'assorbimento radicale	I.S.A. Modena, 2003	40
<b>ZALP</b>	fattore di correzione per l'evaporazione da chioma bagnata	I.S.A. Modena, 2003	1
<b>ZDATEMIN</b>	giorno dell'anno,corrispondente all'indice di area fogliare,all'altezza della coltura e alla profondità delle radici specificate da LAIMIN,ZHMIN,ROOTINI rispettivamente	indicazioni C.R.P.A.	109
<b>MACRO irrigazione</b>			
<b>AMIR</b>	quantità di acqua somministrata (mm)	indicazione ARPA	50
<b>CONCI</b>	concentrazione del soluto nell'acqua di irrigazione (mg/m3)	solo flusso idrico simulato con macro	0
<b>CRITDEF</b>	deficit idrico critico per l'irrigazione	default	-1
<b>ICYCLE</b>	pattern d'irrigazione	default	-1
<b>IRRDAY</b>	giorno di irrigazione	classi irrigazione ARPA	variabile
<b>IRREND</b>	fine dell'irrigazione	irrigazione su 10 ore per evitare runoff	18
<b>IRRSTART</b>	inizio dell'irrigazione	irrigazione su 10 ore per evitare runoff	8
<b>NIRR</b>	numero di irrigazioni	classi irrigazione ARPA	variabile
<b>ZFINT</b>	frazione di acqua irrigua intercettata dalla chioma	valore di default	1

## 6. ALLESTIMENTO DELLA SIMULAZIONE

Sono stati compilati i file di input del modello MACRO per i singoli suoli assegnando:

- 1) variabili guida, a scala giornaliera (precipitazioni, temperature massima e minima, evapotraspirazione, calcolata mediante il modello di Hargreaves e Samani, 1982);
- 2) parametri di INPUT che definiscono il sistema fisico da simulare (stazione, falda, suolo, coltura, operazioni colturali, calendario delle operazioni, irrigazioni), definiti in Tabella 6;

Per quanto concerne le condizioni al contorno, è stato simulato un profilo privo di falda, assegnando la sistema un gradiente idraulico costante (BOUNDARY=1)

Tra i diversi output del modello MACRO sono stati considerati, per la valutazione della ricarica della falda:

- *Flussi in entrata: PRECIRA* precipitazioni + irrigazioni cumulate (mm);
- *Flussi in uscita: TFLOWOUT* percolazione totale cumulata alla base del profilo (mm);

## 7. RISULTATI E CONSIDERAZIONI – MODELLO MACRO

I risultati di percolazione alla base dei profili sono stati calcolati su scala giornaliera per il periodo considerato (2005-2006) ed elaborati a scala mensile per il medesimo periodo.

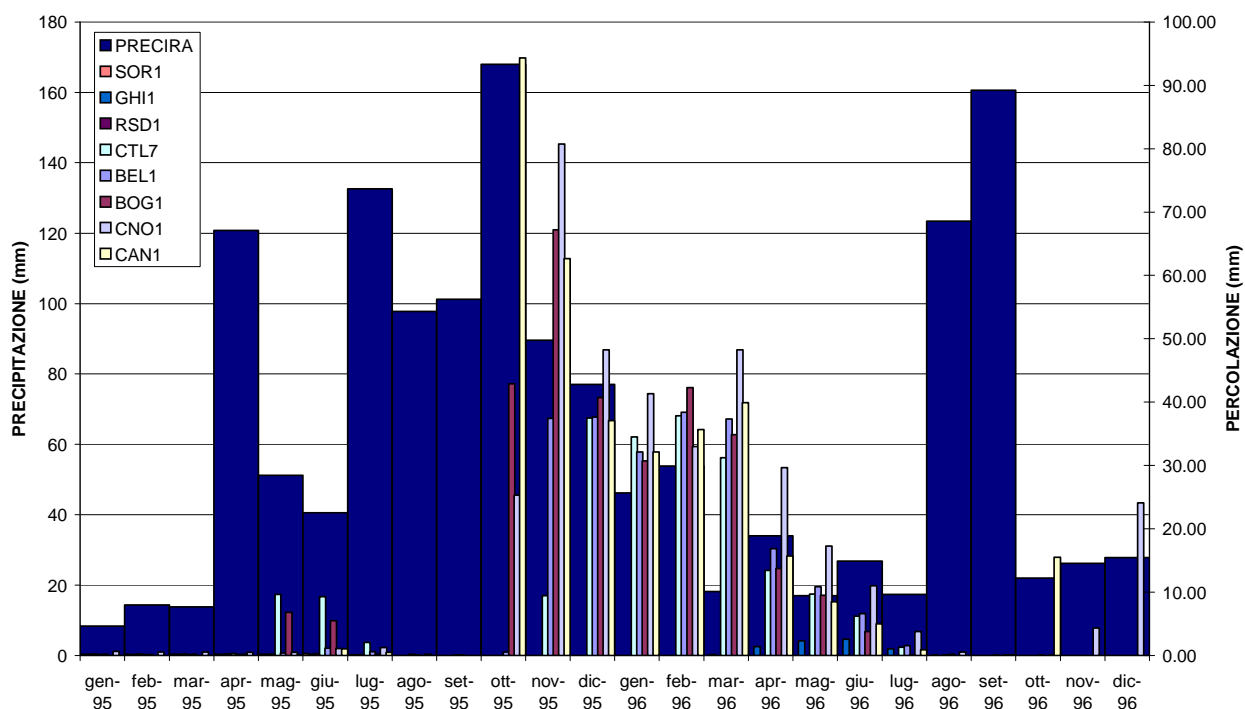
La percolazione alla base del profilo, a scala mensile, dei singoli profili analizzati, è rappresentata, in relazione alla distribuzione delle precipitazioni mensili del periodo, nel grafico di Figura 1; la stessa è stata illustrata, separando i singoli profili in funzione della diversa capacità di protezione, nei grafici di Figura 2 e Figura 3, al fine di meglio evidenziarne il comportamento.

Si nota come la percolazione alla base del profilo venga ritardata rispetto alle precipitazioni ed irrigazioni di input, in misura crescente al crescere della capacità di protezione.

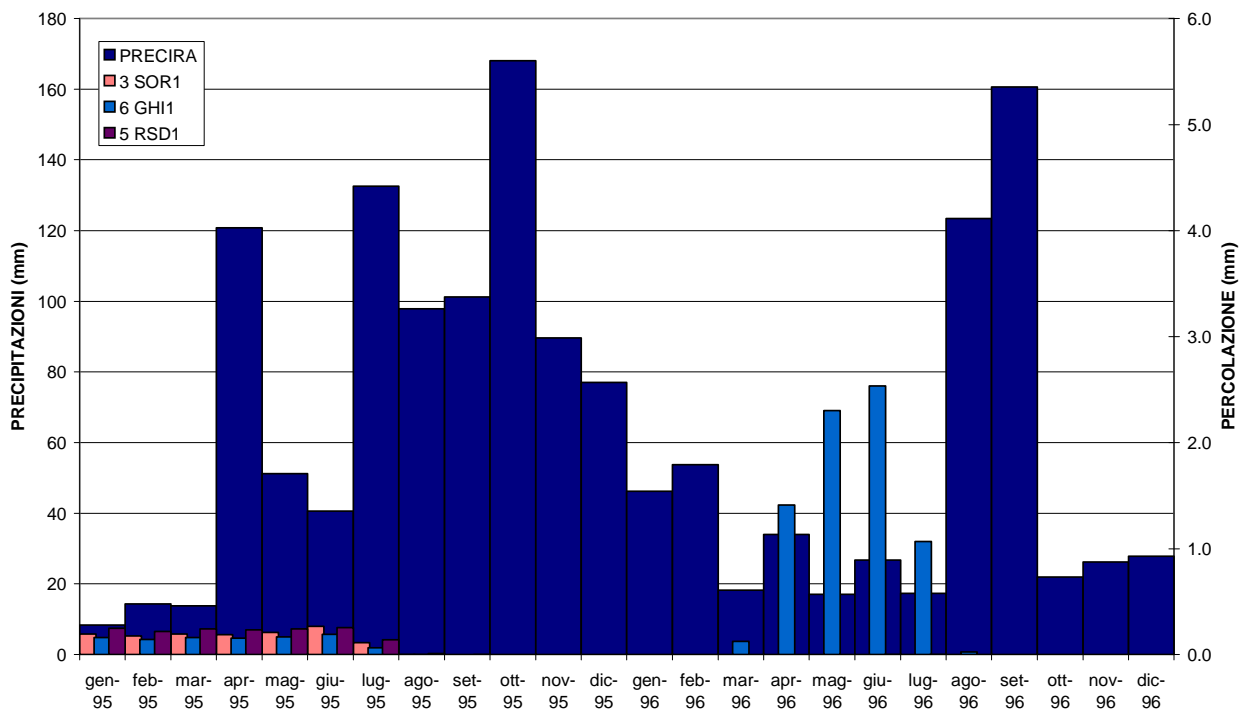
A seguito dell'analisi modellistica, per ciascuna delimitazione (poligono) della Carta dei suoli 1.50.000, è stata calcolata la stima dei flussi giornalieri e mensili alla base del suolo. In questa fase si è tenuto conto della variabilità geografica presente nelle singole delimitazioni ponderando le perdite dei flussi dei singoli suoli in base alla relativa presenza percentuale.

Si osserva come, in generale, la percolazione delle singole delimitazioni, rispetto agli apporti di input, ricalchi il comportamento dei suoli che le compongono (Figura 4).

### PRECIPITAZIONI E PERCOLAZIONE NEI SUOLI RAPPRESENTATIVI

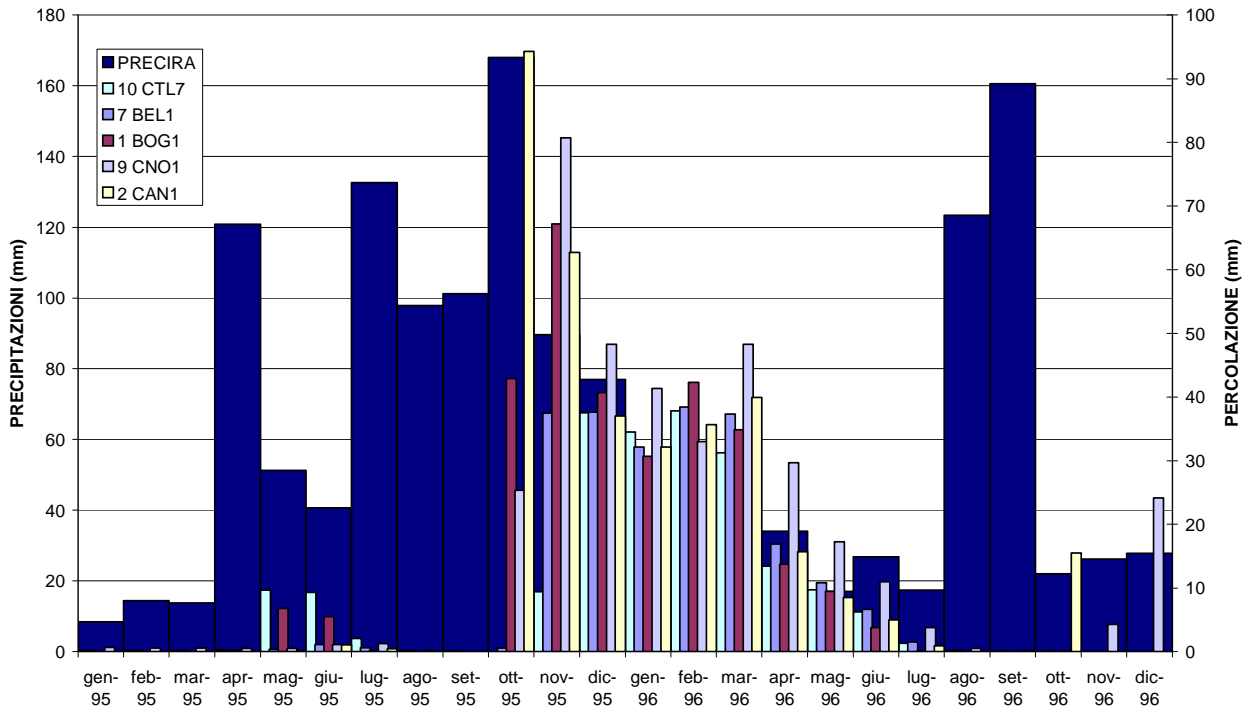


### SUOLI MENO PERMEABILI





### SUOLI PIU' PERMEABILI



### DELINEAZIONI

