

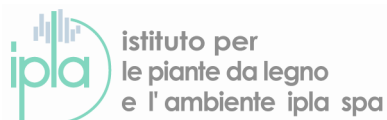
REGIONE PIEMONTE

**Ass. Agricoltura, tutela della flora e della fauna
Direzione Agricoltura
Settore Agricoltura Sostenibile ed Infrastrutture Irrigue**

MONITORAGGIO DA SATELLITE DELL'UMIDITÀ DEI SUOLI PIEMONTESI
PROGETTO PILOTA

DGR 55-1982 del 31.07.2015 – DD 2087 del 02.09.20015 – Piano di Lavoro IPLA per il 2015 –
Convenzione Rep. 281-15 del 23.09.2015

RELAZIONE FINALE

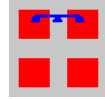


I.P.L.A.

Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente

Unità Operativa Patologie Ambientali e Tutela del Suolo

Settembre 2016



INDICE

- 1. Premessa e obbiettivi**
- 2. Verifica ed ipotesi siti di monitoraggio a terra su base pedologica**
- 3. Individuazione siti di monitoraggio a terra in area pilota**
- 4. Installazione 8 centraline**
- 5. Risultati monitoraggio a terra**
 - **descrizione dei siti e dati pedologici di inquadramento**
 - **Elaborazione dati con modelli idrologici**
 - **Monitoraggio novembre 2015-settembre 2016: grafici riassuntivi**
 - **Commento finale ai dati di monitoraggio a terra ed elaborazione idrologica**
- 6. Attività pedologica in campo: scavo profili, campionamento, misure idrologiche di laboratorio e curve di ritenzione idrica**
- 7. Attività monitoraggio da satellite**
 - **Introduzione**
 - **Descrizione lavoro**
 - **Risultati**



1. Premessa e obiettivi

La relazione generale del Piano di Tutela della Acque (PTA) quantifica i prelievi irrigui in Piemonte nel trimestre giugno-agosto in 6 miliardi di mc con un deficit irriguo (rispetto ai prelievi concessi) di circa il 30% - pari a oltre 1,7 miliardi di mc. Negli anni di siccità (negli ultimi 10 anni la frequenza è di 1 anno ogni 5) i danni prodotti all'agricoltura possono essere molto ingenti, nell'ordine di centinaia di milioni di euro/anno.

La superficie irrigata consortile della regione Piemonte ammonta a circa 438.000 ha (fonte SIRI¹, 2011) e rappresenta circa l'80% della superficie irrigata regionale. L'irrigazione permette, attraverso l'integrazione degli apporti idrici naturali, la coltivazione delle colture estive (in particolare mais, riso, foraggiere, ortaggi e frutta) che, con valore della produzione di oltre un miliardo di euro, rappresentano circa il 60% dell'intera produzione agricola regionale.

La distribuzione dell'acqua irrigua è garantita da una rete irrigua costituita da infrastrutture di proprietà pubblica e privata ed è gestita dai consorzi di bonifica e dai consorzi d'irrigazione. Il censimento della rete irrigua piemontese conta oltre 8.000 Km di canali con una portata di oltre 14.000 mc/secondo.

Con la completa applicazione del regolamento regionale 7/R2007 tutti i prelievi irrigui e le restituzioni esistenti saranno oggetto di misurazione. La messa a norma dei canali consentirà di valutare con maggiore precisione la quantità di acqua che, al netto delle perdite, viene destinata effettivamente "al campo".

Tale quantificazione tuttavia non è sufficiente in quanto, pur dando un ordine di grandezza, non definisce un vero e proprio bilancio idrico ovvero non quantifica il reale fabbisogno idrico delle colture.

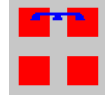
La determinazione della disponibilità di acqua per le colture è molto complessa; essa dipende, dagli apporti naturali (piogge, altezza falda freatica), dal tipo di irrigazione praticata (sommersione, scorrimento, pioggia, microirrigazione ecc.), dall'efficienza della distribuzione, dalla natura dei terreni (pendenza, tessitura, struttura del profilo, quantità di carbonio ecc) e non ultimo dall'evapotraspirazione che a parità di condizioni (tipo di suolo e temperatura) varia con il variare della coltura e del suo stadio vegetativo. Se è pensabile effettuare dei bilanci idrici a livello aziendale, più complesso è immaginare un monitoraggio continuo dello stato di bagnatura dei suoli a livello di comprensorio irriguo.

Un aiuto in questo campo può essere dato dalla messa a punto di modelli di monitoraggio da satellite dell'umidità dei suoli.

Tali dati correlati alle conoscenze geografiche disponibili sulla tipologia dei suoli potrebbero, con una buona approssimazione, dare informazioni sulla reale disponibilità idrica per le colture e quindi essere uno strumento per migliorare l'efficienza della distribuzione irrigua con significativi benefici sul fronte del risparmio idrico e sulla diminuzione della conflittualità tra i fruitori della risorsa, che sono in concorrenza tra loro. Inoltre la conoscenza del grado di umidità dei suoli può essere un utile strumento in caso di calamità naturali quali alluvioni e siccità; nel primo caso per la modellistica derivata per la previsione delle piene, nel secondo per una migliore gestione dei comprensori irrigui e delle riserve idriche contenute nei bacini di accumulo.

Per poter essere utilizzato a scala adeguata tale strumento deve essere però "tarato" attraverso delle rilevazioni a terra del tipo di coltura e fase fenologica in atto, delle modalità di irrigazione, dei dati meteorologici e di umidità dei suoli.

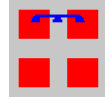
¹ Il SIRI della Regione Piemonte è la base dati conoscitiva di riferimento dei fattori di pressione antropica e dello stato quantitativo dei corpi idrici.



Per iniziare si è individuata l'area pilota del Centro Sesia del Consorzio di Bonifica della Baraggia Biellese e Vercellese. In quest'area, sulla base delle Cartografie dei Suoli a scala 1:250.000 e a scala 1:50.000 prodotte da IPLA, sono stati inoltre effettuati due studi di approfondimento, entrambi commissionati dal Consorzio di Bonifica della Baraggia Biellese e Vercellese:

- “Relazione sulla caratterizzazione della permeabilità dei suoli nel comprensorio del Centro Sesia”, esecutore del progetto Dott. Agr. Nicola Laruccia (2010), riguardante la caratterizzazione della permeabilità idrica dei suoli;
- “Valutazione dei consumi e dei fabbisogni idrici nel comprensorio irriguo denominato Centro Sesia su una superficie di circa 15.500 ettari”, responsabili della ricerca: Pierluigi Claps, Francesco Laio del Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili (DITIC) del Politecnico di Torino.

A supporto delle attività di monitoraggio e rilevamento di dati a terra si prevede anche l'utilizzo di immagini da telerilevamento (satellitare e/o aereo)



2. Verifica ed ipotesi siti di monitoraggio su base pedologica

E' stato eseguito un esame preliminare di tutti gli studi finora svolti nella zona di indagine. In particolare sono stati presi in considerazione i seguenti lavori:

- ❖ Carta della soggiacenza della falda superficiale. Settore Nord. *Autore: Provincia VC.*
- ❖ Valutazione dei consumi e dei fabbisogni idrici nel comprensorio irriguo denominato Centro Sesia su una superficie di circa 15.500 ettari. *Autore: Politecnico di Torino Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Infrastrutture Civili*
- ❖ Metodologia di verifica dei fabbisogni lordi nei comprensori irrigui della Regione Piemonte. *Autore: Regione Piemonte Direzione Regionale Pianificazione delle risorse idriche e Università di Torino Dipartimento di Economia e Ingegneria agraria, forestale e ambientale.*
- ❖ Risorse idriche sotterranee nell'area interessata dal Termovalorizzatore TRM. *Autore: ARPA Piemonte*
- ❖ Le acque sotterranee della pianura vercellese La falda superficiale. *Autore: Provincia VC.*
- ❖ Carte Idrogeologiche Regionali In Italia Italian Hydrogeological Maps. *Autore: Giuseppe Capelli & Roberto Mazza Università degli Studi "Roma Tre" - Dipartimento di Scienze Geologiche.*
- ❖ Relazione sulla caratterizzazione della permeabilità dei suoli nel comprensorio Centro Sesia. *Autore: Consorzio della Bonifica della Baraggia Biellese e Vercellese*
- ❖ Adeguamento della cartografia della base dell'acquifero superficiale del territorio delle province di Alessandria, Asti, Biella, Novara, Torino, Vercelli e Verbano Cusio Ossola e revisione dei parametri numerici relativi ai criteri tecnici orientativi *Relazione tecnica D.D. n.900 del 3/12/2012 Allegato 1*

Le informazioni e i dati utili provenienti da questi lavori sono state incrociate con la carta pedologica IPLA-Regione Piemonte a scala 1:50.000 allo scopo di formulare un'ipotesi di collocamento delle centraline meteo-suolo di monitoraggio, in modo da ottenere il massimo della rappresentatività territoriale possibile in base al numero delle centraline disponibili e alla variabilità geopedologica e alle caratteristiche idrogeologiche.

Figura 1 è la rappresentazione cartografica di questa ipotesi di collocamento dei siti di monitoraggio che ha consentito l'inizio della fase operativa del progetto.

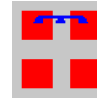
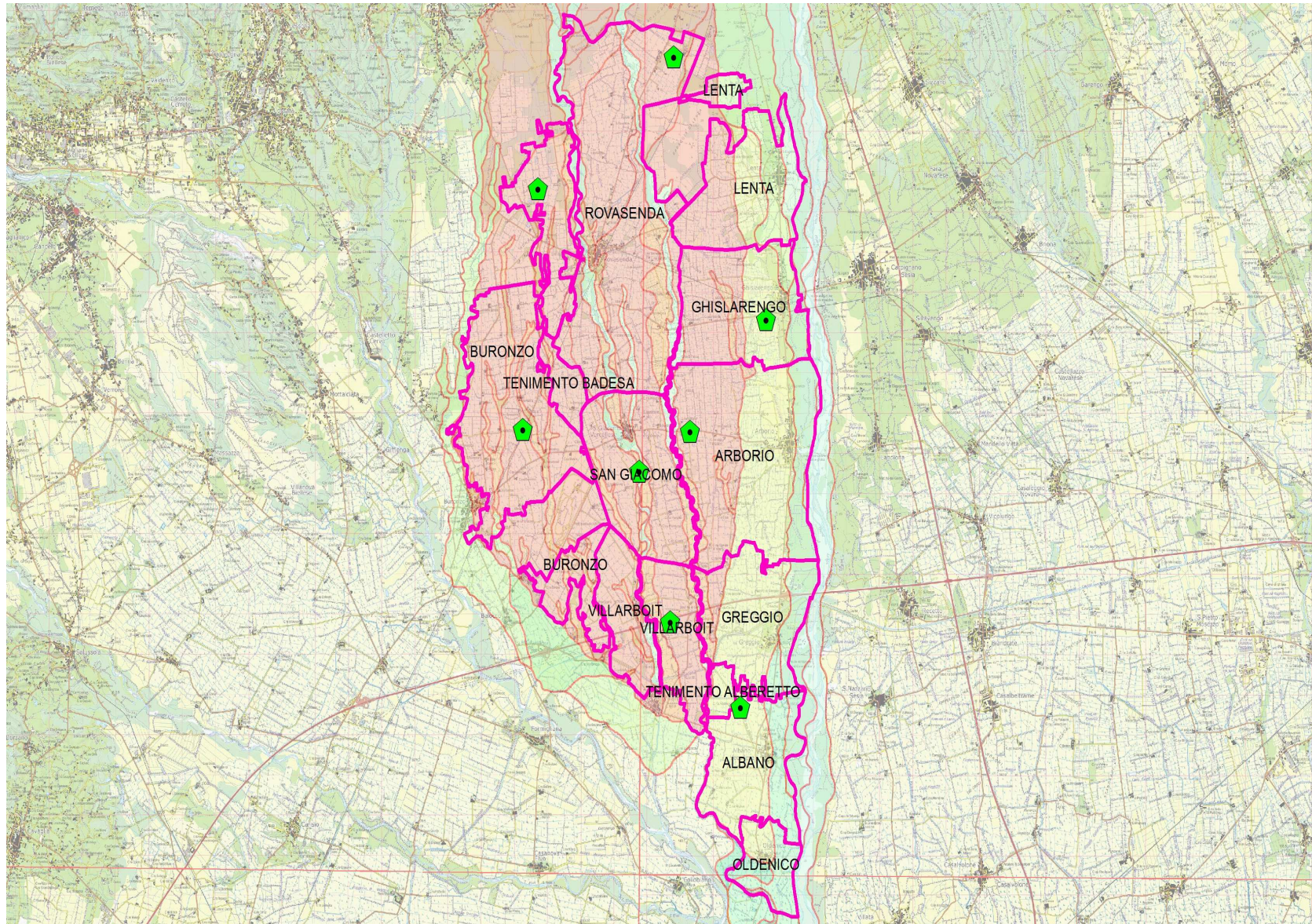
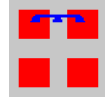


Figura 1





3. Individuazione siti di monitoraggio in area pilota con personale del Consorzio

Si è verificato a terra questa ipotesi di collocamento delle centraline (fig.1) in funzione della disponibilità dei proprietari degli appezzamenti, delle necessità logistiche e della cartografia pedologica.

In particolare si è dovuto tenere in considerazione da una parte le esigenze dei conduttori degli appezzamenti dal punto di vista operativo colturale e d'altra parte dei criteri per la corretta disposizione delle centraline.

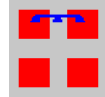
In ogni appezzamento prescelto è stato collocato un picchetto riconoscibile per la successiva fase e cioè l'installazione delle otto centraline.

4. Installazione 8 centraline

Con il supporto del personale tecnico del Consorzio e dei proprietari/affittuari degli appezzamenti scelti, si è proceduto alla installazione delle 8 centraline previste sotto la responsabilità diretta della ditta fornitrice.

Qui di seguito la tabella completa delle otto centraline con codice, località, proprietario del fondo e coordinate.

| CODICE STAZIONE | LOCALITA' | PROPRIETARIO/LOCATARIO FONDO | UTM_N | UTM_E |
|-----------------|--|------------------------------|--------|---------|
| IPLA0003 | Cascina Nuova (S.Albano, VC) | TOSONE | 450679 | 5029157 |
| IPLA0004 | S.Marco (Villarboit, VC) | CASALOTTI | 448443 | 5034092 |
| IPLA0005 | Fornace (Arborio, VC) | FERRARIS | 448941 | 5038954 |
| IPLA0006 | Ghislarengo | FERRARIS | 451413 | 5041779 |
| IPLA0007 | Cascina Bellaria (Ovest di san Giacomo VC) | LANCINI | 444415 | 5038600 |
| IPLA0008 | S.Giacomo Verellese sud | TAGLIABUE | 447625 | 5037302 |
| IPLA0009 | Cascina Le Bonifiche (Rovasenda) | BECCARO | 448933 | 5047903 |
| IPLA0010 | Cascina Nuova Pilone (Rovasenda) | FERRARIS | 444986 | 5045092 |



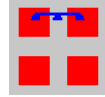
5. Risultati monitoraggio a terra

In questo capitolo vengono fornite le schede di dettaglio di ciascuna stazione comprensive di:

- ❖ Nome della località
- ❖ Cartografia del punto (riduzione della scala 1:50.000)
- ❖ Coordinate UTM
- ❖ Codice fase pedologica di riferimento a scala 1:50.000
- ❖ Codice unità cartografica pedologica di riferimento a scala 1:50.0000
- ❖ Codice unità cartografica pedologica di riferimento a scala 1:250.000
- ❖ Report fotografico installazione e sito
- ❖ Specifiche tecniche centralina Davis e link ai dettagli tecnici
- ❖ Grafici riassuntivi di monitoraggio nov.2015-set.2016
- ❖ Caratteristiche pedologiche della stazione (estratto dal SIP) comprensive di analisi fisico-chimiche
- ❖ Caratteristiche Idrologiche del suolo e bilancio idrico
 - Conduttività idraulica satura misurata in campo (Ksat)
 - Acqua facilmente disponibile (AWC)
- ❖ Elaborazione con il modello Saxton-USDA a compattazione normale e compattazione densa con i seguenti output:

| |
|--------------------------------------|
| Punto di appassimento |
| Capacità di campo |
| Saturazione |
| Acqua disponibile |
| Conduttività idraulica a saturazione |
| Densità apparente |
| Conduttività idraulica a 33kPa |
| Conduttività idraulica a 1500kPa |

- ❖ Elaborazioni con il modello Retc (University of California, Van Genuchten):
 - Curve di ritenzione idrica (theta vs press) a compattazione densa e normale



Per quanto riguarda gli approfondimenti pedologici e relativi campionamenti con analisi idrologiche, sono stati eseguiti due scavi pedologici, uno rappresentativo della morfologia di piana medio-recente del Sesia e l'altro del terrazzo alto mindeliano.

Il campionamento con appositi cilindri è stato eseguito su tutti gli orizzonti interessati dalla sezione idrica di controllo secondo USDA-

I risultati dell'indagine pedologica e relative analisi sono riportati nel successivo capitolo 6.

6. Profili pedologici e misure di laboratorio

Descrizione del profilo utilizzato per prelievo campioni analisi idrologiche

Profilo: VERC0378



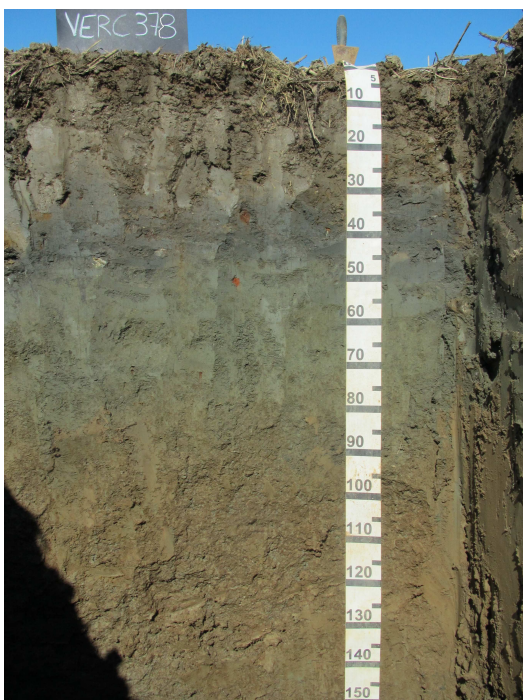
Localizzazione: C. Nuova – Albano VC

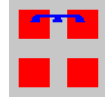
Pendenza: 0°

Uso del suolo: risaia

Litologia: Sabbie e ghiaie (Wurm)

Il suolo è stato descritto allo stato umido.





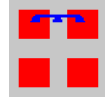
Orizzonte Ap1: 0 - 30 cm; umido; colore bruno olivastro scuro (2,5Y 3/3); tipo colore variegato; screziature 15 %, con dimensioni medie di 2 mm, con limiti chiari, dominanti di colore grigio molto scuro (2,5Y 3/1); tessitura franca; scheletro assente; struttura granulare media di grado moderato; macropori comuni, con dimensioni medie 1-5 mm; radicabilità 80%; debolmente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; debolmente plastico; suolo non calcareo; limite inferiore netto ed ondulato.

Orizzonte Ap2: 30 - 45 cm; umido; colore grigio molto scuro (5Y 3/1); tipo colore ridotto; tessitura franca; scheletro assente; struttura massiva; macropori scarsi, con dimensioni medie minori di 1 mm; radicabilità 40%; resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; debolmente plastico; suolo non calcareo; limite inferiore abrupto ed ondulato.

Orizzonte ABg: 45 - 80 cm; umido; colore grigio olivastro scuro (5Y 3/2); tipo colore ridotto; tessitura franca; scheletro assente; struttura massiva; macropori scarsi, con dimensioni medie minori di 1 mm; radicabilità 30%; moderatamente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; debolmente plastico; suolo non calcareo; limite inferiore chiaro ed ondulato.

Orizzonte Bg: 80 - 135 cm; umido; colore bruno scuro (7,5YR 3/4); colore subordinato bruno grigiastro scuro (10YR 4/2); tipo colore variegato; tessitura franca; scheletro assente; struttura poliedrica subangolare media di grado moderato; macropori comuni, con dimensioni medie 1-5 mm; radicabilità 60%; debolmente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; debolmente plastico; suolo non calcareo; limite inferiore graduale ed ondulato.

Orizzonte Cg: 135 - 175 cm; umido; colore bruno (10YR 4/3); colore subordinato bruno grigiastro scuro (10YR 4/2); tipo colore ridotto; screziature 30 %, con dimensioni medie di 3 mm, con limiti chiari, dominanti di colore bruno giallastro scuro (10YR 3/6); tessitura franco sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; macropori comuni, con dimensioni medie 1-5 mm; radicabilità 40%; resistenza incoerente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; debolmente plastico; suolo non calcareo; limite inferiore sconosciuto.



Descrizione del profilo utilizzato per prelievo campioni analisi idrologiche

Profilo: VERC0379



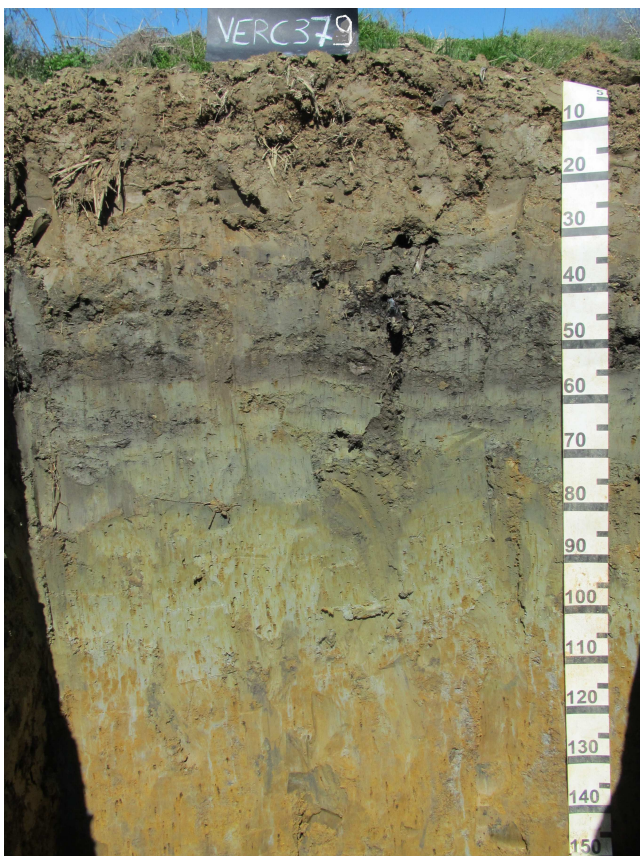
Localizzazione: C. Nuova Pilone - Roasio

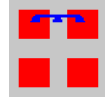
Pendenza: 0°

Uso del suolo: risaia

Litologia: Limi e argille (Riss)

Il suolo è stato descritto allo stato umido.





Orizzonte Ap1: 0 - 30 cm; umido; colore bruno (10YR 4/3); colore subordinato bruno grigiastro scuro (10YR 4/2); tipo colore variegato; tessitura franco limosa; scheletro assente; struttura granulare media di grado moderato; macropori comuni, con dimensioni medie 1-5 mm; radicabilità 90%; debolmente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; debolmente plastico; suolo non calcareo; limite inferiore chiaro ed ondulato.

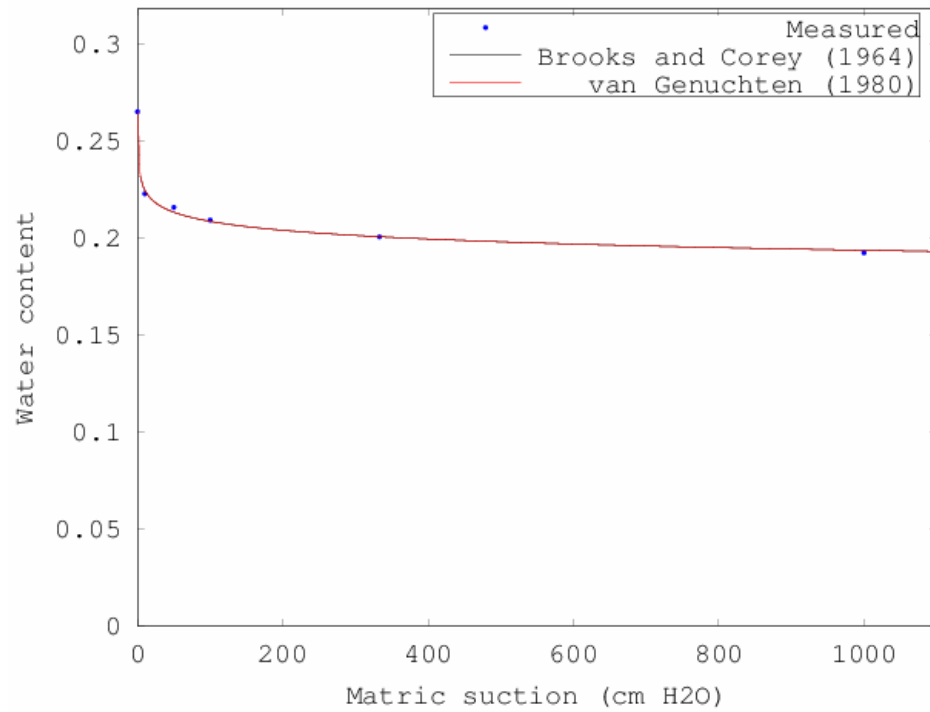
Orizzonte Ap2: 30 - 70 cm; umido; colore grigio scuro (2,5Y 4/1); colore subordinato bruno intenso (7,5YR 5/6); tipo colore ridotto; tessitura franco limosa; scheletro assente; struttura massiva; macropori scarsi, con dimensioni medie minori di 1 mm; radicabilità 20%; moderatamente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; debolmente plastico; suolo non calcareo; limite inferiore chiaro ed ondulato.

Orizzonte Bg: 70 - 110 cm; umido; colore grigio olivastro (5Y 5/2); colore subordinato olivastro (5Y 5/6); tipo colore ridotto; tessitura franco limoso argillosa; scheletro assente; struttura poliedrica angolare grossolana di grado moderato; macropori comuni, con dimensioni medie 1-5 mm; radicabilità 50%; moderatamente resistente; cementazione debole; moderatamente adesivo; moderatamente plastico; suolo non calcareo; noduli di ferro-manganese 5 %, con dimensioni medie di 2mm; concrezioni di ferro-manganese, 2 %, con dimensioni medie di 3mm; limite inferiore chiaro ed ondulato.

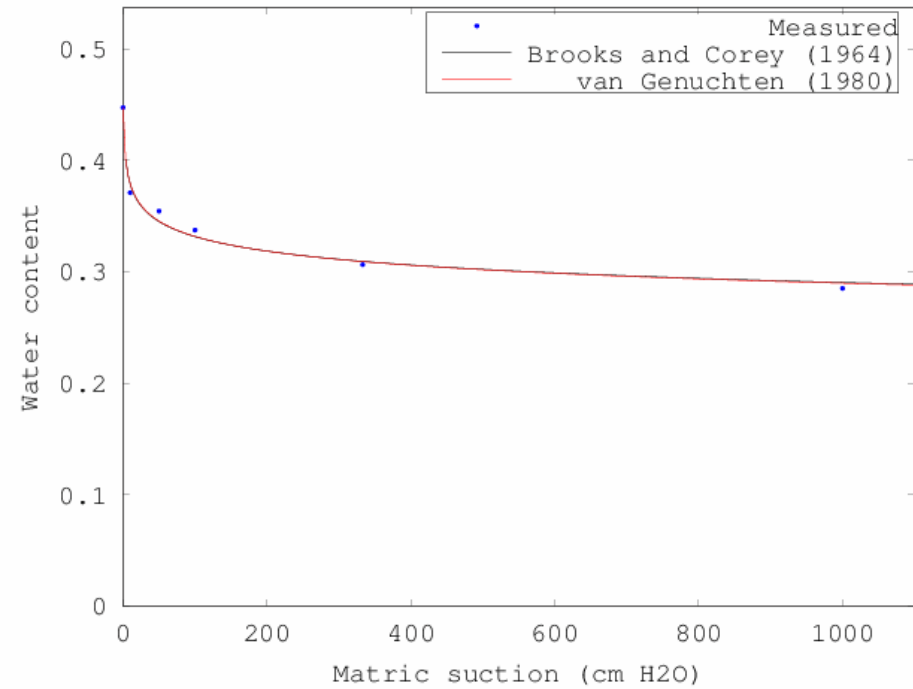
Orizzonte Btgx: 110 - 150 cm; umido; colore grigio (10YR 5/1); colore subordinato bruno giallastro (10YR 5/6); colore delle facce bruno rossastro (5YR 4/3); tipo colore variegato; screziature 50 %, con dimensioni medie di 10 mm, con limiti chiari, dominanti di colore bruno giallastro (10YR 5/6); tessitura franco limoso argillosa; scheletro assente; struttura poliedrica angolare grossolana di grado forte; macropori comuni, con dimensioni medie 1-5 mm; radicabilità 40%; resistente; cementazione debole; moderatamente adesivo; moderatamente plastico; suolo non calcareo; noduli di ferro-manganese 10 %, con dimensioni medie di 3mm; concrezioni di ferro-manganese, 3 %, con dimensioni medie di 3mm; pellicole di argilla 10 % presenti sulle facce degli aggregati; limite inferiore sconosciuto.



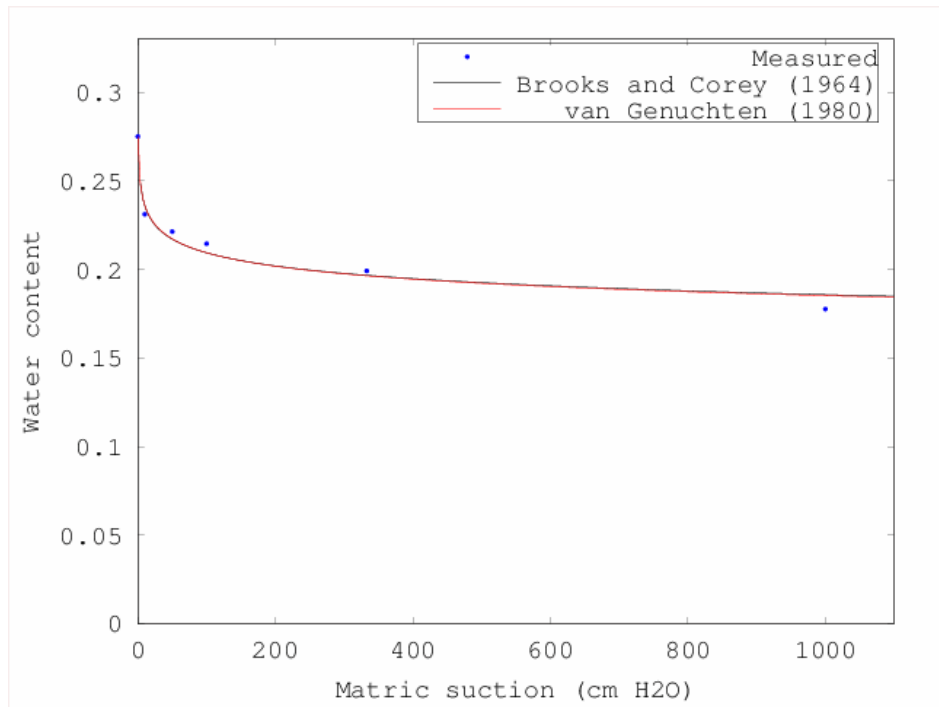
| Misure pF | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------|--------|-----------|--------------------------------|----------------|---------|----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|--|
| | 0 | 10 | 50 | 100 | 333 | 1000 | cm | | 0 | 10 | 50 | 100 | 333 | 1000 | cm | |
| umidità | 0,01 | 1 | 5 | 10 | 33 | 100 | kPa | | 0,01 | 1 | 5 | 10 | 33 | 100 | kPa | |
| in peso | 0,01 | 1 | 1,7 | 2 | 2,5 | 3 | pF | in vol | 0,01 | 1 | 1,7 | 2 | 2,5 | 3 | pF | |
| VERC 378 OR1 | 0,447 | 0,371 | 0,354 | 0,337 | 0,306 | 0,285 | | VERC 378 OR1 | 54,8% | 45,4% | 43,4% | 41,3% | 37,5% | 34,9% | | |
| VERC 378 OR2 | 0,265 | 0,223 | 0,216 | 0,209 | 0,200 | 0,192 | | VERC 378 OR2 | 42,2% | 35,5% | 34,3% | 33,3% | 31,9% | 30,6% | | |
| VERC 378 OR4 | 0,275 | 0,231 | 0,221 | 0,215 | 0,199 | 0,178 | | VERC 378 OR4 | 41,7% | 35,0% | 33,6% | 32,5% | 30,2% | 26,9% | | |
| VERC 379 OR1 | 0,321 | 0,255 | 0,247 | 0,239 | 0,226 | 0,215 | | VERC 379 OR1 | 45,6% | 36,2% | 35,1% | 33,9% | 32,1% | 30,6% | | |
| VERC 379 OR2 | 0,353 | 0,292 | 0,284 | 0,278 | 0,268 | 0,256 | | VERC 379 OR2 | 49,0% | 40,6% | 39,5% | 38,6% | 37,2% | 35,5% | | |
| VERC 379 OR3 | 0,295 | 0,249 | 0,245 | 0,241 | 0,235 | 0,229 | | VERC 379 OR3 | 44,7% | 37,7% | 37,1% | 36,5% | 35,6% | 34,6% | | |
| VERC 379 OR4 | 0,306 | 0,276 | 0,271 | 0,267 | 0,262 | 0,256 | | VERC 379 OR4 | 43,6% | 39,4% | 38,7% | 38,1% | 37,4% | 36,4% | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Densità apparente su campioni | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Peso secco | Volume | Densità | Pesi netti gr sat-secco= | Volume ciot | Vol | peso specif | D.app. | | | | | | | | |
| | netto | cc | apparente | peso acqua | cc | matrice | matrice | matrice | | | | | | | | |
| VERC 378 OR1 | 98,66 | 80,58 | 1,22 | 44,13 | 0 | 36,45 | 2,71 | 1,22 | | | | | | | | |
| VERC 378 OR2 | 128,36 | 80,58 | 1,59 | 34,00 | 6,93 | 39,65 | 2,77 | 1,49 | | | | | | | | |
| VERC 378 OR4 | 122,15 | 80,58 | 1,52 | 33,61 | 0 | 46,97 | 2,60 | 1,52 | | | | | | | | |
| VERC 379 OR1 | 114,57 | 80,58 | 1,42 | 36,73 | 0 | 43,85 | 2,61 | 1,42 | | | | | | | | |
| VERC 379 OR2 | 111,89 | 80,58 | 1,39 | 39,51 | 0 | 41,07 | 2,72 | 1,39 | | | | | | | | |
| VERC 379 OR3 | 122,00 | 80,58 | 1,51 | 36,05 | 0 | 44,53 | 2,74 | 1,51 | | | | | | | | |
| VERC 379 OR4 | 114,94 | 80,58 | 1,43 | 35,13 | 0 | 45,45 | 2,53 | 1,43 | | | | | | | | |



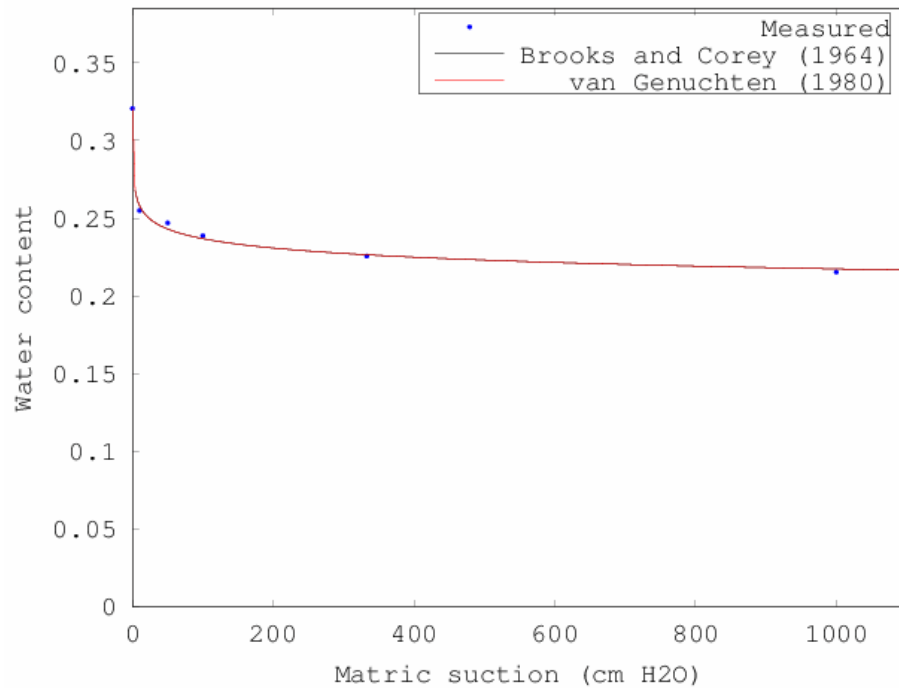
Curva di ritenzione idrica dell'orizzonte Ap1 del profilo VERC0378



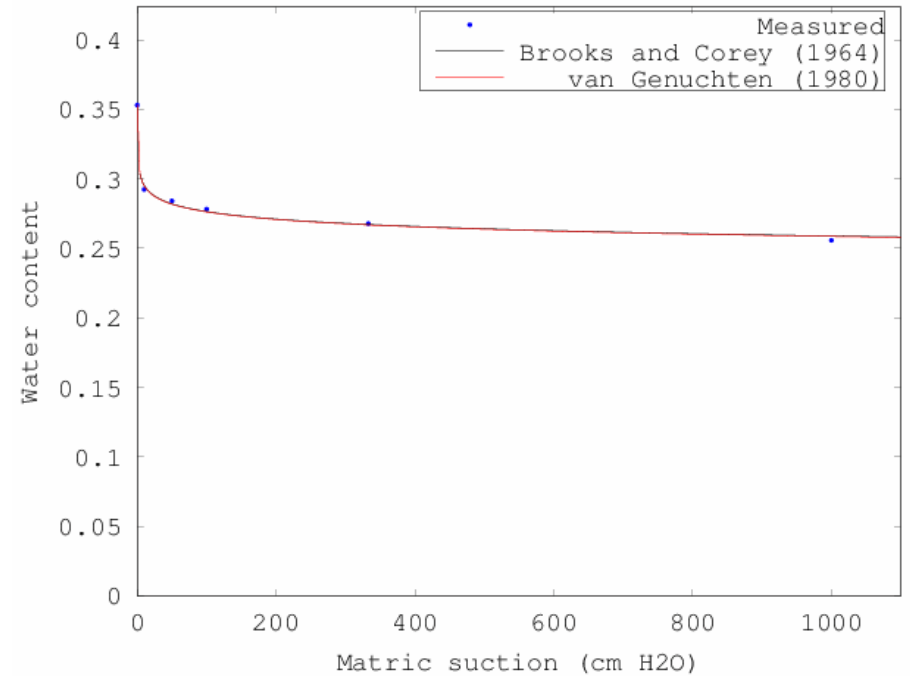
Curva di ritenzione idrica dell'orizzonte Ap2 del profilo VERC0378



Curva di ritenzione idrica dell'orizzonte Bg del profilo VERC0378



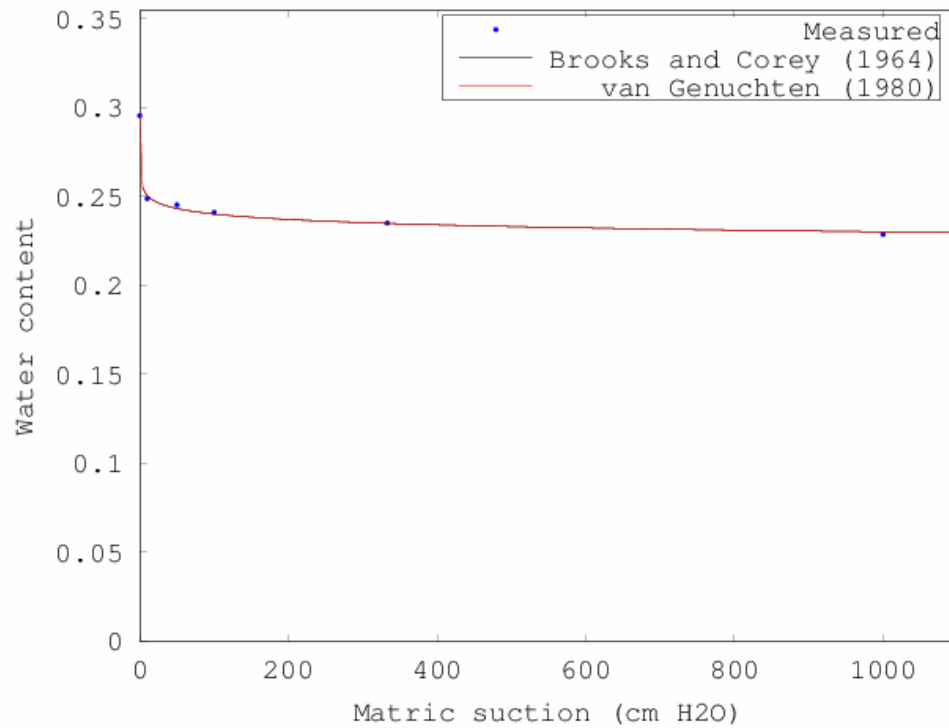
Curva di ritenzione idrica dell'orizzonte Ap1 del profilo VERC0379
VERC0379



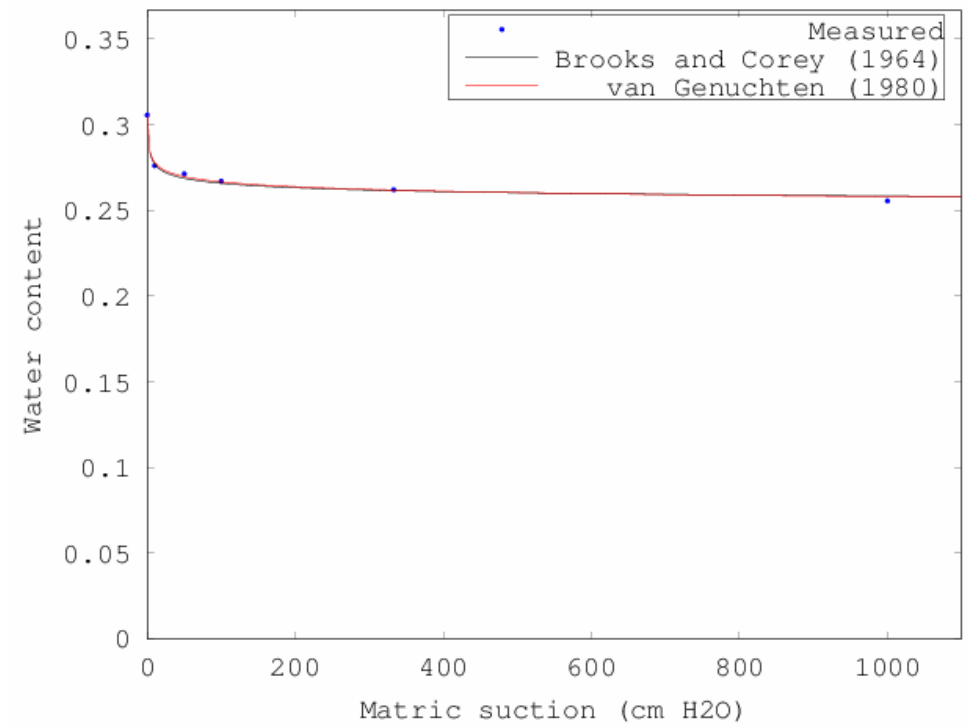
Curva di ritenzione idrica dell'orizzonte Ap2 del profilo
VERC0379

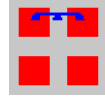


Curva di ritenzione idrica dell'orizzonte Bg del profilo VERC0379



Curva di ritenzione idrica dell'orizzonte Btgx del profilo VERC0379





Il confronto delle analisi di laboratorio, effettuate con il metodo standard (vasca di Stackman per la misura a saturazione e cioè $pF=0,01$, piastra di Richards per le misure da 1 a 3 pF), e gli output dei modelli hanno mostrato alcune differenze, come era lecito attendersi.

Si tratta di un confronto parziale, in quanto gli output si riferiscono soltanto ai topsoil, mentre le analisi idrologiche sono state eseguite su tutto il profilo.

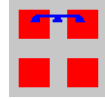
In ogni caso tale confronto ha portato a confermare il dato modellizzato del suolo rappresentativo dei suoli della piana del Sesia: infatti la percentuale di acqua alla capacità di campo risulta 36,5% del modello contro il 37,5% della misura.

Viceversa per il suolo a tessitura fine rappresentativo del terrazzo alto la misura di laboratorio risulta inferiore: 32,1% contro il 40% del modello.

Resta però da sottolineare che le densità apparenti misurate erano significativamente diverse da quelle calcolate con le pedofunzioni, come d'altra parte sovente capita.

Pur dovendo ipotizzare quindi differenze nella valutazione delle capacità idrica dei due tipi di suolo in funzione delle misure o dei modelli, si evidenzia che, in coltura di sommersione, il parametro più importante sia sempre la velocità di infiltrazione.

Questo parametro, sia nelle misure già effettuate nei precedenti lavori sia negli output dei modelli utilizzati nel presente progetto, è sicuramente più alto di diversi ordini di grandezza nei suoli della piana del Sesia rispetto a quello del terrazzo alto.



7. Analisi dati da telerilevamento

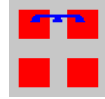
Attività svolte da ottobre a dicembre 2015

Nella prima fase del progetto si è proceduto a definire un accordo di collaborazione con il CNR IREA di Milano finalizzato a poter disporre di una base dati telerilevati e di elaborazioni opportune. L'istituto del CNR è infatti responsabile del progetto pre-operativo ERMES, finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del settimo programma quadro (FP7) e, in questo contesto, può erogare servizi specifici ad utenti pubblici per il monitoraggio delle colture risicole.

Allo scopo di definire tale collaborazione è stata svolta una prima riunione tecnica a Lecco in ottobre per capire le rispettive esigenze e come si poteva quindi configurare una collaborazione utile ad entrambi i progetti. In effetti si è riscontrata l'esigenza da parte del CNR di avere utenti che testino l'effettiva possibilità di utilizzo operativo degli strumenti di telerilevamento messi a disposizione e parallelamente il grande vantaggio per il progetto della Regione Piemonte nel poter usufruire di una grande massa di dati telerilevati e di elaborazioni specifiche per la stagione colturale 2016.

Una successiva riunione si è svolta a Milano il 14 dicembre per approfondire gli aspetti tecnici. In questa occasione è stato illustrato ai ricercatori IREA il sistema di rilevamento dei dati meteorologici e di umidità dei suoli installato e la disponibilità di questi dati per integrarli con quelli satellitari. Per quanto riguarda questi ultimi si è concordato di utilizzare dati da sensori radar e da sensori che operano nel campo dell'ottico e dell'infrarosso. Le elaborazioni più adatte in funzione degli obiettivi di progetto sono risultate le seguenti:

- Elaborazione di dati SAR per l'identificazione delle risaie allagate e per gli approfondimenti delle analisi sulle zone con anomalie. Specificatamente per il riso si dovrà cercare la soglia di accrescimento della coltura oltre il quale non si riesce più a registrare informazioni significativamente correlate alla presenza di acqua nella camera.
- Mappe a scala di appezzamento delle zone a comportamento costante. In queste elaborazioni si evidenziano aree a costante alta o bassa produzione collegate o meno a pattern di suoli differenti.
- Mappe dell'Evaporative fraction a partire da dati Modis sul pixel di un chilometro che risulta significativamente correlata all'umidità del suolo o del sistema suolo-pianta. Queste, visti i tempi di rivisitazione di questo satellite, possono essere elaborate giornalmente e possono essere utili nell'identificare situazioni anomale e concentrare ulteriori analisi a scala di maggior dettaglio su queste zone.



Sempre nel corso di questa riunione di dicembre e attraverso lo scambio di mail successivo è stato quindi messo a punto una bozza dell'accordo di collaborazione tecnica tra IPLA e CNR-IREA finalizzato allo scambio di dati e di valutazioni tecniche conseguenti.

1. Determinazione dello stato di allagamento delle camere di risaia da dati SAR.

A partire da aprile 2016 sono state avviate le elaborazioni dei dati radar al fine di identificare le risaie allagate lungo il corso della stagione colturale per la zona di interesse del Consorzio della Baraggia. A questo scopo sono state utilizzate una serie di immagini del satellite ESA Sentinel 1A dotato di SAR (Radar ad apertura sintetica) prendendo in considerazione tutti i dati, sia quelli acquisiti nell'orbita ascendente sia in quella discendente, in modo da coprire un maggior numero di date possibile.

Metodo di elaborazione del dato radar

Il dato è stato elaborato dalla società specializzata SARMAP attraverso un procedimento automatico implementato all'interno del software MAPscape-RICE che consente di convertire il dato che viene fornito in GRD (Ground range data) nel valore di backscatter che corrisponde al segnale fisico rilevato. Il flusso dati prevede:

- Importazione, mosaicatura sull'area e coregistrazione dell'immagine
- Filtraggio multitemporale dell'effetto speckle
- Calibrazione radiometrica e relativa normalizzazione
- Filtraggio del diffusione anisotropica non-lineare

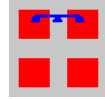
L'identificazione delle condizioni di allagamento si basa sul confronto con immagini precedenti all'avvio della stagione colturale.

Sono quindi state quindi identificate due date (17 marzo e 9 marzo rispettivamente per i passaggi in orbita ascendente e discendente) che rappresentano le condizioni di riferimento in assenza di acqua.

Per ogni acquisizione del satellite Sentinel 1A le condizioni di allagamento vengono determinate applicando le seguenti condizioni:

1. $\sigma_t^0 < 15 \text{ dB}$

2. $\frac{\sigma_{ref}^0}{\sigma_t^0} > 2.5 \text{ dB}$



Dove σ_t^0 e σ_{ref}^0 sono i valori dei coefficienti di backscatter al tempo t dell'osservazione (data del passaggio satellitare esaminato) e alla data di riferimento.

Il metodo si basa sul fatto che la superficie dell'acqua funge da riflettore speculare abbassando notevolmente il coefficiente di backscatter in quanto l'energia del radar non viene riflessa indietro al sensore e quindi non viene rilevato il segnale di ritorno. Questo fa sì che i pixel con presenza di acqua in superficie appaiano molto scuri rispetto a quelli senza acqua. La presenza di vegetazione parzialmente sommersa potrebbe già determinare un incremento del backscatter per l'effetto della penetrazione delle onde radar ed una parziale risposta da parte della vegetazione sommersa.

Validazione dell'elaborazione satellitare "flooding".

Il processo di validazione è stato condotto in modi diversi e complementari in modo da prendere in considerazione variabilità temporale e spaziale.

In particolare sono stati analizzati:

1. Ricognizione sul terreno in corrispondenza di una singola data di passaggio satellitare e confronto a posteriori tra quanto osservato e dato da telerilevamento
2. Confronto con i dati dei sensori di monitoraggio messi in opera da IPLA su determinate camere di risaia per le date dei vari passaggi satellitari.
3. Rilevamento delle condizioni allagato/non allagato durante i sopralluoghi da parte dei tecnici incaricati per la lotta biologica alle zanzare svolta nelle date dei passaggi satellitari.

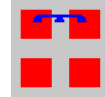
1. Ricognizione sul terreno in corrispondenza di una singola data di passaggio satellitare.

Sopralluoghi sono stati svolti da tecnici del CNR IREA in corrispondenza del passaggio satellitare del 22 aprile 2016.

Il dato veniva rilevato con riferimento ad un punto e utilizzando una legenda con le seguenti voci:

- Risaia parzialmente allagata (meno del 50% da stima visiva)
- Risaia prevalentemente allagata (da 50% a 75% da stima visiva)
- Risaia sommersa (oltre il 75%)
- Suolo saturo (non vi è presenza di acqua in superficie ma il suolo si presenta umido)
- Suolo secco in superficie

I dati dell'incrocio tra i punti rilevati e classificati con l'esito dell'elaborazione del dato SAR è riportata nella tabella seguente:



| Surface conditions | SAR not flooded | SAR flooded |
|------------------------------|-----------------|-------------|
| Risaia parzialmente allagata | 9 | 16 |
| Risaia per lo piu allagata | 5 | 24 |
| Risaia sommersa | 9 | 140 |
| Suolo saturo | 6 | 5 |
| Suolo secco in superficie | 144 | 53 |
| Total | 173 | 238 |

L'analisi mostra che le situazioni intermedie di parziale allagamento o di suolo saturo in superficie possono dare dei problemi nella determinazione dello stato di allagamento da satellite. Appare strano che alcune risaie vengano classificate come allagate in presenza di suolo secco ma questo potrebbe essere dovuto in parte a problemi di georeferenziazione tra il punto della classificazione a terra e il pixel (20 m di lato) del radar oppure a pratiche di livellamento laser che vengono svolte sul campo e che determinano la formazione di una superficie piatta e regolare con conseguente riflessione speculare.

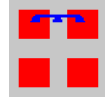
Se ci atteniamo allo scopo della sperimentazione ovvero determinare l'allagamento o meno della risaia e si accorpano quindi le prime tre classi (Parzialmente, prevalentemente e completamente allagata) e le ultime due (Suolo saturo e secco ma in assenza di acqua in superficie) i risultati di accuratezza sono quelli mostrati nella tabella seguente:

| Classificazione del dato satellitare | Riferimento a terra - Non allagato | Riferimento a terra - Allagato | Totale | Accuratezza dell'utilizzatore (%) | Errore di commissione (%) |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------|-----------------------------------|---------------------------|
| Dato satellite - Non allagato | 150 | 23 | 173 | 87 % | 13 % |
| Dato satellite - Allagato | 58 | 180 | 238 | 76 % | 24 % |
| Totale | 208 | 203 | | | |
| Accuratezza del produttore (%) | 72 % | 89 % | | | |
| Errore di omissione (%) | 28 % | 11 % | | | |

L'accuratezza totale ottenuta in questo modo è dell'80,3% con coefficiente K 0,61.

2. Confronto con i dati dei sensori di monitoraggio messi in opera da IPLA su 8 camere di risaia per le date dei vari passaggi satellitari.

Il dato risultante dall'elaborazione presenta in generale un buon accordo con i dati rilevati dal sensore di bagnatura foliare delle centraline installate. Questo dimostra che l'elaborazione permette



di evidenziare con alcuni limiti anche i piccoli periodi in cui viene tolta l'acqua dalle camere per esigenze agronomiche nel periodo primaverile.

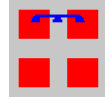
Anche se il campione numericamente non è molto grande (8 stazioni di monitoraggio per 11 date da inizio aprile al 1 giugno) si riporta la matrice di confusione risultante dal confronto tra allagato-non allagato risultante dal sensore delle centraline e dall'elaborazione dato SAR.

| Classificazione del dato satellitare | Sensore centralina - Allagato | Sensore centralina - Non Allagato | Totale | Accuratezza dell'utilizzatore (%) | Errore di commissione (%) |
|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------|-----------------------------------|---------------------------|
| Dato satellite - Allagato | 34 | 7 | 41 | 83 % | 17 % |
| Dato satellite - Non allagato | 8 | 39 | 47 | 83% | 17% |
| Totale | 43 | 46 | | | |
| Accuratezza del produttore (%) | 81 % | 85% | | | |
| Errore di omissione (%) | 19 % | 15% | | | |

Come si vede dalla tabella le accuratezze ottenute (Accuratezza totale 82,9%, $K=$) sono analoghe a quelle verificate nel caso precedente riscontrato rispetto ad una verifica a terra.

Se si analizza più in dettaglio le discrepanze osservate nei periodi di allagamento delle 8 risaie monitorate rilevati dal sensore e il dato risultante dall'elaborazione satellitare è possibile fare alcune considerazioni:

- Nel caso di brevi periodi di asciutta come dal 2 al 6 maggio alla Cascina Nuova di S. Albano (Centralina IPLA003) è possibile che permangano comunque superfici significative coperte da uno strato d'acqua all'interno della camere tali da farlo risultare comunque allagato nell'elaborazione satellitare.
- Analogamente se la data satellitare coincide o è prossima al giorno in cui viene tolta o rimessa l'acqua nella camere si possono creare le stesse condizioni di parziale sommersione con possibile attribuzione ad allagato o non allagato a seconda della prevalenza. Vedi per esempio per la centralina IPLA004 per la data dell'8 maggio con sommersione completa della risaia segnalata dal sensore a partire dal 9 maggio.
- Presenza di camere di risaia lunghe e strette prossime a zone non coltivate come nel caso della centralina IPLA009 della Cascina Le Bonifiche di Rovasenda o a zone con coltivi non irrigui come nel caso della Cascina S. Marco di Villarboit. In questo caso il problema può essere connesso alla risoluzione del sensore satellitare (20 m) che non riesce a definire



compiutamente la superficie della risaia in considerazione della presenza di molti pixel misti al bordo il cui segnale finisce per essere alterato dalla presenza della cascina e del piazzale antistante nel caso di IPLA 009 e di altri campi momentaneamente non allagati come nel caso di IPLA004

3. Rilevamento delle condizioni allagato/non allagato durante i sopralluoghi da parte dei tecnici incaricati per la lotta biologica alle zanzare svolta nelle date dei passaggi satellitari.

Il lavoro dei tecnici è stato avviato a partire da giugno ed è stato limitato ad alcune porzioni di territorio piuttosto ristrette. Dai questi dati raccolti a partire dal 9 giugno in poi si riscontra comunque una forte differenza tra il dato satellitare e quanto rilevato in campo il che permette di stabilire che l'utilità dell'elaborazione flooding è limitata al periodo di aprile- maggio. Dai primi di giugno la crescita del riso in campo determina un effetto sul coefficiente di backscatter che non permette più di valutare correttamente la presenza d acqua nella camera.

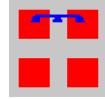
2. Mappe a scala di appezzamento delle zone a comportamento costante.

Questa elaborazione è basata sull'analisi di dati satellitari ottici di archivio. In particolare si tratta di serie inter-annuali di immagini SPOT (HR1) e Landsat (LR) comprendenti sia riprese del periodo invernale per l'analisi dei suoli nudi sia immagini estive per le valutazioni sul vigore della biomassa.

Il flusso di lavoro, implementato in IDL, prevede le seguenti fasi:

- Preprocessamento delle immagini (Ortorettificazione, Correzioni atmosferiche, coregistrazione su file vettoriale dei campi)
- Selezione in base alla riflettanza dei campi da utilizzare per l'analisi dei suoli e della biomassa.
- Estrazione di parametri chiave per la biomassa (Indice NDVI e SR) e successiva operazione di clustering per la delimitazione delle zone con pattern costante e delle conseguenti anomalie
- Estrazione di parametri chiave per il suolo (Brightness Index) e successiva operazione di clustering per la delimitazione delle zone con pattern costante e delle conseguenti anomalie.

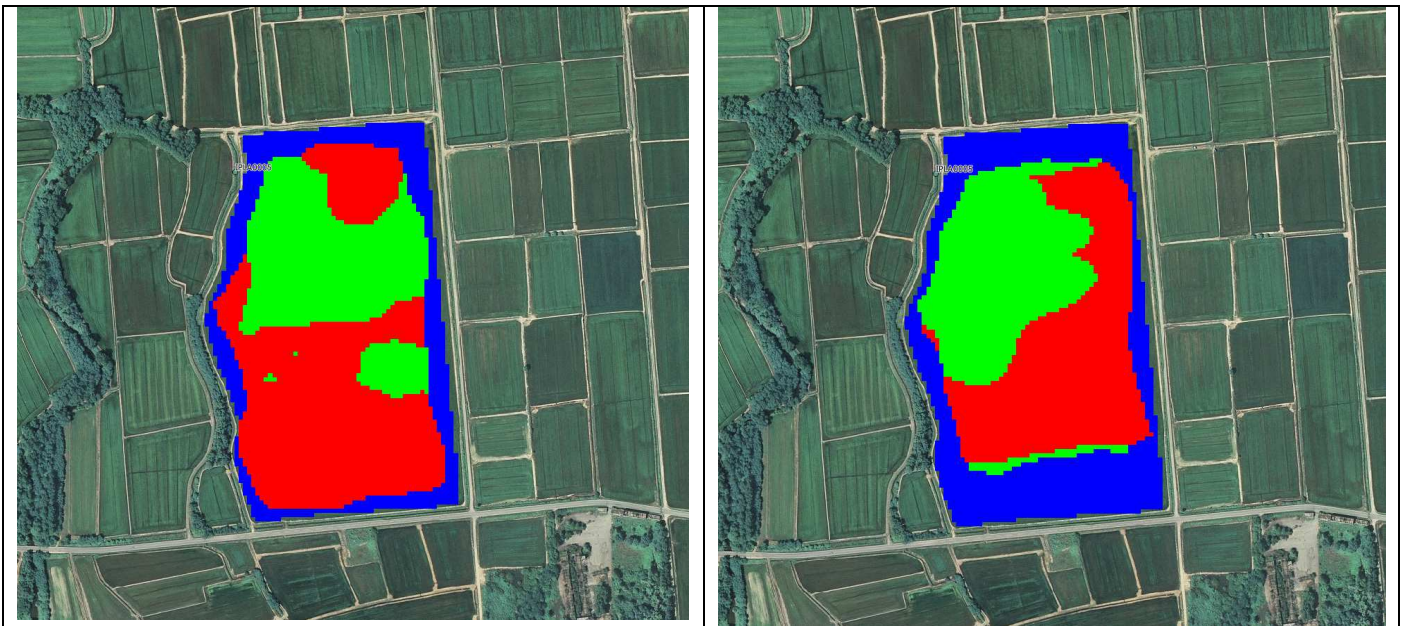
In definitiva il processo consente di determinare, all'interno del sottoinsieme di campi selezionati per l'analisi, le condizioni medie dei due indici (correlati alle condizioni del suolo e al vigore della biomassa) e analizzando i pixel del campo nell'ambito di tutta la serie temporale estrarre quelli che hanno comportamento più vicino alla media rispetto a quelli che presentano invece delle anomalie in senso positivo e negativo.



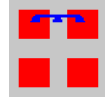
Ne risultano mappe a livello del singolo campo che evidenziano in colore verde le condizioni medie di vigore della coltura e di qualità del suolo rispettivamente, in rosso le parti che hanno un eccesso dei due parametri rispetto alla situazione media e in blu quelle che invece presentano un difetto.

L'elaborazione è stata condotta per una serie di parcelle selezionate tra le camere di risaia più estese (in modo da minimizzare le problematiche relative alla dimensione del pixel) poste in corrispondenza o comunque in prossimità delle stazioni di monitoraggio a disposizione.

Si riporta nella figura sottostante l'esempio dell'esito dell'elaborazione per la camera di risaia corrispondente alla centralina IPLA005 che era una delle più estese. Si nota in questo caso una differenza marcata con la parte meridionale del campo che presenta condizioni di vigore vegetazionale mediamente maggiori e parallelamente parametri di qualità del suolo migliori. Le condizioni al margine del campo sono mediamente peggiori il che corrisponde probabilmente in parte ad una questione reale in parte al fatto che i pixel di bordo mediano anche le strutture adiacenti come le stradine interpoderali ai margini abbassando i parametri relativi alla biomassa ed al suolo.



Nell'immagine a sinistra esito dell'elaborazione per la biomassa (in verde le condizioni "medie" in rosso quelle di vigore vegetazionale mediamente più elevato. L'immagine a destra mostra l'elaborazione per gli aspetti più strettamente correlati alla qualità del suolo



3. Mappe dell'Evaporative fraction a partire da dati Modis

Questa elaborazione viene svolta su di una scala molto più piccola considerando la risoluzione del pixel di un km del sensore MODIS per la parte dello spettro relativa all'infrarosso termico.

Il metodo consente di elaborare un indice di stress idrico finalizzato non tanto alla predisposizione di interventi nel corso della stagione ma piuttosto ad un'analisi della variabilità spaziale che permette di distinguere distretti che hanno avuto comportamenti diversi nel corso della stagione colturale.

Il metodo prevede che vengano elaborate 3 mappe:

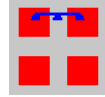
- Indice vegetazionale (NDVI) utilizzato come indicatore di presenza di biomassa. Questo deriva dall'elaborazione del dato MODIS nel visibile ed infrarosso vicino con cadenza giornaliera e 250 m di risoluzione a terra.
- Temperatura superficiale (T_s) derivato da elaborazione del dato MODIS nell'infrarosso termico con cadenza giornaliera e 1.000 m di risoluzione a terra.
- Temperatura dell'aria (T_a) da interpolazione di dati meteo e modelli meteorologici con risoluzione chilometrica.

Computando per ogni pixel la differenza tra temperatura della superficie e quella dell'aria ($T_s - T_a$) e costruendo uno scatterogramma con tale valore rispetto a quello di NDVI per ogni pixel è possibile determinare un dry edge che separa i pixel che presentano una sofferenza idrica rispetto agli altri.

Le condizioni che si possono presentare sono quindi le seguenti:

- Alta differenza di temperatura e basso NDVI = zone scarsamente vegetate in stato di stress
- Alta differenza di temperatura e alto NDVI = zone vegetate (coltivi) in stato di stress termico. In queste zone c'è meno acqua disponibile e parte della radiazione incidente incrementa lo stato termico della vegetazione
- Bassa differenza di temperatura a alto NDVI = aree vegetate in assenza di stress termico. In questo caso la radiazione viene utilizzata dai processi traspirativi e la temperatura superficiale T_s si mantiene più bassa.

Classificando i pixel sulla base dei parametri sopraesposti si costruisce quindi una carta dove giorno per giorno (in assenza di copertura nuvolosa) si definiscono le aree che presentano uno stato di sofferenza termica relativa legata ad un deficit idrico. L'interpretazione del dato deve essere fatta in modo ponderato e considerando la presenza di differenze sostanziali e mantenute nel tempo fra zone diverse (gruppo di pixel).



Allegati:

- Mappe digitali relative alle risaie allagate/non allagate per le date dei passaggi satellitari di aprile maggio e giugno.
- Mappe digitali relative alle zone a comportamento costante per camere di risaia prossime alla posizione delle centraline di monitoraggio.
- Mappe digitali dell'evaporative fraction a partire da dati MODIS