

REGIONE PIEMONTE

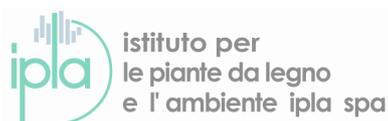
Ass. Agricoltura, tutela della flora e della fauna.

Direzione Agricoltura

Settore Agricoltura Sostenibile ed Infrastrutture Irrigue

DGR 27-4354 del 12.12.2016 – DD 3666 del 15.12.20016 – Piano di Lavoro IPLA per il 2016 – DD. 3681 del 16.12.2016.

“Monitoraggio degli effetti del fotovoltaico a terra sulla fertilità del suolo e assistenza tecnica“



I.P.L.A.

Istituto per le Pianta da Legno e l'Ambiente

Unità Operativa Patologie Ambientali e Tutela del Suolo

Luglio, 2017

INDICE

Premessa.....	3
Obbiettivi	5
1 Caratterizzazione nuovo sito.....	7
1.1 Impianto di Cascina Arnuzza – Oviglio (AL).....	7
1.1.1 Descrizione del sito.....	7
1.1.2 Caratterizzazione pedologica.....	9
1.1.3 Analisi chimico- fisiche.....	10
1.1.4 Considerazioni sul monitoraggio.....	13
2 Elaborazioni statistiche	14
3 Inquadramento climatico.....	15
4 Monitoraggio pedoclimatico	19
4.1 Andamento comparato tra umidità e temperatura tra le stazioni di San Michele e Ternavasso, sotto pannello e fuori pannello.....	19
4.1.1 Umidità di San Michele	21
4.1.2 Temperatura di San Michele	26
4.1.3 Umidità di Ternavasso	30
4.1.4 Temperatura di Ternavasso.....	34
5 Monitoraggio parametri di qualità del suolo.....	38
5.1.1 Indice di Qualità Biologica del Suolo QBS.....	39
5.1.2 Indice di Fertilità Biologica (IBF).....	44
5.1.3 Contenuto di carbonio nei suoli dei siti di monitoraggio.....	48
6 Conclusioni	50
7 Attività di assistenza tecnica	51
Bibliografia	52
ALLEGATI CARTACEI.....	54



Premessa

A partire dal 2009 la realizzazione di impianti fotovoltaici a terra su suoli agricoli ha iniziato ad interessare una superficie crescente del territorio regionale. Poiché gli effetti sulle caratteristiche fisico-chimiche e microbiologiche del suolo determinati dalla copertura operata dai pannelli fotovoltaici in relazione alla durata dell'impianto (stimata indicativamente in 20-30 anni) non sono attualmente conosciuti, si è evidenziata la necessità di predisporre un protocollo di monitoraggio da applicare ai suoli agricoli e naturali interessati dalla realizzazione di impianti fotovoltaici a terra.

Al fine di standardizzare le attività di monitoraggio, è quindi emersa la necessità di individuare una metodologia comune da utilizzare nel monitoraggio dei suoli e di fornire un adeguato supporto alle Amministrazioni e ai tecnici operanti sul territorio. Su incarico della Direzione Agricoltura, L'Istituto per le piante da legno e l'ambiente (IPLA S.p.A.) ha predisposto le "Linee guida per il monitoraggio del suolo su superfici agricole destinate ad impianti fotovoltaici a terra", che sono state approvate con D.D. 27 settembre 2010, n. 1035/DB11.00.

Le relazioni fra l'impianto fotovoltaico e il suolo agrario che lo ospita sono da indagare con una specifica attenzione, poiché, con la costruzione dell'impianto, il suolo è impiegato come un semplice substrato inerte per il supporto dei pannelli fotovoltaici. Tale ruolo meramente "meccanico" non fa tuttavia venir meno le complesse e peculiari relazioni fra il suolo e gli altri elementi dell'ecosistema, che possono essere variamente influenzate dalla presenza del campo fotovoltaico e dalle sue caratteristiche progettuali. Le caratteristiche del suolo importanti da monitorare in un impianto fotovoltaico sono quelle che influiscono sulla stabilità della copertura pedologica, accentuando o mitigando i processi di degradazione che maggiormente minacciano i suoli delle nostre regioni (cfr. Thematic Strategy for Soil Protection, COM (2006) 231), fra i quali la diminuzione della sostanza organica, l'erosione, la compattazione, la perdita di biodiversità. Le "Linee guida per il monitoraggio del suolo su superfici agricole destinate ad impianti fotovoltaici a terra" individuano due livelli di monitoraggio:

- il primo, più articolato e di tipo sperimentale, da attuare su centrali fotovoltaiche, scelte dalla Direzione Agricoltura della Regione Piemonte in diverse situazioni pedologiche e paesaggistiche e realizzate utilizzando tecnologie differenti (pannelli fissi o a inseguimento), prevede che i rilievi di campagna e le analisi di laboratorio dei campioni di suoli siano effettuati da Ipla S.p.A.;
- il secondo, di tipo semplificato, finalizzato ad un monitoraggio di base che consenta di controllare l'andamento dei principali parametri chimico-fisici del suolo, è effettuato a

carico del proprietario dell'impianto fotovoltaico. I dati derivanti dalle osservazioni in campo, adeguatamente georiferiti, e i risultati analitici derivanti da laboratori riconosciuti sono trasmessi, in formato sia cartaceo che elettronico, alla Direzione Agricoltura della Regione Piemonte.

Dopo la prima caratterizzazione pedologica effettuata *ante operam* o in corso d'opera su tre impianti fotovoltaici a terra da IPLA nel 2011 e la contemporanea installazione di due centraline meteo, munite anche di sensori di misura dell'umidità e della temperatura del suolo, con il presente lavoro si è iniziata la vera e propria fase di monitoraggio dei suddetti siti, a distanza di circa cinque anni dalla prima caratterizzazione dei suoli.

Obiettivi

Questa seconda fase del monitoraggio prevede la valutazione di alcune caratteristiche del suolo ad intervalli temporali prestabiliti (dopo 1-3-5-10-15-20 anni dall'impianto) e su almeno due siti dell'appezzamento, uno in posizione ombreggiata dalla presenza del pannello fotovoltaico, l'altro nelle posizioni meno disturbate dell'appezzamento.

Anche in questa fase del monitoraggio è stata effettuata un'analisi stazionale, l'apertura di profili pedologici con relativa descrizione e campionamento del profilo pedologico e le successive analisi di laboratorio dei campioni di suolo. Sono stati descritti tutti i caratteri della stazione e del profilo richiesti dalla metodologia regionale. In particolare in questa seconda fase sono state valutate solo quelle caratteristiche e proprietà che si ritiene possano essere influenzate dalla presenza del campo fotovoltaico e che si inseriscono nel seguente elenco:

Caratteri stazionali:

- Presenza di fenomeni erosivi.
- Dati meteo e umidità del suolo (ove stazioni meteo, dotate di sensoristica pedologica).

Caratteri del profilo pedologico e degli orizzonti:

- Descrizione della struttura degli orizzonti
- Presenza di orizzonti compatti
- Porosità degli orizzonti
- Analisi chimico-fisiche di laboratorio
- Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS)
- Densità apparente

E' stato inoltre valutato anche l'Indice di Fertilità Biologica del suolo (IBF) che, grazie alla determinazione della respirazione microbica e al contenuto di biomassa totale, dà un'indicazione immediata del grado di biodiversità del suolo.

Questo terzo ciclo di monitoraggio prevede l'inserimento all'interno della rete di monitoraggio di un quarto impianto dotato di pannelli fissi che si trova in località Cascina Arnuzza, nel Comune di Oviglio (AL) ampliando così lo spettro delle tipologie di suoli coinvolti; per i dati pregressi di questa stazione ci siamo potuti avvalere delle analisi aziendali compiute dalla ditta di gestione con continuità e omogeneità di analisi fin dal primo impianto. In questo modo la rete di monitoraggio si completa e viene a comprendere due impianti fissi (Ternavasso e C.na

Arnuzza) e due impianti ad inseguimento (S. Michele - Alessandria) e Quattro Cascine (Bosco Marengo). La mole di dati fin ora raccolti sui parametri meteorologici stazionali e nel suolo, abbinati alle variazioni delle caratteristiche chimico –fisiche dei suoli permettono una valutazione complessiva di questo monitoraggio che è in grado di fornire risultati sugli effetti al suolo dovuti alla presenza degli impianti che si basano su un congruo periodo di osservazione. Inoltre è particolarmente interessante l'integrazione al protocollo di monitoraggio introdotta in quest'ultimo ciclo, riguardante i parametri relativi alla qualità del suolo: l'Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS) e l'Indice di Fertilità Biologica (IBF), già utilizzati per caratterizzare la biodiversità dei suoli della pianura e della collina piemontese. La quantificazione di questi indici in corrispondenza dei quattro periodi stagionali, caratterizzati da massima e minima piovosità e temperatura sia fuori che sotto pannello costituisce un'importante informazione e ci ha fornito una prima indicazione degli andamenti di queste grandezze che va ad integrare l'ampia analisi statistica multivariata (ANOVA) effettuata sui dati meteo delle centraline e sui dati pedoclimatici.

1 CARATTERIZZAZIONE NUOVO SITO

1.1 Impianto di Cascina Arnuzza – Oviglio (AL)

1.1.1 Descrizione del sito.

Questo impianto fotovoltaico è posto interamente all'interno del territorio comunale di Oviglio e si estende tra questo ultimo e Castellazzo Bormida (AL), tra i corsi del fiume Bormida, a est, e del torrente Belbo a ovest. L'intera superficie occupata dall'impianto ricade all'interno dell'unità cartografica "U0605" della Carta dei Suoli a scala 1:50.000. Questa unità è costituita dai terrazzi alluvionali antichi di pertinenza del Belbo e del Bormida, prima della confluenza di questi ultimi nel fiume Tanaro. I depositi fluviali di queste antiche pianure sono fini e hanno subito importanti processi di illuviazione dell'argilla dagli orizzonti più superficiali a quelli più profondi. A causa dei successivi importanti processi erosivi operati dai corsi d'acqua, queste superfici pianeggianti e lievemente ondulate, risultano più elevate in quota rispetto all'attuale corso del torrente Belbo che le ha profondamente incise, andando a costituire, più in basso, livelli di terrazzi alluvionali più recenti, costituiti da depositi più grossolani. L'uso del suolo su questa area è completamente agrario con prevalenti le coltivazioni di cereali autunno vernini; solo sporadicamente sono presenti girasole, prati permanenti e mais. I depositi da cui si originano queste superfici sono di origine alluvionale e sono costituiti dalle deposizioni pleistoceniche di limi ed argille, non calcarei, determinatisi a seguito delle alluvioni antiche del Belbo e del Bormida.

In particolare la superficie su cui sorge l'impianto fotovoltaico è lievemente ondulata. Queste leggere ondolazioni sono state create dai processi erosivi che nel corso del tempo hanno modellato queste superfici. La copertura del suolo è costituita da una cotica erbosa uniforme e continua. La tipologia di impianto è a pannelli fissi con una buona copertura erbacea polifita che garantisce una adeguata protezione del suolo dai fenomeni erosivi, nonostante il suolo ivi presente manifesti, per le sue intrinseche caratteristiche tessiturali e chimiche, un'erodibilità piuttosto elevata.

I suoli presenti in questa unità cartografica sono tutti appartenenti all'ordine degli Alfisuoli e sono rappresentati in legenda (A3) come suoli evoluti che non presentano lungo il profilo né scheletro né caratteri di idromorfia.

In particolare durante questa prima campagna di monitoraggio sono stati effettuati due profili pedologici: il primo (ALES0094) risulta localizzato al margine meridionale dell'impianto (in corrispondenza del triangolo privo di pannelli), al di fuori dell'azione di ombreggiamento operata dai pannelli. Il secondo profilo (ALES0095), invece, è stato scavato in posizione ombreggiata

permanentemente dal pannello, a pochi metri di distanza dal primo, lungo l'asse di orientamento dei pannelli, in direzione ovest.

Nella Figura 1 è possibile osservare l'immagine aerea dell'impianto (tratta da GoogleEarth) e, in quella che segue (Figura 2), la localizzazione esatta dei profili sul fondo topografico della Cartografia Tecnica Regionale con la rappresentazione del *layer* della Carta dei suoli a scala 1:50.000.



Figura 1: Impianto sito in località C.na Arnuzza (Oviglio- AL).



Figura 2: Posizionamento dei profili realizzati e carta dei suoli.

1.1.2 Caratterizzazione pedologica.

I suoli rilevati nel corso di questa prima campagna di monitoraggio presentano caratteristiche del tutto analoghe sia fuori che sotto pannello. Essi hanno profondità elevata con una profondità utile elevata, con possibilità per gli apparati radicali di esplorare, senza particolari limitazioni, l'intera lunghezza del profilo. Essi presentano una sequenza di orizzonti caratterizzata da un franco di coltivazione di 45-50 cm (orizzonti Ap), di colore bruno, al disotto dei quali si trovano generalmente due orizzonti Bt (con evidenza di processi di illuviazione di argilla), caratterizzati da un colore bruno rossastro e tessiture con una maggiore percentuale di argilla. Questi orizzonti profondi risultano possedere la tipica struttura prismatica colonnare che caratterizza i suoli più evoluti, sulle facce di questi aggregati - che presentano un grado di aggregazione da moderato a forte - risultano evidenti pellicole di argilla, frutto dei processi di traslocazione e riaccumulo dagli orizzonti sovrastanti.

La disponibilità di ossigeno è buona mentre il drenaggio è generalmente buono, ma può divenire talora mediocre nel subsoil a causa delle tessiture più fini, dove si possono raggiungere percentuali di argilla superiori, fino al 28%. La permeabilità risulta essere moderatamente alta. In entrambi i profili sono evidenti i segni dei lavori di movimento terra per la sistemazione delle strutture in acciaio sulle quali sono fissati i pannelli che rendono evidenti negli orizzonti superficiali, le

lavorazioni e i rimaneggiamenti del suolo effettuati al momento della realizzazione dell'impianto con un generale rimescolamento del suolo entro i primi 40 cm di profondità.

Le tessiture dei topsoil sono sempre franco-limose, mentre nel subsoil, pur rimanendo nel limite della classe franco-limosa, si osserva un significativo incremento della percentuale di argilla che talora raggiunge il limite con la classe franco-limoso-argillosa (28% di argilla). Lo scheletro è sempre assente e la reazione dell'HCl è nulla (sono, infatti, suoli non calcarei). Il pH si attesta tra valori al limite tra l'acido ed il subacido nel topsoil mentre più in profondità diviene subacido, fino a raggiungere il limite inferiore della neutralità. Sono sempre presenti concrezioni di ferro manganese, sotto forma prevalentemente di masse e, solo raramente come noduli, che aumentano in percentuale e dimensioni scendendo lungo il profilo e testimoniano la pedogenesi avanzata di questi suoli.

I suoli riconosciuti nel corso della campagna di rilevamento sono riconducibili a quelli attribuiti nella Carta dei suoli a scala 1:50.000 che corrispondono alla fase VILLA DEL FORO limoso-fine tipica (VDF1 al 60%) e, secondariamente, alla fase fine (VDF2 al 40%).

Le schede descrittive dei profili sono riportate negli allegati 1 e 2.

1.1.3 Analisi chimico- fisiche.

Come previsto del protocollo operativo, sono stati prelevati i campioni dei singoli orizzonti ed effettuate le analisi presso il laboratorio IPLA. I risultati sono riportati in tabella 1.

I primi tre campioni sono relativi al profilo ALES0094 realizzato fuori pannello (colore verde chiaro) mentre i secondi tre campioni sono relativi al profilo ALS0095, scavato sotto pannello (colore azzurro chiaro). Come si può osservare dalla Tabella 1 i valori del pH sono piuttosto costanti, da subacidi ad acidi nel topsoil, con un leggero incremento scendendo lungo il profilo dove sono subacidi, fino al limite con la neutralità; questo andamento è dovuto ad una lieve acidificazione superficiale dell'orizzonte più superficiale che rientra nella piena normalità dell'evoluzione dei processi di pedogenesi. Il carbonato di calcio è sempre assente.

Le tessiture mostrano un andamento piuttosto uniforme, come già evidenziato, con una percentuale di sabbie molto fini elevata rispetto al totale delle sabbie ed una quantità di limo che si avvicina generalmente al 60% e che, talora, raggiunge anche il 68%, mentre l'argilla, come già evidenziato, si pone il media nella sezione di controllo oltre il 18%; l'insieme di queste caratteristiche pone questi suoli nella classe tessiturale *fine-silty*.

Tabella 1 Dati analitici dei campionamenti effettuati dallo scavo profili 2016 nell'ambito del monitoraggio.

ANNO	ID_OSS	ID_ORIZ	PROF1	PROF2	PH_H2O	CACO3_T	SAB_G	SAB_F	SAB_MF	LIM_G	LIM_F	ARG	TESS	CO	SO	N	C_N	CSC_BACL	CA_A	MG_A	NA_A	K_A	SAT_BAS	P_ASS	BULK_DENS1	BULK_DENS2
2016	ALES0094	1	0	45	5,6	0,0	2,7	3,0	10,7	42,1	24,8	16,7	FL	0,97	1,68	nd	nd	16,80	nd	nd	nd	nd	nd	18,6	1,41	1,38
2016	ALES0094	2	45	90	6,2	0,0	1,0	13,0	0,0	32,7	35,9	17,4	FL	0,77	1,33	nd	nd	16,64	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,48	1,43
2016	ALES0094	3	90	130	6,7	0,0	0,4	21,4	0,0	27,4	24,5	26,3	FL	0,73	1,25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2016	ALES0095	1	0	40	5,4	0,0	1,7	2,6	16,8	37,0	23,6	18,3	FL	2,27	3,91	nd	nd	19,35	nd	nd	nd	nd	nd	24,4	1,27	1,24
2016	ALES0095	2	40	60	6,1	0,0	0,6	13,3	0,0	29,3	28,3	28,5	FLA	1,62	2,79	nd	nd	22,71	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,31	1,34
2016	ALES0095	3	60	90	6,6	0,0	1,0	15,0	0,0	33,2	26,7	24,1	FL	0,98	1,69	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Dal momento che questo sito è entrato a far parte della rete di monitoraggio solo da questo anno non è stato possibile avere la descrizione delle caratteristiche del suolo nella fase *ante operam* mediante lo scavo e la descrizione di profili pedologici. Tuttavia in questo impianto la società di gestione si è attenuta scrupolosamente alle prescrizioni imposte dalle “Linee guida regionali per il monitoraggio del suolo sotto pannelli fotovoltaici” ed ha effettuato, nelle periodicità prescritte, le analisi aziendali sui campioni prelevati mediante trivella manuale, sia fuori che sotto pannello.

I risultati del monitoraggio aziendale sono riportati in tabella 2.

parametro	valore	campioni											
		2012 4/1	2015 5/1	2016 9/1	2012 4/2	2015 5/2	2016 9/2	2012 3/1	2015 6/1	2016 10/1	2012 3/2	2015 6/2	2016 10/2
pH		5.2	6.0	5.0	6.9	5.8	6.3	5.5	5.8	5.5	6.7	5.9	5.9
Calcare tot		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sostanza organica tot	%	0.69	1.38	1.33	0.06	0.81	0.53	0.44	1.06	1.19	0.06	0.50	0.33
Azoto tot	ppm	480	900	880	110	570	390	330	700	800	120	380	290
Fosforo ass.	ppm	15	15	20	10	9	7	17	15	20	7	7	11
Calcio scam.	ppm	1060	1340	1020	1340	1560	1600	1240	1140	1100	1420	1820	2140
Magnesio scam.	ppm	86	160	158	460	220	440	88	158	168	380	300	400
Potassio scam.	ppm	94	74	70	43	35	39	51	51	74	39	39	47
Sodio scam.	ppm	39	21	92	51	12	85	39	9	85	69	21	129
CSC	Meq/100g	11.98	11.88	10.49	11.03	14.50	14.46	11.95	12.00	10.28	11.58	15.86	16.37
Calcio	Meq/100g	5.30	3.70	5.10	6.70	7.80	8.00	6.20	5.70	5.50	7.10	9.10	10.70
Magnesio	Meq/100g	0.72	1.33	1.32	3.83	1.83	3.67	0.73	1.32	1.40	3.17	2.50	3.33
Potassio	Meq/100g	0.24	0.19	0.18	0.11	0.09	0.10	0.13	0.13	0.19	0.10	0.10	0.12
Sodio	Meq/100g	0.17	0.09	0.40	0.22	0.05	0.37	0.17	0.04	0.37	0.30	0.09	0.56
Idrogeno	Meq/100g	5.55	3.57	3.46	0.17	4.73	2.32	4.72	4.81	2.82	0.91	4.07	1.66
Sat. basica		53.7	69.9	66.7	98.5	67.4	84.0	60.5	59.9	72.6	92.1	74.3	89.9
Rapporto Mg/K		3.00	7.00	7.33	34.82	20.33	36.70	5.62	10.15	7.37	31.70	25.00	27.75

Tabella dei dati analitici relativi ai campionamenti effettuati dal 2012 al 2016

Tabella 2: Dati analitici dei campionamenti effettuati dal 2012 nell’ambito del monitoraggio aziendale. (Tratta da: “Relazione Agronomica Centrale Fotovoltaica di Oviglio (AL) – Indagine Pedologica per il Monitoraggio di seconda fase (V anno). A cura di: Dott. For. Alfredo Doglione, Dott. For Riccardo Giandrini”)

In particolare per quanto riguarda le differenze tra i diversi valori si osserva a partire dai dati del 2012 fino a quelli da noi rilevati nel 2016:

- un costante incremento del contenuto di carbonio negli orizzonti superficiali e, quindi, della sostanza organica (N.B. il valore riferito ad essa nelle analisi del monitoraggio aziendale è, in realtà, da intendersi come carbonio organico) sia fuori che sotto pannello, con valori che si sono mantenuti sempre maggiori sotto pannello rispetto al fuori pannello;

- un leggero incremento nel tempo del valore di azoto negli orizzonti superficiali sia fuori che sotto pannello nel primo triennio per arrivare poi a valori sostanzialmente costanti e pressoché identici, sia fuori che sotto pannello. Questo fatto è da imputare al progressivo maggior insediamento nel cotico erboso di specie di leguminose azotofissatrici e/o dalla più rapida mineralizzazione della sostanza organica;
- bassi valori di fosforo sia sotto che fuori pannello, come è lecito aspettarsi in questi suoli che non essendo calcarei hanno una naturale tendenza al dilavamento di questo principio.

I valori della densità apparente (*bulk density*) sono riferiti solo al 2016, anno di inserimento di questo sito nella rete di monitoraggio; non essendo prescritta nel protocollo di monitoraggio aziendale la misurazione di questo parametro, non si possiedono pertanto dati relativi alla fase immediatamente successiva alla costituzione del parco fotovoltaico. In questo impianto, peraltro sulla base di quanto riportato nella prima relazione aziendale del 2012, non sono stati effettuati grossi lavori di movimento terra trattandosi di pannelli fissi privi di piattaforma in cemento armato che sono stati infissi nel terreno con esclusivo utilizzo del battipalo, riducendo al minimo la pedoturbazione del suolo. I valori di densità apparente misurati sono in linea con quelli di suoli con analoghe caratteristiche tessiturali e di contenuto di sostanza organica.

1.1.4 Considerazioni sul monitoraggio.

Da quanto risulta dai rilievi pedologici effettuati nell'ambito del monitoraggio aziendale e dei rilievi pedologici completi effettuati mediante scavo di profili nel 2016, non si osservano in questi primi cinque anni di monitoraggio variazioni sostanziali nei suoli sotto pannello rispetto a quelli fuori pannello. L'unico parametro chimico che mostra un lieve incremento è quello della sostanza organica che nel primo anno (2012) mostrava valori molto bassi che hanno subito nel corso del tempo un progressivo aumento; questo incremento di sostanza organica è superiore sotto pannello rispetto al fuori pannello, probabilmente in ragione della maggiore quantità d'acqua di cui il cotico erboso si può avvantaggiare date le elevate condizioni di irraggiamento e temperature estive e data la scarsa piovosità di queste zone. In questo senso la presenza del pannello costituisce un elemento di miglioramento dei suoli.

2 ELABORAZIONI STATISTICHE

L'analisi dei dati è stata condotta utilizzando i principali **parametri pedoclimatici**; quali: umidità e temperatura del suolo e i principali **parametri di qualità del suolo**; quali: Qualità Biologica del Suolo (QBS), Indice di Fertilità Biologica del Suolo (IBF) e Sostanza organica (SO). Al fine di comprendere similitudini o differenze nell'andamento dei sopraindicati parametri specificatamente attivati dal monitoraggio Fuori (FP) e Sotto Pannello (SP) e, di conseguenza, di valutare ipotetici benefici apportati dall'utilizzo di pannelli solari, tutti i dati sono stati testati tramite l'Analisi della Varianza (ANOVA).

I parametri pedoclimatici di umidità e temperatura del suolo sono ricavati dal monitoraggio effettuato da centraline Davis che utilizzano dei sensori posti a profondità 0-20 e 20-40 cm e raccolgono i relativi dati su base oraria.

Da questi dati sono state calcolate le medie giornaliere che sono state depurate da errori derivati da malfunzionamenti delle centraline.

L'esecuzione dei modelli statistici per i parametri pedoclimatici e di qualità del suolo è stata condotta considerando sia le singole variabili (Trattamento, ovvero FP e SP, mese ed anno) sia l'interazione fra le diverse variabili (Trattamento*Mese, Trattamento*Anno e Mese*Anno).

Sono inoltre stati eseguiti i test post-hoc, ovvero confronti che si fanno a posteriori, se l'Anova è significativa e se ci sono più di 2 gruppi in una variabile indipendente. La logica è quella di tenere sotto controllo i problemi di significatività legati ai confronti multipli. Le procedure di confronto impiegate si basano sul metodo di Tukey e di Duncan.

Le analisi statistiche sono state effettuate tramite il software Xlstat 19.01 e Excel.

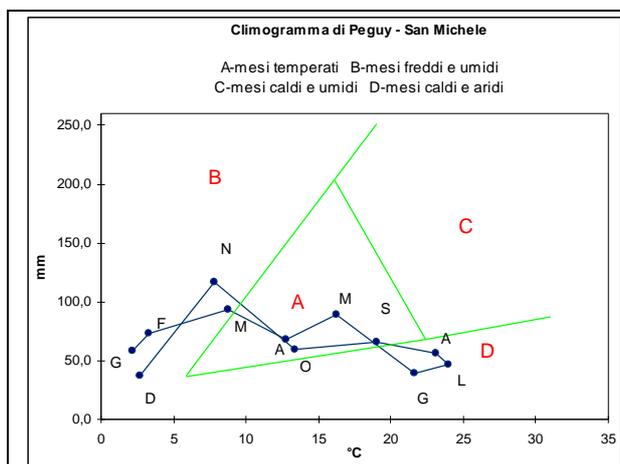
3 INQUADRAMENTO CLIMATICO

I dati termopluviometrici raccolti nel periodo 2011-2017 sono stati utilizzati per la costruzione del climogramma di Peguy. I climogrammi di Peguy riassumono sinteticamente le condizioni termopluviometriche delle 2 località considerate. Tali diagrammi sono costruiti sulla base dei dati mensili di temperatura media e precipitazioni cumulate, in cui sull'asse delle ascisse è riportata la scala delle temperature (°C), e sull'asse delle ordinate quella delle precipitazioni (mm).

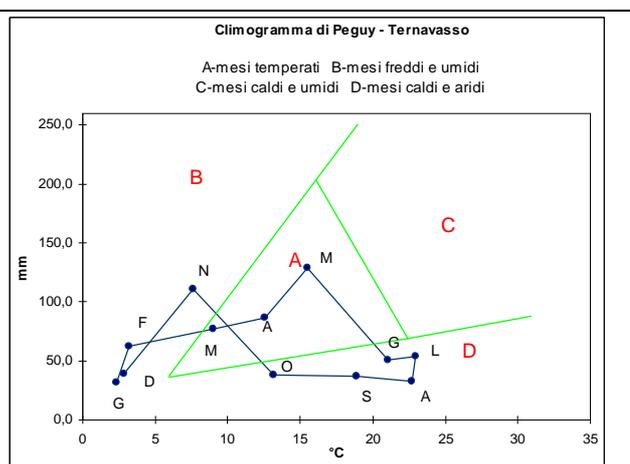
Dall'unione delle 12 coppie di punti relative a ciascun mese si ottiene un poligono contenente un'area, la cui forma e dimensione rappresentano bene le caratteristiche climatiche della zona considerata. Sul climogramma è anche riportata un'area triangolare di riferimento che, secondo Peguy, distingue una situazione di clima temperato (all'interno dell'area stessa), freddo, arido e caldo (all'esterno del triangolo, ad iniziare dalla parte in alto a sinistra del grafico e procedendo in senso antiorario).

La posizione dell'area poligonale rispetto a quella triangolare di riferimento fornisce una rappresentazione immediata delle condizioni climatiche della stazione.

I risultati ottenuti per le stazioni di San Michele e Ternavasso sono riportati, rispettivamente, in Figura 3 e Figura 4



**Figura 3 - Climogramma di Peguy - San Michele-
AL**



**Figura 4 - Climogramma di Peguy - Ternavasso-
TO**

Dall'esame del climogramma di Peguy riferito alla stazione di San Michele, si evince che il clima è temperato nei mesi primaverili (marzo, aprile, maggio) ed autunnali (settembre e ottobre), freddo e umido prevalentemente nei mesi invernali (dicembre, gennaio e febbraio) e fine autunno (novembre) e caldo e arido, nei mesi estivi (giugno, luglio e agosto)

Nella stazione di Ternavasso, in base al climogramma di Peguy, risulta che i mesi primaverili (marzo, aprile, maggio), sono definibili come mesi temperati, i mesi invernali (dicembre, gennaio e febbraio), sono freddi e umidi e i mesi estivi (giugno, luglio e agosto) e autunnali (settembre e ottobre) rientrano tra i mesi caldi e aridi.

L'andamento termopluviometrici delle 2 stazioni è piuttosto simile, una differenza è rilevabile nei mesi autunnali (settembre ed ottobre) che risultano più caldi e aridi nella stazione di Ternavasso.

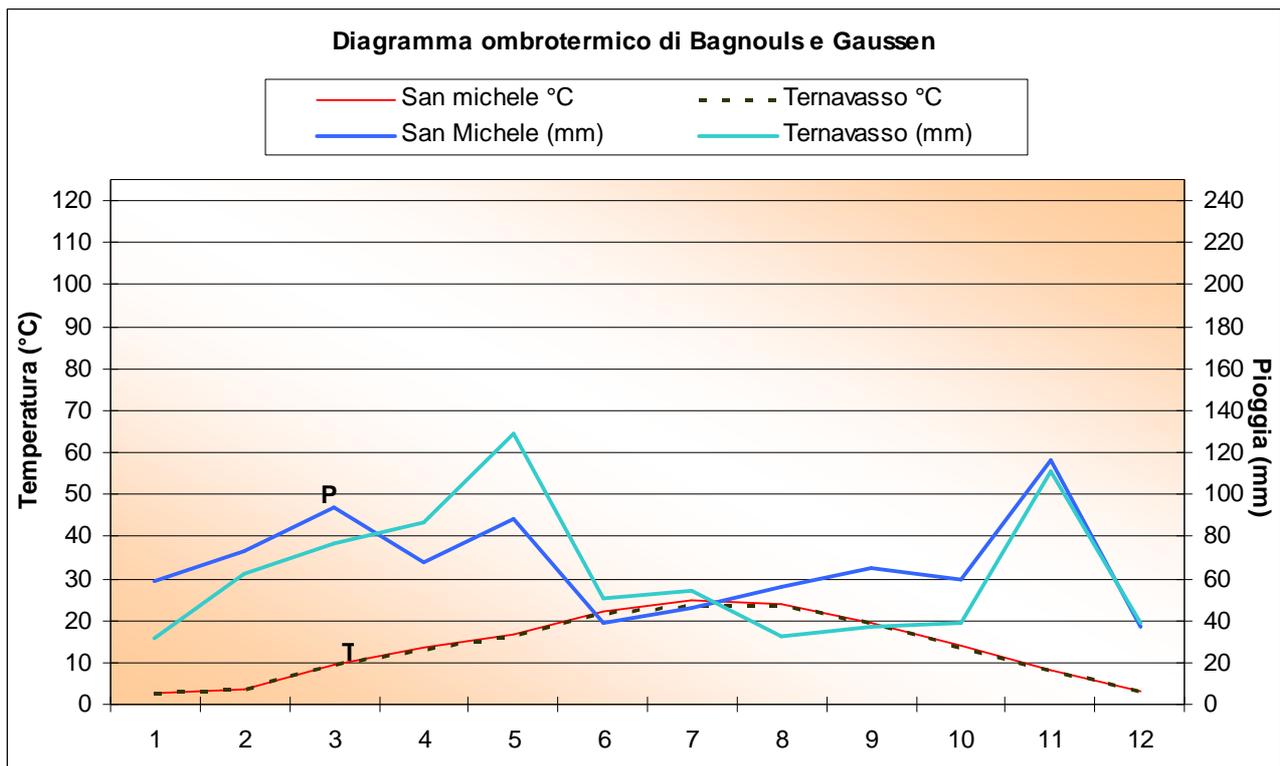


Figura 5 - Diagramma ombrotermico di Bagnouls e Gausson comparativo per San Michele- AL e Ternavasso TO

Tabella 3 –Precipitazioni medie annue

Anno	San Michele (mm)	Ternavasso (mm)
2012	753	568
2013	994	884
2014	1057	845
2015	528	n.p.
2016	572	712
Somma	3904	3009
Media	780,8	752,2

Analogamente a quanto detto analizzando in modo comparato i due diagrammi di Peguy, anche l'analisi fatta mediante i diagrammi ombrotermici di Bagnouls e Gausсен ci fornisce risposte simili, anche se le indicazioni riguardano l'andamento dei due parametri.

Pur essendoci soltanto una differenza di 32,6 mm sulla media globale annua (Tabella 3), si può notare come a Ternavasso, a fronte di un maggiore intensità di precipitazioni primaverili, si riscontra una netta diminuzione delle piogge estive con generazione di deficit idrico (infatti ad agosto le temperature superano le precipitazioni), mentre San Michele recupera il gap di pioggia con Ternavasso e va poi a pareggiare il massimo autunnale, superando la stazione torinese nel computo totale medio annuo di circa 30 mm.

In Figura 6 e Figura 7 sono riportati i medesimi dati di precipitazioni e temperatura ma separatamente in modo da evidenziare i diversi andamenti pluviometrici delle due stazioni: i due massimi primaverili a San Michele rispetto all'unico picco di Ternavasso; i minimi estivi più marcati a Ternavasso (che per il grafico di Bagnouls Gausсен causano il deficit idrico) e infine il picco di massima piovosità a novembre identico per le due stazioni.

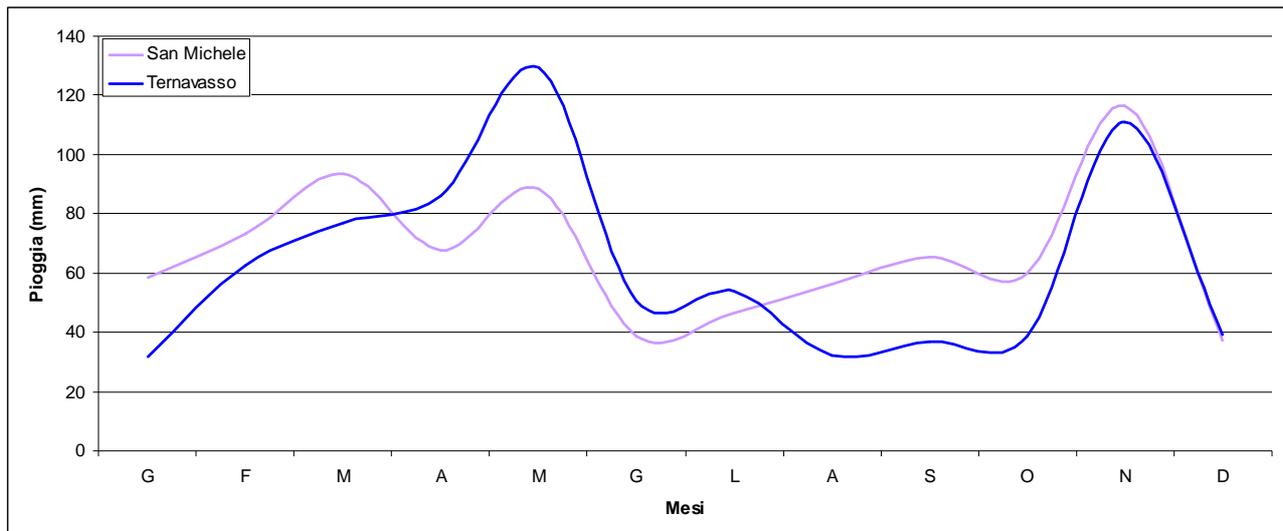


Figura 6 - Confronto delle precipitazioni medie mensili (dal 2011 al 2017)

La tendenza delle precipitazioni viene confermata dall'analisi della varianza che evidenzia differenze significative nelle piogge medie mensili tra le 2 stazioni (ANOVA $F_{2,817} = 6,105$ con $\alpha=0,05$)

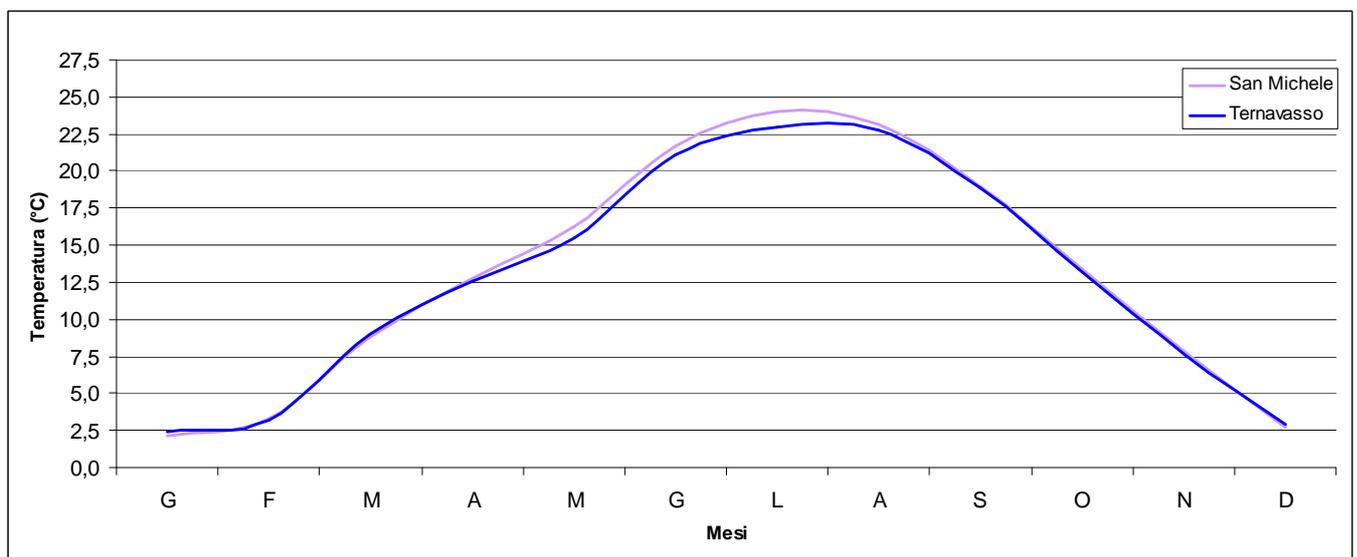


Figura 7 - Confronto delle temperature medie mensili (dal 2011 al 2017)

L'andamento termico è sostanzialmente identico in entrambe le stazioni (Figura 7), con una leggera differenza tra i massimi estivi (a luglio 24°C a San Michele e 23°C a Ternavasso).

4 MONITORAGGIO PEDOCLIMATICO

4.1 Andamento comparato tra umidità e temperatura tra le stazioni di San Michele e Ternavasso, sotto pannello e fuori pannello

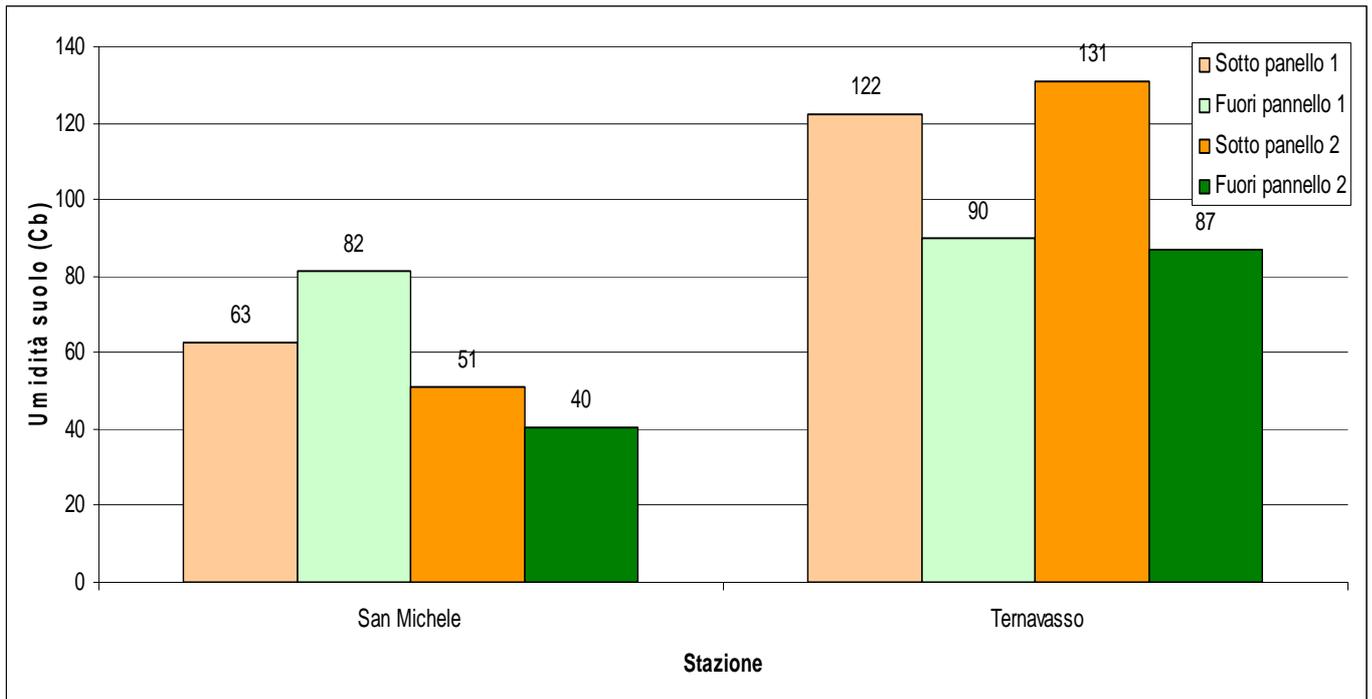


Figura 8 - Confronto umidità suolo (dati medi 2011-2017)

Per quanto riguarda l'umidità del suolo il confronto fra le due stazioni evidenzia un diverso andamento alle due profondità monitorate: a San Michele l'umidità superficiale del suolo è più bassa fuori pannello mentre a Ternavasso avviene il contrario. Stesso andamento invece delle misure nell'orizzonte più profondo, con il suolo sottopannello più asciutto rispetto al fuori pannello. Resta però ancora più evidente che a Ternavasso i valori di umidità sono nettamente più alti, quasi sempre il doppio, eccezion fatta per il valore superficiale fuori pannello, sostanzialmente uguale. Il valore superficiale fuori pannello di Ternavasso è dovuto alla maggiore piovosità primaverile che non solo aumenta il valore medio di umidità del suolo a Ternavasso, ma inverte anche l'andamento dei valori del suolo superficiale rispetto a quello di San Michele.

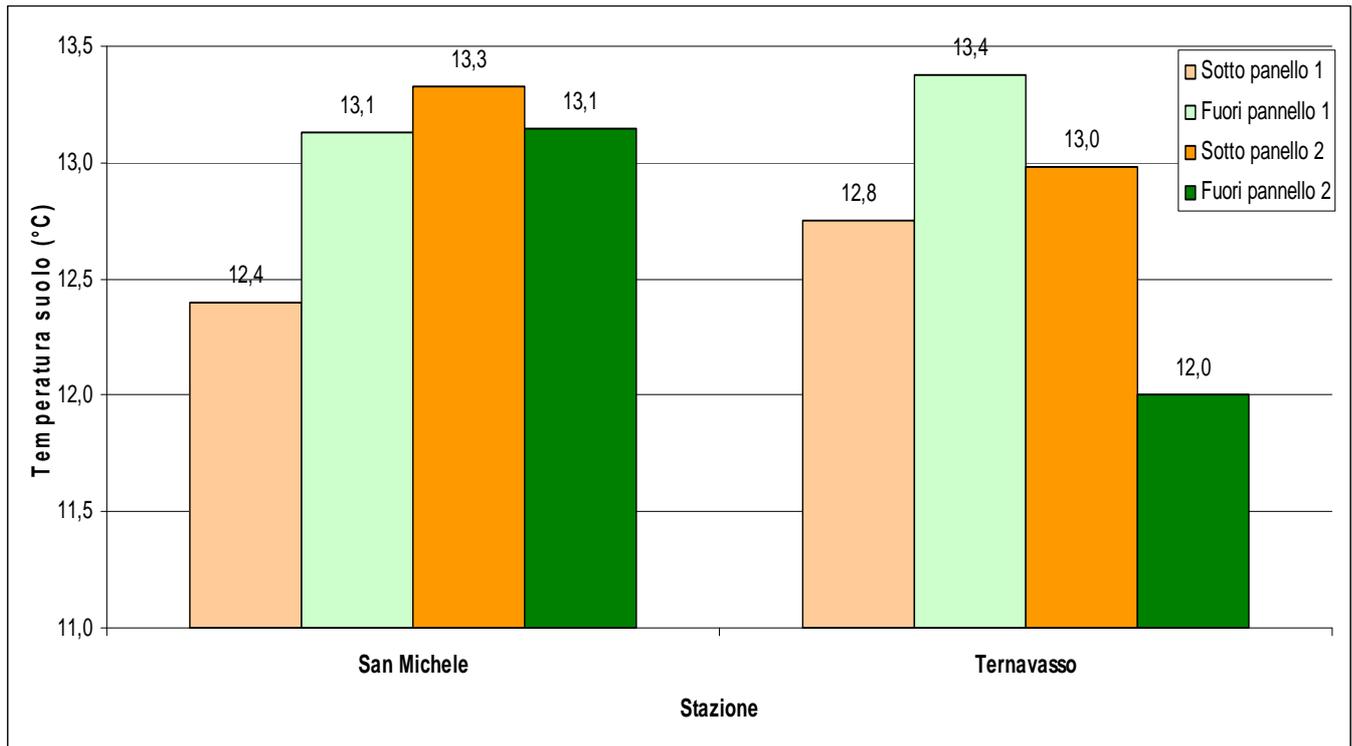


Figura 9 - Confronto temperatura suolo (dati medi 2011-2017)

Per quanto riguarda la temperatura (Figura 9) gli andamenti sono analoghi, con la temperatura fuori pannello superficiale più alta in entrambe le stazioni, mentre è più bassa nell'orizzonte più profondo.

Si evidenzia però che mentre a San Michele fuori pannello il suolo ha la stessa temperatura media sia superficiale sia profondo, a Ternavasso vi è una differenza di 1,4°C fra sopra e sotto fuori pannello, mentre sotto pannello le temperature sono sostanzialmente uguali, diversamente da San Michele dove fa più caldo in profondità sotto pannello di 0,9°C.

Sono evidenti alcune anomalie forse indotte dalla media generale, ma si ricorda che i differenziali sono molto piccoli.

4.1.1 Umidità di San Michele

Analizzando separatamente gli appezzamenti con pannello solare e il testimone, privo di copertura, si rileva un'apprezzabile variazione dell'umidità alle due diverse profondità (0-20 cm e 20-40 cm) del suolo (vedi Figura 10 e Tabella 4).

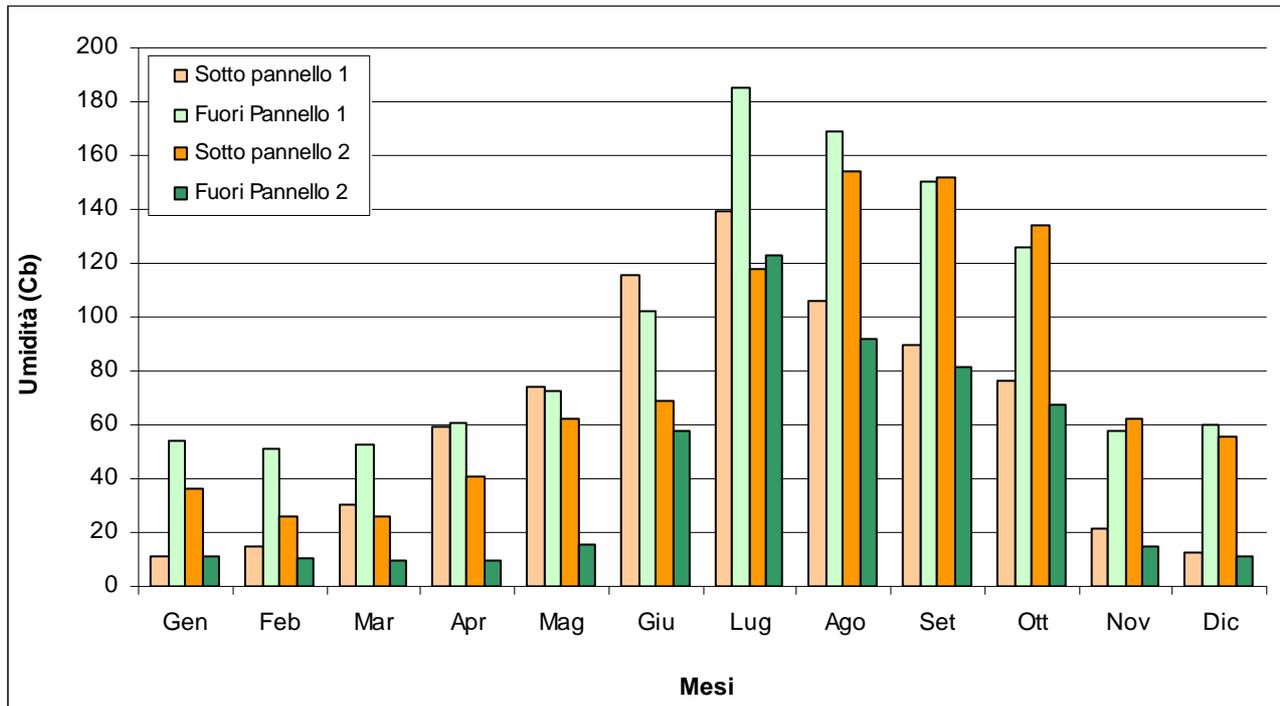


Figura 10 - Confronto tra i sensori di umidità del suolo fuori e sotto pannello alle 2 profondità (sensore 1: 0-20 cm e sensore 2 20-40 cm).

Tabella 4 - ANOVA fatta sui sensori di umidità del suolo fuori e sotto pannello alle due profondità

ANALISI VARIANZA							
Origine della variazione	SQ	gdl	MQ	F	Valore di significatività	F crit	
Righe	83005,46	11	7545,951	25,66072	4,8E-13	2,093252	
Colonne	18324,26	3	6108,086	20,77112	9,65E-08	2,891568	
Errore	9704,187	33	294,0663				
Totale	111033,9	47					

L'andamento dei valori rilevati dal sensore superficiale Fuori Pannello indica una minore umidità distribuita in tutti i mesi dell'anno, all'opposto si registra un andamento dei valori del sensore profondo (20-40 cm) dove vi è minore umidità Sotto Pannello, quasi in tutti i mesi dell'anno. Ciò significa che vi è un'incidenza dei fattori evapotraspirativi in superficie evidentemente maggiori

fuori pannello. Pur asciugandosi di più rispetto alla superficie, rimangono comunque umidità medie più alte sottopannello, grazie alla minore evapotraspirazione, fornendo quindi un'indicazione di effetto positivo dell'ombreggiamento soprattutto nei mesi estivi/autunnali, mentre nei mesi primaverili, caratterizzati da maggiori precipitazioni, il pannello ha un effetto coprente sul suolo riducendone l'umidità. Questo effetto è più marcato nell'orizzonte superficiale, mentre in profondità si verificano inversioni di tendenza, presumibilmente, attribuibili alle caratteristiche granulometriche del suolo (limoso-argilloso) che favoriscono flussi preferenziali di acqua attraverso le fenditure.

INTERAZIONE FRA LE VARIABILI

L'andamento sopra descritto è inoltre confermato dai grafici sotto riportati: dal primo si può ben riconoscere la netta differenza di comportamento delle variabili Umidità sup e Umidità prof come valori medi totali rispetto al Trattamento Sotto e Fuori Pannello. Nel caso della Umidità Sup. essa è molto più alta Fuori Pannello mentre al contrario l'Umidità Prof. è molto più alta Sotto Pannello. Tale tendenza è rafforzata dai successivi grafici in cui si riporta l'interazione con le variabili mese (gran parte dei mesi -10 su 12 – si comporta in modo diverso Fuori e Sotto Pannello) ed anno (almeno 4 dei 5 anni considerati sono diversi Fuori e Sotto Pannello),

Interpretazione (Umidità 1):

Considerando l' R^2 , 78% della variabilità della variabile dipendente Umidità 1 è spiegata dalla 6 variabile esplicativa.

Sulla base delle somme dei quadrati di tipo III, le variabili seguenti apportano informazioni significative al fine di spiegare la variabilità della variabile dipendente Umidità 1 : Trattamento, Mese, Anno, Trattamento*Mese Trattamento*Anno Mese*Anno.

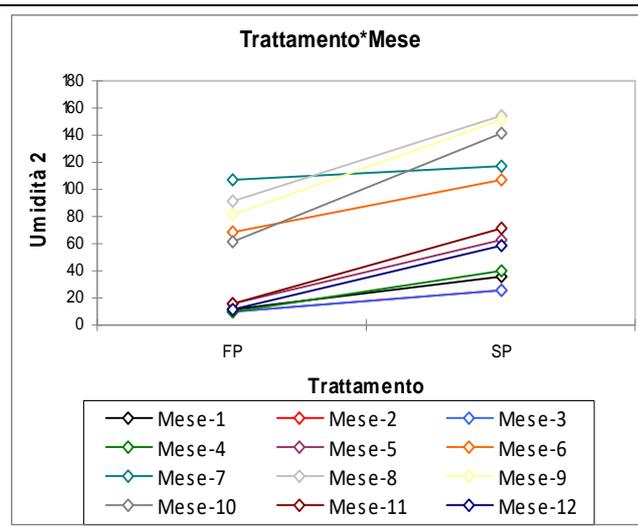
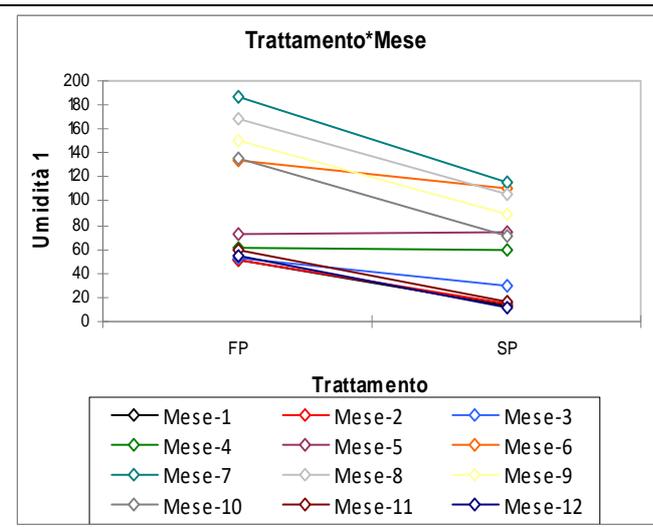
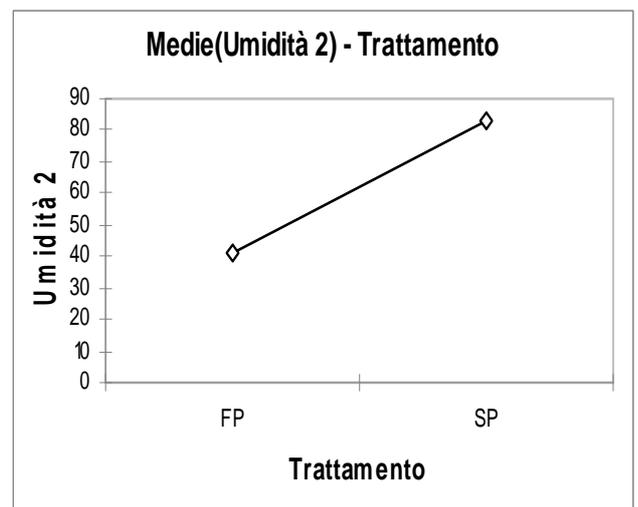
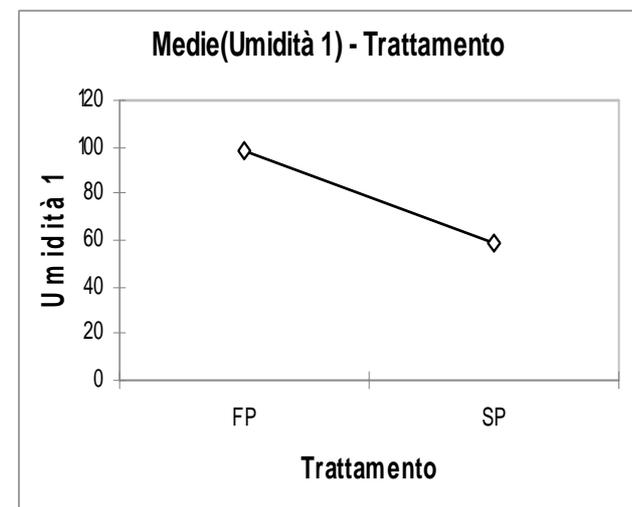
Tra le variabili esplicative, sulla base della somma dei quadrati di tipo III, la variabile Mese è la più influente.

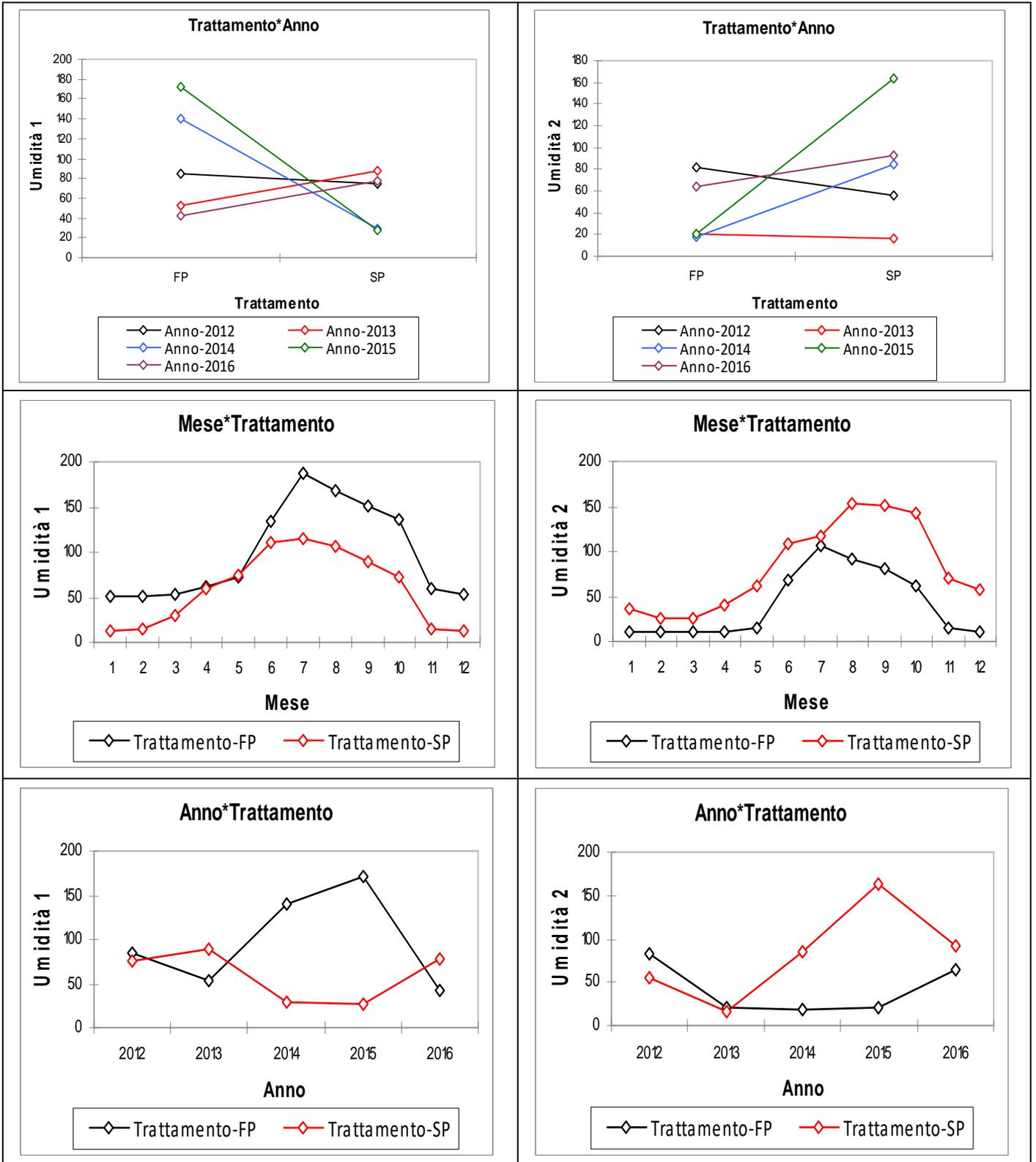
Interpretazione (Umidità 2):

Considerando l' R^2 , 83% della variabilità della variabile dipendente Umidità 2 è spiegata dalla 6 variabile esplicativa.

Sulla base delle somme dei quadrati di tipo III, le variabili seguenti apportano informazioni significative al fine di spiegare la variabilità della variabile dipendente Umidità 2 : Trattamento, Mese, Anno, Trattamento*Mese, Trattamento*Anno, Mese*Anno.

Tra le variabili esplicative, sulla base della somma dei quadrati di tipo III, la variabile Mese è la più influente.





L'analisi della varianza sull'umidità del suolo alle diverse profondità fornisce un p-value ($< 0,0001$) molto basso per il tipo di trattamento (Fuori e Sottop pannello) portandoci a rifiutare l'ipotesi nulla, secondo la quale tutte le medie sono uguali. Ciò non significa che le medie sono tutte significativamente diverse l'una dall'altra ma, piuttosto, che c'è almeno una coppia di medie la cui differenza è statisticamente significativa. Al fine di individuare quali sono le medie diverse tra loro, è stata eseguita l'analisi di confronti multipli con il metodo di Tukey e di Duncan.

Trattamento / Tukey (HSD) / Analisi delle differenze tra le modalità con un intervallo di confidenza di 95% (Umidità 1):

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Pr > Diff	Significativo
FP vs SP	38,689	29,210	1,961	< 0,0001	Si
Valore critico della d di Tukey:			2,773		

Modalità	Medie LS	Errore standard	Limite inferiore (95%)	Limite superiore (95%)	Gruppi
FP	98,055	0,973	96,148	99,962	A
SP	59,365	0,973	57,458	61,272	B

Trattamento / Dunnett (bilaterale) / Analisi delle differenze tra la modalità controllo Trattamento-SP e le altre modalità co

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Differenza critica	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	-38,689	-29,210	1,960	2,596	< 0,0001	Si

Trattamento / Tukey (HSD) / Analisi delle differenze tra le modalità con un intervallo di confidenza di 95% (Umidità 2):

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	41,677	39,561	1,961	< 0,0001	Si
Valore critico della d di Tukey:			2,773		

Modalità	Medie LS	Errore standard	Limite inferiore (95%)	Limite superiore (95%)	Gruppi
SP	82,826	0,774	81,309	84,343	A
FP	41,149	0,774	39,633	42,666	B

Trattamento / Dunnett (bilaterale) / Analisi delle differenze tra la modalità controllo Trattamento-SP e le altre modalità co

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Differenza critica	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	41,677	39,561	1,960	2,065	< 0,0001	Si

Dai risultati si evince che c'è una differenza significativa nell'umidità tra gli appezzamenti con pannello solare e quelli privi di pannello.

4.1.2 Temperatura di San Michele

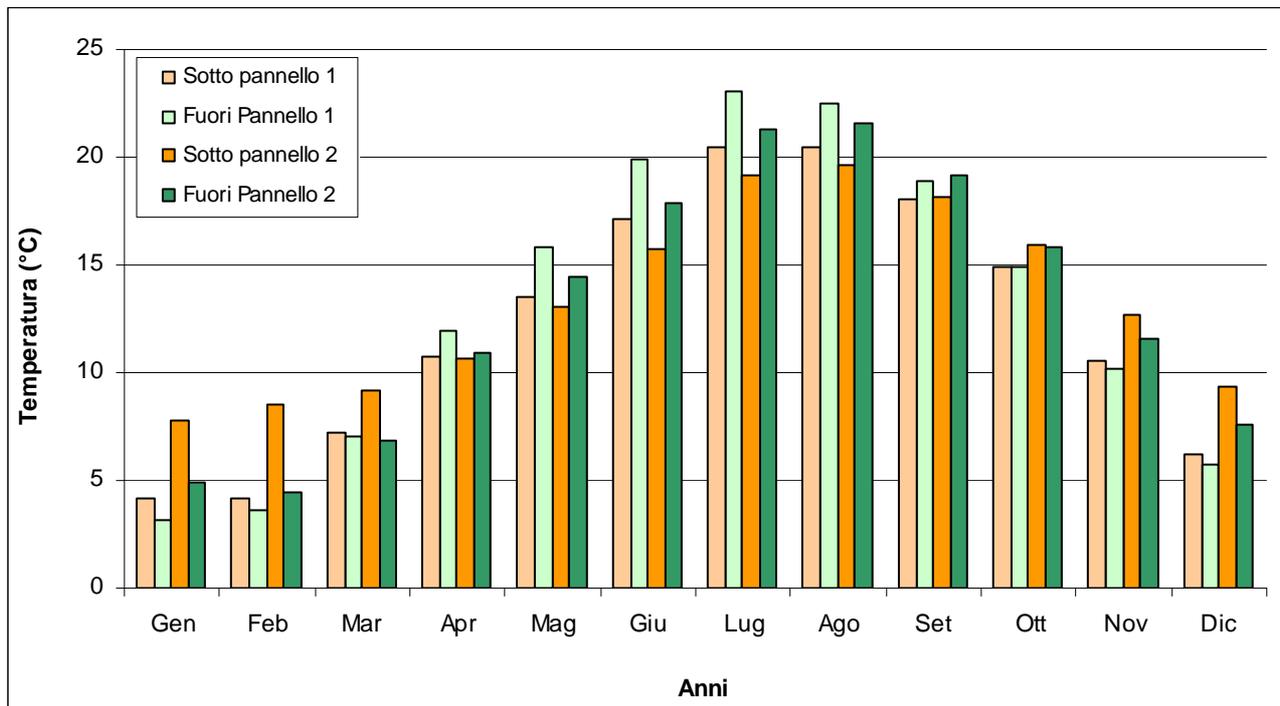


Figura 11 - Confronto tra i sensori di temperatura del suolo fuori e sotto pannello alle due profondità

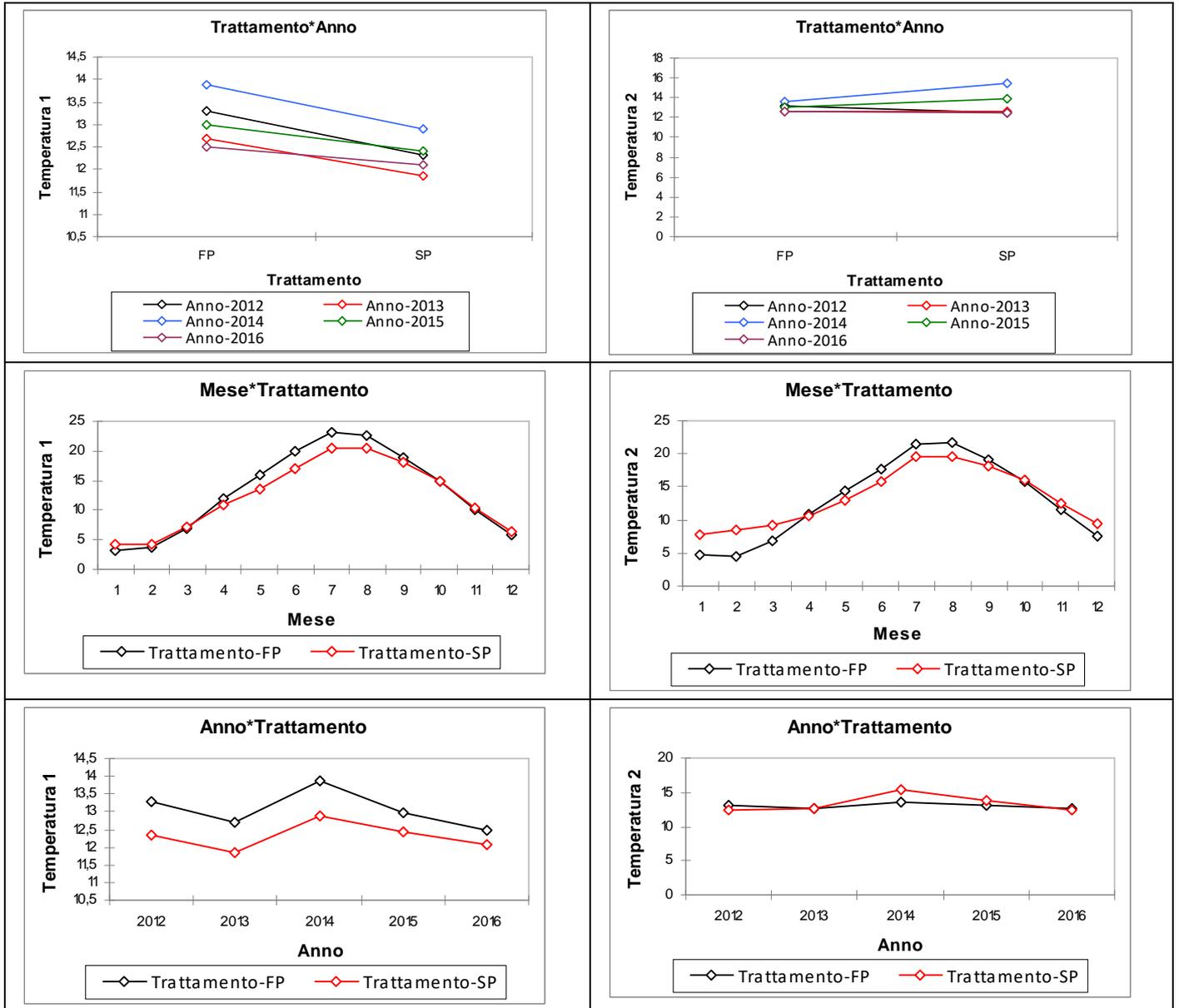
Dal diagramma delle temperature risulta evidente l'effetto schermo dal sole nel periodo estivo quando fuori pannello si registrano le temperature più alte, sia in superficie sia in profondità. Diverso l'andamento nel periodo invernale dove, per effetto del gradiente geotermico, il suolo tende ad essere più caldo in profondità sia fuori che sotto pannello, con valori comunque nettamente più alti sotto pannello, segno che in questo periodo si conserva maggiormente il calore assorbito nei mesi estivi grazie alla copertura.

Nei periodi primaverile/autunnali si registra invece un comportamento intermedio.

INTERAZIONE FRA LE VARIABILI

Come per l'Umidità anche per le Temperature i grafici qui sotto riportati confermano che vi è netta differenza fra i valori medi totali di Temperatura Sotto e Fuori Pannello sia superficiale (più alta Fuori Pannello) sia profonda (più alta Sotto Pannello), evidenziata anche a livello di anno (5 su 5 diversi) per la Temperatura superficiale, e di mesi (9 su 12 diversi) per la Temperatura profonda.

<p>Interpretazione (Temperatura 1):</p> <p>Considerando l'R², 96% della variabilità della variabile dipendente Temperatura 1 è spiegata dalla 6 variabile esplicativa.</p> <p>Sulla base delle somme dei quadrati di tipo III, le variabili seguenti apportano informazioni significative al fine di spiegare la variabilità della variabile dipendente Temperatura 1 : Trattamento, Mese, Anno, Trattamento*Mese, Trattamento*Anno e, Mese*Anno.</p> <p>Tra le variabili esplicative, sulla base della somma dei quadrati di tipo III, la variabile Mese è la più influente.</p>	<p>Interpretazione (Temperatura 2):</p> <p>Considerando l'R², 93% della variabilità della variabile dipendente Temperatura 2 è spiegata dalla 6 variabile esplicativa.</p> <p>Sulla base delle somme dei quadrati di tipo III, le variabili seguenti apportano informazioni significative al fine di spiegare la variabilità della variabile dipendente Temperatura 2 : Trattamento, Mese, Anno, Trattamento*Mese, Trattamento*Anno, Mese*Anno.</p> <p>Tra le variabili esplicative, sulla base della somma dei quadrati di tipo III, la variabile Mese è la più influente.</p>																																																																														
<p>Medie(Temperatura 1) - Trattamento</p> <table border="1"> <caption>Medie(Temperatura 1) - Trattamento</caption> <thead> <tr> <th>Trattamento</th> <th>Temperatura 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FP</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>SP</td> <td>12.3</td> </tr> </tbody> </table>	Trattamento	Temperatura 1	FP	13.0	SP	12.3	<p>Medie(Temperatura 2) - Trattamento</p> <table border="1"> <caption>Medie(Temperatura 2) - Trattamento</caption> <thead> <tr> <th>Trattamento</th> <th>Temperatura 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FP</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>SP</td> <td>13.4</td> </tr> </tbody> </table>	Trattamento	Temperatura 2	FP	13.0	SP	13.4																																																																		
Trattamento	Temperatura 1																																																																														
FP	13.0																																																																														
SP	12.3																																																																														
Trattamento	Temperatura 2																																																																														
FP	13.0																																																																														
SP	13.4																																																																														
<p>Trattamento*Mese</p> <table border="1"> <caption>Trattamento*Mese (Temperatura 1)</caption> <thead> <tr> <th>Mese</th> <th>FP</th> <th>SP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mese-1</td><td>10.5</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>Mese-2</td><td>3.5</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>Mese-3</td><td>6.0</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>Mese-4</td><td>12.0</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>Mese-5</td><td>15.5</td><td>13.5</td></tr> <tr><td>Mese-6</td><td>19.5</td><td>17.0</td></tr> <tr><td>Mese-7</td><td>23.0</td><td>20.5</td></tr> <tr><td>Mese-8</td><td>15.5</td><td>13.5</td></tr> <tr><td>Mese-9</td><td>19.5</td><td>17.0</td></tr> <tr><td>Mese-10</td><td>15.5</td><td>13.5</td></tr> <tr><td>Mese-11</td><td>10.5</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>Mese-12</td><td>6.0</td><td>6.5</td></tr> </tbody> </table>	Mese	FP	SP	Mese-1	10.5	10.5	Mese-2	3.5	4.0	Mese-3	6.0	6.5	Mese-4	12.0	10.5	Mese-5	15.5	13.5	Mese-6	19.5	17.0	Mese-7	23.0	20.5	Mese-8	15.5	13.5	Mese-9	19.5	17.0	Mese-10	15.5	13.5	Mese-11	10.5	10.5	Mese-12	6.0	6.5	<p>Trattamento*Mese</p> <table border="1"> <caption>Trattamento*Mese (Temperatura 2)</caption> <thead> <tr> <th>Mese</th> <th>FP</th> <th>SP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mese-1</td><td>11.5</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>Mese-2</td><td>4.5</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Mese-3</td><td>7.0</td><td>9.5</td></tr> <tr><td>Mese-4</td><td>11.5</td><td>11.5</td></tr> <tr><td>Mese-5</td><td>14.5</td><td>13.0</td></tr> <tr><td>Mese-6</td><td>18.0</td><td>16.0</td></tr> <tr><td>Mese-7</td><td>21.5</td><td>19.5</td></tr> <tr><td>Mese-8</td><td>14.5</td><td>13.0</td></tr> <tr><td>Mese-9</td><td>18.0</td><td>16.0</td></tr> <tr><td>Mese-10</td><td>14.5</td><td>13.0</td></tr> <tr><td>Mese-11</td><td>11.5</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>Mese-12</td><td>7.0</td><td>9.5</td></tr> </tbody> </table>	Mese	FP	SP	Mese-1	11.5	10.5	Mese-2	4.5	8.0	Mese-3	7.0	9.5	Mese-4	11.5	11.5	Mese-5	14.5	13.0	Mese-6	18.0	16.0	Mese-7	21.5	19.5	Mese-8	14.5	13.0	Mese-9	18.0	16.0	Mese-10	14.5	13.0	Mese-11	11.5	10.5	Mese-12	7.0	9.5
Mese	FP	SP																																																																													
Mese-1	10.5	10.5																																																																													
Mese-2	3.5	4.0																																																																													
Mese-3	6.0	6.5																																																																													
Mese-4	12.0	10.5																																																																													
Mese-5	15.5	13.5																																																																													
Mese-6	19.5	17.0																																																																													
Mese-7	23.0	20.5																																																																													
Mese-8	15.5	13.5																																																																													
Mese-9	19.5	17.0																																																																													
Mese-10	15.5	13.5																																																																													
Mese-11	10.5	10.5																																																																													
Mese-12	6.0	6.5																																																																													
Mese	FP	SP																																																																													
Mese-1	11.5	10.5																																																																													
Mese-2	4.5	8.0																																																																													
Mese-3	7.0	9.5																																																																													
Mese-4	11.5	11.5																																																																													
Mese-5	14.5	13.0																																																																													
Mese-6	18.0	16.0																																																																													
Mese-7	21.5	19.5																																																																													
Mese-8	14.5	13.0																																																																													
Mese-9	18.0	16.0																																																																													
Mese-10	14.5	13.0																																																																													
Mese-11	11.5	10.5																																																																													
Mese-12	7.0	9.5																																																																													



Come osservato nell'analisi dei dati relativi all'umidità, anche per i dati della temperatura l'analisi dei confronti multipli di Tukey e di Duncan, evidenzia una differenza significativa per il trattamento. Si può pertanto affermare che gli appezzamenti con pannello solare e quelli privi hanno un comportamento termico significativamente differente.

Treatment / Tukey (HSD) / Analysis of differences between modalities with a confidence interval of 95% (Temperature 1)

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Pr > Diff	Significativo
FP vs SP	0,748	16,532	1,961	< 0,0001	Si
Valore critico della d di Tukey:			2,773		

Modalità	Medie LS	Errore standard	Limite inferiore (95%)	Limite superiore (95%)	Gruppi
FP	13,066	0,033	13,001	13,131	A
SP	12,319	0,033	12,254	12,384	B

Treatment / Dunnett (bilaterale) / Analysis of differences between the control modality Treatment-SP and the other modalities

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Differenza critica	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	-0,748	-16,532	1,960	0,089	< 0,0001	Si

Treatment / Tukey (HSD) / Analysis of differences between modalities with a confidence interval of 95% (Temperature 2)

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	0,341	6,783	1,961	< 0,0001	Si
Valore critico della d di Tukey:			2,773		

Modalità	Medie LS	Errore standard	Limite inferiore (95%)	Limite superiore (95%)	Gruppi
SP	13,375	0,037	13,302	13,447	A
FP	13,033	0,037	12,961	13,106	B

Treatment / Dunnett (bilaterale) / Analysis of differences between the control modality Treatment-SP and the other modalities

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Differenza critica	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	0,341	6,783	1,960	0,099	< 0,0001	Si

4.1.3 Umidità di Ternavasso

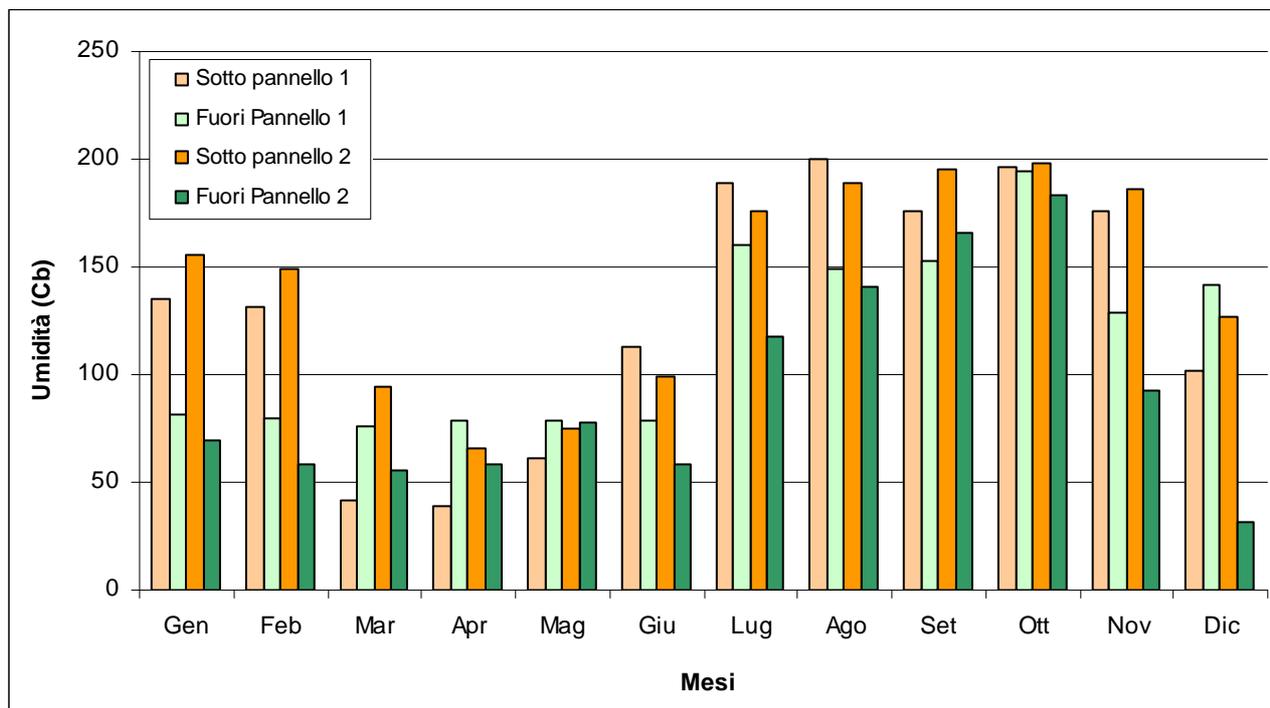


Figura 12 - Confronto tra i sensori di umidità del suolo fuori e sotto pannello alle due profondità

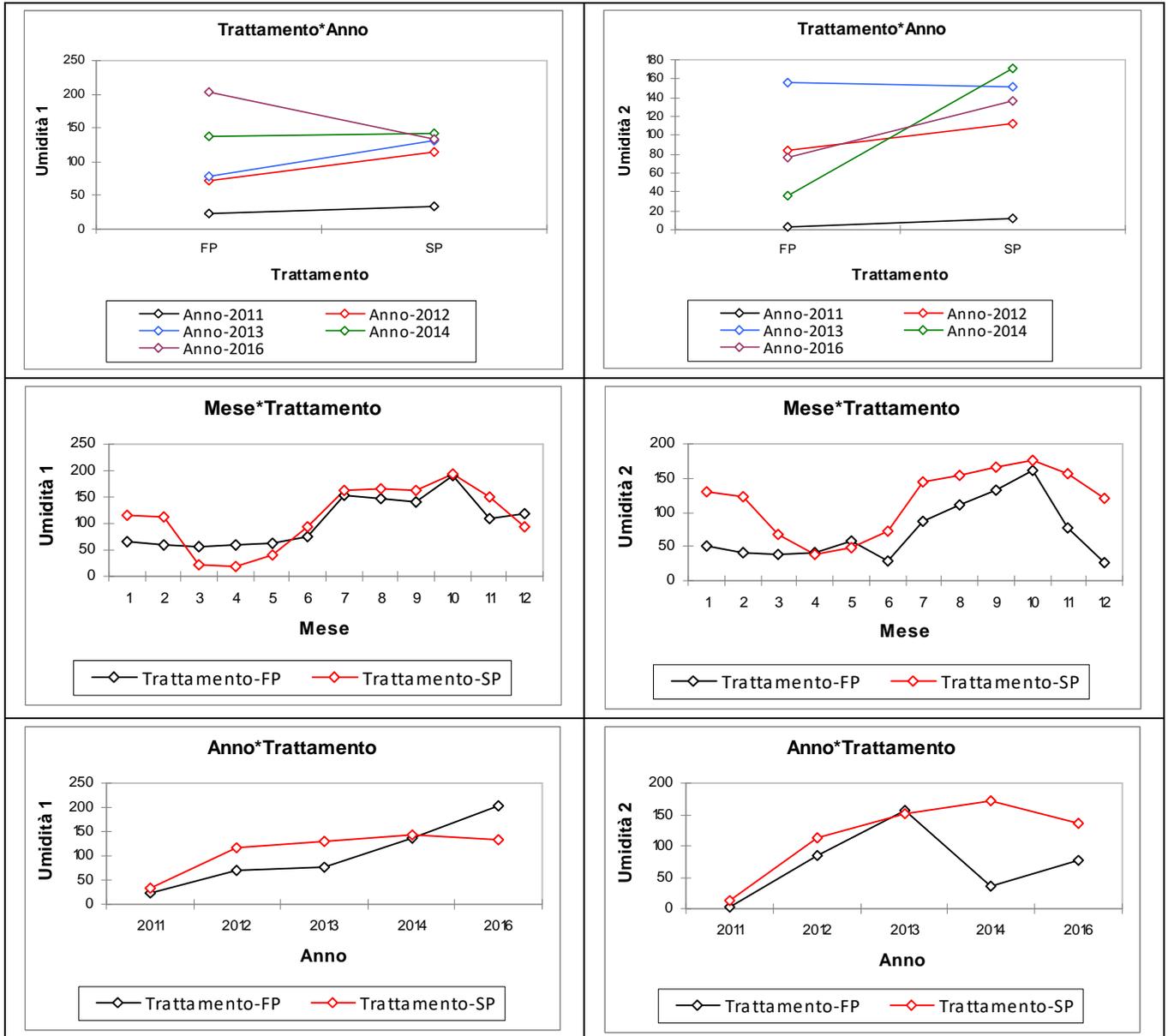
Fuori pannello il suolo in profondità tende ad essere sempre significativamente più umido della superficie, la stessa tendenza, anche se meno marcata, è ravvisabile sotto pannello; ciò significa che i fattori evapotraspirativi in superficie prevalgono su quelli di apporto piovano.

Il fenomeno più evidente è però che il suolo d'estate e d'inverno sotto pannello non giovandosi dei temporali ed in genere di precipitazioni limitate nel tempo, rimane significativamente più asciutto che fuori pannello. Nel periodo primaverile invece, le abbondanti piogge raggiungono anche il suolo sotto pannello, allineandosi così con l'umidità fuori pannello.

Si deve quindi evidenziare un andamento diverso rispetto a San Michele dove il pannello ha una funzione di protezione dalle piogge per un periodo maggiore, forse per la diversa tipologia di copertura (impianto fisso), forse per la diversa distribuzione delle piogge che proprio nel periodo estivo/invernale sono più basse rispetto a San Michele.

Tabella 5 - ANOVA fatta sui sensori di umidità del suolo fuori e sotto pannello alle due profondità

ANALISI VARIANZA						
Origine della variazione	SQ	gdl	MQ	F	Valore di significatività	F crit
Righe	92588,08	11	8417,098	15,64295	4,41E-10	2,093252
Colonne	16618,64	3	5539,546	10,29509	6,2E-05	2,891568
Errore	17756,52	33	538,0763			
Totale	126963,2	47				



Analogamente a quanto osservato per i dati di umidità della stazione di San Michele, i confronti multipli di Tukey e di Duncan, evidenziano lo stesso andamento, ovvero c'è una differenza significativa tra gli appezzamenti con pannello solare e quelli privi di pannello.

Trattamento / Tukey (HSD) / Analisi delle differenze tra le modalità con un intervallo di confidenza di 95% (Urr

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	7,970	4,304	1,961	< 0,0001	Si
Valore critico della d di Tukey:			2,773		

Modalità	Medie LS	Errore standard	Limite inferiore (95%)	Limite superiore (95%)	Gruppi
SP	111,209	1,298	108,664	113,754	A
FP	103,239	1,321	100,650	105,828	B

Trattamento / Dunnett (bilaterale) / Analisi delle differenze tra la modalità controllo Trattamento-SP e le altre

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Differenza critica	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	7,970	4,304	1,960	3,629	< 0,0001	Si

Trattamento / Tukey (HSD) / Analisi delle differenze tra le modalità con un intervallo di confidenza di 95% (Urr

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	45,644	23,279	1,961	< 0,0001	Si
Valore critico della d di Tukey:			2,773		

Modalità	Medie LS	Errore standard	Limite inferiore (95%)	Limite superiore (95%)	Gruppi
SP	116,703	1,374	114,008	119,398	A
FP	71,059	1,398	68,317	73,801	B

Trattamento / Dunnett (bilaterale) / Analisi delle differenze tra la modalità controllo Trattamento-SP e le altre

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Differenza critica	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	45,644	23,279	1,960	3,843	< 0,0001	Si

4.1.4 Temperatura di Ternavasso

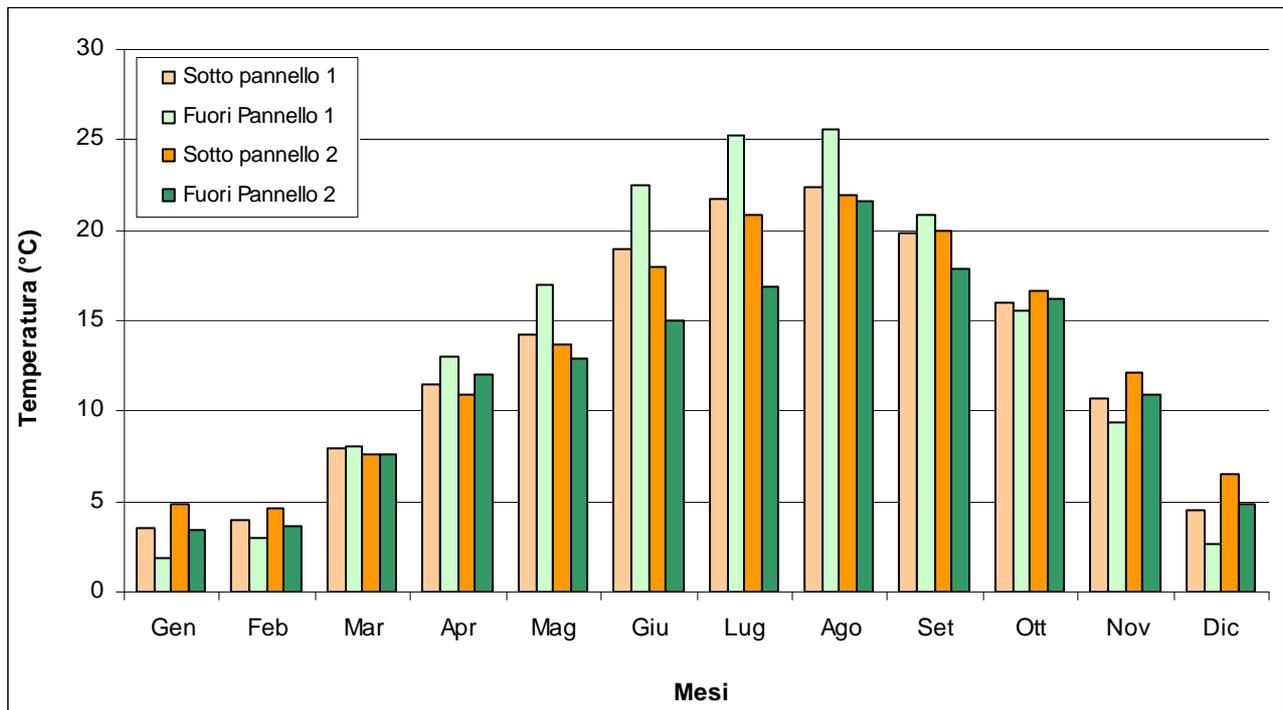


Figura 13 - Confronto tra i sensori di temperatura del suolo fuori e sotto pannello alle due profondità

Analogamente a San Michele anche a Ternavasso l'andamento delle temperature mostra con evidenza l'effetto schermo esercitato dai pannelli che riducono le temperature del suolo d'estate e mitigano il raffreddamento del suolo d'inverno, sia sopra che sotto pannello.

Nei mesi primaverili-autunnali le temperature sopra e sotto pannello tendono sostanzialmente ad equivalersi, sia in superficie che in profondità.

INTERAZIONE DELLE VARIABILI

Le temperature del suolo sono ben differenziate fra Fuori e Sotto Pannello con valori nettamente più alti Fuori Pannello sia superficiali che in profondità, confermati dall'interazione con gli anni (diversi 5 su 5) mentre meno bene rispondono i mesi (4 su 12 diversi).

Interpretazione (Temperatura 1):

Considerando l'R², 94% della variabilità della variabile dipendente Temperatura 1 è spiegata dalla 5 variabile esplicativa.

Sulla base delle somme dei quadrati di tipo III, le variabili seguenti apportano informazioni significative al fine di spiegare la variabilità della variabile dipendente Temperatura 1 :
Trattamento, Mese, Anno, Trattamento*Mese e Trattamento*Anno.

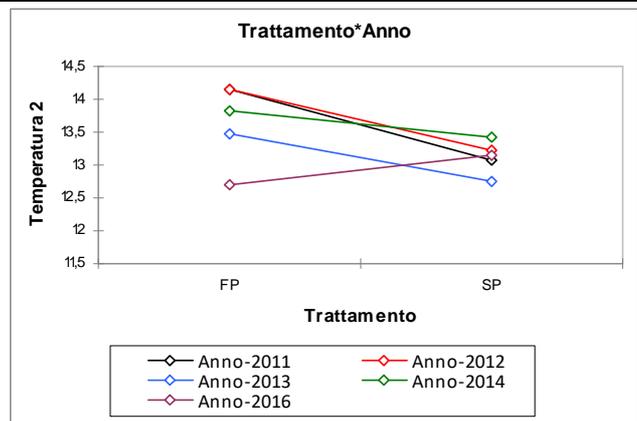
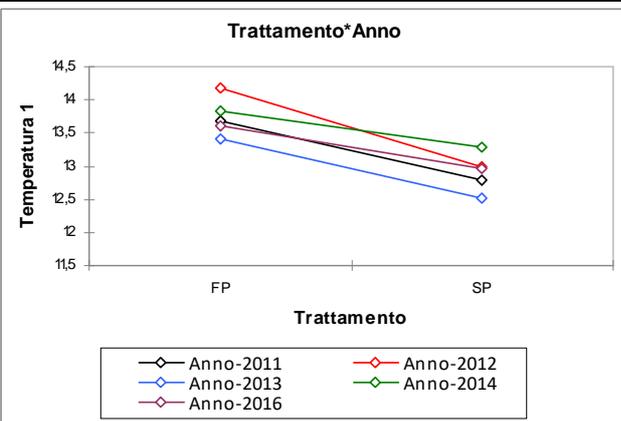
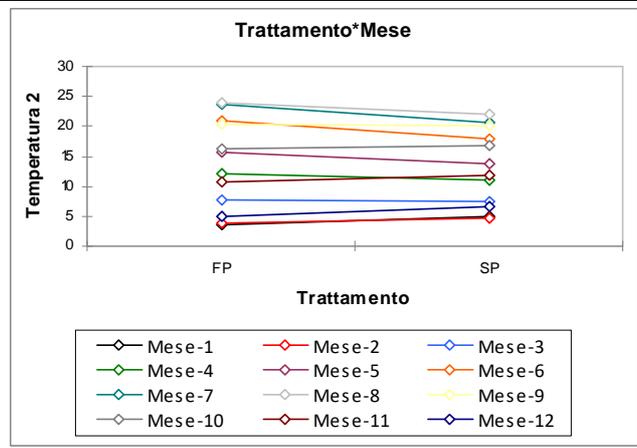
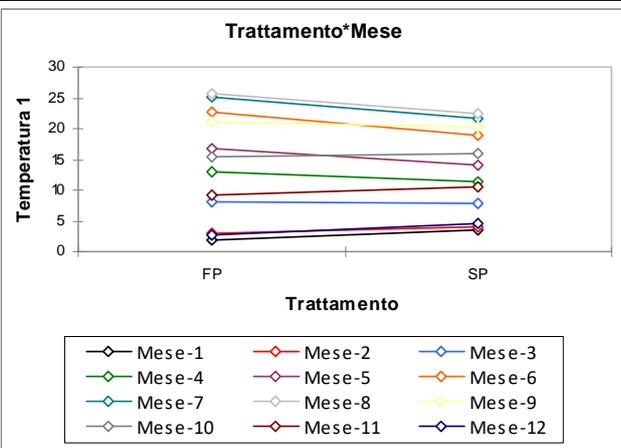
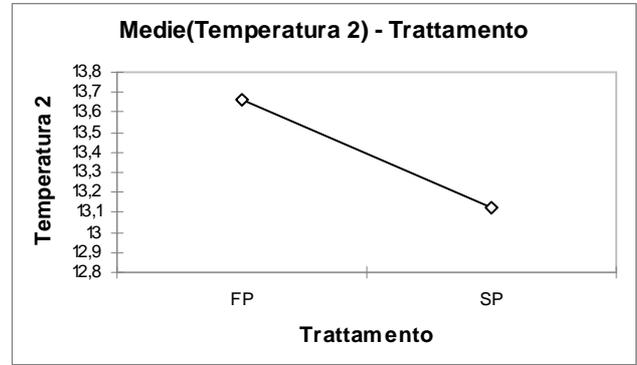
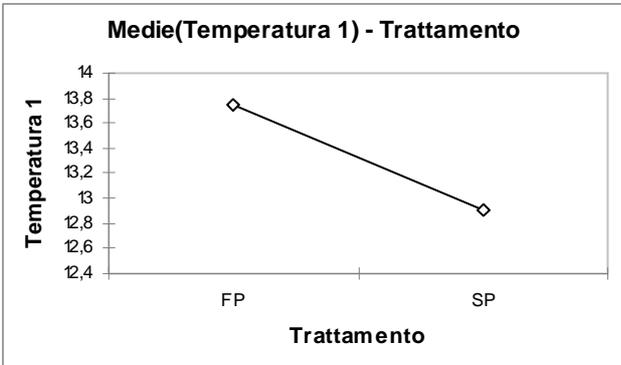
Tra le variabili esplicative, sulla base della somma dei quadrati di tipo III, la variabile Mese è la più influente.

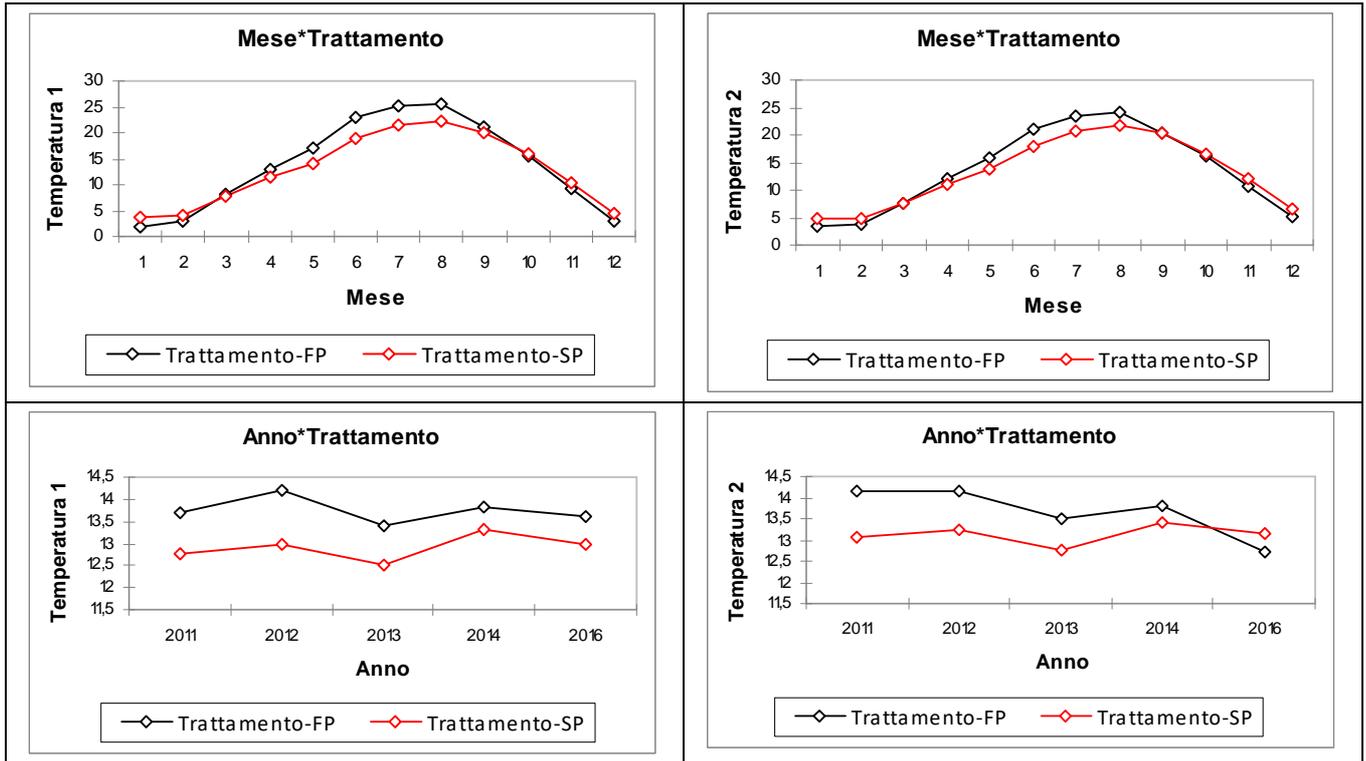
Interpretazione (Temperatura 2):

Considerando l'R², 91% della variabilità della variabile dipendente Temperatura 2 è spiegata dalla 5 variabile esplicativa.

Sulla base delle somme dei quadrati di tipo III, le variabili seguenti apportano informazioni significative al fine di spiegare la variabilità della variabile dipendente Temperatura 2 :
Trattamento, Mese, Anno, Trattamento*Mese e Trattamento*Anno.

Tra le variabili esplicative, sulla base della somma dei quadrati di tipo III, la variabile Mese è la più influente.





Test post-hoc

Anche in questo caso i confronti multipli di Tukey e di Duncan, evidenziano una differenza termica significativa tra gli appezzamenti con pannello solare e quelli privi di pannello.

Trattamento / Tukey (HSD) / Analisi delle differenze tra le modalità con un intervallo di confidenza di 95% (Ter

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Pr > Diff	Significativo
FP vs SP	0,829	11,450	1,961	< 0,0001	Si
Valore critico della d di Tukey:			2,773		

Modalità	Medie LS	Errore standard	Limite inferiore (95%)	Limite superiore (95%)	Gruppi
FP	13,744	0,052	13,642	13,845	A
SP	12,915	0,051	12,815	13,014	B

Trattamento / Dunnett (bilaterale) / Analisi delle differenze tra la modalità controllo Trattamento-SP e le altre

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Differenza critica	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	-0,829	-11,450	1,960	0,142	< 0,0001	Si

Trattamento / Tukey (HSD) / Analisi delle differenze tra le modalità con un intervallo di confidenza di 95% (Ter

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Pr > Diff	Significativo
FP vs SP	0,536	6,490	1,961	< 0,0001	Si
Valore critico della d di Tukey:			2,773		

Modalità	Medie LS	Errore standard	Limite inferiore (95%)	Limite superiore (95%)	Gruppi
FP	13,662	0,059	13,547	13,778	A
SP	13,127	0,058	13,013	13,240	B

Trattamento / Dunnett (bilaterale) / Analisi delle differenze tra la modalità controllo Trattamento-SP e le altre

Contrasto	Differenza	Differenza standardizzata	Valore critico	Differenza critica	Pr > Diff	Significativo
SP vs FP	-0,536	-6,490	1,960	0,162	< 0,0001	Si

5 MONITORAGGIO PARAMETRI DI QUALITÀ DEL SUOLO

Vengono di seguito proposti una serie di indicatori per il monitoraggio dello stato di conservazione del suolo, utili ai fini di una corretta valutazione sull'effetto dell'impiego dei pannelli solari.

3.1 Introduzione e metodologie.

La componente biotica del suolo, responsabile dello svolgimento dei principali processi, è considerata la più vulnerabile; questa è la ragione per cui è stato proposto, oltre agli indicatori riportati in figura 14, l'uso di bioindicatori che si riferiscono ad organismi (batteri, funghi, piante e animali) particolarmente sensibili a possibili stress (Biagini et al. 2006). Questi bioindicatori sono in grado, da un lato, di fornire indicazioni complementari a quelle fornite dalle analisi chimico-fisiche, dall'altro di integrare le informazioni relative ai possibili fattori (ambientali o esogeni) che influenzano la fertilità del suolo. In letteratura esistono molti indici ecologici che vengono calcolati sulla base della struttura tassonomica della comunità biotica (vedi § 5.1.1); essi hanno il vantaggio di descrivere la comunità con un numero che, pur senza riferirsi agli specifici taxa presenti, permette un facile confronto fra ambienti.

CARATTERISTICHE DEL SUOLO	METODOLOGIA
<u>INDICATORI FISICI</u>	
Tessitura del suolo	Metodo dell'idrometro
Profondità del suolo e degli apparati radicali	Estrazione e scavo del suolo
Densità apparente e infiltrazione	Determinazione di campo con l'uso di anelli di infiltrazione
Caratteristiche di ritenzione idrica	Contenuto idrico ad una tensione di 33 e 1500 kPa
Contenuto idrico	Analisi gravimetrica (perdita di peso nelle 24 ore a 105°C)
Temperatura del suolo	Termometro a mano
<u>INDICATORI CHIMICI</u>	
C e N organici totali	Combustione (metodo volumetrico)
pH	Determinazione di campo e di laboratorio con pHmetro
Conduttività elettrica	Determinazione di campo e di laboratorio con conduttimetro
N (NH ₄ e NO ₃), P e K minerali	Determinazione di campo e di laboratorio (metodo volumetrico)
<u>INDICATORI BIOLOGICI</u>	
C e N della biomassa microbica	Fumigazione/incubazione con cloroformio (metodo volumetrico)
N potenzialmente mineralizzabile	Incubazione anaerobica (metodo volumetrico)
Respirazione del suolo	Determinazione di campo per mezzo di anelli di infiltrazione coperti ed in laboratorio con la misura della biomassa
C biomassa /C organico totale	Stima della stabilità dell'ecosistema
Respirazione/biomassa	

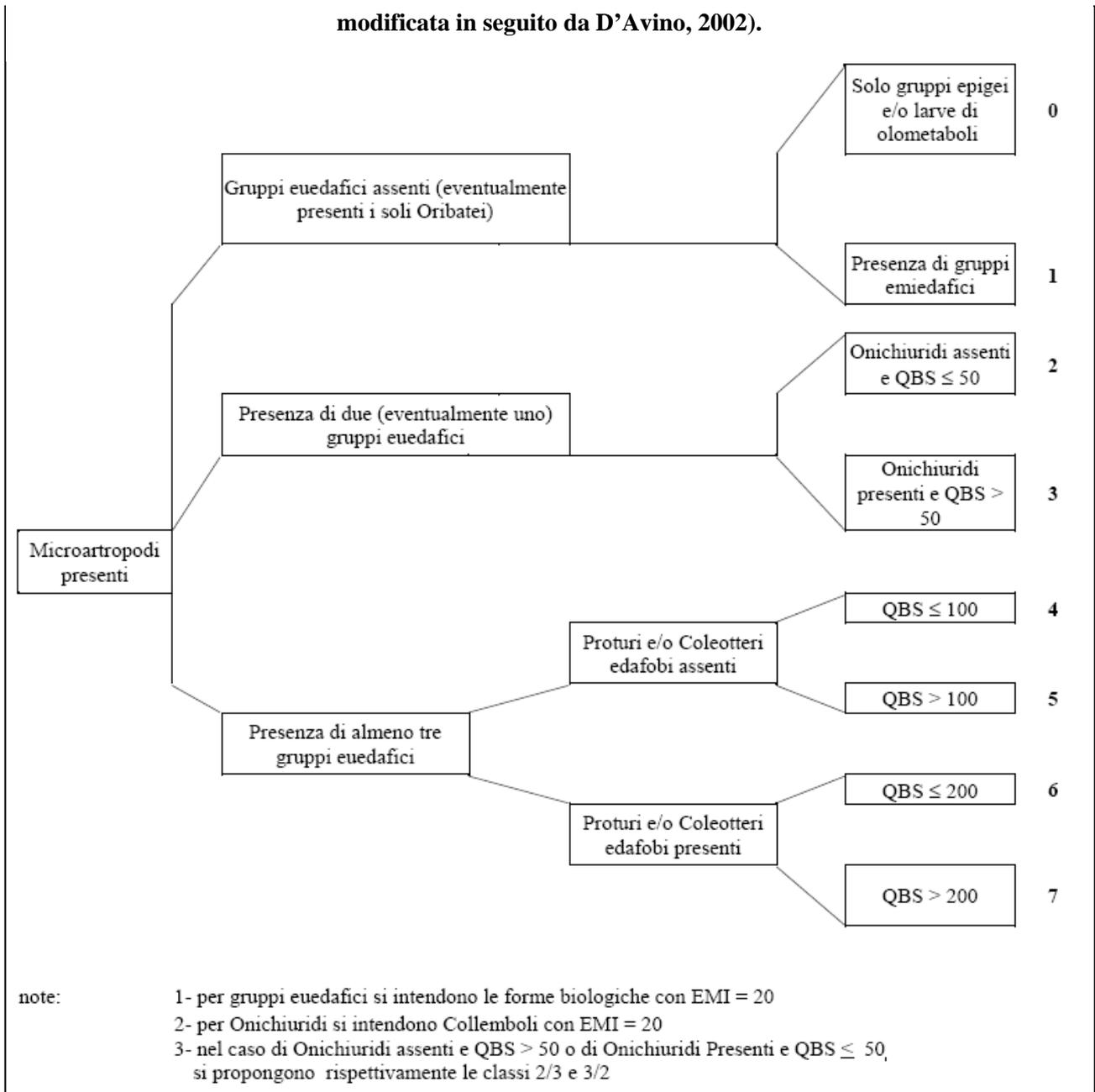
Figura 14- Caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche proposte come indicatori base per la qualità' del suolo (SSSA) (tratto da Doran, Parkin, 1994).

5.1.1 Indice di Qualità Biologica del Suolo QBS.

In letteratura esistono molti indici ecologici che vengono calcolati sulla base della struttura tassonomica della comunità biotica; essi hanno il vantaggio di descrivere la comunità con un numero che, pur senza riferirsi agli specifici taxa presenti, permette un facile confronto fra ambienti. Tra gli indici utilizzabili ve ne sono di quelli applicabili solo ai microartropodi, come l'indice di Qualità Biologica dei Suoli (QBS, Parisi, 2001) che si riferisce solo ai raggruppamenti ecomorfologicamente omogenei presenti nella comunità. Nel calcolo dell'indice si parte dall'individuazione dei gruppi tassonomici presenti e, successivamente, si definisce, attraverso l'osservazione dei caratteri morfologici, il livello di adattamento alla vita nel suolo di ciascuno di essi. A ciascuna delle forme è attribuito un punteggio variabile tra 1 e 20. I valori più bassi sono tipici delle forme epiedafiche, che vivono in superficie, quindi con un minore adattamento, e quelli più alti di quelle euedafiche, che vivono in profondità, quindi con un maggiore adattamento. Infine, valori intermedi sono attribuiti alle forme emiedafiche, parzialmente adattate alla vita tra le particelle di suolo. Il valore finale dell'indice è la somma dei punteggi attribuiti a ciascun gruppo tassonomico individuato nella comunità.

La classificazione avviene sulla base dello schema riportato in Figura 15, nel quale sono definite otto classi di qualità (dalla classe 0 alla classe 7), in ordine crescente di complessità del popolamento in relazione all'adattamento alla vita edafica.

Figura 15 -Suddivisione in classi dei valori di QBS-ar (classificazione definita da Parisi, 2001 e modificata in seguito da D'Avino, 2002).



Le classi di qualità biologica sono in tutto 8 (Parisi 2001 modificata D'Avino 2002, manuale Arpa) e vanno da un minimo di 0 (ritrovamento di solo gruppi epigei e/o larve di olometaboli, ossia nessuna forma di vita veramente stanziale nel suolo) a un massimo di 7 (almeno 3 gruppi euedafici, proturi e/o coleotteri edafobi presenti, QBS >200), secondo la seguente classificazione:

Giudizio classe	classe
Eccellente	6_7
Buono	4_5
Discreto	3
Sufficiente	2
Insufficiente	0_1

RISULTATI

Di seguito vengono forniti i grafici riassuntivi che illustrano gli andamenti dei valori e delle classi di QBS ripartiti secondo le stazioni e il campionamento Fuori e Sotto Pannello lungo tutto il periodo di monitoraggio.

Come si può vedere dalla Figura 16, sono due le stazioni che dimostrano un miglioramento, se pur minimo e non rilevato dai test statistici, a vantaggio della copertura sotto pannello: si tratta delle stazioni di Oviglio e di San Michele. In particolare più apprezzabile la differenza migliorativa a cascina Arnuzza (Oviglio), che parte da una situazione fuori pannello peggiore di tutte.

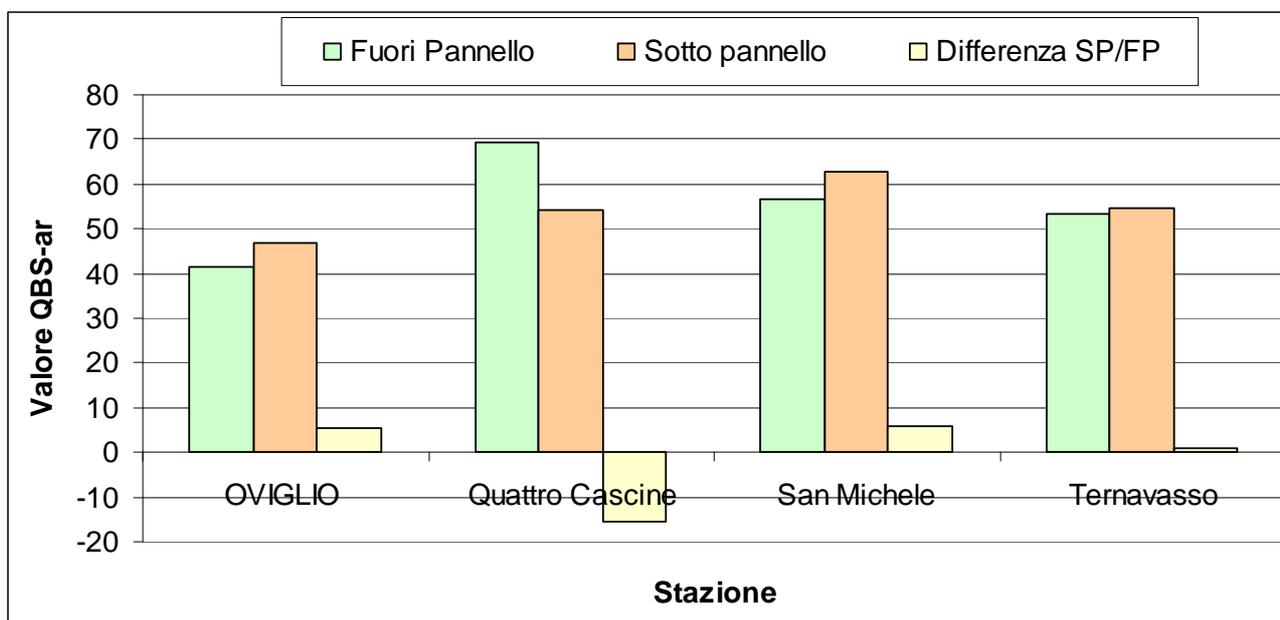


Figura 16- Valori di QBS ripartito secondo le stazioni e il campionamento Fuori e Sotto Pannello

Anche la Figura 17, che mostra la distribuzione per classi, conferma come la stazione di Oviglio sia la peggiore, mentre si evidenzia come la copertura più efficace sia quella di San Michele. Apprezzabili anche gli effetti di copertura a Quattro Cascine, meno evidenti sono quelli a Ternavasso.

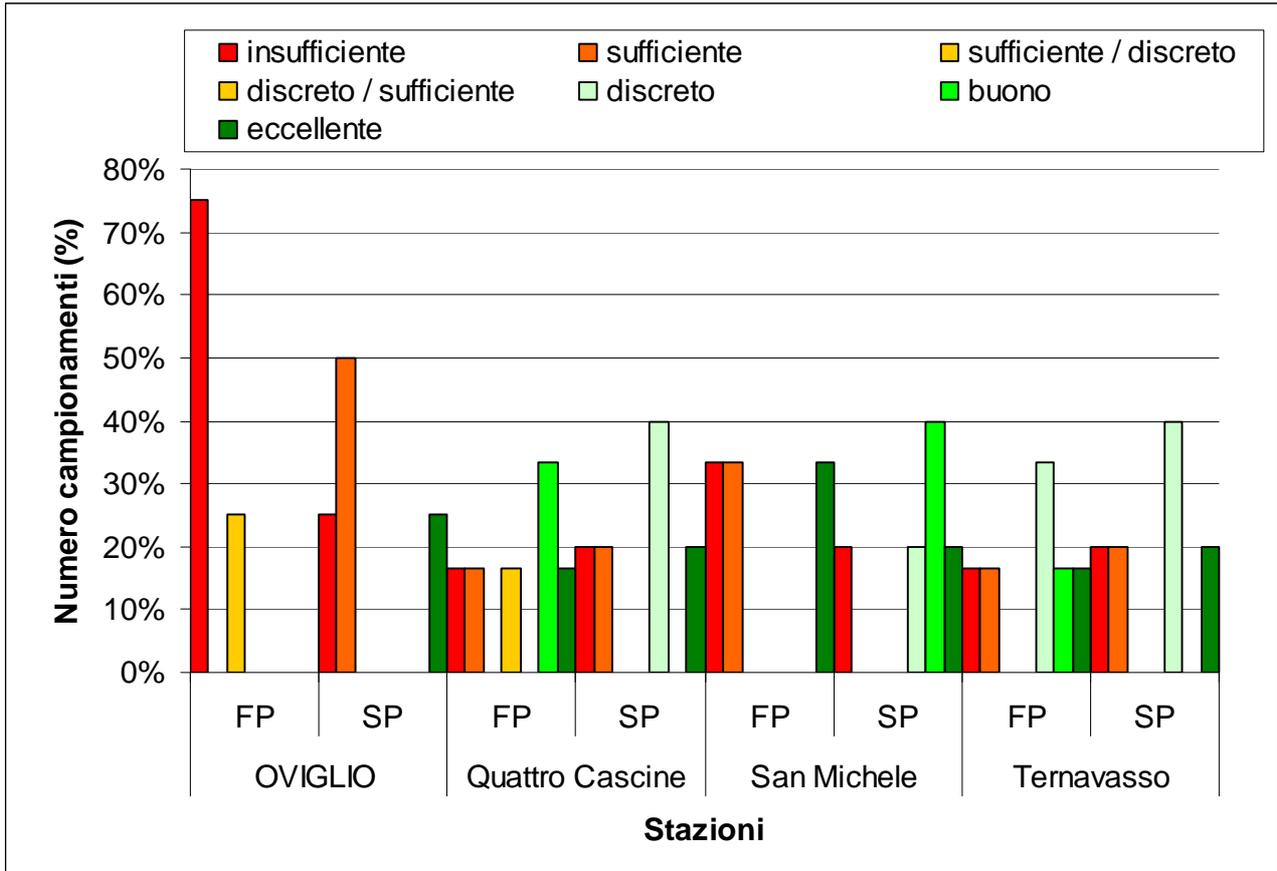


Figura 17- Ripartizione delle classi di QBS nelle 4 stazioni e secondo il campionamento Fuori e Sotto Pannello

Anche se non supportati da test statistici significativi, si può desumere che, sulla base dei risultati del QBS, la copertura dei pannelli ad inseguimento sia migliorativa della qualità del suolo.

Tutto ciò a prescindere da altri aspetti legati alla permanenza di strutture invasive e sulla loro eventuale dismissione.

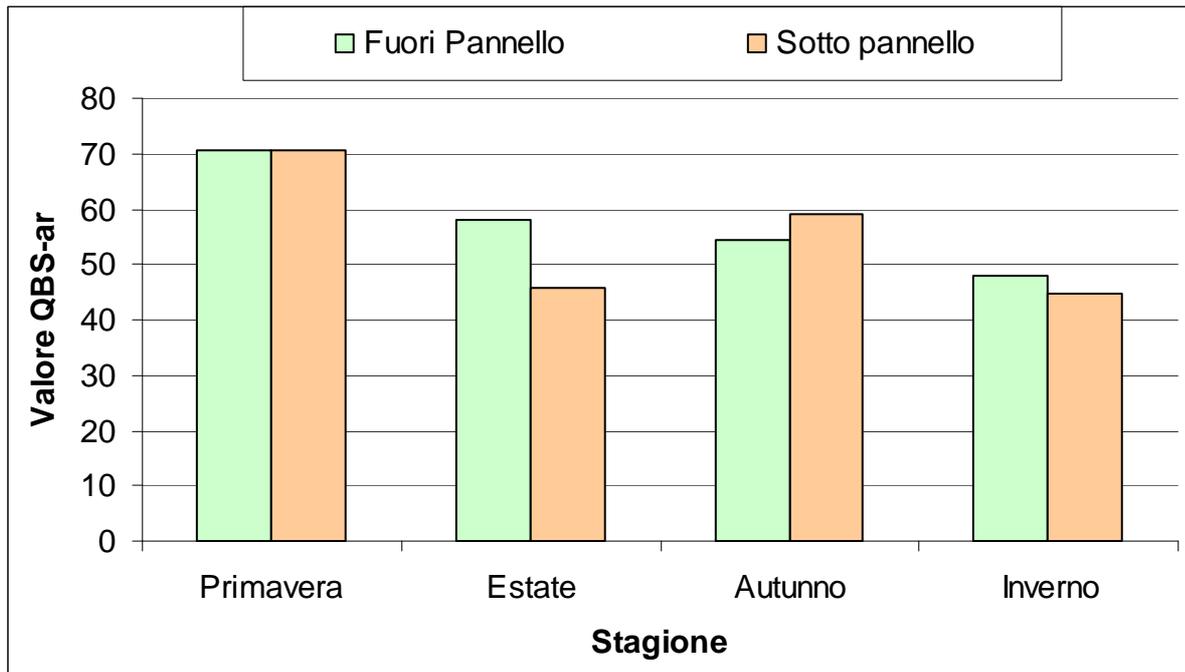


Figura 18- Valori di QBS ripartito secondo il campionamento stagionale Fuori e Sotto Pannello

Per quanto riguarda il campionamento stagionale (Figura 18) si rileva, anche qui senza test statistici significativi in quanto minimali sono le differenze, che la qualità del suolo migliora in corrispondenza dei campionamenti nei periodi equinoziali più piovosi, rispetto a quelli solstiziali più siccitosi, senza peraltro discriminazioni dei siti, dove comunque si osservano condizioni pedoclimatiche sostanzialmente simili, soprattutto come quantità di pioggia media totale annua.

In ogni caso soprattutto in primavera il QBS migliora maggiormente sotto pannello come risposta positiva agli input pluviometrici.

5.1.2 Indice di Fertilità Biologica (IBF).

Il metodo di determinazione è descritto dall'Atlante di indicatori della qualità del suolo (ATLAS. Ed. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Osservatorio Nazionale Pedologico e CRA – Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, Roma – 2006).

Il metodo in oggetto prevede di analizzare i parametri caratterizzanti la biomassa nel suo complesso: contenuto in carbonio organico totale nel suolo (TOC, metodo Springer&Klee), contenuto in carbonio organico ascrivibile alla biomassa microbica (per fumigazione-estrazione), velocità di respirazione della biomassa (incubazione del suolo umido in ambiente ermetico e titolazione con NaOH della CO₂ emessa). Da questi tre parametri principali misurati derivano per calcolo alcuni indici: respirazione basale (CO₂ emessa nelle 24 ore), quoziente metabolico (respirazione in funzione della quantità di biomassa microbica), quoziente di mineralizzazione (velocità di emissione di CO₂ in rapporto alla quantità di carbonio organico totale).

A ciascuno dei parametri determinati analiticamente o calcolati (carbonio organico totale, carbonio microbico, respirazione basale, quoziente metabolico e quoziente di mineralizzazione) si attribuisce un punteggio in funzione del valore, in base a quanto riportato nelle tabelle che seguono. Si sommano poi i punteggi per arrivare a quello totale, secondo il quale si determina la classe di fertilità biologica.

Parametri utilizzati	Abbreviazione	Unità di misura
Carbonio Organico Totale	C _{org}	%
Respirazione basale	C _{bas}	ppm
Carbonio microbico	C _{mic}	ppm
Quoziente metabolico	qCO ₂	(10 ⁻²) h ⁻¹
Quoziente di mineralizzazione	qM	%

In base ai risultati analitici ottenuti si applica il metodo a punteggio indicato nell'Atlante ministeriale di cui si riportano qui sotto le tabelle, in modo da procedere ad attribuire una delle cinque classi di Fertilità di codesto Indice sintetico di fertilità biologica (IBF) al suolo oggetto di indagine.

Parametri utilizzati	Punteggio				
	1	2	3	4	5
Carbonio Organico Totale	<1	1 – 1,5	1,5 – 2	2 – 3	>3
Respirazione basale	<5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	>20
Carbonio microbico	<100	100 – 200	200 – 300	300 – 400	>400
Quoziente metabolico	>0,4	0,3 – 0,4	0,2 – 0,3	0,1 – 0,2	<0,1
Quoziente di mineralizzazione	<1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	>4

Classe di Fertilità	I	II	III	IV	V
	stanchezza allarme	stress preallarme	media	buona	alta
Punteggio	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25

RISULTATI

Diversamente dal QBS i test statistici hanno dato qualche risultato di significatività per l'IBF, anche se per entrambi gli indici, il numero dei campionamenti è risultato sempre troppo esiguo.

Dall'analisi della varianza eseguita sulle variabili utilizzate per calcolare l'IBF (Tabella 6 Tabella 3) si evince che i valori di sostanza organica e i valori di carbonio microbico del suolo sono dei buoni indicatori in grado di discriminare, in modo statisticamente significativo, solo le diverse stazioni.

Tabella 6 – Anova eseguita sui valori di IBF (in verde è riportato il valore significativo)

	punti sostanza organica	punti resp basale	punti resp cumulativa	punti C microbico	punti quoziente metabolico	punti quoziente mineralizz
F	2,674	0,674	0,926	1,648	0,627	0,576
Pr > F	0,028	0,693	0,501	0,160	0,729	0,769
Stazione	4,867 0,007	0,949 0,429	1,390 0,265	3,526 0,027	0,999 0,407	0,959 0,425
Trattamento	0,590 0,448	0,653 0,425	1,487 0,232	0,088 0,769	0,765 0,389	0,135 0,716
Stazione*Trattamento	1,151 0,345	0,357 0,784	0,255 0,857	0,272 0,845	0,179 0,910	0,326 0,807

In particolare sono state trovate significative le differenze fra le località San Michele, Oviglio e Quattro Cascine, sulla base di due parametri singoli: sostanza organica e carbonio microbico (Figura 19).

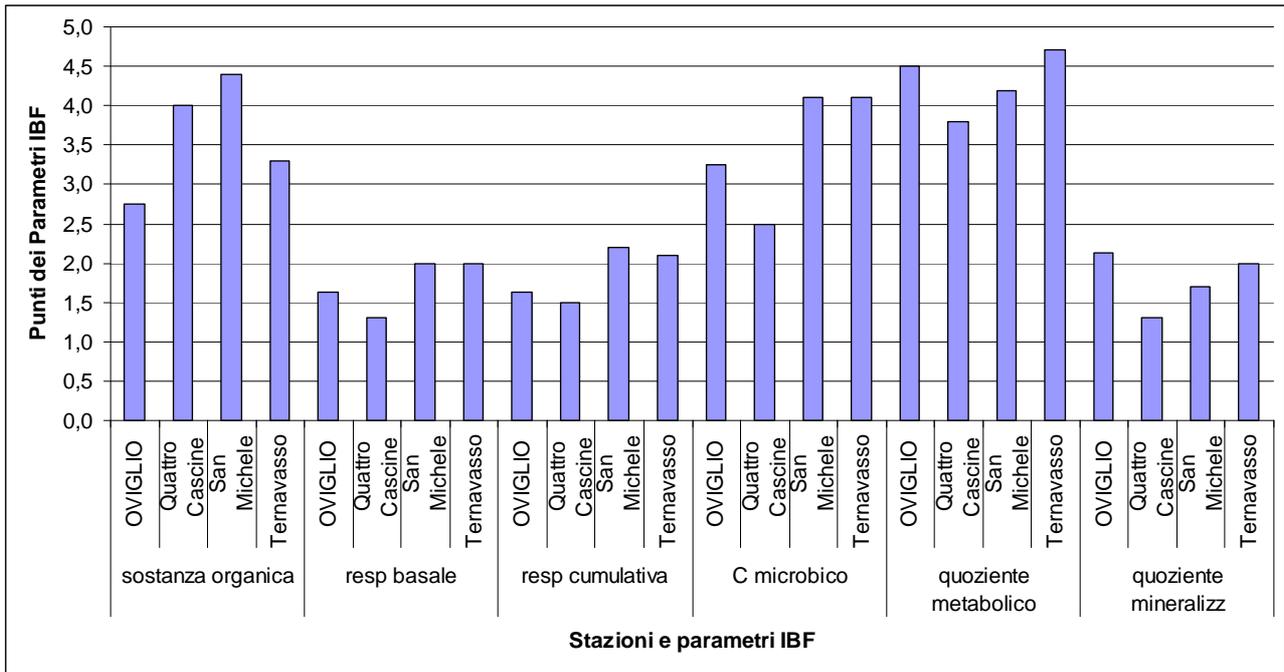


Figura 19- Distribuzione dei valori dei parametri che compongono l'IBF nelle varie stazioni

Dall'esame generale (Figura 20 e Figura 21) dei dati, si può notare come la Fertilità sia più alta a San Michele e Ternavasso, in quanto le classi migliori compaiono soltanto in questi due siti.

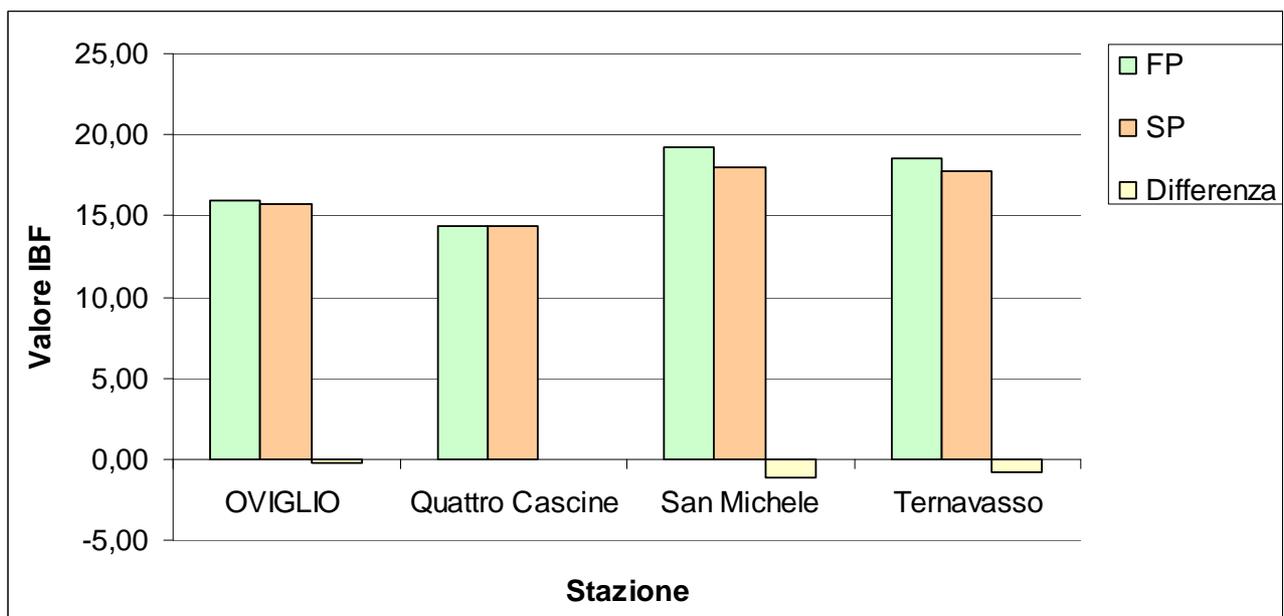


Figura 20- Distribuzione dell'IBF globale nelle quattro stazioni secondo il campionamento fuori pannello e sotto pannello

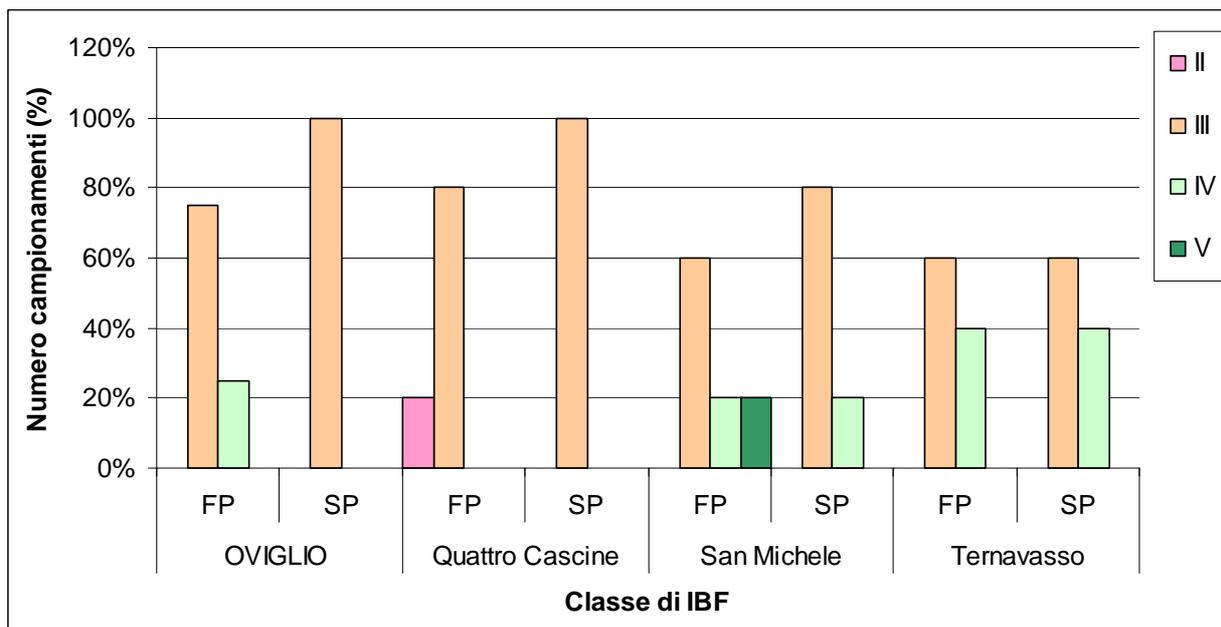


Figura 21- Classi di IBF ripartito le stazioni e il campionamento Fuori e Sotto Pannello

Da Figura 22 invece si desume che il campionamento stagionale fa risaltare il miglioramento della fertilità in corrispondenza delle piogge autunnali, sicuramente più elevate e concentrate rispetto al periodo primaverile, che finisce per essere molto simili agli andamenti estate-inverno, diversamente da quanto evidenziato per il QBS stagionale.

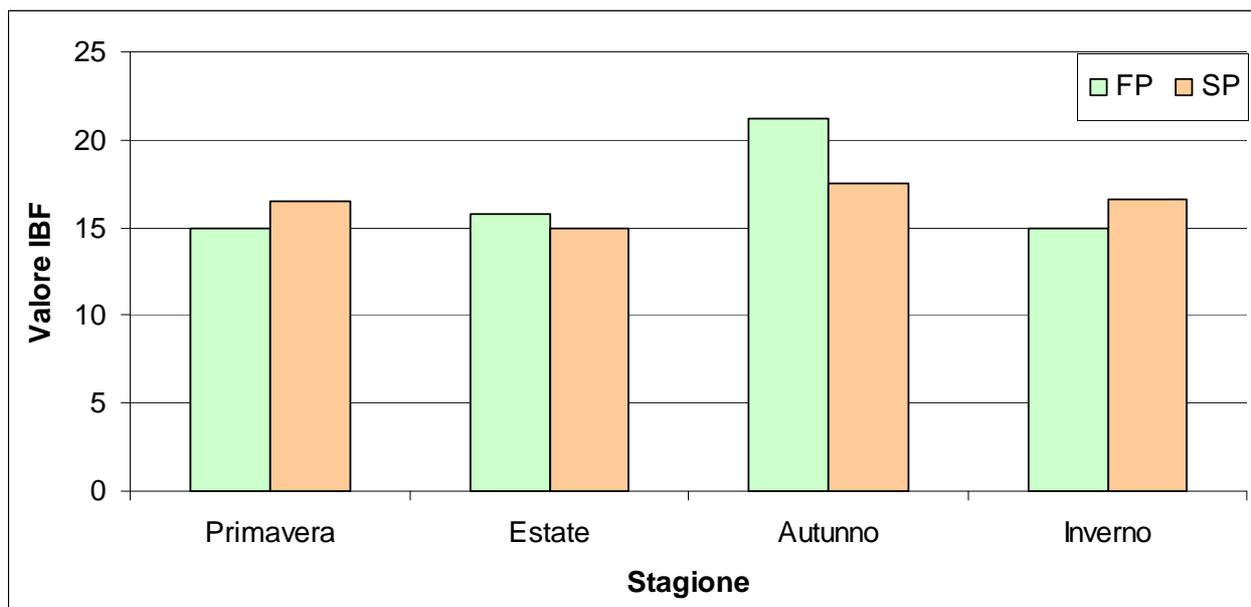


Figura 22- Valori di IBF ripartito secondo le stagioni, le stazioni e il campionamento Fuori e Sotto Pannello

5.1.3 Contenuto di carbonio nei suoli dei siti di monitoraggio.

Per quanto riguarda il carbonio nel suolo, oltre al dato proveniente dai campioni di IBF, inserito nell'apposito grafico (Figura 19), si riportano i dati delle analisi eseguite nel tempo a partire dal momento delle installazioni degli impianti ad oggi (Figura 23).

In due stazioni, Quattro Cascine e San Michele, si registrano incrementi significativi che portano i siti a raggiungere valori di sostanza organica medio-alti e a considerare quindi la gestione agronomica dei siti come positiva.

Diverso andamento si registra ad Oviglio e Ternavasso che partendo da valori molto bassi non raggiungono i valori delle altre località e rimangono su livelli scarsi di sostanza organica.

Si deve però differenziare Oviglio che sta comunque incrementando il valore di carbonio del suolo da Ternavasso in cui il valore stesso rimane costante nel tempo.

E' possibile che a Ternavasso influisca anche l'interazione fra tipo di suolo e tipo di copertura, indubbiamente questo è un fattore negativo di giudizio, non confermato da QBS e IBF secondo i quali Ternavasso è la stazione con qualità del suolo buona.

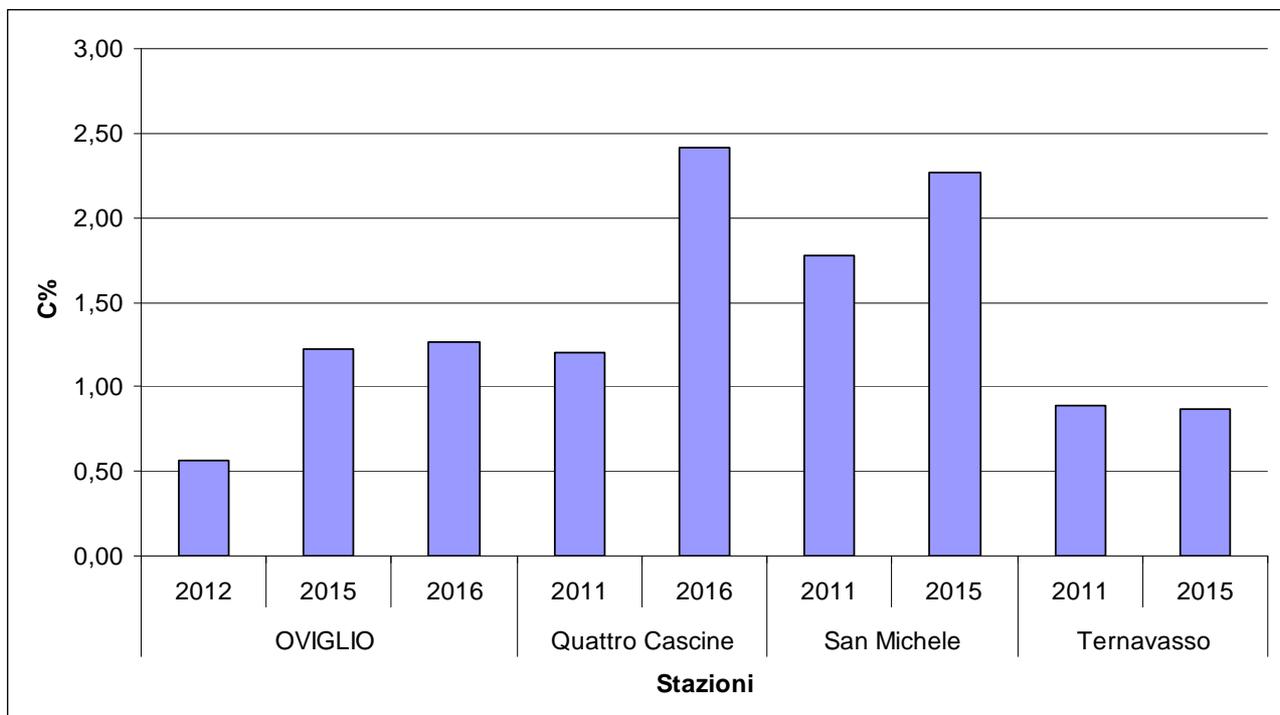


Figura 23- Andamento dei valori di carbonio nei suoli delle 4 stazioni

Per quanto riguarda invece la differenza del contenuto di carbonio fra fuori e sotto pannello (Figura 24), si può notare come gli incrementi in tutte le stazioni siano più alti fuori pannello che sotto pannello, ad eccezione di Oviglio dove avviene il contrario.

Questo trend è in contrasto con quello di IBF e QBS che indica una efficacia della copertura nel migliorare questi indici, mentre per il carbonio sembra che questo effetto non ci sia, anche se per una valutazione completa bisognerebbe aumentare il numero dei campionamenti in modo statisticamente significativo per avere altrettanto significative risposte dal test statistico utilizzato per ora in modo effettivo solo per i dati pedoclimatici e climatici.

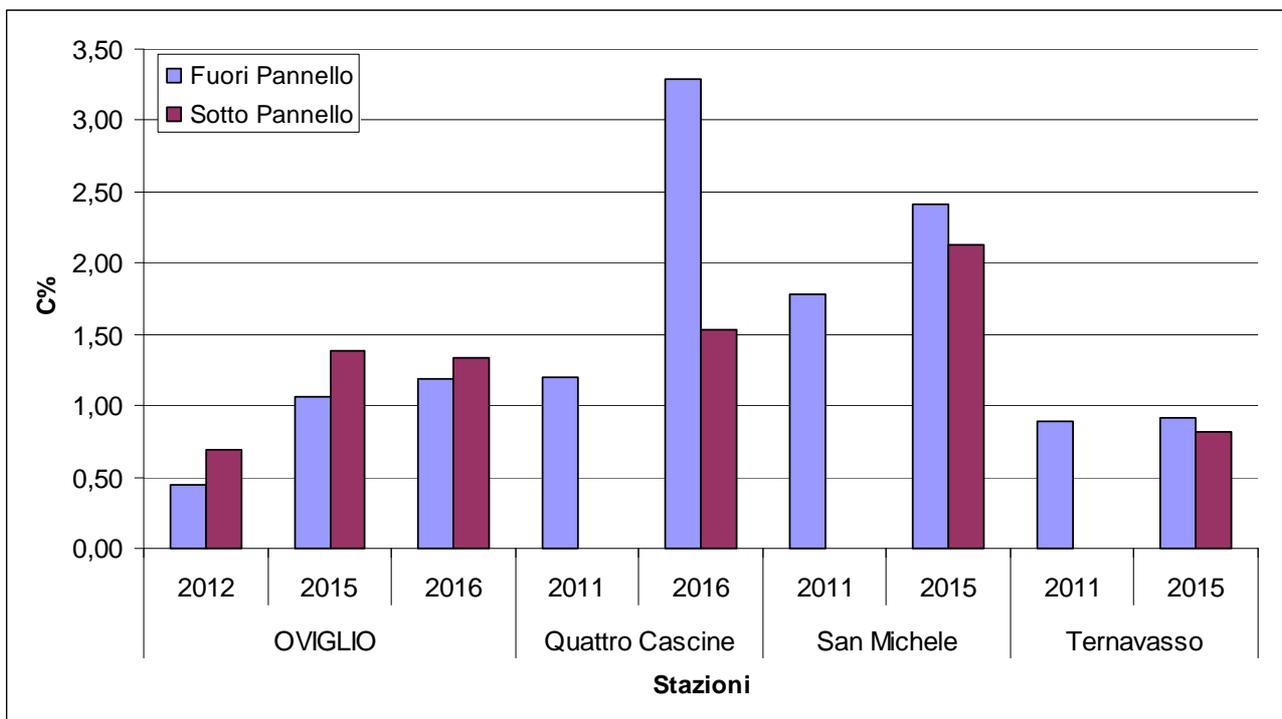


Figura 24- Andamento dei valori di carbonio nei suoli delle 4 stazioni fuori e sotto pannello

6 CONCLUSIONI

Al termine del terzo ciclo di monitoraggio si è ritenuto opportuno realizzare anche un'analisi statistica sui dati raccolti con i rilevamenti pedoclimatici delle centraline. Allo stato attuale, come ipotizzabile, solo questo tipo di dati ha consentito delle risposte statisticamente significative, ma si è ritenuto opportuno corredare questi risultati anche con un set di dati riassuntivi delle analisi svolte per determinare la qualità del suolo, con i 2 indici prescelti (QBS e IBF) in modo da fornire una prima indicazione orientativa sugli effetti delle coperture da fotovoltaico sul suolo.

Alla luce dei risultati emersi dalle elaborazioni si può affermare che gli effetti delle coperture siano tendenzialmente positivi, come si evince dai commenti parziali riportati nei paragrafi specifici.

Tali considerazioni, però, dovranno essere confermate dall'elaborazioni dei dati che si potranno ottenere dal prossimo ciclo di monitoraggio, previsto dal Protocollo Regionale, soprattutto per avere una più robusta analisi dei dati di QBS e IBS da processare statisticamente.

Infine, va ribadito, che questi effetti positivi sul suolo sono solo una parte delle valutazioni ambientali da effettuare nel campo delle applicazioni del fotovoltaico; in particolare va anche tenuto conto che al termine del ciclo di utilizzo di queste strutture si dovrà procedere alla loro rimozione, con evidenti ricadute sul suolo e più in generale sull'ambiente.

7 ATTIVITÀ DI ASSISTENZA TECNICA

Come di consueto, nell'ambito di questo progetto di monitoraggio, IPLA fornisce anche il supporto tecnico all'Assessorato Agricoltura di Regione Piemonte per la formulazione di pareri ed approfondimenti sulla Capacità d'Uso dei suoli, che è stata adottata con DGR 4/5/2009 n. 32-11356. Tale supporto, in particolare, viene attivato a fronte di progetti di opere ed infrastrutture che comportano impermeabilizzazione/consumo dei suoli, così come, nel recente passato, nella scelta dei siti in cui prevedere l'installazione di impianti fotovoltaici in pieno campo, in accordo a quanto previsto dalla DGR 8 febbraio 2010, n. 88-13271.

L'attività di IPLA si esplica nella formulazione di pareri sulle relazioni pedologiche prodotte dai soggetti proponenti il progetto, secondo la metodologia approvata con DGR 8 febbraio 2010, n. 88-13271. La valutazione viene effettuata sulla base dei dati e delle informazioni contenute nel Sistema Informativo Pedologico dell'IPLA.

Durante quest'anno sono stati formulati i seguenti pareri:

- richiesta di riclassificazione della capacità d'uso di appezzamento sito in comune di Caraglio (CN), al fine di nuova edificazione non finalizzata ad attività agricola.
- parere sul Progetto definitivo della Variante Strutturale al P.R.G.C. – Elaborato F (Relazione Pedologica - del Comune di Castelamonte;
- parere ed indicazioni di metodo sulla carta della Capacità d'Uso del Suolo (Tav. 2/F), contenuta nel progetto definitivo della variante Generale del PRG del Comune di Alpignano.

Tali pareri sono stati formulati sulla base dei dati e delle cartografie contenute nel Sistema Informativo Pedologico I.P.L.A. Nell'ambito di tale attività si è inoltre proceduto alla verifica della documentazione pervenuta all'Assessorato Agricoltura, relativa alle periodiche analisi dei suoli, previste nel protocollo di monitoraggio aziendale, riguardante i campi fotovoltaici in essere.

Bibliografia

- 📖 ANGELINI et al., 2002. Tecniche di biomonitoraggio della qualità del suolo. ARPA Piemonte.
- 📖 ALTIERI M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19–31
- 📖 ARPA 2002. Tecniche di biomonitoraggio della qualità del suolo. ISBN 88-7479-003-1
- 📖 BATEY T., 2009. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use and Management*, 25, 335-345
- 📖 D’AVINO L., 2002. Esposizione della qualità biologica del suolo (QBSar) e proposta della standardizzazione delle procedure - Depositato presso il Museo di Storia Naturale, Dipartimento di Biologia Evolutiva e Funzionale, Università degli Studi di Parma. Parma.
- 📖 I.P.L.A., REGIONE PIEMONTE,. 2010. La Carta della capacità d'uso dei suoli del Piemonte a scala 1:250.000 con Note illustrative. Selca, Firenze.
- 📖 I.P.L.A., REGIONE PIEMONTE,. 2010. Linee guida per il monitoraggio del suolo su superfici agricole destinate ad impianti fotovoltaici a terra. D.D. 27 settembre 2010, n. 1035. Bollettino Ufficiale della Regione Piemonte n. 45 del 11/11/2010
- 📖 I.P.L.A., REGIONE PIEMONTE,. 2009. Atlante dei suoli del Piemonte. Quattro Serie di Atlanti e Note illustrative. Servizi Grafici, Bricherasio (TO).
- 📖 I.P.L.A., REGIONE PIEMONTE, 2007. La Carta dei suoli del Piemonte a scala 1:250.000 con Note illustrative e cd. Selca, Firenze.
- 📖 I.P.L.A., REGIONE PIEMONTE, 2010. Capacità d’uso dei Suoli. Manuale di campagna per il rilevamento e la descrizione dei suoli .Documento di supporto.
- 📖 MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI, 2000. Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo, Metodi di analisi chimica del suolo, FrancoAngeli,
- 📖 MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI, 2003. Osservatorio Nazionale Pedologico, Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo, CRA, Roma,.
- 📖 MINISTERO DELLE RISORSE AGRICOLE, ALIMENTARI E FORESTALI, 1994. Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo. Roma.
- 📖 MOONEN A.C., BARBERI P., 2008. Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127, 7-21

- 📖 MUNSELL, 1982. Soil Color Chart. Macbeth, New York.
- 📖 SOIL SURVEY STAFF , 2014. Keys to Soil Taxonomy, Twelfth edition. USDA - Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- 📖 SOIL SURVEY STAFF, 1993. Soil Survey Manual.

ALLEGATI CARTACEI

Schede descrittive dei profili pedologici rilevati con analisi chimico-fisiche.

PROFILO PEDOLOGICO ALES0094

Localizzazione CASCINA ARNUZZA (OVIGLIO) FUORI PANNELLO

Data descrizione 29-06-2016



CARATTERI STAZIONALI

Pendenza: 0°

Esposizione: 0°

Quota: 110 m s.l.m.

Parent material: Fluviale, Alluvionale

Litologia: Limi (0.05-0.002 mm);

Morfologia dell'ambiente entro cui si trova il profilo: terrazzo uniforme

Morfologia della stazione del profilo: terrazzo lievemente ondulato.

Uso del suolo: Altre utilizzazioni

Rocciosità % : 0

Pietrosità % 0

CARATTERI DEL SUOLO

Regime di umidità: Ustico

Regime di temperatura: Mesico

Classificazione Soil Taxonomy: Typic Haplustalf, fine-silty, mixed, nonacid, mesic

Legenda Carta dei Suoli: Alfisuoli di pianura non idromorfi e non ghiaiosi

Descrizione degli orizzonti

"Orizzonte Ap/E: 0 - 45 cm; umido; colore bruno giallastro scuro (10YR 5/3); tipo colore ossidato; tessitura franco limosa; scheletro assente; struttura a zolle; macropori scarsi, con dimensioni medie 1-5 mm; moderatamente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; moderatamente plastico; suolo non calcareo; concentrazioni primarie costituite da masse di Fe-Mn 3 %, con dimensioni medie di 1mm presenti nella matrice; pellicole assenti; limite inferiore chiaro ed ondulato."

"Orizzonte Bt1: 45 - 90 cm; umido; colore bruno giallastro (10YR 5/6); colore delle facce bruno (7,5YR 4/4); tipo colore ossidato; tessitura franco limosa; scheletro assente; struttura prismatica colonnare media di grado forte; macropori scarsi, con dimensioni medie 1-5 mm; moderatamente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; moderatamente plastico; suolo non calcareo; concentrazioni primarie costituite da masse di Fe-Mn 5 %, con dimensioni medie di 3mm presenti nella matrice; pellicole di argilla 12 %; presenti sulle facce degli aggregati; limite inferiore chiaro ed ondulato."

"Orizzonte Bt2: 90 - 130 cm; umido; colore bruno (7,5YR 4/3); colore subordinato bruno (7,5YR 4/4); tessitura franco limosa; scheletro assente; struttura prismatica colonnare grossolana di grado moderato; macropori scarsi, con dimensioni medie 1-5 mm; moderatamente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; moderatamente plastico; suolo non calcareo; concentrazioni primarie costituite da masse di Fe-Mn 7 %, con dimensioni medie di 4mm; presenti nella matrice; pellicole di argilla 10 % presenti sulle facce degli aggregati; limite inferiore sconosciuto."



Analisi chimico-fisiche del pedon rappresentativo

	Ap/E	Bt1	Bt2
Limite superiore	0	45	90
Limite inferiore	45	90	130
pH in H ₂ O	5,6	6,2	6,7
Scheletro %	0	0	0
Sabbia grossolana %	2,7	1	0,4
Sabbia fine %	3	13	21,4
Sabbia molto fine %	10,7	n.d.	n.d.
Limo grossolano %	42,1	32,7	27,4
Limo fine %	24,8	35,9	24,5
Argilla %	16,7	17,4	26,3
CaCO ₃ %	0,0	0,0	0,0
C organico %	0,97	0,77	0,73
N %	n.d.	n.d.	n.d.
C/N	n.d.	n.d.	n.d.
Sostanza organica %	1,68	1,33	1,25
C.S.C. meq/100g	16,8	16,6	n.d.
Ca meq/100g	n.d.	n.d.	n.d.
Mg meq/100g	n.d.	n.d.	n.d.
K meq/100g	n.d.	n.d.	n.d.
Na meq/100g	n.d.	n.d.	n.d.
Fosforo assimilabile	18,6	n.d.	n.d.
Saturazione basica %	n.d.	n.d.	n.d.

PROFILO PEDOLOGICO ALES0095

Localizzazione CASCINA ARNUZZA (OVIGLIO) SOTTO PANNELLO
Data descrizione 29-06-2016



CARATTERI STAZIONALI

Pendenza: 0°

Esposizione: 0°

Quota: 110 m s.l.m.

Parent material: Fluviale, Alluvionale

Litologia: Limi (0.05-0.002 mm);

Morfologia dell'ambiente entro cui si trova il profilo: terrazzo uniforme

Morfologia della stazione del profilo: terrazzo lievemente ondulato

Uso del suolo: Altre utilizzazioni

Rocciosità % : 0

Pietrosità % 0

CARATTERI DEL SUOLO

Regime di umidità: Ustico

Regime di temperatura: Mesico

Classificazione Soil Taxonomy: Typic Haplustalf, fine-silty, mixed, nonacid, mesic

Legenda Carta dei Suoli: Alfisuoli di pianura non idromorfi e non ghiaiosi

Descrizione degli orizzonti

"Orizzonte Ah: 0 - 40 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y5/3); tipo colore ossidato; tessitura franco limosa; scheletro assente; struttura a zolle; macropori comuni, con dimensioni medie 1-5 mm; moderatamente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; moderatamente plastico; suolo non calcareo; concentrazioni primarie costituite da masse di Fe-Mn 5 %, con dimensioni medie di 1mm presenti nella matrice; pellicole assenti; limite inferiore chiaro e lineare."

"Orizzonte Bt1: 40 - 60 cm; umido; colore bruno (10YR 4/3); colore delle facce bruno (10YR 4/3); tipo colore ossidato; tessitura franco limosa argillosa; scheletro assente; struttura poliedrica subangolare media di grado debole; macropori comuni, con dimensioni medie 1-5 mm; radicabilità 80%; moderatamente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; moderatamente plastico; suolo non calcareo; concentrazioni primarie costituite da masse di Fe-Mn 6 %, con dimensioni medie di 2 mm; presenti nella matrice; pellicole di argilla 5 % presenti sulle facce degli aggregati; limite inferiore chiaro e lineare."

"Orizzonte Bt2: 60 - 90 cm; umido; colore bruno (10YR 4/3); colore delle facce bruno scuro (7,5YR 3/3); tessitura franco limosa; scheletro assente; struttura poliedrica subangolare grossolana di grado moderato; macropori scarsi, con dimensioni medie 1-5 mm; radicabilità 70%; moderatamente resistente; cementazione molto debole; debolmente adesivo; moderatamente plastico; suolo non calcareo; concentrazioni primarie costituite da masse di Fe-Mn 1 %, con dimensioni medie di 1mm; presenti presenti nella matrice; pellicole di argilla 10 %; presenti sulle facce degli aggregati; limite inferiore sconosciuto."



Analisi chimico-fisiche del pedon rappresentativo

	Ah	Bt1	Bt2
Limite superiore	0	40	60
Limite inferiore	40	60	90
pH in H ₂ O	5,4	6,1	6,6
Scheletro %	0	0	0
Sabbia grossolana %	1,7	0,6	1
Sabbia fine %	2,6	13,3	15
Sabbia molto fine %	16,8	n.d.	n.d.
Limo grossolano %	37	29,3	33,2
Limo fine %	23,6	28,3	26,7
Argilla %	18,3	28,5	24,1
CaCO ₃ %	0,0	0,0	0,0
C organico %	2,27	1,62	0,98
N %	n.d.	n.d.	n.d.
C/N	n.d.	n.d.	n.d.
Sostanza organica %	3,91	2,79	1,69
C.S.C. meq/100g	19,3	22,7	n.d.
Ca meq/100g	n.d.	n.d.	n.d.
Mg meq/100g	n.d.	n.d.	n.d.
K meq/100g	n.d.	n.d.	n.d.
Na meq/100g	n.d.	n.d.	n.d.
Fosforo assimilabile	24,4	n.d.	n.d.
Saturazione basica %	n.d.	n.d.	n.d.