

**CONSORZIO DI BONIFICA DELLA
BARAGGIA BIELLESE E VERCELLESE**

**RIFACIMENTO INVASO SUL TORRENTE SESSERA IN SOSTITUZIONE
DELL'ESISTENTE PER IL SUPERAMENTO DELLE CRISI
IDRICHE RICORRENTI, IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA IDRICA
DEGLI INVASI ESISTENTI SUI TORRENTI RAVASANELLA ED OSTOLA,
LA VALORIZZAZIONE AMBIENTALE DEL COMPENSORIO**

DATA PROGETTO

APRILE 2010

AGGIORNAMENTO
PROGETTO

ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE GENERALE:



(dott. ing. Domenico Castelli)

ELABORATI GENERALI

**RELAZIONE SULLA CARATTERIZZAZIONE
DELLA PERMEABILITÀ DEI SUOLI NEL
COMPENSORIO CENTRO SESIA**

ELABORATO N.

G4

ATTIVITÀ SPECIALISTICA:

Nicola Laruccia
Dottore in Agronomia - Pedologo
Via San Giovanni, 16/d - 25038 Rovato (BS)
Tel. 030.7731279 - 349.2568597
nicola.laruccia@gmail.com

PROGETTO DEFINITIVO

PRATICA N°10131D

ARCH. N° IB080

MODIFICHE
AGGIORNAMENTI

Aggiornamento
Data

CONTROLLO

Firma

OPERATORE

NL/AL

CONTROLLO

NL

APPROVAZIONE

DC

INDICE

PARTE 1) CAMPAGNA MISURAZIONI 2008	1
1 OBIETTIVI DEL PROGETTO	1
2 DATI PEDOLOGICI DISPONIBILI	3
1) UNITÀ CARTOGRAFICHE (UC).....	4
2) UNITÀ TIPOLOGICHE DI SUOLO (UTS).....	5
3) DATI PUNTUALI	6
3 METODOLOGIA ADOTTATA	11
1) CONFRONTO TRA DIVERSI METODI DI STIMA E MISURA IN SITU DELLA K_{SAT}	11
2) RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI MISURE DELLA K_{SAT}	18
4 GENERALIZZAZIONE DELLE MISURE PUNTUALI ALLE UC DELLA CARTA DEI SUOLI	27
5 IPOTESI DI REGRESSIONE PER LA PREVISIONE DEI VALORI DI K_{SAT} A PARTIRE DA ALTRI CARATTERI PEDOLOGICI MISURATI	29
6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	33
PARTE 2) CAMPAGNA MISURAZIONI 2009	24
1 PREMESSA	35
1) IL METODO DEL DOPPIO ANELLO A CARICO COSTANTE.....	35
2) LA PRIMA APPROSSIMAZIONE DELLA CARTA DELLA PERMEABILITÀ	37
2 OBIETTIVI DEL PROGETTO	41
3 CRITERI PER IL RINFITTIMENTO DELLA MAGLIA DI MISURAZIONI	43
4 RISULTATI DELLE MISURE	45
5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	51

PARTE 1) CAMPAGNA MISURAZIONI 2008

1 OBIETTIVI DEL PROGETTO

Attualmente la quantificazione dei fabbisogni idrici complessivi per il Comprensorio delle baragge vercellesi viene effettuato secondo la metodologia esposta in "Quantificazione delle dotazioni idriche comprensoriali in funzione degli effettivi fabbisogni", a cura del prof. Carlo Merlo. Tale metodologia è stata implementata in un foglio di calcolo in formato excel (calfab4.xlw).

Nell'ottica di migliorare l'attendibilità della quantificazione dei fabbisogni idrici del Comprensorio, si è iniziato a definire una metodologia più solida dal punto di vista concettuale e che prevedesse una più precisa caratterizzazione dei termini del bilancio idrico, in particolare per la coltura più diffusa nel territorio e al tempo stesso maggiormente idroesigente, ovvero il riso condotto in sommersione.

In questa prima fase del progetto, è stato stabilito di concentrare l'attenzione sulla caratterizzazione della permeabilità dei suoli in quanto:

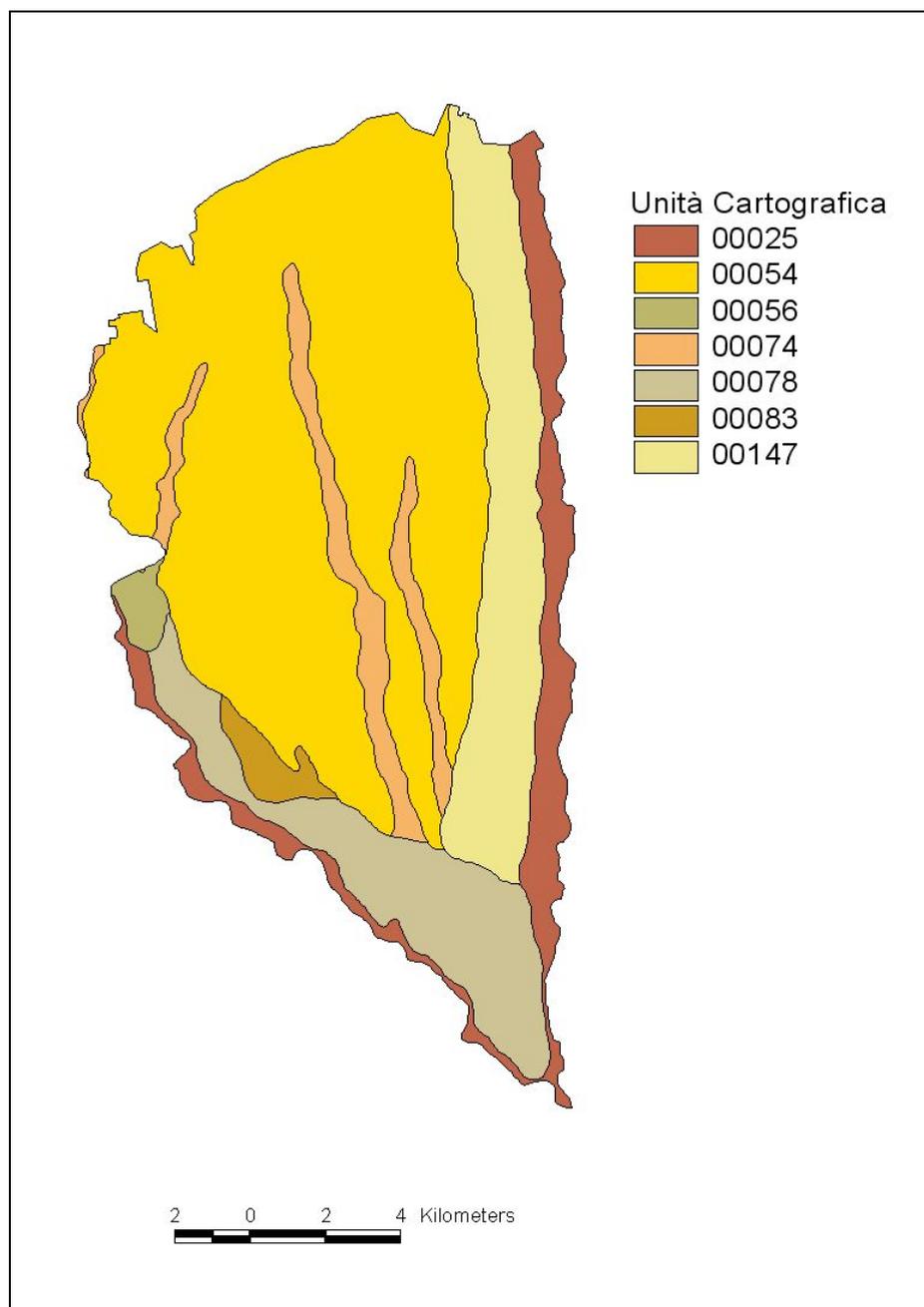
- la permeabilità, o conducibilità idraulica verticale satura, d'ora in poi designata come K_{sat} , condiziona le perdite per filtrazione; essendo la coltura del riso sommersa per un periodo variabile dai 120 ai 150 giorni per stagione, le perdite per filtrazione sono direttamente proporzionali alla K_{sat} e alla durata della sommersione
- non esistevano studi pregressi da cui fosse possibile dedurre valori indicativi della K_{sat} , differenziati per i diversi pedopaesaggi riconoscibili nell'area;
- la permeabilità è universalmente considerata come fortemente controllata dalla distribuzione dimensionale delle particelle del terreno (granulometria), dal contenuto in materia organica e dal grado di addensamento o compattamento del terreno;
- la granulometria del suolo dipende sia dalle caratteristiche litologiche del substrato, sia dai processi di evoluzione dei suoli, che possono in vario modo aver modificato la composizione granulometrica primaria; generalmente, in suoli non disturbati, la permeabilità può aumentare di diversi ordini di grandezza passando da suoli fini (contenuto di argilla >35-40%) a suoli grossolani (prevalenza di sabbia e/o ghiaia);
- il contenuto in materia organica dipende sostanzialmente dagli usi storici e dalle pratiche agronomiche;
- il grado di compattamento, nel particolare ambiente della risaia, è condizionabile dalle pratiche agronomiche, o meglio è un importante strumento a disposizione dell'uomo per tentare di controllare, minimizzandola, la filtrazione;

- la permeabilità varia spazialmente sia in direzione verticale (ovvero tra i diversi orizzonti che caratterizzano un determinato suolo), sia nelle direzioni orizzontali; quest'ultimo tipo di variabilità può essere riconosciuto a diverse scale: da quella dei pedopaesaggi (macrovariabilità spaziale), a quella del campo (microvariabilità spaziale).

2 DATI PEDOLOGICI DISPONIBILI

L'area oggetto di studio è interamente coperta dal rilevamento pedologico alla scala 1:250.000, effettuato da IPLA s.r.l. per la Regione Piemonte.

Come si evince dallo stralcio in figura, si tratta di un livello cartografico molto schematico, definito "di riconoscimento", idoneo all'individuazione dei principali pedopaesaggi e delle principali differenziazioni pedologiche presenti nel territorio.



UC	Superficie (ha)
00025	2.252
00054	12.903
00056	232
00074	1.479
00078	2.560
00083	339
00147	3.362

Le informazioni testuali e numeriche collegate alla carta dei suoli 1:250.000 del Piemonte sono organizzate in 3 diversi livelli strutturali, che occorre definire con chiarezza:

1) UNITÀ CARTOGRAFICHE (UC)

Per UC si intende un gruppo di delineazioni (ovvero di aree delimitate sulla carta da poligoni chiusi), interessate da suoli simili e caratterizzate dalla medesima sigla cartografica. Ad esempio all'UC 00054, nell'area di interesse, appartiene una sola delineazione della Carta dei suoli 1:250.000; all'UC 00074 appartengono 3 delineazioni della Carta dei suoli 1:250.000. Va evidenziato che non c'è una relazione 1:1 tra UC e tipi di suolo. Infatti una UC può "contenere" più di un tipo di suolo. I diversi tipi di suolo possono essere arrangiati nella UC secondo un modello di distribuzione geografica che in genere segue evidenze morfologiche o vegetazionali che non possono essere distinte cartograficamente alla scala data.

Esempio di descrizione di una Unità Cartografica in scala 1:250.000 (IPLA)

Unità Cartografica 00054					
Tipo e Scala dell'Unità Cartografica					
Complesso					
Scala 1:250000					
%	tipo UTS	Cod.	nome UTS	Classificazione	ordine
50	Sottogruppo	5342_01	Aquic Fraglossudalf, limoso-argillosi, dei terrazzi antichi	Aquic Fraglossudalf	ALFISUOLI
40	Sottogruppo	5332_01	Oxyaquic Fragiudalf, limosi, dei terrazzi antichi	Oxyaquic Fragiudalf	ALFISUOLI
10	Sottogruppo	0000_00	Altri suoli		
Localizzazione geografica dell'Unità					
Quattro delineazioni compongono questa unità cartografica. La più estesa rappresenta il terrazzo di Rovasenda che è situato al confine delle province di Biella e Vercelli, tra i fiumi Sesia e Cervo. Altre due delineazioni sono poste rispettivamente in sinistra e destra Cervo, nei pressi degli abitati di Cossato (BI) e Villanova Biellese (BI); l'ultima è rappresentata dal terrazzo di Carisio (VC) in destra idrografica dell'Elvo.					
Descrizione del paesaggio e della genesi dei suoli					
Terrazzi antichi fortemente ondulati ed incisi in direzione nord - sud, da piccoli corsi d'acqua che si sono di					

molto approfonditi rispetto alla superficie principale. Sono aree evolute su depositi fluvio-glaciali antichi, ghiaiosi in profondità, limosi ed argillosi in superficie. L'uso del suolo prevalente è la risicoltura ma nelle aree più "a monte" sono presenti praticoltura e cerealicoltura con grano ed orzo. A parte la coltura del riso sono aree marginali dal punto di vista agrario. Permangono piccoli residui di bosco planiziale con farnie, frassini e ciliegi.

Caratteri differenziali dei suoli

Gli Oxyaquic Fragiudalf, rispetto agli Aquic Fraglossudalf, oltre a una minore influenza dell'idromorfia, mostrano molto meno evidenti glosse chiare nella matrice bruna.

Chiave di riconoscimento dei suoli

Modello di distribuzione dei suoli

Non è stato rilevato un modello di distribuzione dei suoli ricorrente.

Unità cartografiche concorrenti

Non esistono unità concorrenti.

Grado di fiducia dell'Unità Cartografica

Buono

Data di aggiornamento

10-03-2004

Note

Nelle aree non coltivate a riso i due suoli mostrano un orizzonte superficiale (Ap) nettamente più bruno, poiché non vi è l'effetto dell'acqua di sommersione che provoca evidenti fenomeni di riduzione del ferro.

2) UNITÀ TIPOLOGICHE DI SUOLO (UTS)

Per UTS si intende un tipo di suolo, definibile come la sintesi e la concettualizzazione di più siti di osservazione (profili e trivellate) che mostrano simili caratteristiche tassonomiche, genetiche e funzionali e che occupano tendenzialmente le stesse posizioni nel paesaggio. Il dettaglio con cui viene descritta una UTS (ovvero l'ampiezza dei range ammessi) varia con la scala di rilevamento e con gli scopi del rilevamento.

Esempio di descrizione di una UTS in scala 1:250.000 (IPLA)

Aquic Fraglossudalf, limoso-argillosi, dei terrazzi antichi (5342_01)

Descrizione sintetica

Morfologia: Questo suolo è presente su estese superfici che rappresentano morfologicamente dei terrazzi alluvionali antichi; questi si elevano di 10-30 metri sul livello della pianura principale e sono stati risparmiati dall'azione erosiva, operata dai corsi d'acqua che hanno modellato la più recente pianura alluvionale sottostante. Il substrato è costituito da depositi limosi ed argillosi molto vecchi, di origine glaciale e fluviale, che hanno subito un'intensa pedogenesi. L'uso del suolo è caratterizzato prevalentemente da risicoltura anche se nelle aree più a monte sono presenti cereali autunno-vernini e brandelli di bosco planiziale.

Suolo: Suolo non carbonatico che presenta un alto grado di evoluzione pedogenetica e manifesta caratteri di idromorfia a partire da circa 70 cm di profondità con la formazione di numerose glosse grigie disposte con andamento verticale lungo le vie preferenziali di percolazione dell'acqua. La disponibilità di ossigeno imperfetta e la forte aggregazione dovute alle tessiture fini rendono pertanto limitata la profondità utile per gli

apparati radicali. Il drenaggio è infatti lento o mediocre e la permeabilità bassa o molto bassa. La falda è molto profonda.

L'orizzonte di superficie (topsoil) è caratterizzato da colore grigio o bruno grigiastro (risaia) e da tessitura franco-limosa o franca, lo scheletro è assente, la reazione acida o subacida. Gli orizzonti sottostanti (subsoil) hanno colore dominante da bruno giallastro a bruno con screziature nettamente più chiare che costituiscono evidenti glosse verticali, la tessitura varia da franca, a franco-limosa, a franco-argillosa ad argillosa, lo scheletro è assente e la reazione da acida a neutra.

Note

Suoli che spesso vengono eliminati per l'estrazione di argilla dagli strati profondi.

Cenni gestionali

Questi suoli sono soprattutto utilizzati per la coltivazione del riso in sommersione. Ciò causa un significativo dilavamento dei nutrienti con conseguente acidificazione superficiale e perdita di fertilità che devono essere reintegrate con calcitazioni e fertilizzazioni minerali ed organiche. Sono suoli che potrebbero essere utilizzati anche per una cerealicoltura con grano ed orzo, per praticoltura o per arboricoltura da legno con specie di pregio (farnia innanzitutto).

Eventuale UTS di riferimento

RVS1 - ROVASENDA limoso-fine, fase tipica

Data aggiornamento

09-03-2005

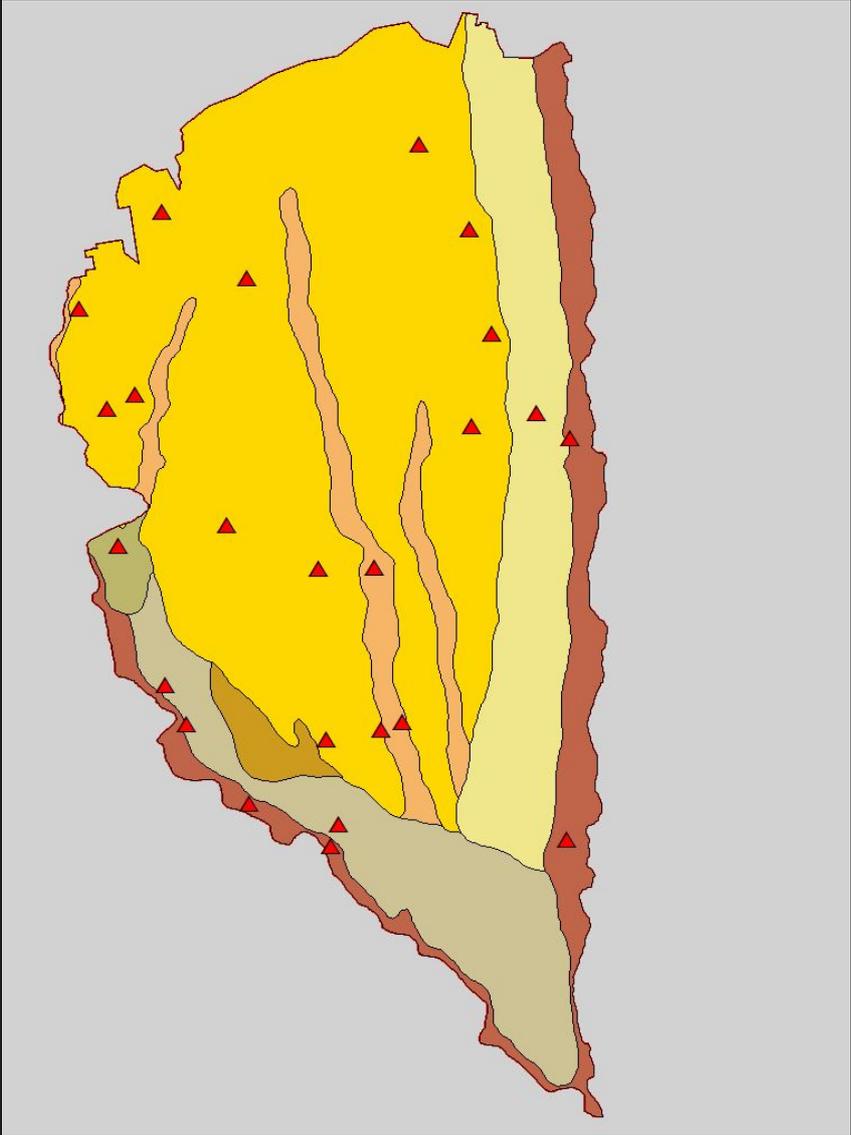
3) DATI PUNTUALI

I dati puntuali sono costituiti dai punti di osservazione sul terreno. Si tratta dei siti in cui vengono descritti i caratteri stazionali e dei singoli orizzonti, ed eventualmente vengono prelevati campioni dei singoli orizzonti.

Le osservazioni possono essere eseguite con diversi strumenti di perforazione o scavo e descritte con maggiore o minore completezza. In genere si distingue tra osservazioni effettuate per mezzo di una trivella di tipo olandese, che consente di prelevare campioni disturbati alle diverse profondità su cui possono essere rilevati solo pochi caratteri degli orizzonti, e osservazioni effettuate per mezzo di scavo di una fossa (in genere con escavatore meccanico), che consente di mettere a luce il "profilo" del suolo, e di descriverlo e campionarlo con maggiore accuratezza.

L' IPLA s.r.l. ha fornito la localizzazione di tutti i profili presenti in banca dati all'avvio del presente progetto, nonché tutti i dati relativi agli stessi profili.

Localizzazione dei siti di osservazione iniziali (profili IPLA)



Profili IPLA distinti per UC

UC	PROFILO
00025	AF600016
00025	BURO0007
00025	PIEM0412
00025	SEME0001
00054	AF610006
00054	AF610009
00054	AF610030
00054	BIEL0028
00054	BURO0001
00054	BURO0002
00054	PIEM0411
00054	PIEM0413
00054	PIEM0414
00054	TONO0013
00054	TONO0017
00054	VERC0041
00054	VERC0042
00056	AF600021
00074	BURO0016
00074	TONO0014
00078	AF600020
00078	BURO0008
00078	BURO0015
00147	PIEM0410

Per ogni profilo IPLA sono disponibili la descrizione estesa e il set analitico routinario per i singoli orizzonti.

Esempio di descrizione estesa di un profilo IPLA

Descrizione del pedon rappresentativo

Profilo: BIEL0028

Localizzazione: C.NA BELLONE

Pendenza: 1°

Quota: 220 m s.l.m.

Uso del suolo: Risaia

Litologia: Limi (0.05-0.002 mm);

"Orizzonte Ap: 0 - 40 cm; umido; colore grigio (5Y 5/1); tipo colore ridotto; screziature 4 %, con dimensioni medie di 1 mm, con limiti netti, dominanti di colore bruno intenso (7,5YR 5/6), secondarie di colore bruno intenso (7,5YR 4/6); tessitura franco limosa; scheletro assente; struttura massiva; macropori scarsi, con dimensioni medie minori di 1 mm; radici 20/dmq, con dimensioni medie di 1 mm e dimensioni massime di 2 mm, orientate in piani verticali; radicabilità 80%; debolmente resistente; cementazione molto debole; non adesivo; debolmente plastico; non calcareo; concentrazioni principali assenti; concentrazioni secondarie assenti; pellicole di sesquiossidi 8 % presenti nella matrice; limite inferiore netto e lineare."

"Orizzonte EB: 40 - 70 cm; umido; colore bruno intenso (7,5YR 5/6); colore subordinato bruno giallastro scuro (10YR 4/6); tipo colore variegato; screziature 40 %, con dimensioni medie di 10 mm, con limiti netti, dominanti di colore grigio olivastro chiaro (5Y 8/2); tessitura franco argillosa; scheletro assente; struttura poliedrica angolare media di grado forte; macropori scarsi, con dimensioni medie minori di 1 mm; radici assenti; radicabilità 30%; resistente; cementazione debole; moderatamente adesivo; moderatamente plastico; non calcareo; noduli di ferro-manganese 1 %, con dimensioni medie di 4 mm, presenti nella matrice; concentrazioni secondarie assenti; pellicole di argilla 25 % presenti sulle facce degli aggregati; limite inferiore graduale ed ondulato."

"Orizzonte Bt: 70 - 110 cm; umido; colore bruno giallastro (10YR 5/8); colore delle facce bruno (7,5YR 5/3); tipo colore variegato; screziature 20 %, con dimensioni medie di 8 mm, con limiti netti, dominanti di colore grigio (10YR 6/1), secondarie di colore olivastro chiaro (5Y 8/3); tessitura franco argillosa; scheletro assente; struttura lamellare fine di grado forte; macropori scarsi, con dimensioni medie minori di 1 mm; radici assenti; radicabilità 10%; resistente; cementazione debole; moderatamente adesivo; moderatamente plastico; non calcareo; noduli di ferro-manganese 2 %, con dimensioni medie di 4 mm, presenti nella matrice; concentrazioni secondarie assenti; pellicole di argilla 25 % presenti sulle facce degli aggregati; pellicole ferromanganesifere, 4 %, presenti sulle facce degli aggregati; limite inferiore graduale ed ondulato."

"Orizzonte BtC: 110 - 170 cm; umido; colore bruno giallastro (10YR 5/6); colore delle facce grigio brunastro chiaro (2,5Y 8/2); tipo colore variegato; screziature 10 %, con dimensioni medie di 8 mm, con limiti netti, dominanti di colore 5B7/1; tessitura argillosa; scheletro assente; struttura lamellare fine di grado forte; macropori scarsi, con dimensioni medie minori di 1 mm; radici assenti; radicabilità 10%; molto resistente; cementazione debole; molto adesivo; moderatamente plastico; non calcareo; noduli di ferro-manganese 4 %, con dimensioni medie di 4 mm, presenti nella matrice; concentrazioni secondarie assenti; pellicole ferromanganesifere 15 % presenti sulle facce degli aggregati; pellicole di argilla, 10 %, presenti sulle facce degli aggregati; limite inferiore sconosciuto."



Esempio di dataset analitico routinario per gli orizzonti di un profilo IPLA

Analisi chimico-fisiche del pedon rappresentativo				
	Ap	EB	Bt	BtC
Limite superiore	10	45	80	130
Limite inferiore	30	65	100	150
pH in H ₂ O	4,7	5,4	6,4	6,8
Sabbia grossolana %	5,1	2,8	3,3	4
Sabbia fine %	24,6	2,9	3,4	19,1
Sabbia molto fine %		19,1	16,2	
Limo grossolano %	30,7	18,9	20,6	16,1
Limo fine %	29,4	23,1	24,1	17,6
Argilla %	10,1	33,1	32,4	43,2
CaCO ₃ %	0,0	0,0	0,0	0,0
C organico %	1,06	0,25	0,18	
N %				
C/N	10,4	4,3	3	
Sostanza organica %	1,82	0,43	0,31	
C.S.C. meq/100g	6,8	10,8	12,9	13,2
Ca meq/100g	0,6	4,35	6,25	8,8
Mg meq/100g	0,42	4,42	5,58	4,3
K meq/100g	0,04	0,06	0,07	0,08
Na meq/100g				
Fosforo assimilabile	21			
Saturazione basica %	16	82	92	100

La disponibilità di dati pedologici (sia areali che puntuali) derivati dai progetti di rilevamento IPLA, ha consentito di individuare i principali pedopaesaggi presenti nell'area, di definire le prime ipotesi in termini di variabilità attesa del K_{sat} e di disporre di un primo insieme di siti di osservazione fiduciali di cui erano note le caratteristiche pedologiche e che potevano essere considerati come rappresentativi di tipologie di suolo diffuse nell'area.

3 METODOLOGIA ADOTTATA

La metodologia adottata si articola nelle seguenti fasi :

1) CONFRONTO TRA DIVERSI METODI DI STIMA E MISURA IN SITU DELLA K_{sat}

L'obiettivo di questa prima fase preliminare è stato quello di porre a confronto i risultati e l'operatività di alcuni metodi di misura *in situ* e di stima della K_{sat} , assumendo come metodo di riferimento quello del doppio anello. Si voleva in altre parole verificare se, a parità di attendibilità e ripetibilità del risultato, vi fossero dei metodi di misura o stima che richiedessero un minore impegno rispetto al metodo del doppio anello, ritenuto il più attendibile, ma anche il più impegnativo.

I metodi messi a confronto sono stati i seguenti:

1. Metodo del doppio anello a carico costante

Il metodo del doppio anello (Double-Ring Infiltrometer Test ASTM D3385) è un metodo di campo per misurare la velocità di infiltrazione di un fluido nel suolo attraverso una superficie orizzontale.

L'infiltrometro a doppio anello è formato da due anelli concentrici di diverse dimensioni che vanno infissi nel terreno per una profondità di 10-12 cm, tenendo conto del fatto che l'anello esterno ha la funzione di contenere l'espansione laterale dell'acqua, e l'anello interno invece delimita il terreno destinato alla prova di infiltrazione. Attraverso una bottiglia di Mariotte il livello dell'acqua nell'anello interno viene mantenuto costante. L'acqua che da esso si infiltra nel terreno viene rimpiazzato con un uguale quantitativo che viene richiamato, attraverso il meccanismo di Mariotte, da un serbatoio a tenuta. Periodicamente vengono effettuate letture del livello dell'acqua in questo serbatoio. Nota questa quantità e conoscendo il diametro interno del serbatoio e dell'anello interno, è possibile conoscere l'altezza d'acqua che si è infiltrata nel terreno nell'unità di tempo.

Quando la velocità di infiltrazione raggiunge una condizioni di flusso stazionario, il che generalmente accade quando 3 letture consecutive sono uguali o molto simili, si può assumere che la velocità di infiltrazione sia coincidente con la conducibilità idraulica satura.

La formula per calcolare la K_{sat} è la seguente:

$$K_{sat} = \Delta_{str} * R_{str}^2 / R_{ring}^2$$

Dove

R_{str} è il raggio interno del serbatoio

R_{ring} è il raggio interno dell'anello

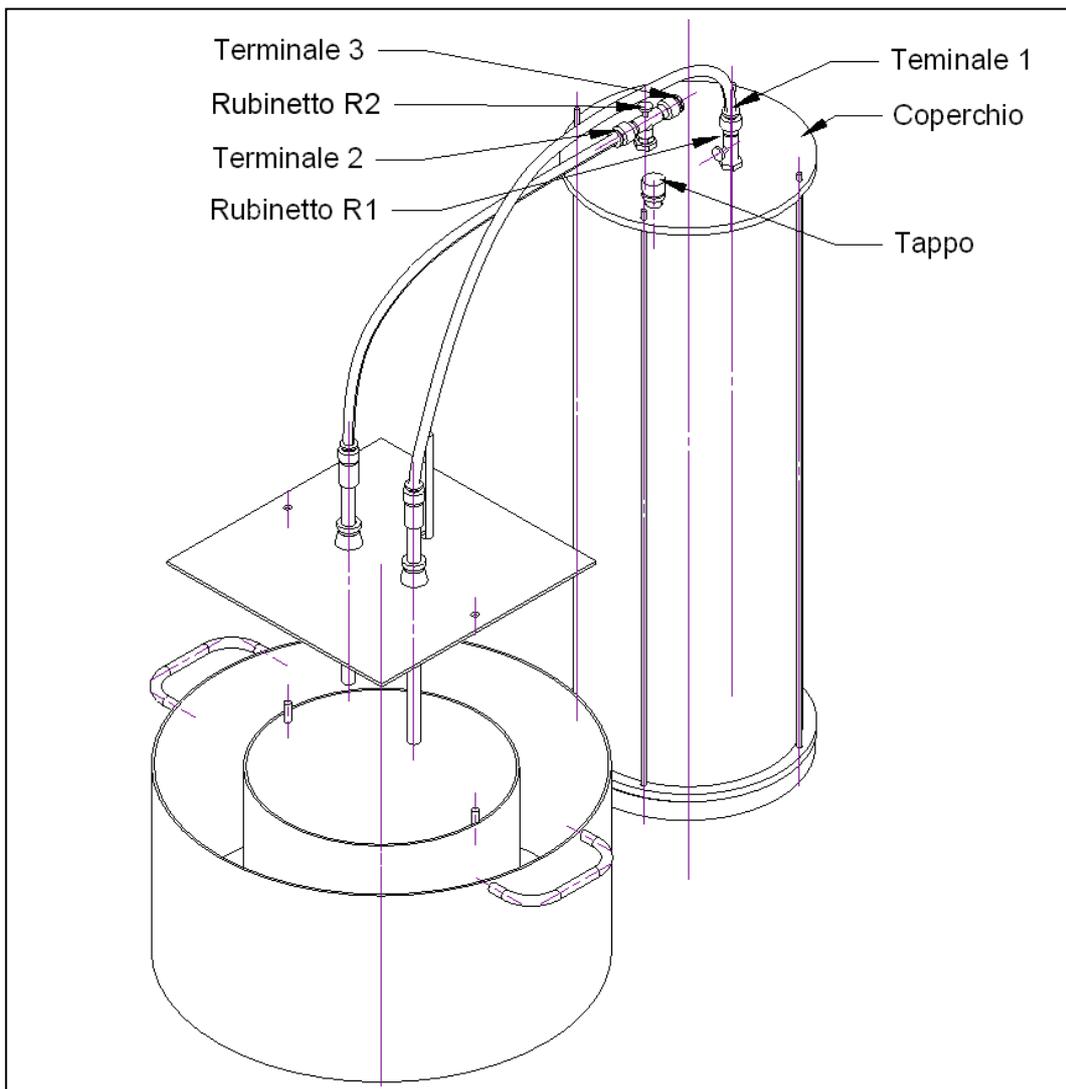
Δ_{str} è la differenza stazionaria tra due letture successive nell'altezza dell'acqua nel serbatoio (mm/h).

K_{sat} risulta espressa in mm/h.

Le condizioni operative di tale metodo sono le più prossime alle condizioni di campo del riso in sommersione, in quanto il processo di infiltrazione avviene con carico idraulico di qualche cm di altezza.

È stato fatto appositamente realizzare, da una ditta specializzata, un sistema composto da due anelli concentrici (29 e 55 cm di diametro), un serbatoio a tenuta e gli appositi terminali.

Schema del dispositivo realizzato



Il dispositivo in attività



2. Metodo dell'anello singolo a carico decrescente

Il metodo dell'anello singolo a carico decrescente ("A Simplified Falling-Head Technique for Rapid Determination of Field-Saturated Hydraulic Conductivity"; V. Bagarello, M. Iovino, e D. Elrick) è un metodo di campo per misurare la permeabilità. La tecnica consiste nell'applicare una piccola quantità di acqua sulla superficie del suolo, confinata dall'anello infisso nel suolo, e nel misurare il tempo intercorso tra l'applicazione dell'acqua fino all'istante in cui la superficie del suolo non appare più ricoperta da acqua.

Per calcolare la K_{sat} occorre effettuare una misura del contenuto idrico iniziale del suolo e del suo contenuto idrico a saturazione.

Per poter effettuare queste due misure, è stato necessario acquisire uno strumento in grado di effettuare, in condizioni di campo e in tempi operativi sufficientemente brevi, la misura del contenuto idrico volumetrico. Lo strumento che meglio di tutti corrispondeva a questi requisiti è risultato l' **ECH2O** della Decagon Devices. Esso misura il contenuto idrico volumetrico mediante la misura della permittività dielettrica del suolo. Le sonde vanno infisse nel terreno e collegate ad un *data logger* (nel nostro caso è stato utilizzato il mod. **Em50** della Decagon Devices), che al tempo stesso alimenta le sonde con un impulso oscillante di frequenza opportuna (70 MHz) e registra le misure di permittività dielettrica del suolo. I dati registrati sul *data logger* vengono poi scaricati su PC, dove un apposito programma consente di convertirli in valori di contenuto idrico volumetrico del suolo.

La misura veniva effettuata sul terreno nelle condizioni di umidità iniziali e dopo saturazione con acqua.

La formula per calcolare la K_{sat} è la seguente:

$$K_{fs} = \frac{(\Delta\theta)}{(1 - \Delta\theta)t_a} \left[\frac{D}{(\Delta\theta)} - \frac{\left(D + \frac{1}{\alpha^*}\right)}{(1 - \Delta\theta)} \ln \left(1 + \frac{(1 - \Delta\theta)D}{(\Delta\theta)\left(D + \frac{1}{\alpha^*}\right)} \right) \right]$$

Dove

$\Delta\theta$ è la differenza tra il contenuto idrico a saturazione e quello iniziale

t_a è il tempo intercorso tra l'applicazione dell'acqua fino all'istante in cui la superficie del suolo non appare più ricoperta da acqua

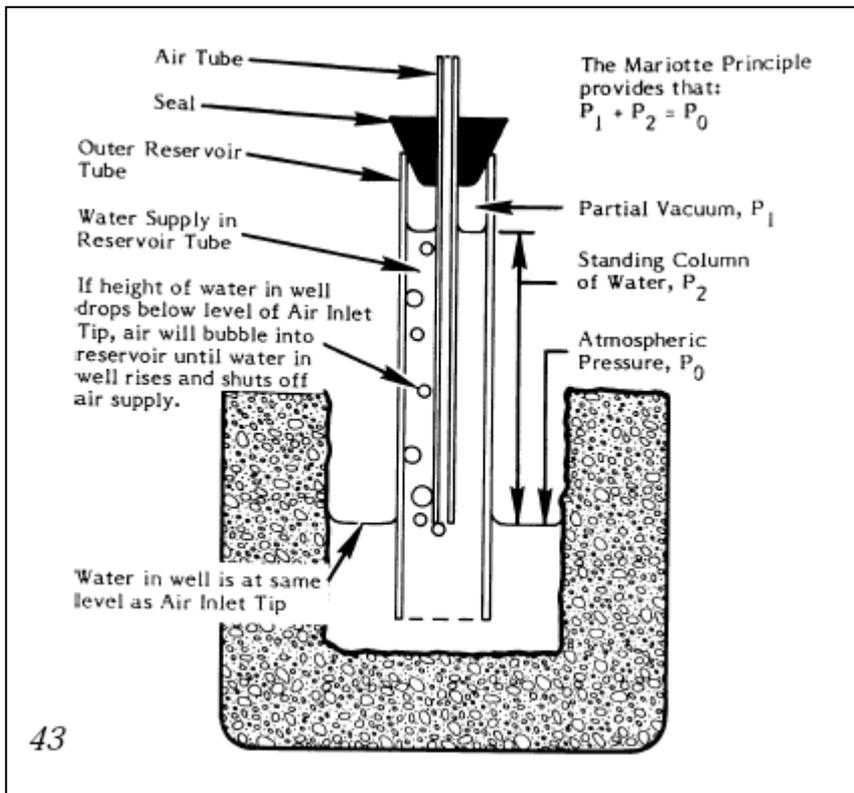
D è l'altezza dell'acqua applicata sulla superficie del terreno

α^* è un parametro dipendente dal tipo di terreno (in genere posto uguale a 12)

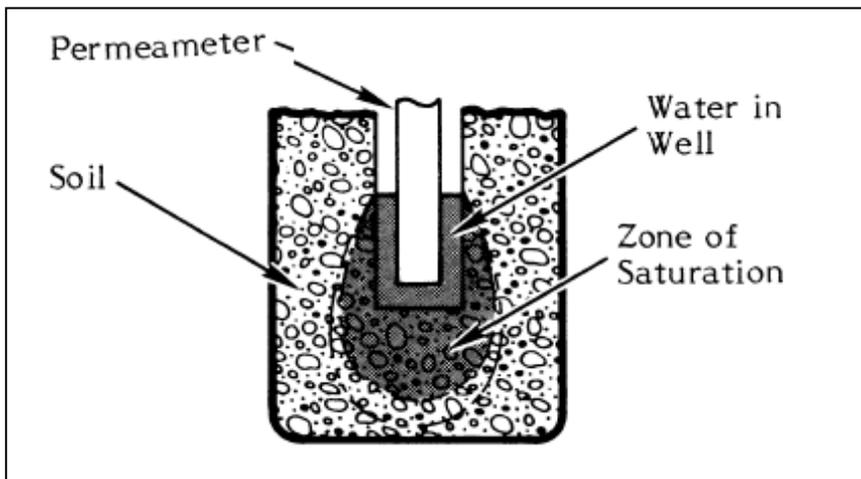
K_{fs} corrisponde a K_{sat}

3. Permeametro Guelph

Il permeametro Guelph è un permeametro a carico costante, che sfrutta il principio di Mariotte. Il metodo richiede la misura della velocità di flusso stazionario dal serbatoio dello strumento verso il suolo, attraverso le pareti di un foro cilindrico effettuato alla profondità desiderata, in cui viene mantenuto un carico costante, regolabile attraverso un tubicino terminale dello strumento.



Intorno alle pareti del foro si stabilisce un bulbo saturo, la cui geometria dipende dal tipo di terreno indagato.



Le formule utilizzate per il calcolo della K_{sat} sono basate sulla geometria del sistema (diametro del foro e del serbatoio, carico idraulico nel foro) e sul decremento nell'unità di tempo del livello dell'acqua nel serbatoio dello strumento.

Le prove possono essere effettuate con un solo carico idraulico (in genere 5 cm) o con 2 carichi (in genere 5 e 10 cm).

Per i tempi ridotti di realizzazione delle prove e per la facilità di trasporto e installazione della strumentazione il permeametro Guelph può essere considerato uno dei metodi più pratici e veloci per la determinazione della K_{sat} .

4. Stima mediante pedofunzioni di trasferimento (PTF)

La permeabilità dei suoli può essere descritta ricorrendo, oltre che a misure dirette, a stime indirette a partire da dati di più immediata acquisibilità, quali la tessitura, la densità apparente, il contenuto in sostanza organica. Le formule, di fisicamente o empiricamente basate, che mettono in relazione la K_{sat} con le altre caratteristiche dei suoli sono dette pedofunzioni) di trasferimento (PTF).

Di seguito i riferimenti delle PTF testate.

Riferimento	Variabili in input	Riferimento bibliografico
Bloemen, 1980	Contenuti % di almeno tre classi dimensionali	Bloemen, G.W., 1980. Calculation of hydraulic conductivities from texture and organic matter content. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 143, 581-605.
Cosby et al., 1984	Sabbia (50–2000 μm) % , Argilla (< 2 μm) %	Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Clapp, R.B. and Ginn, T.R., 1984. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. Water Resources Research 20, 682-690.
Brakensiek et al., 1984	Sabbia (50 – 2000 μm) %, Argilla (< 2 μm) % Porosità ($g\ cm^{-3}$)	Brakensiek, D.L., Rawls, W.J. and Stephenson, G.R., 1984. Determining the saturated hydraulic conductivity of a soil containing rock fragments. Soil Science Society of America Journal 50, 834-835.
Campbell & Campbell, 1982	Limo (2 – 50 μm) %, Argilla (< 2 μm) %	Campbell, G.S. and Campbell M.D., 1982. Irrigation scheduling using soil moisture measurements: Theory and practice. Advances in Irrigation 1, 25-42.
Jabro, 1992	Limo (2 – 50 μm) %, Argilla (< 2 μm) % Densità apparente ($g\ cm^{-3}$)	Jabro, JD, 1992. Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density. data. Trans. ASAE 35 (2): 557-560
Jaynes & Tyler, 1984	Sabbia (50 – 2000 μm) % Densità apparente ($g\ cm^{-3}$)	Jaynes, D.B. and Tyler, E.J., 1984. Using soil physical properties to estimate hydraulic conductivity. Soil Science 138, 298-305.
Vereecken_1990	Sabbia (50–2000 μm) %, Limo (2–50 μm) %, Argilla (< 2 μm) % Densità apparente ($g\ cm^{-3}$) Materia organica (%)	Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J., 1990. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties. Soil Science 149, 1-12.
Campbell, 1985	Contenuti % di almeno tre classi dimensionali Densità apparente ($g\ cm^{-3}$)	Campbell, G.S., 1985. Soil physics with BASIC. In: Transport models for soil-plant system. Elsevier, New York, pp 150.

5. Risultati della fase di confronto tra i diversi metodi di stima e misura

Fin dalle prime rilevazioni e misurazioni, è apparso evidente che la permeabilità più bassa lungo il profilo (ovvero quella che condiziona la velocità di flusso verticale) si rileva in corrispondenza di una "soletta", ovvero di un piccolo strato, immediatamente sottostante l'orizzonte comunemente lavorato, che viene sottoposto ad operazioni di "pesta" e compattamento, al fine di diminuire la filtrazione. Questo orizzonte denso e compatto, dalla struttura massiva e privo di biopori, generalmente è rinvenibile a 20-25 cm di profondità e si estende per uno spessore compreso tra 10 e 20 cm.

Il metodo del doppio anello è stato confermato quale metodo di riferimento, avendo fornito misurazioni sufficientemente ripetibili e sempre coerenti con l'osservazione di altri caratteri stazionali e pedologici, quali ad esempio la velocità con cui vengono smaltite le precipitazioni, la presenza di ristagni, il pedopaesaggio d'appartenenza, la granulometria.

Il metodo dell'anello singolo a carico decrescente è risultato poco applicabile nelle condizioni in cui ci si è operato, in quanto i terreni erano molto umidi se non pressoché saturi già in superficie, e quindi è risultato assai problematico ottenere dei valori attendibili del parametro $\Delta \theta$ e di conseguenza del parametro D , richiesti per il calcolo del K_{sat} con questo metodo. Inoltre, repliche nello stesso sito effettuate con questo metodo hanno fornito valori di K_{sat} estremamente variabili, verosimilmente per variazioni alla scala del decimetro del contenuto idrico iniziale.

Il permeometro Guelph ha generalmente fornito valori confrontabili con quelli del doppio cilindro, seppure mostrando difficoltà operative inattese. L'utilizzo di questo metodo in maniera routinaria è stato comunque scartato in quanto, a causa della variabile geometria del bulbo saturo, non era sufficientemente certa l'attribuzione della misura effettuata ad un preciso strato di suolo. Dovendo misurare la K_{sat} della "soletta", spesso da 10 a 20 cm, è troppo elevato il rischio che il bulbo di saturazione possa interessare non solo lo strato da indagare, ma anche orizzonti sovra- o sottostanti, e che i valori ottenuti derivino da una combinazione non discriminabile tra le permeabilità degli orizzonti di volta in volta interessati.

Le PTF, applicate sui valori granulometrici, di materia organica e di densità apparente misurate su campioni appositamente prelevati, hanno fornito sistematicamente valori fortemente sovrastimati rispetto alle misure. Con ogni probabilità, questa differenza è dovuta alla particolare struttura e distribuzione porale che viene a determinarsi nella "soletta", e della quale evidentemente le PTF, generalmente messe a punto su suoli coltivati o condotti in maniera standard, non possono tener conto.

Quanto sopra esposto ha consentito di individuare nel metodo del doppio anello il metodo da applicarsi nelle misurazioni successive, e nella "soletta" l'orizzonte da investigare con maggiore attenzione.

In ogni sito in cui sono state effettuate le misure, sono stati raccolti sia campioni disturbati, su cui presso il laboratorio dell'IPLA sono state effettuate le determinazioni di base (granulometria e materia organica), sia campioni indisturbati, prelevati mediante infissione di un anello di acciaio di circa 100 cm³ di volume, sui quali sono state effettuate le determinazioni della densità apparente.

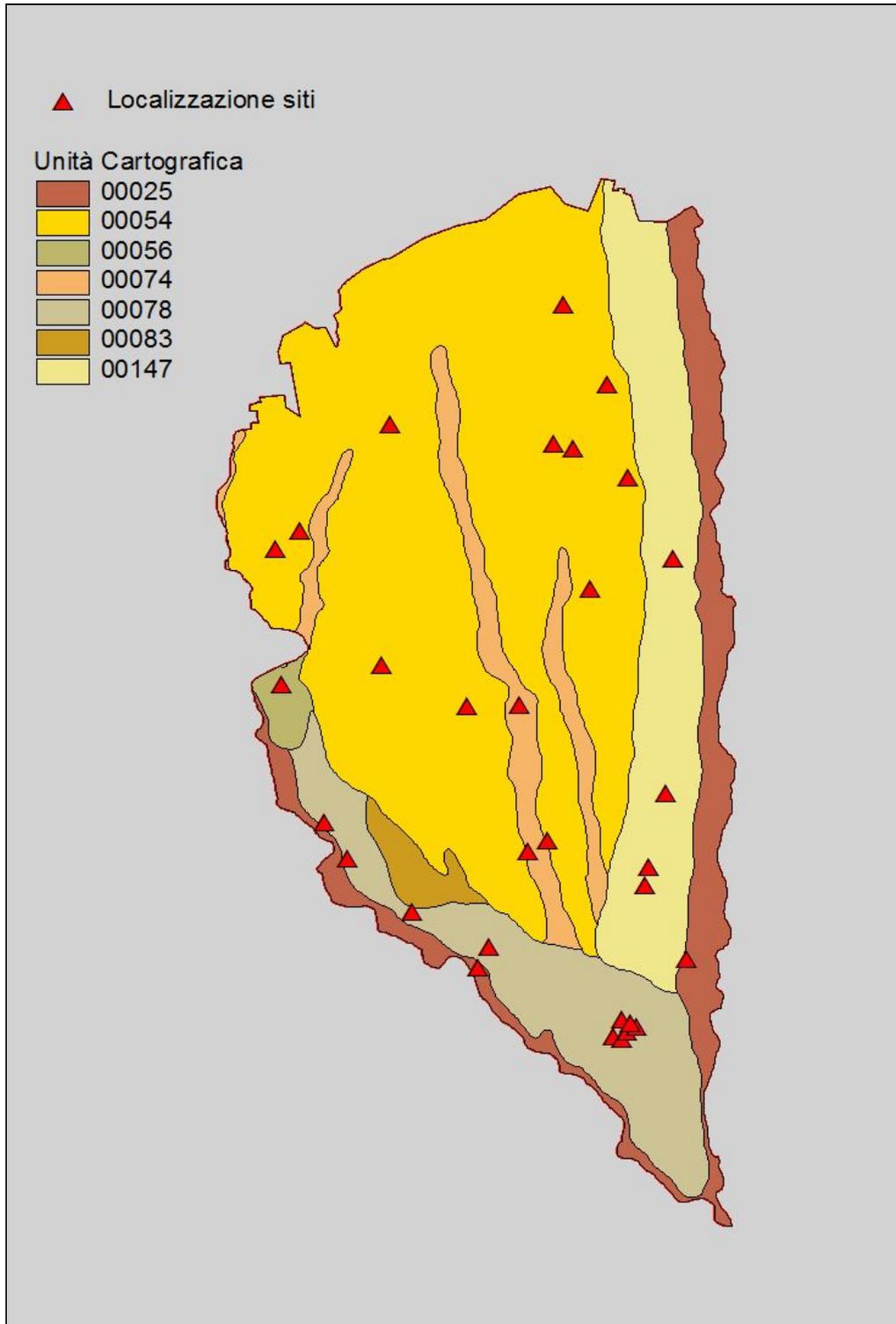
2) RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI MISURE DELLA K_{sat}

Qui di seguito vengono elencati i siti oggetto di misura della permeabilità, distinti per Unità Cartografica della Carta dei suoli 1:250.000. Si è tentato di far coincidere il più possibile i siti di misurazione della K_{sat} con i siti in cui erano stati descritti i profili IPLA. Quando ciò non si è rivelato possibile, a causa ad esempio della indisponibilità dei conduttori o della mutata destinazione d'uso, si è cercato un sito il più possibile prossimo al profilo IPLA, o comunque rappresentativo dell'Unità Cartografica di appartenenza.

IDENTIFICATIVO SITO	PROFILO IPLA CORRISPONDENTE
UNITA CARTOGRAFICA 00025	
ALBA01	-
BURO0007	BURO0007
UNITA CARTOGRAFICA 00054	
AF610006	-
BIEL0028	BIEL0028
BURO0001	BURO0001
BURO0002	BURO0002
PIEM0411	-
PIEM0413	PIEM0413
PIEM0414	PIEM0414
RIN1	-
RIN2	-
TONO0017	TONO0017
VERC0041	VERC0041
VERC0042	-
UNITA CARTOGRAFICA 00056	
AF600021	AF600021
UNITA CARTOGRAFICA 00074	
BURO0016	BURO0016
TONO0013	-
TONO0014	-
UNITA CARTOGRAFICA 00078	
AF600020	AF600020
BALO02	-
BURO0008	BURO0008
BURO0015	BURO0015
NUO1	-
NUO2	-
NUO3	-
NUO4	-
NUO5	-
NUO6	-
UNITA CARTOGRAFICA 00147	
GRE1	-
GRE2	-
GRE3	-
PIEM0410	PIEM0410

Nell'UC 00147 era disponibile un solo sito IPLA, per altro coltivato a riso in asciutta. Si è ritenuto di effettuare misure in ulteriori siti, seppur non caratterizzati dal punto di vista pedologico.

Localizzazione dei siti in cui sono state effettuate le misure



Nella tabella seguente vengono esposti i valori delle misure di permeabilità effettuate (eventualmente mediate, nel caso di più repliche per lo stesso orizzonte), e dei valori analitici degli orizzonti.

Non vengono riportate le misure effettuate con il metodo dell'anello singolo a carico decrescente ed altre misure effettuate su campioni di suolo di grandi dimensioni, prelevati mediante infissione di un anello di acciaio, trasportati in magazzino e sottoposti a misura della quantità d'acqua che attraversava il campione, sul quale era mantenuto un carico idraulico costante.

Nella tabella alcune celle sono evidenziate con colori a cui va attribuito il significato di seguito descritto:

	DATI ANALITICI DERIVATI DAL CORRISPONDENTE PROFILO IPLA
--	--

	VALORE CONSIDERATO RAPPRESENTATIVO DELLA PERMEABILITÀ DEL SITO
--	---

PROFONDITÀ	TIPO ORIZZONTE	SABBIA TOTALE %	LIMO TOTALE %	ARGILLA %	Materia organica %	C org. %	Densità apparente (Mg m ⁻³)	K _{sat} metodo Guelph (cm/h)	K _{sat} doppio anello (cm/h)
SITO AF600020									
0-17 cm	Ap	55.3	37.9	6.8	3.29	1.91			
17-28 cm	Apd	62.0	30.8	7.2	1.87	1.09	1.60		0.0367
28-60 cm	Bw1	48.9	42.0	9.1	0.55	0.32			
60-85 cm	Bw2	50.3	34.9	14.9					
SITO AF600021									
0-17 cm	Ap	56.4	33.3	10.3	1.76	1.02			
17-28 cm	Apd	55.9	34.5	9.7	1.79	1.04	1.55		0.1469
28-36 cm	Cg1	91.1	6.7	2.2					
36-80 cm	Cg2								
SITO AF610006									
0-20 cm	Ap	26.9	51.8	20.7					
20-31 cm	Apd	30.8	57.9	11.3	0.37	0.21	1.73		0.0011
31-50 cm	BE	24.5	43.4	28.0	0.93	0.54			
50-100 cm	Btg	25.1	45.8	31.4	0.56	0.32			
SITO ALBA01									
0-15 cm	Ap	50.6	45.3	4.1	3.28	1.90	1.29	0.0681	
15-35 cm	Apd	57.0	37.5	5.5	2.54	1.48	1.54	0.1475	0.1360
35-80 cm	Bw	48.8	44.4	6.8	1.10	0.64		0.9510	
80-120 cm	C1							0.5706	
SITO BALO02									
0-20 cm	Ap								
20-35 cm	Apd	35.7	49.6	14.8	1.09	0.63	1.38		0.0450

PROFONDITA	TIPO ORIZZONTE	SABBIA TOTALE %	LIMO TOTALE %	ARGILLA %	Materia organica %	C org. %	Densità apparente (Mg m ⁻³)	K _{sat} metodo Guelph (cm/h)	K _{sat} doppio anello (cm/h)
------------	----------------	-----------------	---------------	-----------	--------------------	----------	---	---------------------------------------	---------------------------------------

SITO BIEL0028									
0-17 cm	Ap	29.7	60.1	10.1	1.82	1.06			
17-40 cm	Apd	27.0	60.4	12.6	0.60	0.35	1.81		0.0077
40-70 cm	BE	24.8	42.0	33.1	0.43	0.25			
70-110 cm	Bt	22.9	44.7	32.4	0.31	0.18			
SITO BURO0001									
0-20 cm	Ap	31.6	60.7	7.7	1.96	1.14			
20-30 cm	Apd	22.6	60.1	17.3	0.88	0.51	1.53		0.0097
30-50 cm	E	18.8	49.2	32	0.78	0.45			
50-80 cm	Bt1	13.9	38.6	47.5	0.57	0.33			
80-110 cm	Bt2	18.7	40.4	40.9	0.28	0.16			
SITO BURO0002									
0-17 cm	Ap	21.4	70.8	7.8	3.13	1.82			
17-30 cm	Apd	28.8	63.6	7.6	2.51	1.46	1.55		0.0158
30-50 cm	E	22.6	57.7	19.7	0.28	0.16			
50-80 cm	Ebt	19	45.7	35.3	0.38	0.22			
80-110 cm	BtE	20.9	42.8	36.3	0.37	0.21			
SITO BURO0007									
0-15 cm	Ap								
15-28 cm	Apd	60.1	32.6	7.3	3.03	1.76	1.59	0.0567	0.1345
28-45 cm	Bg	27.3	63.1	9.6	1.22	0.71	1.40	0.0336	
45-70 cm	C1	97.3	2.1	0.6	0.35	0.01			
70-90 cm	C2	98.5	1.3	0.2	0.12	0.01			

PROFONDITA	TIPO ORIZZONTE	SABBIA TOTALE %	LIMO TOTALE %	ARGILLA %	Materia organica %	C org. %	Densità apparente (Mg m ⁻³)	K _{sat} metodo Guelph (cm/h)	K _{sat} doppio anello (cm/h)
SITO BURO0008									
0-18 cm	Ap	54.1	40.3	5.6	2.80	1.63	1.32		
18-30 cm	Apd	56.1	38.7	5.2	2.36	1.37	1.56	0.0318	0.0680
30-50 cm	Bg	45.3	44.9	9.8	0.76	0.44	1.66	0.0363	
50-100 cm	Bw2	21.3	53.6	25.1	0.46	0.248			
SITO BURO0015									
0-20 cm	Ap	59.5	32.6	7.9	1.79	1.04	1.37	4.5650	3.4667
20-40 cm	Apd	60.5	32.7	6.8	0.66	0.39	1.65	0.0242	0.0468
40-55 cm	BC	83.0	8.1	8.9	0.58	0.34		0.0136	
55-75 cm	C1	87.6	7.7	4.7	0.58	0.34			
75-100 cm	C2	91.0	7.7	1.3	0.26	0.15			
SITO BURO0016									
0-20 cm	Ap	37.1	52.9	10.0	2.53	1.47			
20-30 cm	Apd	41.1	51.0	7.9	1.69	0.98	1.73		3.8994
30-80 cm	Bt	30.5	48.6	20.9	0.65	0.38			
80-90 cm	BCt	57.2	36.5	6.3					
SITO GRE01									
0-20 cm	Ap								
20-26 cm	Apd	30.7	50.4	18.9	2.06	1.20	1.58		2.2715
26-50 cm	BC								
SITO GRE02									
0-20 cm	Ap								
20-30 cm	Apd	49.0	43.4	7.6	2.09	1.22	1.75		0.1333
30-50 cm	BC								
SITO GRE03									
0-20 cm	Ap								
20-30 cm	Apd	43.8	35.4	20.8	2.78	1.62	1.59		1.9999
30-50 cm	BC								

PROFONDITA	TIPO ORIZZONTE	SABBIA TOTALE %	LIMO TOTALE %	ARGILLA %	Materia organica %	C org. %	Densità apparente (Mg m ⁻³)	K _{sat} metodo Guelph (cm/h)	K _{sat} doppio anello (cm/h)
SITO NUO1									
0-20 cm	Ap								
20-26 cm	Apd								3.0231
26-50 cm	BC								
SITO NUO2									
0-20 cm	Ap								
20-30 cm	Apd	50.9	42.1	7.0	1.81	1.05	1.77		0.0028
30-70 cm	BC								
SITO NUO3									
0-20 cm	Ap	49.5	37.9	12.6	1.72	1.00			
20-30 cm	Apd	50.5	31.9	17.6	0.29	0.17	1.57		0.0084
30-70 cm	Bw	42.5	40.4	17.1	0.64	0.37			
SITO NUO4									
0-20 cm	Ap								
20-30 cm	Apd	51.2	41.6	7.2	2.13	1.24	1.61		0.0023
30-70 cm	Bw								
SITO NUO5									
0-12 cm	Ap								
12-25 cm	Apd	54.2	33.9	11.9	2.20	1.28	1.49		0.0234
25-70 cm	BC								
SITO NUO6									
0-12 cm	Ap								
12-25 cm	Apd	46.6	36.9	16.5	1.41	0.82	1.69		0.0014
25-70 cm	BC								
SITO PIEM0410									
0-20 cm	Ap	56.4	37.7	6.0	4.28	2.48		1.9021	60.5378
20-40 cm	Apd	74.2	24.1	1.7	3.58	2.08			
40-100 cm	C	95.0	4.9	0.3	0.86	0.50			

PROFONDITA	TIPO ORIZZONTE	SABBIA TOTALE %	LIMO TOTALE %	ARGILLA %	Materia organica %	C org. %	Densità apparente (Mg m ⁻³)	K _{sat} metodo Guelph (cm/h)	K _{sat} doppio anello (cm/h)
SITO PIEM0411									
0-20 cm	Ap	28.0	63.0	9.0	3.22	1.87	1.36	0.0761	4.3533
20-45 cm	Apd	26.4	63.3	10.3	2.34	1.36	1.61	0.0340	0.0344
45-70 cm	AB							0.0454	
70-150 cm	Bt1								
SITO PIEM0413									
0-24 cm	Ap	27	56.7	16.4	2.5	1.45			
24-37 cm	Apd	24.8	60.2	15.0	1.98	1.15	1.57		0.0079
37-60 cm	E	27.8	52.4	19.9	0.86	0.50			
60-100 cm	Btx	26.0	51.1	23.0	0.63	0.37			
SITO PIEM0414									
0-25 cm	Ap1	25.1	49.6	25.3	2.04	1.18	1.39		0.0680
25-50 cm	Ap2	31.6	32.8	35.7	1.3	0.75	1.57		0.0040
50-70 cm	Btx	41.7	34.5	23.9	0.28	0.16			
70-110 cm	Bt1	24.5	31.8	43.8	0.38	0.22			
SITO RIN1									
0-20 cm	Ap								
20-31 cm	Apd								0.0044
31-70 cm	Btx								
SITO RIN2									
0-17 cm	Ap								
17-28 cm	Apd	24.7	61.9	13.3	1.20	0.70	1.77		0.0049
28-70 cm	Btx								
SITO TONO0013									
0-12 cm	Ap								
12-25 cm	Apd	35.5	54.3	10.2	1.26	0.73	1.82		0.0556
25-37 cm	Bw								

PROFONDITA	TIPO ORIZZONTE	SABBIA TOTALE %	LIMO TOTALE %	ARGILLA %	Materia organica %	C org. %	Densità apparente (Mg m ⁻³)	K _{sat} metodo Guelph (cm/h)	K _{sat} doppio anello (cm/h)
SITO TONO0014									
0-17 cm	Ap								
17-29 cm	Apd	72.0	23.4	4.6	1.98	1.15	1.63		0.0680
29-77 cm	B								
SITO TONO0017									
0-15 cm	Ap	26.4	62.4	11.3	3.1	1.80			
15-25 cm	Apd	31.7	58.3	10.0	1.55	0.90	1.61		1.6325
25-97 cm	Bg	25.5	56.0	18.5	0.35	0.20			
97-148 cm	Btx	24.6	42.7	32.8	0.32	0.19			
SITO VERC0041									
0-20 cm	Ap	19	52.00	29.00					
20-30 cm	Apd	18.5	56.1	25.4	1.33	0.77	1.56		0.0038
30-70 cm	AB	30.0	48.0	22.0	0.21	0.12			
70-200 cm	Btx	30.0	38.0	32.0	0.13	0.08			
SITO VERC0042									
0-13 cm	Ap								
13-25 cm	Apd	28.7	58.3	13.0	2.29	1.33	1.61		0.0029
25-55 cm	EB								
55-75 cm	Bt1								

4 GENERALIZZAZIONE DELLE MISURE PUNTUALI ALLE UC DELLA CARTA DEI SUOLI

Nella tabella successiva vengono riportati i valori di K_{sat} rappresentativi dei siti di misura elencati in base alla UC di appartenenza.

UNITÀ CARTOGRAFICA	SITO	K_{sat} (cm/h)
0025	ALBA01	0.1360
	BURO0007	0.1345
0054	AF610006	0.0011
	BIEL0028	0.0077
	PIEM0413	0.0079
	PIEM0414	0.0040
	RIN1	0.0044
	RIN2	0.0049
	VERC0041	0.0038
	VERC0042	0.0029
	BURO0001	0.0097
	BURO0002	0.0158
	PIEM0411	0.0342
	TONO0017	1.6325
	0056	AF600021
0074	BURO0016	3.8994
	TONO0013	0.0556
	TONO0014	0.0680
0078	AF600020	0.0367
	BALO02	0.0450
	BURO0008	0.0680
	BURO0015	0.0468
	NUO1	3.0231
	NUO2	0.0028
	NUO3	0.0084
	NUO4	0.0023
	NUO5	0.0234
	NUO6	0.0014
0147	GRE01	2.2715
	GRE02	0.1333
	GRE03	1.9999
	PIEM0410	60.5378

 MISURE RITENUTE NON RAPPRESENTATIVE O OUTLIER ESCLUSI DAL CALCOLO DELLE MEDIE

 VALORE RITENUTO PIÙ PROBABILE NELLE AREE A RISICOLTURA IN SOMMERSIONE

Come si può osservare dalla tabella precedente, la variabilità osservata entro le singole UC è sufficientemente ridotta. Si possono attribuire alle UC i seguenti valori di riferimento, ottenuti calcolando la media aritmetica e quella geometrica dei valori puntuali, con esclusione dei valori considerati come outlier o poco rappresentativi.

UNITÀ CARTOGRAFICA	K_{sat} MEDIA GEOMETRICA	K_{sat} MEDIA ARITMETICA
0025	0.1353	0.1353
0054	0.0060	0.0088
0056	0.1469	0.1469
0074	0.0615	0.0618
0078	0.0464	0.0440
0147	0.1333	0.1333

Come si può notare, la differenza tra le due medie non è significativa, ad esclusione dell'UC 0054. Sebbene sia in linea teorica da preferirsi la media geometrica, per la spiccata bimodalità riscontrata tra il settore a Nord e quello a Sud dell'UC (vedi tabella seguente) si ritiene più opportuno e prudentiale utilizzare la media aritmetica, in quanto con quella geometrica peserebbe in maniera eccessiva il maggior numero di siti di misura effettuati nel settore Nord e caratterizzati da bassi valori di K_{sat}.

SETTORE	SITO	K_{sat} (cm/h)
NORD	AF610006	0.0011
NORD	BIEL0028	0.0077
NORD	PIEM0413	0.0079
NORD	PIEM0414	0.0040
NORD	RIN1	0.0044
NORD	RIN2	0.0049
NORD	VERC0041	0.0038
NORD	VERC0042	0.0029
SUD	BURO0001	0.0097
SUD	BURO0002	0.0158
SUD	PIEM0411	0.0342

5 IPOTESI DI REGRESSIONE PER LA PREVISIONE DEI VALORI DI K_{SAT} A PARTIRE DA ALTRI CARATTERI PEDOLOGICI MISURATI

Sono state testate varie ipotesi di regressione multipla tra i valori misurati e ritenuti attendibili di K_{sat} e le seguenti variabili indipendenti:

1. % sabbia grossa (500-2000 μm)
2. % sabbia fine (50-500 μm)
3. % sabbia totale
4. % limo grosso (20-50 μm)
5. % limo fine (20-2 μm)
6. % limo totale
7. % argilla
8. diametro medio geometrico d_g (mm)
9. (diametro medio geometrico)²
10. deviazione standard ($\sigma\phi$)
11. % materia organica
12. densità apparente
13. (densità apparente)²

dove

diametro medio geometrico (Shirazi et.al, 1988).

$d_g = \exp(a)$

$$a = \sum_{i=1}^n f_i \ln(M_i)$$

deviazione standard del diametro medio geometrico (Shirazi et.al, 1988).

$\sigma\phi = \exp(b)$

$$b = \sum_{i=1}^n f_i [\ln(M_i)]^2 - a^2$$

dove n è il numero delle frazioni granulometriche misurate, f_i la percentuale della i esima frazione ed M_i la sua media logaritmica, ossia $\text{LN}(M_i) = [\log(x_i) + \log(x_i+1)]/2$, con x_i (x_i+1) i limiti rispettivamente inferiore e superiore della classe tessiturale in questione, espressi in mm.

L'analisi è stata effettuata solo sui valori relativi allo strato artificialmente compattato (soletta).

Nella tabella seguente vengono riportati i dati identificativi del campione, le variabili indipendenti e la variabile obiettivo.

SITO	Profondità	Sabbia grossa	Sabbia fine	Sabbia totale	Limo grosso	Limo fine	Limo totale	Argilla	a	b	d _g	(d _g) ²	σφ	Materia organica	Densità apparente	Densità apparente ²	K _{sat} misurata (cm/h)
AF600020	17-28 cm	25.1	36.9	62.0	12.6	18.2	30.8	7.2	-2.5	0.5	0.0788	0.0062	1.6	1.87	1.60	2.56	0.0367
AF600021	17-28 cm	23.8	32.1	55.9	12.8	21.7	34.5	9.7	-2.8	0.5	0.0596	0.0035	1.6	1.79	1.55	2.40	0.1469
AF610006	20-31 cm	10.3	20.5	30.8	23.9	34.0	57.9	11.3	-3.7	0.4	0.0249	0.0006	1.5	0.37	1.73	3.00	0.0011
ALBA01	15-35 cm	26.6	30.4	57.0	15.9	21.6	37.5	5.5	-2.6	0.5	0.0778	0.0060	1.7	2.54	1.54	2.37	0.1360
BALO02	20-35 cm	8.5	27.2	35.7	17.9	31.7	49.6	14.8	-3.8	0.4	0.0227	0.0005	1.5	1.09	1.38	1.91	0.0450
BIEL0028	17-40 cm	3.7	23.3	27.0	31.6	28.9	60.4	12.6	-3.9	0.4	0.0207	0.0004	1.5	0.60	1.81	3.29	0.0077
BURO0001	20-30 cm	1.5	21.1	22.6	29.6	30.5	60.1	17.3	-4.2	0.4	0.0146	0.0002	1.4	0.88	1.53	2.33	0.0097
BURO0002	17-30 cm	4.8	24.1	28.8	30.1	33.5	63.6	7.6	-3.6	0.4	0.0262	0.0007	1.5	2.51	1.55	2.39	0.0158
BURO0007	15-28 cm	22.7	37.4	60.1	14.2	18.4	32.6	7.3	-2.6	0.5	0.0725	0.0053	1.6	3.03	1.59	2.51	0.1345
BURO0008	18-30 cm	15.5	40.6	56.1	15.1	23.6	38.7	5.2	-2.8	0.4	0.0619	0.0038	1.6	2.36	1.56	2.43	0.0680
BURO0015	20-40 cm	19.1	41.4	60.5	15.1	17.6	32.7	6.8	-2.7	0.5	0.0706	0.0050	1.6	0.66	1.65	2.71	0.0468
GRE02	20-30 cm	21.0	28.0	49.0	18.5	24.9	43.4	7.6	-2.9	0.5	0.0536	0.0029	1.6	2.09	1.75	3.06	0.1333
NUO2	20-30 cm	16.9	33.9	50.9	19.0	23.1	42.1	7.0	-2.9	0.5	0.0539	0.0029	1.6	1.81	1.77	3.14	0.0028
NUO3	20-30 cm	8.5	41.9	50.5	15.6	16.4	31.9	17.6	-3.5	0.4	0.0302	0.0009	1.4	0.29	1.57	2.46	0.0084
NUO4	20-30 cm	12.7	38.5	51.2	17.4	24.2	41.6	7.2	-3.0	0.4	0.0491	0.0024	1.5	2.13	1.61	2.60	0.0023
NUO5	12-25 cm	14.7	39.5	54.2	14.3	19.6	33.9	11.9	-3.1	0.4	0.0453	0.0021	1.5	2.20	1.49	2.23	0.0234
NUO6	12-25 cm	17.7	28.9	46.6	15.8	21.1	36.9	16.5	-3.4	0.4	0.0334	0.0011	1.6	1.41	1.69	2.86	0.0014
PIEM0411	20-45 cm	2.5	23.9	26.4	28.1	35.2	63.3	10.3	-3.9	0.4	0.0208	0.0004	1.5	2.34	1.61	2.59	0.0344
PIEM0413	24-37 cm	2.5	22.4	24.8	26.9	33.3	60.2	15.0	-4.1	0.4	0.0166	0.0003	1.5	1.98	1.57	2.47	0.0079
PIEM0414	25-50 cm			31.6			32.8	35.7	-4.8	0.3	0.0083	0.0001	1.3	1.3	1.57	2.47	0.0040
RIN2	17-28 cm	1.5	23.2	24.7	31.7	30.2	61.9	13.3	-4.0	0.4	0.0182	0.0003	1.4	1.20	1.77	3.12	0.0049
TONO0013	12-25 cm	9.3	26.2	35.5	31.2	23.1	54.3	10.2	-3.5	0.4	0.0314	0.0010	1.5	1.26	1.82	3.32	0.0556
TONO0014	17-29 cm	47.6	24.4	72.0	9.2	14.2	23.4	4.6	-1.8	0.6	0.1659	0.0275	1.8	1.98	1.63	2.66	0.0680
VERC0041	20-30 cm	2.3	16.2	18.5	25.5	30.6	56.1	25.4	-4.7	0.4	0.0094	0.0001	1.4	1.33	1.56	2.42	0.0038
VERC0042	13-25 cm	3.0	25.7	28.7	27.3	31.0	58.3	13.0	-3.9	0.4	0.0202	0.0004	1.8	2.29	1.61	2.60	0.0029

PIEM0414

DATI ANALITICI DA PROFILO IPLA

La migliore regressione ottenuta ha la forma seguente:

$$\text{LN}(K_{\text{sat}}) = (95.4 + 60.27 * d_g - 194.4 * d_g^2 - 2.607 * \sigma\phi + 0.5717 * (\text{materia organica}) - 118.6 * (\text{densità apparente}) + 35.52 * (\text{densità apparente})^2)$$

Confronto tra valori osservati e stimati mediante la regressione individuata:

SITO	PROFONDITÀ	K _{sat} osservata (cm/h)	K _{sat} stimata (cm/h)	LN (K _{sat} osservata)	LN (K _{sat} stimata)
AF600020	17-28 cm	0.0367	0.0460	-3.30403	-3.07826
AF600021	17-28 cm	0.1469	0.0327	-1.91774	-3.42032
AF610006	20-31 cm	0.0011	0.0027	-6.81732	-5.90763
ALBA01	15-35 cm	0.1360	0.0912	-1.99481	-2.3947
BALO02	20-35 cm	0.0450	0.0662	-3.10054	-2.71577
BIEL0028	17-40 cm	0.0077	0.0058	-4.86385	-5.15817
BURO0001	20-30 cm	0.0097	0.0051	-4.63902	-5.27474
BURO0002	17-30 cm	0.0158	0.0170	-4.14792	-4.0761
BURO0007	15-28 cm	0.1345	0.0843	-2.00586	-2.47279
BURO0008	18-30 cm	0.0680	0.0557	-2.68795	-2.88701
BURO0015	20-40 cm	0.0468	0.0180	-3.06265	-4.01505
GRE02	20-30 cm	0.1333	0.0238	-2.01493	-3.73865
NUO2	20-30 cm	0.0028	0.0267	-5.87353	-3.62142
NUO3	20-30 cm	0.0084	0.0057	-4.78195	-5.16815
NUO4	20-30 cm	0.0023	0.0234	-6.07822	-3.75715
NUO5	12-25 cm	0.0234	0.0568	-3.75388	-2.86798
NUO6	12-25 cm	0.0014	0.0063	-6.57935	-5.06095
PIEM0411	20-45 cm	0.0344	0.0083	-3.37043	-4.79731
PIEM0413	24-37 cm	0.0079	0.0070	-4.84566	-4.96421
PIEM0414	25-50 cm	0.0040	0.0044	-5.51783	-5.42984
RIN2	17-28 cm	0.0049	0.0051	-5.31595	-5.28726
TONO0013	12-25 cm	0.0556	0.0139	-2.89041	-4.27342
TONO0014	17-29 cm	0.0680	0.0770	-2.68795	-2.56447
VERC0041	20-30 cm	0.0038	0.0038	-5.56291	-5.56476
VERC0042	13-25 cm	0.0029	0.0029	-5.84495	-5.84478

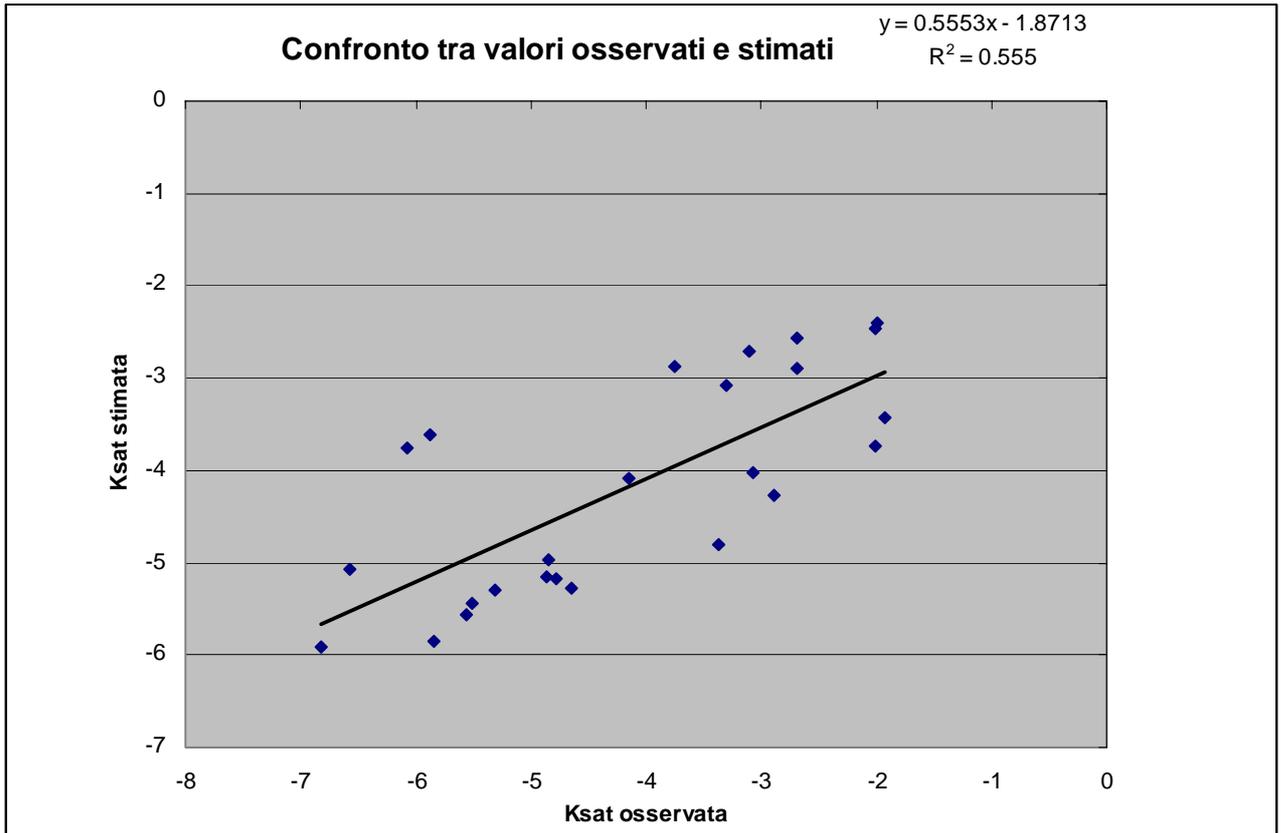


Grafico in scala logaritmica

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

1. Strumentazione di misura

È stata confermata l'ipotesi iniziale che vedeva nel metodo del doppio anello il metodo di riferimento per la misura della permeabilità nelle condizioni pedoidrologiche della risaia in sommersione. Questo metodo tuttavia ha dei limiti e delle difficoltà operative, legate ai bassi valori di permeabilità che caratterizzano le solette, in particolare nell'UC 0054. I suoli di questa UC hanno valori di permeabilità che variano tra $5 \cdot 10^{-3}$ e 10^{-3} cm/h. Ciò implica, dato il rapporto tra le superfici dell'anello interno e del serbatoio su cui vengono effettuate le letture (1.5 per l'anello più piccolo, 1.8 per l'anello più grande), che il tempo necessario affinché vi sia un abbassamento visivamente apprezzabile (1 mm) del livello dell'acqua nel serbatoio, occorrono da 23 a 68 ore.

Una soluzione a questo problema, nell'eventualità di un proseguimento o nell'estensione delle attività di misurazione, potrebbe essere individuata nell'aumentare sensibilmente il rapporto tra le superfici dell'anello interno e del serbatoio, preferibilmente diminuendo il diametro di quest'ultimo.

2. Livello di attendibilità per ogni Unità Cartografica ed eventuali approfondimenti necessari

Le misure effettuate hanno mostrato un'ottima corrispondenza con i caratteri pedologici (in particolare con la granulometria) delle Unità Cartografiche in cui ricadono i siti di misura.

Per quanto concerne le singole Unità Cartografiche, si veda la tabella seguente riepilogativa:

UC	Valore medio (media geometrica) (cm/h)	Numero di misurazioni ritenute affidabili	Livello di attendibilità per l'UC	Necessità di approfondimenti
0025	0.1353	2	MEDIO	Poche misure.
0054	0.0060	11	MEDIO-ALTO	I valori misurati nella porzione settentrionale dell'UC sono sensibilmente inferiori, in accordo con un contenuto maggiore di argilla, rispetto alla porzione meridionale. Ulteriori indagini di tipo pedologico potrebbero condurre a suddividere questa Unità in due diversi settori.
0056	0.1469	1	BASSO	Poche misure.
0074	0.0615	2	MEDIO	Poche misure.
0078	0.0464	4	MEDIO-ALTO	Buona convergenza dei valori misurati. Tuttavia la sporadica presenza di lenti ghiaiose può far variare localmente (anche alla microscala) l'ordine di grandezza della K_{sat} .
0083			BASSO	Nessuna misura. Valore di K_{sat} attribuito per similitudine con l'UC 0078.

0147	0.1333	4	MOLTO BASSO	È l'UC che mostra la maggiore variabilità spaziale della granulometria, dovuta sia alle dinamiche de posizionali dell'adiacente fiume Sesia, sia al colluvionamento di materiali fini dai terrazzi antichi posti ad ovest dell'UC. Questa elevata variabilità fa sì che si passi da valori di permeabilità di circa 0,1 cm/h (in corrispondenza dei colluvi fini) fino a valori talmente elevati (in corrispondenza di affioramenti ghiaiosi) da non consentire il mantenimento del carico desiderato.
------	--------	---	-------------	--

Per tutta l'area di indagine sarà prossimamente disponibile la Carta dei suoli in scala 1:50.000, realizzata dall'IPLA; essa potrà consentire di effettuare gli approfondimenti eventualmente ritenuti necessari.

PARTE 2) CAMPAGNA MISURAZIONI 2009

1 PREMESSA

Nel corso dell'annata 2007-2008 fu effettuata, nell'area "Centro-Sesia" del Consorzio della Baraggia biellese e vercellese, una prima campagna di misurazioni della conducibilità idraulica satura (K_{sat}), al fine di pervenire ad una quantificazione di prima approssimazione della componente filtrativa nel bilancio idrico del sistema risaia.

La campagna di misure 2007-2008 aveva due finalità:

1. Stabilire il metodo di riferimento per la misura della K_{sat} nelle particolari condizioni pedologiche ed operative delle risaie condotte in sommersione. A seguito di una impegnativa fase di confronto tra diversi metodi, si è stabilito che il **"doppio anello a carico costante"**, pur essendo il più oneroso in termini di fabbisogni lavorativi, costituiva il metodo che garantiva la migliore attendibilità dei risultati;
2. riuscire ad attribuire un valore di K_{sat} alle Unità Cartografiche della **Carta dei suoli in scala 1:250.000**, realizzata dall'IPLA per l'intero territorio regionale. All'epoca, tale livello cartografico rappresentava l'unico disponibile per l'intera area di studio.

1) Il metodo del doppio anello a carico costante

Il metodo del doppio anello (Double-Ring Infiltrometer Test ASTM D3385) è un metodo di campo per misurare la velocità di infiltrazione di un fluido nel suolo attraverso una superficie orizzontale.

Fin dalle prime rilevazioni e misurazioni, è apparso evidente che la permeabilità più bassa lungo il profilo (ovvero quella che condiziona la velocità di flusso verticale) si rileva in corrispondenza di una "soletta", ovvero di un piccolo strato, immediatamente sottostante l'orizzonte comunemente lavorato, che viene sottoposto ad operazioni di "pesta" e compattamento, al fine di diminuire la filtrazione. Questo orizzonte denso e compatto, dalla struttura massiva e privo di biopori, generalmente è rinvenibile a 20-25 cm di profondità e si estende per uno spessore compreso tra 10 e 20 cm. Le misure sono dunque state effettuate sulla soletta, previo decorticamento e messa a nudo della sua superficie.

L'infiltrometro a doppio anello è formato da due anelli concentrici di diverse dimensioni che vanno infissi nel terreno per una profondità di 10-12 cm, tenendo conto del fatto che l'anello esterno ha la funzione di contenere l'espansione laterale dell'acqua, e l'anello interno invece delimita il terreno destinato alla prova di infiltrazione. Attraverso una bottiglia di Mariotte il livello dell'acqua nell'anello interno viene mantenuto costante. L'acqua che da esso si infiltra nel terreno viene rimpiazzato con un uguale quantitativo che viene richiamato, attraverso il meccanismo di Mariotte, da un serbatoio a tenuta. Periodicamente vengono effettuate letture del livello dell'acqua in questo serbatoio. Nota questa quantità e conoscendo il diametro interno del serbatoio e dell'anello interno, è possibile conoscere l'altezza d'acqua che si è infiltrata nel terreno nell'unità di tempo.

Quando la velocità di infiltrazione raggiunge una condizioni di flusso stazionario, il che generalmente accade quando 3 letture consecutive sono uguali o molto simili, si può assumere che la velocità di infiltrazione sia coincidente con la conducibilità idraulica satura.

La formula per calcolare la K_{sat} è la seguente:

$$K_{sat} = \Delta_{str} * R_{str}^2 / R_{ring}^2$$

Dove

R_{str} è il raggio interno del serbatoio

R_{ring} è il raggio interno dell'anello

Δ_{str} è la differenza stazionaria tra due letture successive nell'altezza dell'acqua nel serbatoio (cm/h).

K_{sat} risulta espressa in cm/h.

Le condizioni operative di tale metodo sono le più prossime alle condizioni di campo del riso in sommersione, in quanto il processo di infiltrazione avviene con carico idraulico di qualche cm di altezza.

È stato fatto appositamente realizzare, da una ditta specializzata, un sistema composto da due anelli concentrici (29 e 55 cm di diametro), un serbatoio a tenuta e gli appositi terminali (Figura 1).

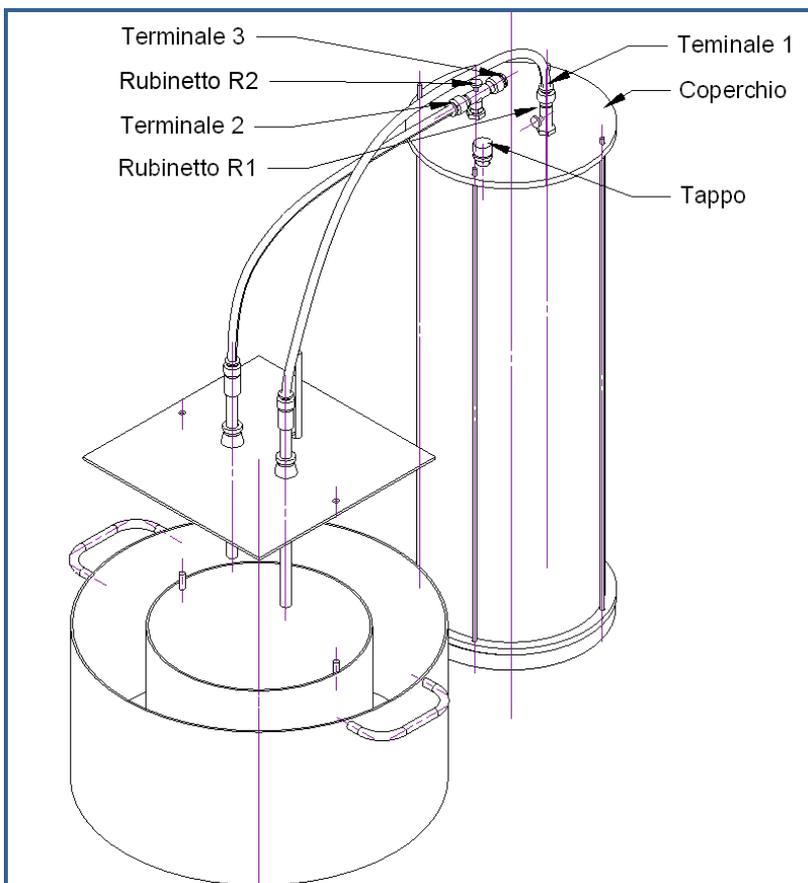


Figura 1: Schema del dispositivo realizzato



Figura 2: il dispositivo in funzione

2) La prima approssimazione della carta della permeabilità

Come accennato, la campagna di misurazioni del 2008, e le conseguenti elaborazioni e interpolazioni, furono effettuate sulla base della Carta dei suoli in scala 1:250.000 realizzata dall'IPLA.

Come si evince dallo stralcio in Figura 3, si tratta di un livello cartografico molto schematico, definito "di riconoscimento", idoneo all'individuazione dei principali pedopaesaggi e delle principali differenziazioni pedologiche presenti nel territorio.

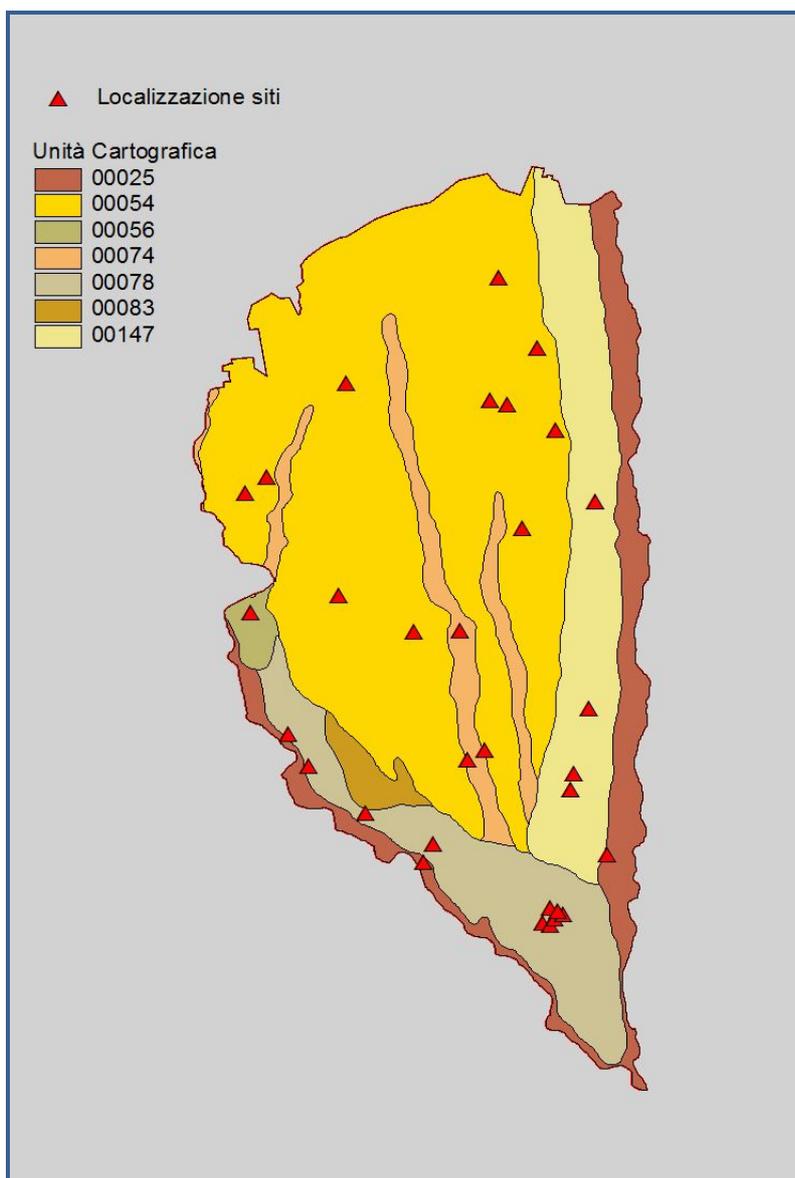


Figura 3: Carta dei suoli in scala 1:250.000 e localizzazione delle misurazioni effettuate nel 2008

Furono effettuate complessivamente 32 misure, la cui localizzazione è riportata in Figura 3, così numericamente ripartite rispetto alle Unità Cartografiche.

Unità cartografica	N. di misure
00025	4
00054	13
00056	0
00074	3
00078	2
00083	10
TOTALE	32

Le misure effettuate hanno mostrato un'ottima corrispondenza con i caratteri pedologici (in particolare con la granulometria) delle Unità cartografiche (U.C.) in cui ricadono i siti di misura ed hanno consentito di attribuire ad ogni Unità Cartografica un valore medio di K_{sat} e di esprimere un giudizio in termini di attendibilità e di adeguatezza del livello di informazione conseguito, non sempre ritenuto soddisfacente.

U.C.	Valore medio (media geometrica) (cm/h)	Livello di attendibilità per l'UC	Necessità di approfondimenti
00025	0,1353	MOLTO BASSO	È l'UC che mostra la maggiore variabilità spaziale della granulometria, dovuta sia alle dinamiche deposizionali dell'adiacente fiume Sesia, sia al colluvionamento di materiali fini dai terrazzi antichi posti ad ovest dell'UC. Questa elevata variabilità fa sì che si passi da valori di permeabilità di circa 0,1 cm/h (in corrispondenza dei colluvi fini) fino a valori talmente elevati (in corrispondenza di affioramenti ghiaiosi) da non consentire il mantenimento del carico desiderato.
00054	0,0060	MEDIO-ALTO	I valori misurati nella porzione settentrionale dell'UC sono sensibilmente inferiori, in accordo con un contenuto maggiore di argilla, rispetto alla porzione meridionale. Ulteriori indagini di tipo pedologico potrebbero condurre a suddividere questa Unità in due diversi settori.
00056			Area non indagata (assenza di risaia in sommersione)
00074	0,0615	MEDIO	Poche misure.
00078			Area non indagata (assenza di risaia in sommersione)
00083		MEDIO	Buona convergenza dei valori misurati. Tuttavia la sporadica presenza di lenti ghiaiose può far variare localmente (anche alla microscala) l'ordine di grandezza della K_{sat} .
00147	0,1353	MOLTO BASSO	Nessuna misura. Valore di K_{sat} attribuito per similitudine con l'UC 0025.

Nella Figura 4 sono evidenziate in giallo le U.C. in cui il livello di conoscenza raggiunto non è ritenuto sufficiente ai fini di una quantificazione attendibile dei fabbisogni irrigui del riso.

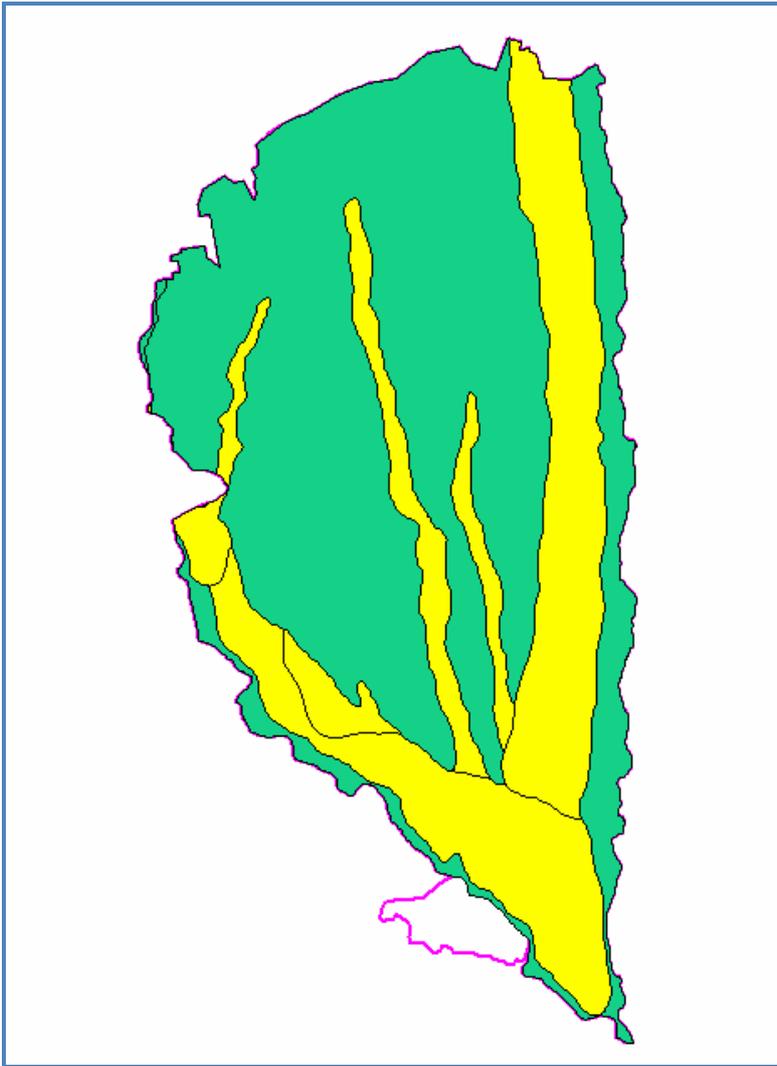


Figura 4: Unità cartografiche in cui il livello di conoscenza raggiunto con le misure 2008 era giudicato insufficiente. L'area a Sud colorata in bianco è stata solo di recente considerata come parte del "Centro-Sesia"

2 OBIETTIVI DEL PROGETTO

Per l'area di studio è stata recentemente pubblicata e resa disponibile dall'IPLA la Carta dei suoli in scala 1:50.000.

Il livello di dettaglio a questa scala di rilevamento è illustrato in Figura 5.

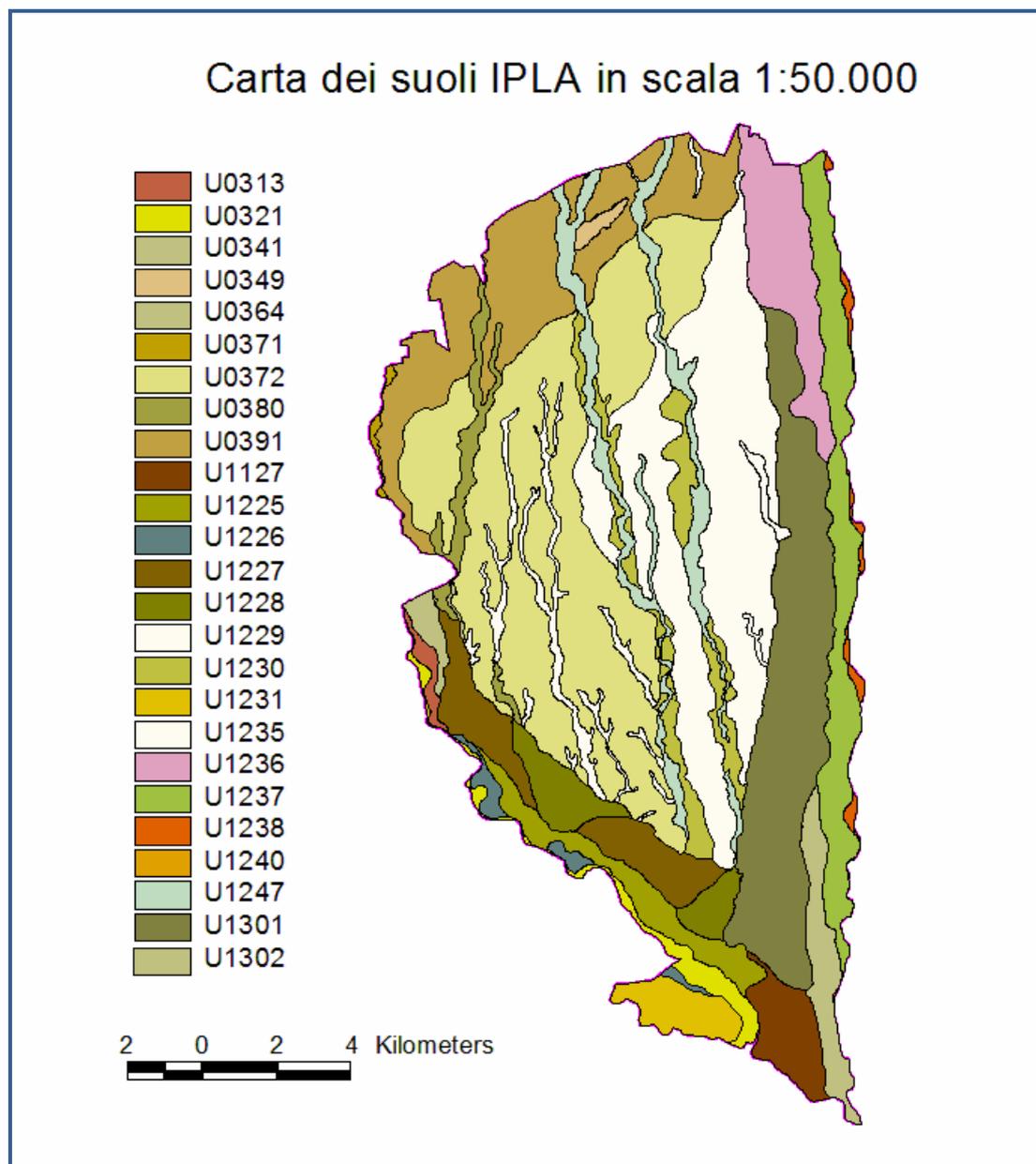


Figura 5: Carta dei suoli in scala 1:50.000 (IPLA)

Dal confronto con la Figura 3 è evidente sia l'incremento della risoluzione geografica (nella Carta in scala 1:250.000 la dimensione media dei poligoni è 1.779 ha, in quella in scala 1:50.000 è di 238,5 ha), sia l'incremento nella definizione tipologica geografica (la Carta in scala 1:250.000 è descritta da solo 7 Unità cartografiche, quella in scala 1:50.000 da 25).

In seguito alla disponibilità di questo più dettagliato documento cartografico e alla necessità di colmare le carenze conoscitive residue dalla prima campagna di misurazioni, si è ritenuto opportuno effettuare, nell'autunno-inverno 2008-2009, una seconda campagna di misurazioni che incrementasse e affinasse il livello complessivo di conoscenza.

3 CRITERI PER IL RINFITTIMENTO DELLA MAGLIA DI MISURAZIONI

Non tutte le Unità cartografiche sono ugualmente interessate dalla risicoltura per sommersione. Nella tabella seguente è riportata, per ogni Unità cartografica, la superficie a risaia in sommersione (stabile o in successione con seminativi, c.d. "valbe"), la superficie totale e la percentuale di superficie interessata da risaia in sommersione.

U.C.	Sup. a risaia (ha)	Sup. totale (ha)	Sup. a risaia %
U0313	29,9	90,7	33,0
U0321	29,0	317,5	9,1
U0341	1,4	17,1	8,4
U0349	13,3	66,9	19,9
U0364	109,5	132,2	82,8
U0371	0,0	39,3	0,0
U0372	3.926,8	5.239,6	74,9
U0380	105,7	382,2	27,7
U0391	420,5	2.303,6	18,3
U1127	104,0	451,6	23,0
U1226	42,6	152,9	27,9
U1227	696,7	856,3	81,4
U1228	484,5	533,9	90,8
U1229	413,9	704,5	58,8
U1230	688,3	838,3	82,1
U1231	309,0	357,4	86,4
U1235	3.131,0	3.868,7	80,9
U1236	115,3	982,4	11,7
U1237	0,5	1.373,5	0,0
U1238	0,0	125,3	0,0
U1240	0,0	1,2	0,0
U1247	448,5	1.040,9	43,1
U1301	1.901,1	2.678,1	71,0
U1302	277,8	506,2	54,9

Dall'incrocio tra diffusione della risaia in sommersione e grado di sovrapposizione con le U.C. della Carta dei suoli in scala 1:250.000 con livello di conoscenza insoddisfacente è derivata la scelta delle aree con più elevata priorità di intensificazione delle misure.

- U0313
- U0341
- U0364
- U0371
- U0380
- U1225
- U1227
- U1228
- U1230

- U1247
- U1301
- U1302

Nella Figura 6 viene riportata la localizzazione dei siti di misura 2009 in relazione alle U.C. della Carta dei suoli (evidenziate in giallo le U.C. in cui sono state particolarmente concentrate le misure).

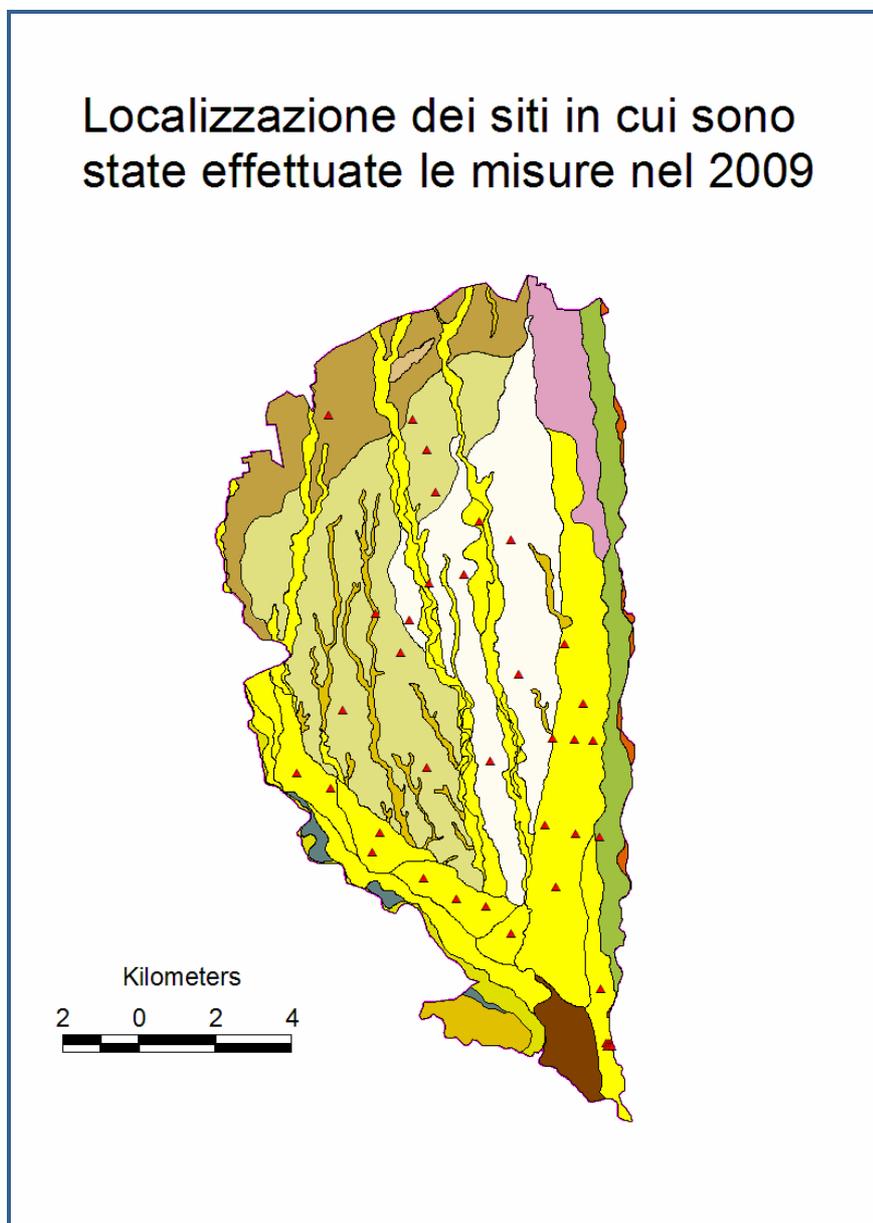


Figura 6: aree prioritarie e localizzazione delle misurazioni effettuate nel 2009

4 RISULTATI DELLE MISURE

Nella Tabella seguente vengono riportati i valori di Ksat per tutte le misure effettuate, sia nel 2008 che nel 2009, nell'area di studio.

U.C.	Sito	Anno	Ksat	Attendibilità
U0364	AF600021	2008	0,1469	Elevata
U0372	11	2009	0,0034	Elevata
U0372	12	2009	0,0038	Elevata
U0372	17	2009	0,0006	Elevata
U0372	20	2009	0,0039	Elevata
U0372	21	2009	0,0108	Elevata
U0372	47	2009	0,0014	Elevata
U0372	AF610006	2008	0,0011	Elevata
U0372	BIEL0028	2008	0,0077	Elevata
U0372	BURO0001	2008	0,0097	Elevata
U0372	BURO0002	2008	0,0158	Elevata
U0372	PIEM0414	2008	0,004	Elevata
U0372	TONO0017	2008	1,6325	Incerta
U0372	VERC0041	2008	0,0038	Elevata
U0391	42	2009	0,0021	Elevata
U1225	BURO0007	2008	0,1345	Elevata
U1225	BURO0015	2008	0,0468	Elevata
U1227	43	2009	0,0085	Elevata
U1227	44	2009	0,1178	Elevata
U1227	45	2009	0,1933	Elevata
U1227	46	2009	0,7483	Elevata
U1227	53	2009	0,0134	Elevata
U1227	AF600020	2008	0,0367	Elevata
U1227	BURO0008	2008	0,068	Elevata
U1228	22	2009	0,0046	Elevata
U1228	23	2009	3,6731	Elevata
U1228	54	2009	0,0139	Elevata
U1228	BALO02	2008	0,004391	Elevata
U1229	15	2009	0,0074	Elevata
U1230	56	2009	0,0178	Elevata
U1230	57	2009	0,0085	Elevata
U1230	BURO0016	2008	3,8994	Elevata
U1235	14	2009	0,034	Elevata
U1235	24	2009	0,0066	Elevata
U1235	26	2009	0,0188	Elevata
U1235	30	2009	0,0035	Elevata
U1235	48	2009	0,0211	Elevata
U1235	PIEM0411	2008	0,0344	Elevata
U1235	PIEM0413	2008	0,0079	Elevata

U.C.	Sito	Anno	Ksat	Attendibilità
U1235	RIN1	2008	0,0044	Elevata
U1235	RIN2	2008	0,0049	Elevata
U1235	TONO0014	2008	0,068	Incerta
U1235	VERC0042	2008	0,0029	Elevata
U1237	38	2009	1,6964	Elevata
U1247	TONO0013	2008	0,0556	Elevata
U1301	2	2009	0,0106	Elevata
U1301	3	2009	0,0402	Elevata
U1301	36	2009	0,0068	Elevata
U1301	37	2009	0,8193	Elevata
U1301	39	2009	0,1323	Elevata
U1301	4	2009	0,0375	Elevata
U1301	5	2009	0,974	Elevata
U1301	55	2009	0,2194	Elevata
U1301	GRE01	2008	2,2715	Incerta
U1301	GRE02	2008	0,1333	Elevata
U1301	GRE03	2008	1,9999	Incerta
U1301	NUO01	2008	2,634	Incerta
U1301	NUO2	2008	0,0028	Elevata
U1301	NUO3	2008	0,0084	Elevata
U1301	NUO4	2008	0,0023	Elevata
U1301	NUO5	2008	0,0234	Elevata
U1301	NUO6	2008	0,0014	Elevata
U1301	PIEM0410	2008	60,5378	Elevata
U1302	51	2009	0,0634	Elevata
U1302	991	2009	0,1586	Elevata
U1302	992	2009	0,0413	Elevata
U1302	993	2009	0,0907	Elevata
U1302	994	2009	0,0895	Elevata
U1302	995	2009	0,5456	Incerta
U1302	996	2009	0,8254	Elevata
U1302	ALBA01	2008	0,136	Elevata

La localizzazione di tutti i siti in cui sono state effettuate misurazioni, sia nel 2008 che nel 2009, è riportata nella Figura 7.

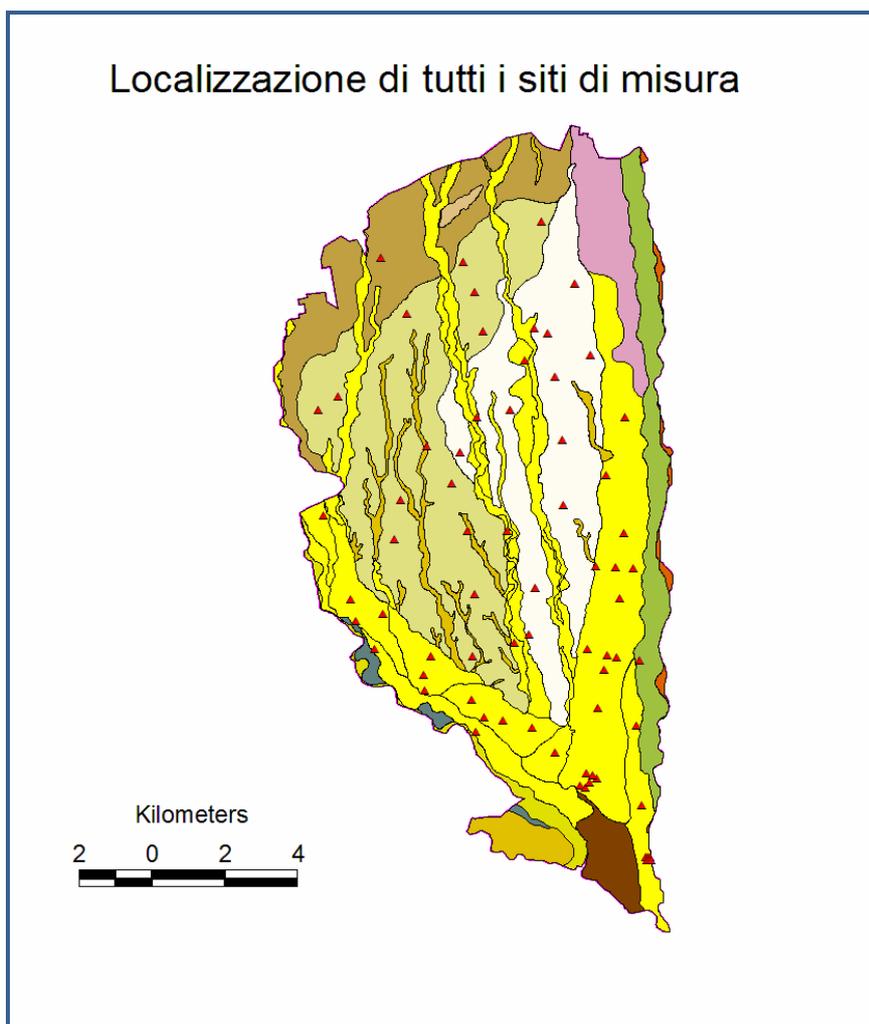


Figura 7: localizzazione dei siti di misura

Nella tabella seguente viene riportata la variabilità riscontrata nelle U.C. indagate.

U.C.	K_{sat} min (cm/h)	K_{sat} media (cm/h)	K_{sat} MAX (cm/h)	N. di misure
U0364	0,1469	0,1469	0,1469	1
U0372	0,0006	0,1307	1,6325	13
U0391	0,0021	0,0021	0,0021	1
U1225	0,0468	0,0907	0,1345	2
U1227	0,0085	0,1694	0,7483	7
U1228	0,0046	0,9342	3,6731	4
U1229	0,0074	0,0074	0,0074	1
U1230	0,0085	1,3086	3,8994	3
U1235	0,0029	0,0188	0,068	11
U1237	1,6964	1,6964	1,6964	1
U1247	0,0556	0,0556	0,0556	1
U1301	0,0014	0,5481	2,634	17
U1302	0,0413	0,2438	0,8254	8

In alcune U.C. la variabilità riscontrata è stata ritenuta ancora troppo ampia per poter quantificare adeguatamente la componente filtrativa del fabbisogno irriguo della risaia in sommersione.

In alcuni, significativi casi, è stato possibile individuare un modello geografico in grado di spiegare la variabilità all'interno delle U.C. della Carta dei suoli in scala 1:50.000 e di suddividere queste in sottoaree (identificate dal campo ID_POLY), in maniera da ridurre la variabilità complessiva.

In particolare, l'U.C. U1301, che nell'indagine 2008 era risultata tra quelle peggio caratterizzate, è stata suddivisa in più poligoni, caratterizzati da permeabilità significativamente diversa e corrispondenti a corpi deposizionali che ne spiegano il diverso comportamento idrologico.

U.C.	ID_POLY	KSAT media (geometrica) cm/h	Attendibilità	Variabilità
U1231	0	0,07930	bassa	N.V.
U1236	1	0,12000	bassa	N.V.
U0372	2	0,00300	moderata	bassa
U1230	4	0,08380	moderata	elevata
U1230	6	0,08380	moderata	elevata
U1235	7	0,00930	elevata	bassa
U0321	10	POLIGONO NON INDAGATO (NON UTILIZZATO A RISAIA)		
U0321	11	0,05560	bassa	N.V.
U0321	12	POLIGONO NON INDAGATO (NON UTILIZZATO A RISAIA)		
U0321	13	0,05560	bassa	N.V.
U0313	14	1,69640	bassa	N.V.
U0341	15	0,10000	bassa	N.V.
U0372	16	0,00290	elevata	bassa
U0371	17	POLIGONO NON INDAGATO (NON UTILIZZATO A RISAIA)		
U0371	18	POLIGONO NON INDAGATO (NON UTILIZZATO A RISAIA)		
U0391	21	0,00210	elevata	moderata
U0391	22	0,00210	bassa	N.V.
U0391	23	0,00210	bassa	N.V.
U0391	24	0,00210	bassa	N.V.
U0364	27	0,14690	moderata	N.V.
U0380	28	0,12000	bassa	N.V.
U0380	29	0,12000	bassa	N.V.
U0380	30	0,12000	bassa	N.V.
U1229	31	0,00740	moderata	bassa
U0391	32	0,00210	bassa	N.V.
U1229	33	0,00740	moderata	bassa
U1230	34	0,08380	moderata	elevata
U1229	35	0,00740	moderata	bassa
U1225	36	0,07930	bassa	N.V.
U1226	37	1,69640	bassa	N.V.
U0341	38	POLIGONO NON INDAGATO (NON UTILIZZATO A RISAIA)		
U1229	39	0,00740	moderata	bassa
U1228	40	0,03180	bassa	N.V.
U0380	41	0,12000	bassa	N.V.
U1227	42	0,17440	moderata	moderata
U1229	43	0,00740	moderata	bassa
U1229	44	0,00740	moderata	bassa
U1226	45	POLIGONO NON INDAGATO (NON UTILIZZATO A RISAIA)		

U.C.	ID_POLY	KSAT media (geometrica) cm/h	Attendibilità	Variabilità
U1229	46	0,00740	moderata	bassa
U1229	47	0,00740	moderata	bassa
U1229	48	0,00740	moderata	bassa
U1230	49	0,08380	moderata	elevata
U1230	50	0,08380	moderata	elevata
U0349	52	0,00210	bassa	N.V.
U1247	53	0,05560	bassa	N.V.
U1127	54	0,10000	bassa	elevata
U0391	55	0,00210	bassa	N.V.
U1240	56	POLIGONO NON INDAGATO (NON UTILIZZATO A RISAIA)		
U1229	57	0,00740	moderata	bassa
U1238	58	POLIGONI NON INDAGATI (NON UTILIZZATI A RISAIA)		
U1238	59			
U1238	60			
U1238	61			
U1238	62			
U1238	63			
U1237	64	1,69640	bassa	N.V.
U1238	65	POLIGONI NON INDAGATI (NON UTILIZZATI A RISAIA)		
U1238	66			
U1238	67			
U1238	68			
U1238	70	0,05560	bassa	N.V.
U1238	71	0,05560	bassa	N.V.
U1238	72	POLIGONI NON INDAGATI (NON UTILIZZATI A RISAIA)		
U1238	73	0,05560	bassa	N.V.
U1238	74	0,05560	bassa	N.V.
U1238	76	POLIGONI NON INDAGATI (NON UTILIZZATI A RISAIA)		
U1238	77			
U1238	78			
U1238	79			
U1238	80			
U1238	81			
U1238	82			
U1229	83	0,00740	moderata	bassa
U0391	84	0,00210	bassa	N.V.
U1230	85	0,08380	moderata	elevata
U1230	86	0,08380	moderata	elevata
U1230	87	0,08380	moderata	elevata
U1247	88	0,05560	bassa	N.V.
U1229	89	0,00740	moderata	bassa
U1228	90	0,03180	bassa	N.V.
U1230	91	0,08380	moderata	elevata
U1230	92	0,08380	moderata	elevata
U1230	93	0,08380	moderata	elevata
U0372	96	0,01020	elevata	bassa
U0372	97	0,01180	elevata	bassa
U1301	98	0,01810	moderata	moderata
U1229	99	0,00740	moderata	bassa
U1247	100	0,05560	moderata	moderata
U1301	101	0,09670	bassa	elevata
U1301	102	0,01810	bassa	N.V.

U.C.	ID_POLY	KSAT media (geometrica) cm/h	Attendibilità	Variabilità
U1301	103	0,09670	bassa	elevata
U1230	104	0,08380	moderata	elevata
U1301	106	0,09670	bassa	elevata
U1301	108	0,09670	bassa	elevata
U1227	109	0,03090	moderata	moderata
U1229	110	0,00740	moderata	bassa
U0321	114	0,05560	bassa	N.V.
U1302	116	0,12090	elevata	moderata
U1226	117	1,69640	bassa	N.V.

I dati illustrati nella tabella precedente, nonché la geometria dei diversi poligoni, sono riportati nell'allegato shapefile "PERM_50k".

Nella Figura 8 viene illustrata la seconda approssimazione, in scala 1:50.000, della carta della permeabilità del "Centro-Sesia"

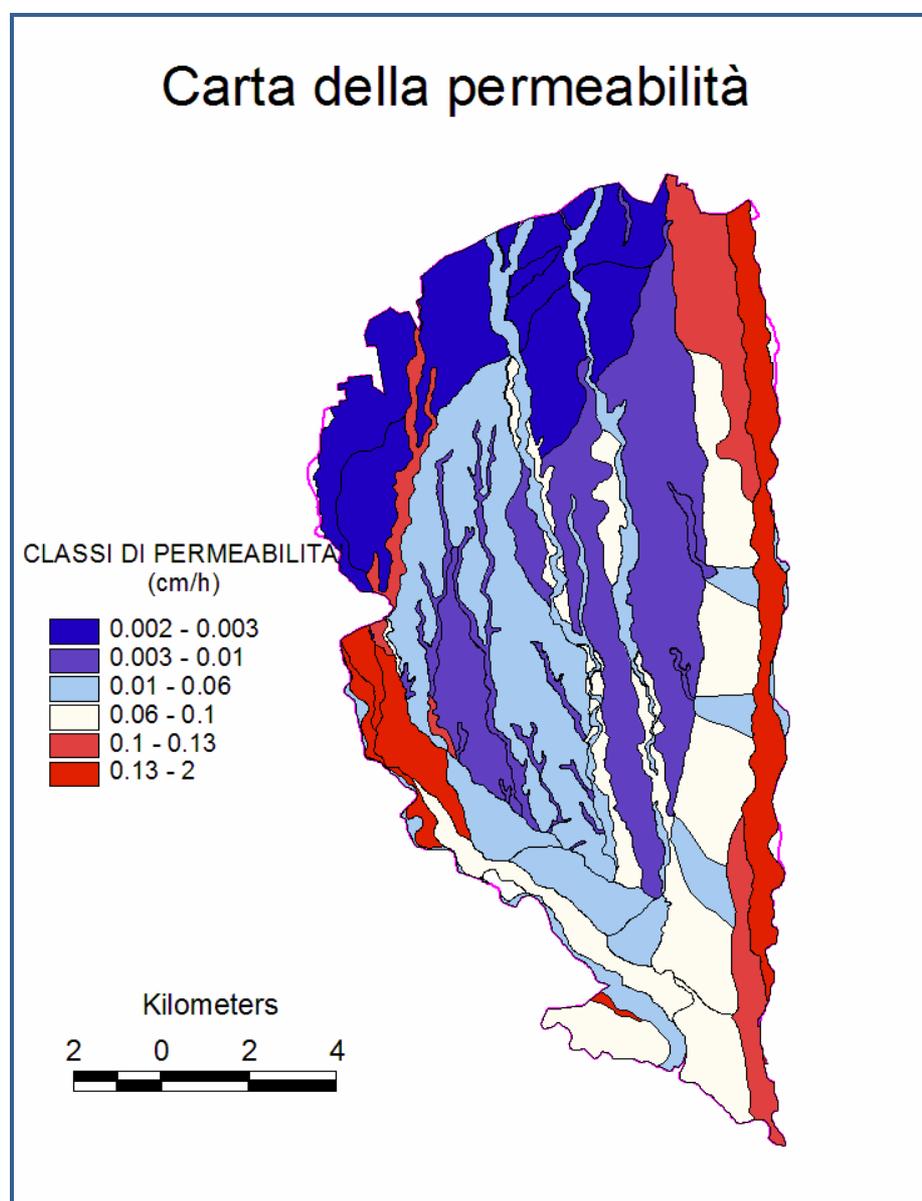


Figura 8: seconda approssimazione, in scala 1:50.000, della carta della permeabilità del "Centro-Sesia"

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La disponibilità della Carta dei suoli in scala 1:50.000 e le ulteriori misurazioni effettuate hanno consentito di migliorare sensibilmente sia la risoluzione geografica che l'attendibilità dei valori attribuiti ai singoli poligoni. Tuttavia permangono alcune aree interessate da risaia in sommersione in cui non è stato raggiunto un livello di attendibilità almeno moderato o in cui la variabilità spaziale della permeabilità è tutt'ora elevata.

In particolare, in aree con elevata presenza di scheletro già in superficie, sono stati rilevati valori di K_{sat} molto elevati (da 0,12 a più di 3 cm/h). Per questi valori così elevati permane il dubbio di una possibile inattendibilità delle misure, dovuta alla turbazione del suolo che potrebbe essere stata indotta dall'infissione dei cilindri in presenza di scheletro. Tuttavia, gli agricoltori e gli acquaioli riferiscono di tempi di mantenimento del carico, nelle camere in cui sono state effettuate tali misure, compatibili con i valori osservati di K_{sat} .

Eventuali ulteriori approfondimenti futuri andrebbero concentrati di preferenza nelle aree con bassa attendibilità, con elevata variabilità o con valori incompatibili con il mantenimento di un carico di sommersione costante. Tali aree sono evidenziate in giallo nella Figura 9.

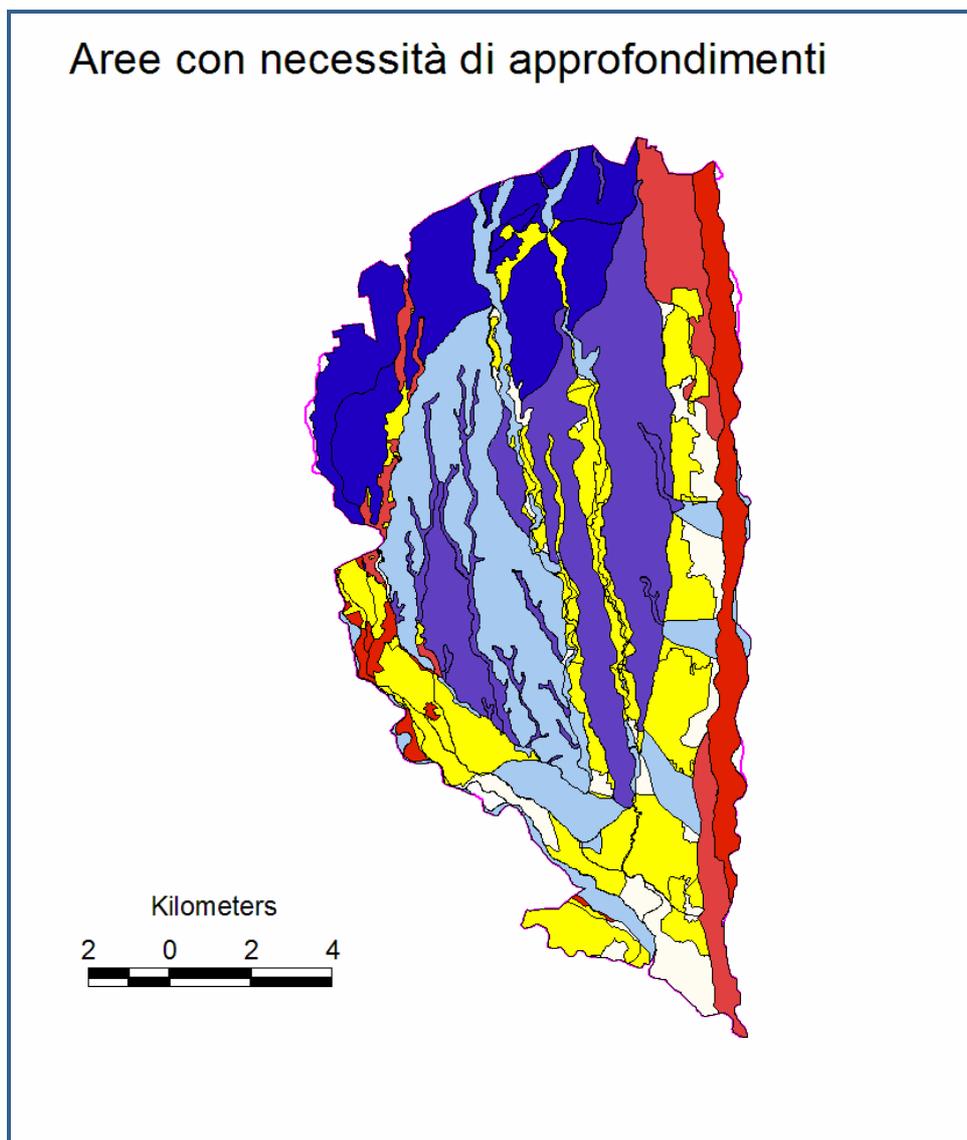


Figura 9: aree in cui andrebbero di preferenza effettuati eventuali ulteriori approfondimenti