

**CONVENZIONE**

*“ANALISI E VALUTAZIONE DEI DATI DI SALINITÀ IN RELAZIONE AL METODO DI MISURA DI LABORATORIO E DI CAMPAGNA E ALLA DEFINIZIONE DI FUNZIONI DI TRASFERIMENTO PER LA STIMA DELLA DENSITÀ APPARENTE DEI SUOLI A TESSITURA GROSSOLANA”*



**ANALISI E VALUTAZIONE DEI DATI DI SALINITÀ IN RELAZIONE AL  
METODO DI MISURA DI LABORATORIO E DI CAMPAGNA**

a cura di Costanza Calzolari e Fabrizio Ungaro



**Istituto di Ricerca per la  
Protezione Idrogeologica**

**CNR IRPI**

**ISTITUTO DI RICERCA PER LA PROTEZIONE IDROGEOLOGICA  
U.O.S. di FIRENZE - PEDOLOGIA APPLICATA**

Via Madonna del Piano 10, I-50019 Sesto F.no - Firenze

## 1. Stima della conducibilità in pasta satura a partire di EC<sub>1:5</sub>

Il lavoro presentato in questo report completa quello del report 1.1 dicembre 2010 e, come il precedente, riporta i risultati dell'analisi di dati pre-esistenti e di recente acquisizione (2010) nella banca dati del suolo del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli ai fini della valutazione di possibili criteri alternativi per la stima della conducibilità elettrica EC<sub>e</sub> (estratto a saturazione) a partire da dati disponibili determinati con il metodo EC<sub>1:5</sub> e EC<sub>1:2.5</sub> (estratto a rapporto acqua/soilo 5:1 e 2.5:1 rispettivamente) utilizzando differenti coefficienti di trasformazione, siano questi reperiti in letteratura o determinati a partire dalle misure disponibili in banca dati.

### 1.1 Dati disponibili

Pur essendo disponibili tutti i dati esistenti nella banca dati RER relativi a valori di conducibilità dell'estratto saturo, stimati con fattore di conversione 6.4 da misure sull'estratto 1:5, ai fini del lavoro sono stati utilizzati solo i dati per i quali siano disponibili per lo stesso orizzonte almeno due diverse determinazioni, cioè l'estratto in pasta satura e l'estratto a 1:5 o quello a 1:2.5. Sono inoltre stati acquisiti i dati relativi a 40 trivellate (158 campioni) effettuate nell'inverno 2009-2010, per le quali sono state rese disponibili 93 misure di EC<sub>e</sub>, 97 misure di EC<sub>1:5</sub> e 98 di misure EC<sub>1:2.5</sub>. Per le medesime trivellate sono infine disponibili letture effettuate in campo e in ufficio con lo strumento FieldScout (40 allo stato di umidità di campo; 28 a saturazione di campo; 152 misure su pasta satura in ufficio). A questi dati si sono poi aggiunti i dati relativi ad altre misure effettuate nel tempo da RER, e precisamente 14 misure di EC 1:2.5, 40 di EC<sub>1:5</sub> e 40 di EC<sub>e</sub>. Infine sono stati acquisiti ulteriori dati (N = 24) al fine di colmare l'assenza di dati nell'intervallo di EC 1:5 tra 0.5 e 1.,4 dSm-1 evidenziato nelle elaborazioni presentate nel rapporto 1.1.

### 1.2 Esame bibliografico

L'archivio dei dati della RER comprende quasi esclusivamente misure della conducibilità elettrica dell'estratto acquoso di sospensioni suolo acqua a rapporto 1:5. Per verificare la robustezza della stima della EC<sub>e</sub> utilizzando il fattore di conversione di 6.4 (per suoli poveri in gesso, Talsma, 1968 come riportato in Landon, 1984), sono stati esaminate alcune relazioni empiriche esistenti nella letteratura internazionale.

In uno studio su 30 campioni di suoli agricoli dell'Oman, Ahmed et al (2006) trovano una relazione dalla forma:

$$EC_e = 9.70 * EC_{1:5} \quad R^2 = 0.98 \quad [1]$$

In Asia centrale, Shirokova et al (2000) trovano un fattore di conversione fra EC<sub>1:5</sub> e EC<sub>e</sub> di 5.6 (R<sup>2</sup> 0.54), mentre Ozcan et al. (2006, in Sonmez et al, 2008) definisce una relazione dalla forma:

$$EC_e = (5.97 * EC_{1:5}) - 1.17 \quad [2]$$

Ancora, Triantafyllis et al. (2000) trovano per 50 campioni di suoli australiani una relazione dalla forma:

$$EC_e = 6.3 * EC_{1:5} - 0.20 \quad R^2 = 0.93 \quad [3]$$

Altre relazioni utilizzate sono quelle di Slavich e Peterson (1993), che definiscono, su un data set di 344 campioni di suoli australiani, fattori di conversione legati al contenuto idrico del suolo a saturazione,  $\theta_{SP}$ :

$$EC_e = f EC_{1:5} \quad [4]$$

$$f = 2.46 + 3.03 / \theta_{SP} \quad [5]$$

Considerando  $\theta_{SP}$  come funzione del contenuto di argilla gli autori trovano fattori di conversione,  $f$ , che variano da  $> 17.6$ , nel caso di suoli sabbiosi, a  $< 6.7$  nel caso di suoli argillosi.

Sonmez et al. (2008) hanno condotto uno studio sperimentale addizionando con soluzioni saline a composizione e concentrazione note 3 suoli di tessitura differente, argillosa, franca e sabbiosa. I fattori di conversione trovati variano da 7.98 per il suolo sabbioso a 7.19 per il suolo argilloso.

La relazione generale ha la seguente forma:

$$EC_e = 7.68 * EC_{1:5} - 0.16 \quad R^2 = 0.98 \quad [6]$$

Il problema dell'utilizzazione di relazioni empiriche, o semiempiriche come quelle di Slavich e Peterson (1993), è duplice: da una parte queste risentono del data set di calibrazione; dall'altra non considerano il chimismo delle soluzioni, e specificatamente l'influenza di sali a solubilità limitata come il gesso.

In un recente lavoro, Visconti et al (2010) hanno esaminato 135 campioni di suoli del SE della Spagna. Da questo studio risulta che la  $EC_{1:5}$  è una misura attendibile per la stima della  $EC_e$  solo al di sotto di valori inferiori a  $1 \text{ dS m}^{-1}$ :

$$\text{if } EC_{1:5} < 1 \text{ dS m}^{-1} \rightarrow EC_e = (-0.2 + 5.7 * EC_{1:5}) - 1.2 \quad R^2 = 0.89 \quad [7]$$

Per valori di  $EC_{1:5}$  superiori a  $1 \text{ dS m}^{-1}$  la linearità della relazione si perde ( $R^2 = -0.12$ ).

Per valori di  $EC_{1:5} > 2.4 \text{ dS m}^{-1}$ , l' $EC_{1:5}$  può essere considerata un proxy affidabile solo se l'estratto 1:5 è saturato di gesso (gesso superiore a 1.5%) o quando l'estratto saturo è privo di gesso (gesso totale  $< 0.2\%$ ). Nell'intervallo di  $EC_{1:5}$  compreso fra 1 e  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$ , il valore di  $EC_{1:5}$  è poco correlato con l' $EC_e$ , che in questo intervallo presenta valori compresi fra 4 e  $14 \text{ dS m}^{-1}$ , a meno che il contenuto in gesso totale sia inferiore a 0.2%. Gli autori concludono che sarebbe necessario sviluppare diverse equazioni per diversi contenuti in gesso.

### **1.3 Esame preliminare dei dati**

I dati ad oggi disponibili sono 181, ricondotti a 56 osservazioni pedologiche caratterizzate da una diversa disponibilità di dati. A quasi tutti gli orizzonti è inoltre associata una classe tessiturale, mentre sono solo cinque le osservazioni non ricondotte ad una qualche UTS del catalogo dei suoli regionali. Purtroppo la non uniforme disponibilità di dati per ciascun orizzonte non rende possibile la calibrazione di regressioni multiple che prendano in considerazione le frazioni tessiturali ( $N = 53 - 55$ ) o la sostanza organica ( $N=53$ ); l'unica variabile utilizzabile a tal fine, data la consistenza numerica, è il pH ( $N=181$ ), cui si potrebbe eventualmente aggiungere il valore stimato di una frazione granulometrica.

	Num	Media	Std. Dev.	Min	Median	Max
Sabbia, %	55	34.88	38.10	0.28	10.00	93.60
Limo, %	53	31.82	18.27	4.00	36.90	68.00
Argilla, %	53	32.15	24.94	1.80	32.30	75.00
pH in H <sub>2</sub> O	181	7.77	0.84	3.80	8.00	9.19
Sost. Org. %	53	1.80	2.76	0.02	1.10	18.57
EC 1:2.5, dSm <sup>-1</sup>	155	1.26	2.12	0.09	0.34	15.49
EC 1:5, dSm <sup>-1</sup>	162	0.76	1.29	0.05	0.22	9.07
EC <sub>e</sub> , dSm <sup>-1</sup>	172	2.50	3.01	0.27	1.12	21.74
EC <sub>e_fs</sub> , dSm <sup>-1</sup>	107	0.96	1.39	0.11	0.50	10.03

Tabella 1. Statistiche descrittive del data set fornito dal SGSS-RER.

In tabella 1 sono riportate le statistiche descrittive del data set completo fornito dal SGSS. Il controllo sui dati ha portato all'esclusione dalle successive elaborazioni di cinque misure relative al profilo A2701V009 (RSD), data l'incongruenza tra i valori di EC in estratto e quelli in pasta satura. Si è inoltre ritenuto opportuno inserire nell'analisi il valore di EC<sub>e</sub> stimato a partire dalla misura con il field scout per le osservazioni E5019T0029 (2° e 3° orizzonte) e E5019T0035 (3° e 4° orizzonte), in modo da poter avere valori di EC<sub>e</sub> ed EC misurata con i diversi metodi anche all'estremo superiore della distribuzione osservata per le misure in estratto. Nella tabella 2 sono riportate le statistiche descrittive del data set suddiviso al suo interno in quattro gruppi in base alla tessitura dei suoli:

- O: orizzonti organici e tutti gli orizzonti (anche minerali) se appartengono a Histosuoli (VME1, CSP1, CLN1) o a suoli con orizzonti organici molto caratterizzanti es (LCO1);
- C: orizzonti argillosi con classi USDA A e AL
- L: orizzonti di medio impasto con classi USDA FLA, FL, F, FA, L ed FS
- S: orizzonti sabbiosi con classi USDA S ed SF

GRUPPO_TXT	EC1:2.5 Means	EC1:2.5 N	EC1:2.5 Std.Dev.	EC 1:5 Means	EC 1:5 N	EC 1:5 Std.Dev.	ECe Means	ECe N	ECe Std.Dev.
L	0.725	69	1.397	0.428	76	0.829	1.795	74	2.115
C	1.030	26	1.019	0.574	40	0.539	2.244	40	2.223
S	0.677	40	0.849	0.155	21	0.110	3.184	40	4.729
O	4.541	20	3.688	2.953	20	2.140	6.576	17	5.204
All Grps	1.256	155	2.125	0.750	157	1.300	2.700	171	3.563

GRUPPO_TXT	ECe fs Means	ECe fs N	ECe fs Std.Dev.	pH H <sub>2</sub> O Means	pH H <sub>2</sub> O N	pH H <sub>2</sub> O Std.Dev.	clay% Means	clay% N	clay% Std.Dev.
L	0.640	60	0.742	7.898	76	0.711	23.128	75	9.494
C	0.611	13	0.111	7.978	40	0.333	52.255	33	9.955
S	0.326	16	0.223	8.031	40	0.462	3.723	35	1.636
O	2.839	18	2.331	6.317	20	1.233	18.563	16	9.736
All Grps	0.959	107	1.386	7.767	176	0.853	24.442	159	18.244

Tabella 2.

In figura 1 sono riportate le medie, l'errore standard e l'intervallo di confidenza della EC<sub>e</sub> nei quattro gruppi tessiturali. Gli orizzonti organici (N = 17) mostrano i valori di EC<sub>e</sub> mediamente più elevati (6.58 dSm<sup>-1</sup>) e significativamente diversi da quelli osservati per gli altri tra gruppi ( $p < 0.05$ ), seguiti dagli orizzonti sabbiosi e sabbioso franchi (3.18 dSm<sup>-1</sup>), che però non si differenziano significativamente da quelli fini (2.22 dSm<sup>-1</sup>) e da quelli a medio impasto (2.11 dSm<sup>-1</sup>). I valori misurati sui due estratti acquosi e con il field scout mostrano tutti valori mediamente più bassi per gli orizzonti grossolani rispetto a quelli franchi e fini.

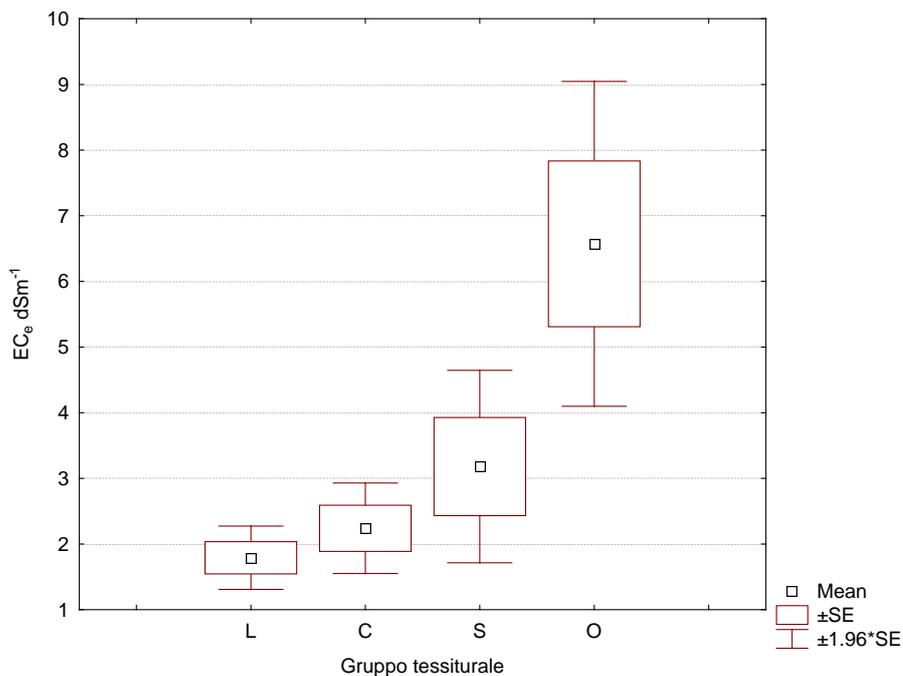


Figura 1.  $EC_e$ , valori medi, errore standard e intervallo di confidenza per subset di campioni di orizzonti a diversa tessitura: C (N=40), orizzonti fini; L (N=74), orizzonti franchi; S (N=40), orizzonti grossolani; O (N=17), orizzonti organici.

In figura 2 sono infine riportate le correlazioni fra  $EC_e$ ,  $EC_{1:5}$ , pH e argilla%; queste sono significative con il pH ( $r = -0.69$  e  $-0.58$  rispettivamente per  $EC_{1:5}$  e  $EC_e$ ) mentre non lo sono con l'argilla ( $r = 0.01$  e  $0.04$  rispettivamente per  $EC_{1:5}$  e  $EC_e$ ).

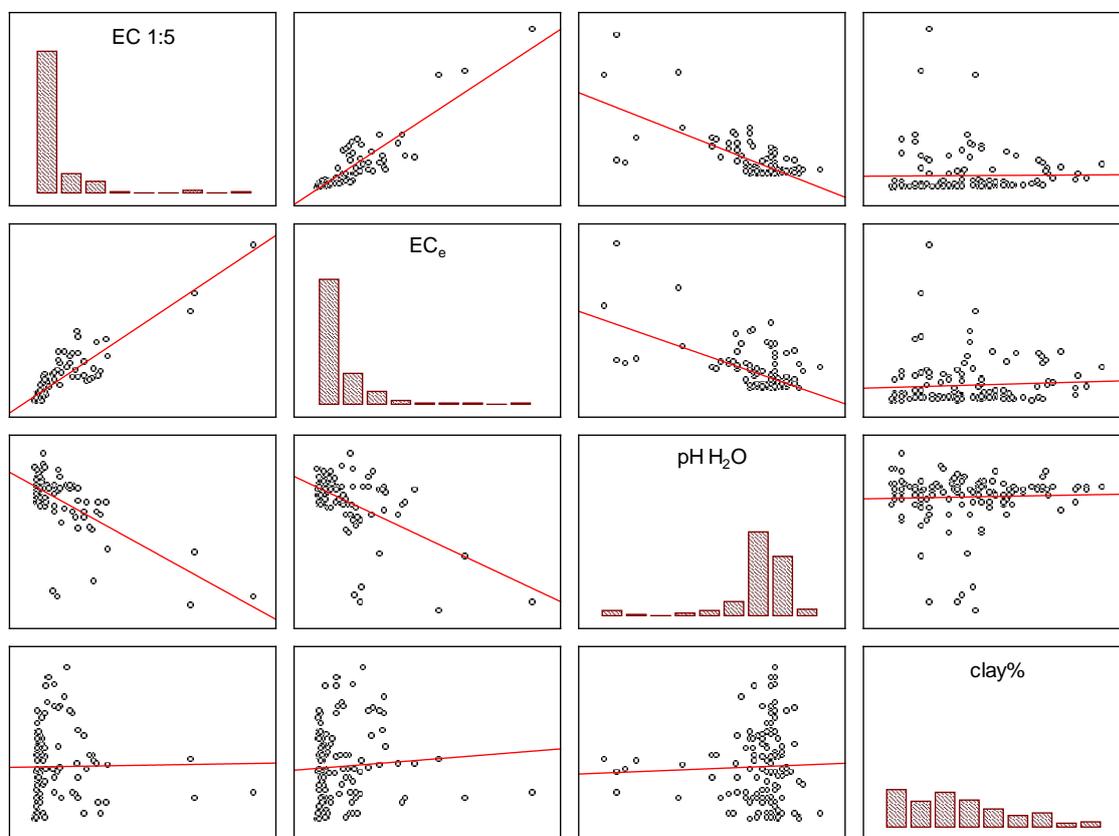


Figura 2. Correlazioni fra  $EC_e$ ,  $EC_{1:5}$ , pH e argilla% per l'intero data set

#### 1. 4 Relazione fra conducibilità elettrica dell'estratto a saturazione e 1:5

L'andamento della relazione fra la conducibilità elettrica dell'estratto 1:5,  $EC_{1:5}$ , e la conducibilità elettrica dell'estratto a saturazione,  $EC_e$ , è riportata nel grafico in figura 3.

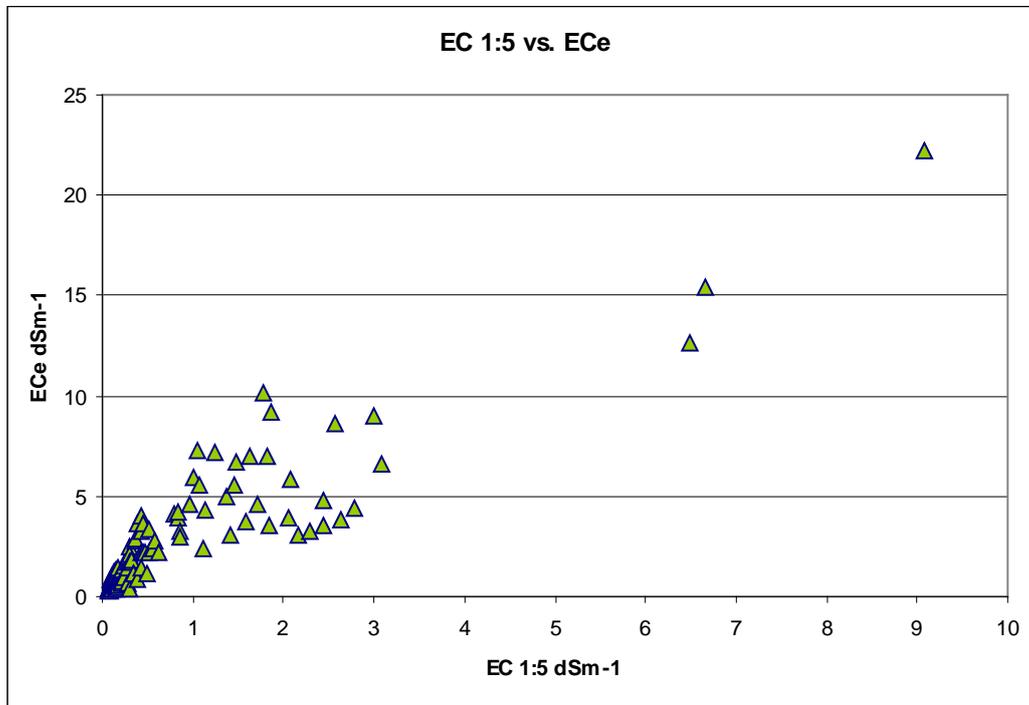


Figura 3.  $EC_e$  vs  $EC_{1:5}$  ( $dSm^{-1}$ ).

Dall'esame del grafico si nota che i punti si dispongono in tre aree distinte: sulla sinistra per bassi valori di conducibilità 1:5,  $EC_e$  e  $EC_{1:5}$  mostrano una più evidente relazione lineare; nella parte destra, per valori intermedi di  $EC_{1:5}$ , la relazione diviene meno chiara e mostra un andamento meno inclinato. Per i valori più elevati di  $EC$ , la linearità diviene nuovamente più chiara, anche se i punti disponibili sono scarsi.

Per controllare quale sia il punto limite per ottimizzare la correlazione fra  $EC_e$  e  $EC_{1:5}$ , sono stati plottati i coefficienti di correlazione tra le due variabili  $EC_e$  e  $EC_{1:5}$  nell'intervallo fra  $EC_{1:5} = 0.1$  e  $9.1$ , valore massimo misurato e  $EC_{1:5}$  (figura 4).

Dall'esame del grafico si vede che la correlazione fra le due variabili decresce nell'intervallo  $0.188 dSm^{-1} > EC_{1:5} > 0.111 dSm^{-1}$ , quindi sale fino ad un massimo locale per valori pari a  $1.1 dSm^{-1}$ , quindi raggiunge un minimo locale per il valore di circa  $2.5 dSm^{-1}$ , per poi risalire per i valori più elevati di conducibilità elettrica.

Questo andamento dei coefficienti di correlazione è analogo a quanto riscontrato da Visconti et al (2010) su campioni di suoli spagnoli, anche se questi autori non rilevano il decremento iniziale e pongono il massimo locale di correlazione fra  $EC_e$  e  $EC_{1:5}$  in corrispondenza di  $EC_{1:5} = 1$ .

Riportando l'asse delle ascisse in scala logaritmica, ed evidenziando con colori diversi i dati con  $EC_{1:5} < 1.1$  e  $> 1.1 dSm^{-1}$ , si ha il grafico riportato in figura 5.

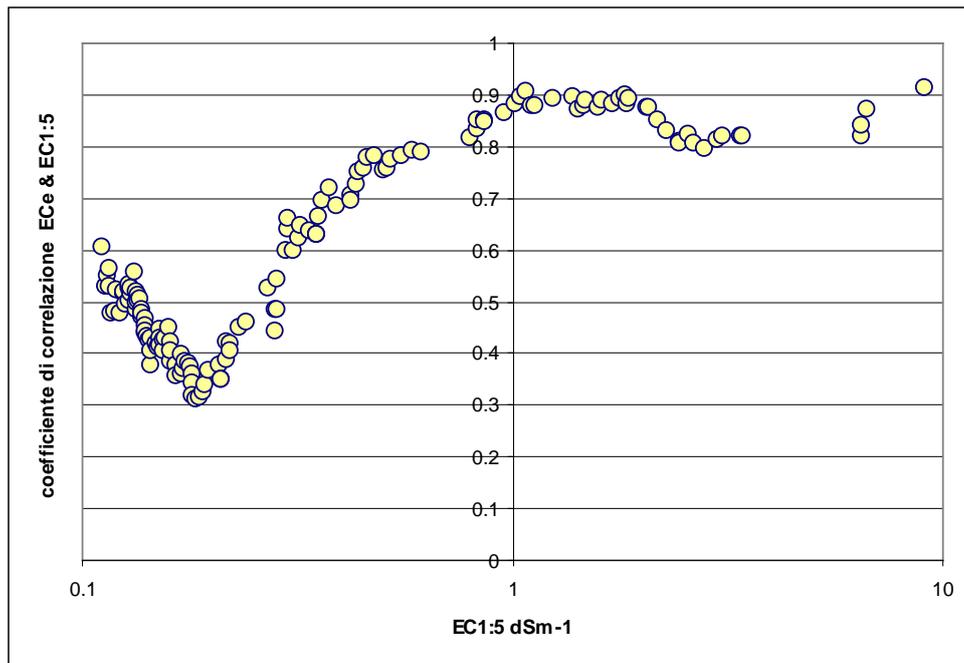


Figura 4. Coefficienti di correlazione tra le due variabili  $EC_e$  e  $EC_{1:5}$  nell'intervallo fra  $EC_{1:5}=0.1$  e  $9.1$ , valore massimo misurato e  $EC_{1:5}$ .

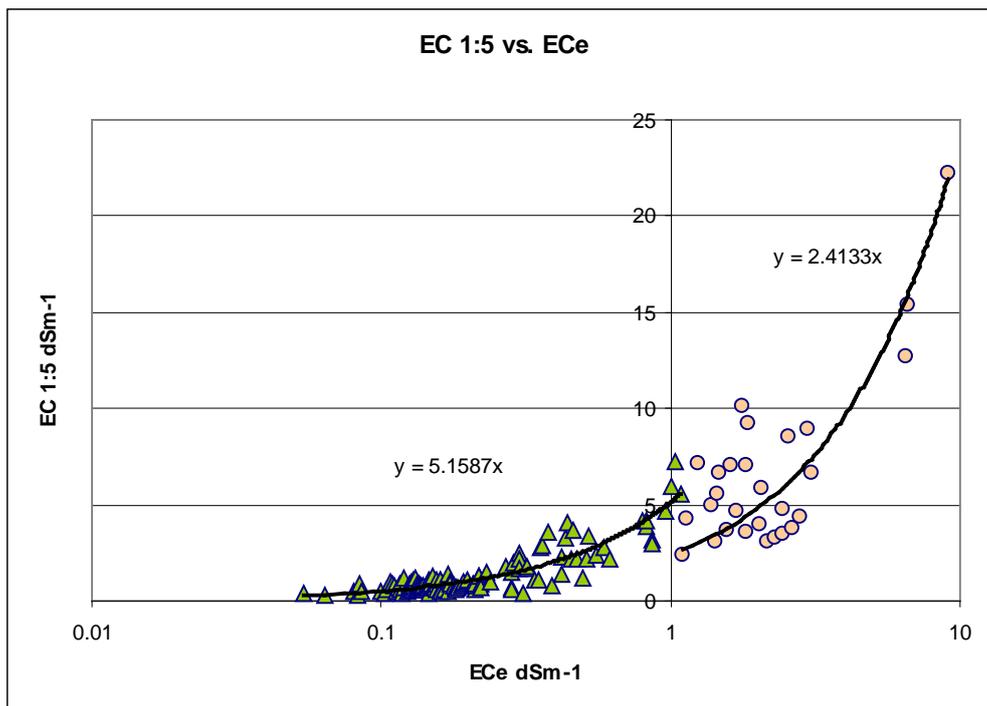


Figura 5.  $EC_e$  vs  $EC_{1:5}$  ( $dSm^{-1}$ ), intero data set, ascisse in scala logaritmica. Con i simboli verdi sono evidenziati i valori con  $EC_{1:5} < 1.1$ , con i cerchi arancioni quelli con  $EC_{1:5} > 1.1$ .

Dal grafico in figura 5, si nota che l'andamento delle rette interpolanti i dati hanno un coefficiente angolare differente nelle due aree del grafico, rispettivamente di 5.16 per i valori di  $EC_{1:5} < a 1.1 dSm^{-1}$ , e di 2.41 per i valori di  $EC_{1:5}$  superiori a 1.1.

### 1.5 Definizione di funzioni per il calcolo della EC<sub>e</sub> a partire da dati di EC<sub>1:5</sub> nei suoli dell'Emilia Romagna

Sulla base di quanto sopra visto, si è provveduto ad una nuova definizione di equazioni di regressione per il calcolo della EC<sub>e</sub> a partire dalla EC<sub>1:5</sub>.

Sono stati seguito due diversi approcci:

- 1) applicazione sul data set RER delle equazioni presenti in letteratura e calcolo degli indici di errore (validazione);
- 2) calibrazione di nuove equazioni sul data set RER e validazione su data set indipendente.

#### 1) equazioni di letteratura

Le equazioni descritte al paragrafo relativo sono state applicate ai dati RER. In tabella 3 si riportano gli indici di errore rilevati (coefficiente di determinazione, R<sup>2</sup>, l'errore medio, AE, e la radice dell'errore quadratico medio, RMSD).

	Landon, 1984	Ahmed et al, 2006, eq 1	Ozcan et al, 2006, eq. 2	Triantafillis et al, 2000, eq. 3	Slavich & Petterson, 1993, eqq. 4 e 5	Sonmez et al, 2008, eq. 6	Visconti et al., 2010, eq. 7
<b>R<sup>2</sup></b>	0.831	0.831	0.831	0.831	0.717	0.831	0.749
<b>RMSD</b>	5.47	9.86	4.62	5.26	14.17	7.12	0.53
<b>AE</b>	2.02	4.25	0.56	1.75	5.47	2.74	-0.06

Tabella 3.

Le formule esistenti in letteratura hanno tutte prestazioni modeste, come è ovvio aspettarsi. Il coefficiente di determinazione, R<sup>2</sup>, uguale per tutte le relazioni lineari e pari a 0.83, non è sufficiente per valutare l'affidabilità delle equazioni. L'indice AE ci dice che mediamente si ha una sovrastima delle EC<sub>e</sub>, maggiore per le formule proposte da Slavich e Petterson (1993, eqq. 4 e 5) e minore per quella di Triantafillis e al. (2000, eq. 3). Il caso dell'equazione trovata da Visconti e al. (2010, eq. 7) è differente dato che è relativa esclusivamente a suoli con EC<sub>1:5</sub> < 1 (basso RMSD e AE negativo). Il basso errore medio realizzato dall'equazione di Ozcan e al. (2006, eq. 2) è dovuto ai valori negativi calcolati, a causa di un' intercetta fortemente negativa nell'equazione. I valori di RMSD, espressi in dSm<sup>-1</sup>, sono tutti piuttosto elevati, con il valori maggiore per l'equazione di Slavich e Petterson (14.17 dSm<sup>-1</sup>) e minori per l'equazione di Ozcan et al. (4.62 dSm<sup>-1</sup>).

#### 2) calibrazione di nuove equazioni

Sulla base dei dati attualmente a disposizione, sono state calibrate delle nuove equazioni di regressione per il calcolo della EC<sub>e</sub> a partire dalla EC<sub>1:5</sub>. Sono state formulate quattro possibili soluzioni di calcolo (tabella 4):

Funzione 1

$$EC_e = 2.262 * EC_{1:5} + 0.802 \quad [8]$$

Funzione 2

$$EC_e = 5.159 * EC_{1:5} \quad \text{per } EC_{1:5} < 1.1 \text{ dSm}^{-1} \quad [9]$$

$$EC_e = 1.561 + 2.006 EC_{1:5} \quad \text{per } EC_{1:5} > 1.1 \text{ dSm}^{-1} \quad [10]$$

### Funzione 3

$$EC_e = 3.889 * EC_{1:5} \quad \text{per suoli argillosi} \quad [11]$$

$$EC_e = 0.871 + 2.150 * EC_{1:5} \quad \text{per suoli di medio impasto} \quad [12]$$

$$EC_e = 7.149 * EC_{1:5} \quad \text{per suoli sabbiosi} \quad [13]$$

$$EC_e = 2.361 * EC_{1:5} \quad \text{per suoli organici} \quad [14]$$

### Funzione 4

$$EC_e = -1.762 + 5.799 * EC_{1:5} + 0.265 * pH - 0.018 * \text{argilla \%} \quad \text{per } EC_{1:5} < 1.1 \text{ dSm}^{-1} \quad [15]$$

$$EC_e = 1.561 + 2.006 * EC_{1:5} \quad \text{per } EC_{1:5} > 1.1 \text{ dSm}^{-1} \quad [16]$$

La funzione 1 è calibrata sull'intero data set non suddiviso. La funzione 2 e la funzione 4 sono la sintesi di due equazioni calibrate sul data set diviso alla soglia di 1 dSm<sup>-1</sup>. Nel primo caso la regressione prende in considerazione la sola conducibilità dell'estratto 1:5. Nel caso della funzione 4, e per valori di EC<sub>1:5</sub> < a 1.1 dSm<sup>-1</sup>, viene adottata una regressione multipla che considera anche il pH e la % di argilla (misurata o stimata). Solo in questo unico caso infatti altri regressori sono risultati statisticamente significativi e giustificano quindi l'utilizzo di regressioni multiple. La funzione 3 infine è calibrata per subset di dati suddivisi in base al gruppo tessiturale.

	Num oss	Intercetta	Std Err	EC1:5	Std Err	pH	Std Err	Argilla%	Std Err	Adj. R <sup>2</sup>	Std. Err. stima
<b>Funzione 1</b>											
tutti	152	0.802	0.114	2.262	0.083					0.830	1.222
<b>Funzione 2</b>											
EC1:5<1.1 dSm-1	124			5.159	0.137					0.919	0.525
EC1:5 >1.1 dSm-1	28	1.560	0.748	2.206	0.240					0.718	2.294
<b>Funzione 3</b>											
C	40			3.889	0.156					0.939	0.774
L	74	0.870	0.145	2.150	0.154					0.726	1.106
S	21			7.149	0.280					0.969	0.242
O	17			2.361	0.153					0.933	2.150
<b>Funzione 4</b>											
EC1:5<1 dSm-1	111	-1.762	0.616	5.799	0.209	0.265	0.075	-0.018	0.003	0.882	0.433
EC1:5 >1.1 dSm-1	28	1.560	0.748	2.206	0.240					0.718	2.294

Tabella 4. Coefficienti delle equazioni di regressione e relativi errori, R<sup>2</sup> e errore di stima. C, orizzonti argillosi, L, orizzonti di medio impasto, S, orizzonti sabbiosi e O, orizzonti organici.

	Funzione 1	Funzione 2	Funzione 3	Funzione 4
R <sup>2</sup>	0.831	0.872	0.860	0.881
RMSD	1.21	1.06	1.11	1.05
AE	0.00	-0.01	-0.02	0.08

Tabella 5. Indici di errore delle funzioni sul data set di calibrazione

In tabella 5 sono riportati gli indici di errore delle diverse funzioni sul data set di calibrazione (statistiche descrittive nella tabella 6).

	Calibrazione	Funzione 1	Funzione 2	Funzione 3	Funzione 4
<b>N</b>	152	152	152	152	142
<b>media</b>	2.347	2.347	2.334	2.325	2.425
<b>Dev.std</b>	2.967	2.706	2.782	2.770	2.847
<b>min</b>	0.270	0.924	0.279	0.386	0.354
<b>mediana</b>	1.035	1.275	1.078	1.225	1.098
<b>max</b>	22.189	21.321	19.749	21.413	19.749

Tabella 6.  $EC_e$ ,  $dSm^{-1}$ . Statistiche descrittive del data set di calibrazione e dei risultati delle funzioni.

Come è logico aspettarsi, gli indici sono migliori di quelli ottenuti con le equazioni presenti in letteratura e sostanzialmente non troppo dissimili tra loro (figura 6)

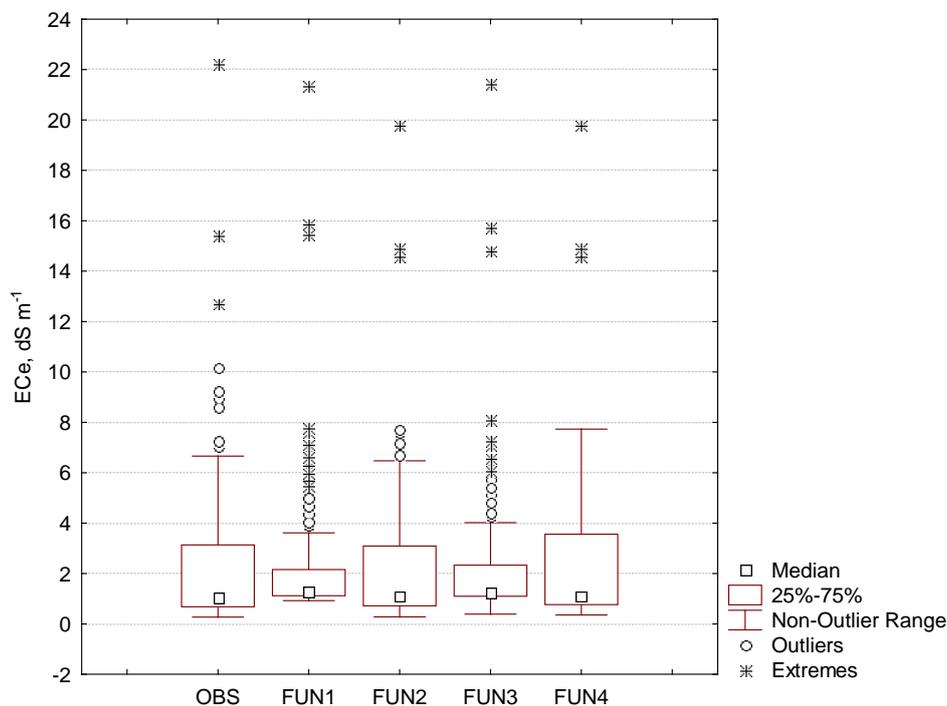


Figura 6. Confronto tra la popolazione osservata di  $EC_e$  e quelle stimate con le quattro funzioni. I valori limiti per outlier e valori estremi sono definiti in base all'ampiezza del range interquartile (IQ): range outlier =  $IQ \pm 1.5 * IQ$ ; range valore estremi =  $IQ \pm 3.0 * IQ$ .

I migliori indici si ottengono con la funzione 2 e 4 calibrate su sub data set suddivisi in base alla  $EC_{1:5}$ ; anche la funzione 3, nella quale si utilizzano diversi coefficienti per i diversi gruppi tessiturali dei suoli ha buone prestazioni. In figura 7 è riportato il grafico con i valori di  $EC_e$  stimati con la funzione 4 e quelli misurati (la linea rappresenta la relazione 1:1). Si vede come, coerentemente con quanto descritto precedentemente, i maggiori errori di stima si hanno nell'intervallo compreso fra 4 e 10  $dSm^{-1}$ . In tutti i casi (figura 8), a prescindere dalla funzione utilizzata per stimare l' $EC_e$ , gli errori di stima sono sistematicamente maggiori, in valore assoluto, per gli orizzonti organici (da un minimo di 1.778  $dSm^{-1}$  per la funzione 3 ad un massimo di 1.828  $dSm^{-1}$  per la funzione 4), mentre i valori più bassi, sempre in senso assoluto, si osservano per quelli a tessitura grossolana (da un minimo di 0.182  $dSm^{-1}$  per la funzione 3 ad un massimo di 0.469  $dSm^{-1}$  per la funzione 1).

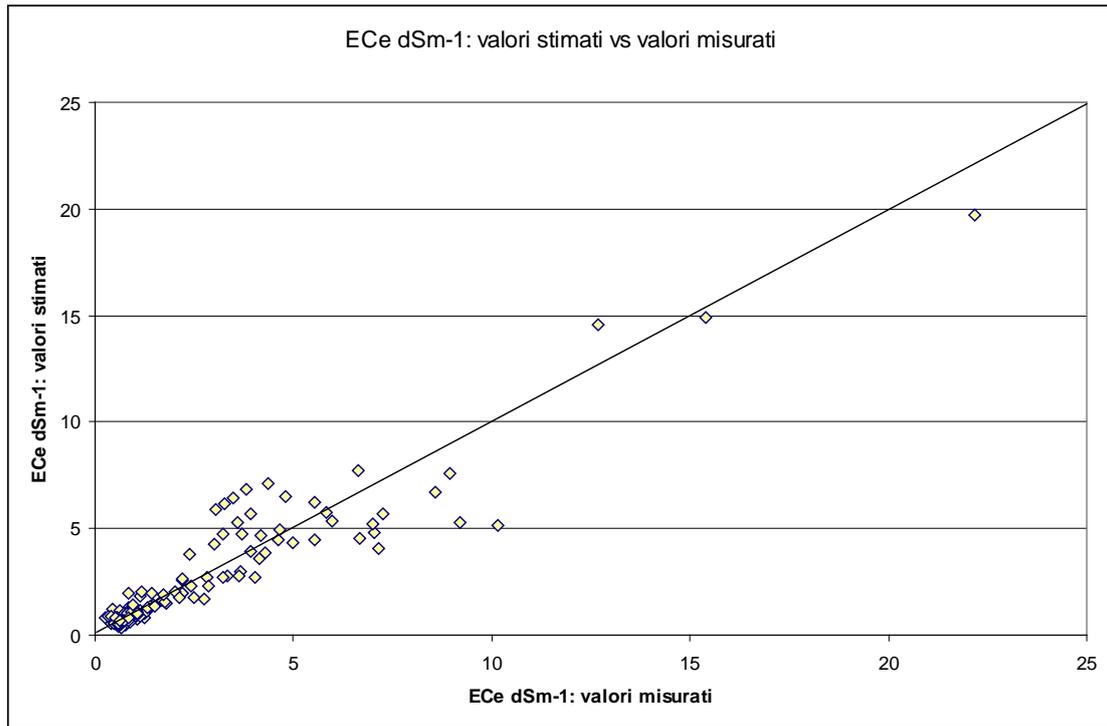


Figura 7. ECe dSm<sup>-1</sup> stimata con la funzione 4 e misurata.

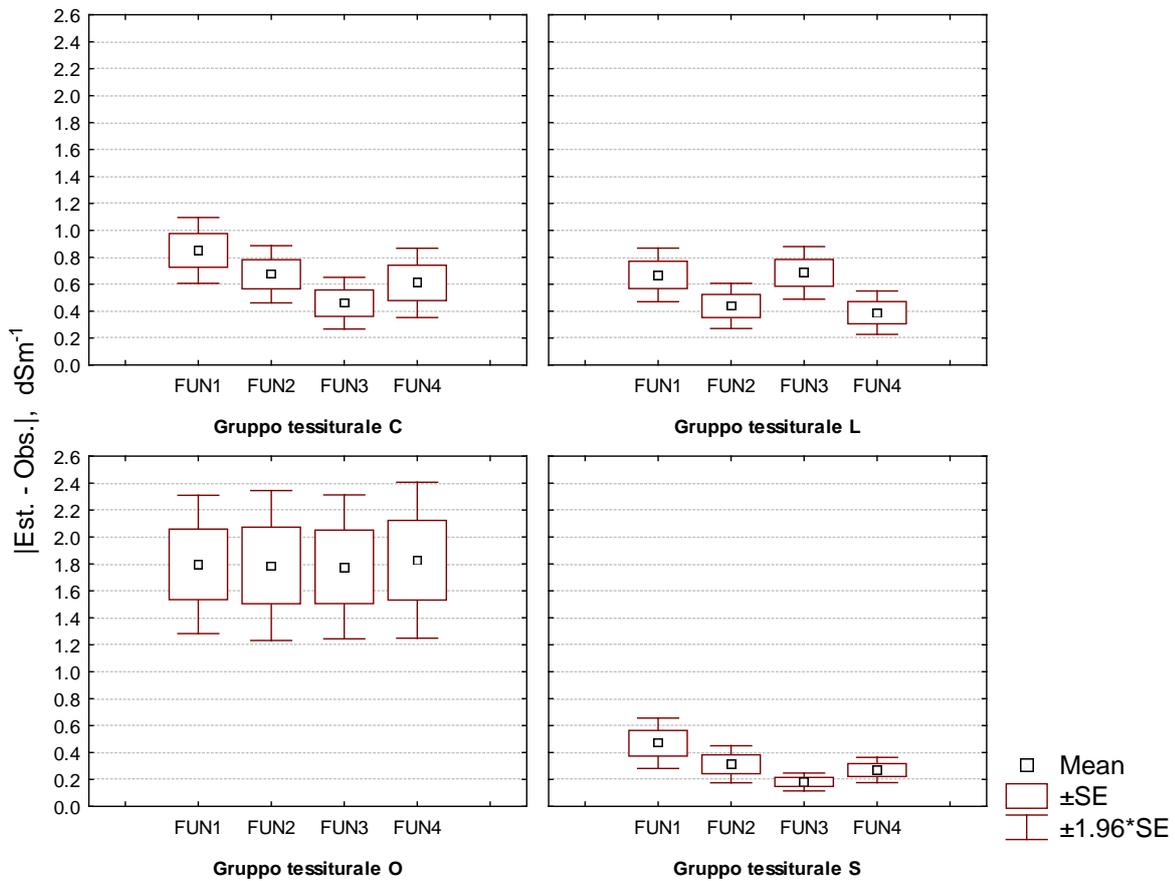


Figura 8. Confronto fra gli errori assoluti delle diverse funzioni di stima della ECe per i quattro gruppi tessuturali.

## 1.6 Valutazione dei risultati per data set indipendenti

Per una prima valutazione dei risultati ottenuti in questa fase del lavoro, le equazioni di regressione calcolate dai dati a disposizione sono state validate su un certo numero di dati raccolti dalla letteratura. Si tratta di 162 coppie di valori  $EC_e/EC_{1:5}$  pubblicati in Ahmed et al. (2006, 30 coppie), Shirokova et al. (2000, 21 coppie), Visconti et al. (2010, 84 coppie), più 27 coppie di misure effettuate su suoli della Val d'Orcia (Calzolari, dati inediti). Le statistiche descrittive del data set di validazione sono riportate in tabella 7. Per 57 campioni di questo data set sono presenti anche dati relativi alla tessitura e al pH. Su questi è quindi stato possibile il controllo delle funzioni 3 e 4. In tabella 7 sono riportate le statistiche dei risultati delle funzioni applicate, ed in tabella 8 i relativi indici di errore

	Data set calibrazione	Data set validazione	Funzione 1	Funzione 2	Funzione 3	Funzione 4
N	152	162	162	162	57	57
media	2.347	6.077	2.764	3.343	6.878	3.730
Dev.std	2.967	11.432	2.615	2.497	13.157	3.933
min	0.270	0.228	1.142	0.774	0.692	0.424
mediana	1.035	3.240	2.052	2.850	1.645	2.215
max	22.189	86.800	22.115	20.452	67.344	20.452

Tabella 7. Statistiche descrittive del data set di validazione e dei risultati delle funzioni:  $EC_e$   $dSm^{-1}$ .

Dall'esame della tabella 7 si può vedere che il data set di validazione ha una variabilità assai maggiore (deviazione standard pari a  $11.432 dSm^{-1}$ ) rispetto al data set di calibrazione (deviazione standard  $2.967 dSm^{-1}$ ) con valori di  $EC_e$  che vanno da un minimo di  $0.23 dSm^{-1}$ , comparabile al data set di calibrazione, ad un massimo di  $86.8 dSm^{-1}$ , a fronte di un massimo misurato sui campioni della RER di  $22.189 dSm^{-1}$ . Le funzioni calibrate sui campioni RER non riescono a riprodurre questa variabilità mostrando deviazioni standard molto contenute, con l'eccezione della funzione 3, che mostra come valore massimo stimato un valore di  $67.3 dSm^{-1}$  e una deviazione standard di  $13.157 dSm^{-1}$ .

	Funzione 1	Funzione 2	Funzione 3	Funzione 4
$R^2$	0.949	0.865	0.973	0.940
<b>RMSD</b>	9.47	9.53	6.57	15.76
<b>AE</b>	-3.31	-2.73	-3.20	-6.35

Tabella 8. Indici di errore delle funzioni sul data set di validazione.

Per quanto riguarda gli indici di errore, a fronte di un  $R^2$ , sempre alto (da 0.87 della funzione 2 a 0.97 della funzione 3) si hanno errori quadratici che vanno da  $6.57 dSm^{-1}$  per la funzione 3 a  $15.76 dSm^{-1}$  per la funzione 4. Mediamente tutte le funzioni sottostimano i valori, il che è ovvio, date le caratteristiche del data set di calibrazione delle equazioni.

In figura 9 è riportato il grafico con i valori di  $EC_e$  stimati con la funzione 3 e quelli osservati nel data set di validazione (la linea continua rappresenta la relazione 1:1).

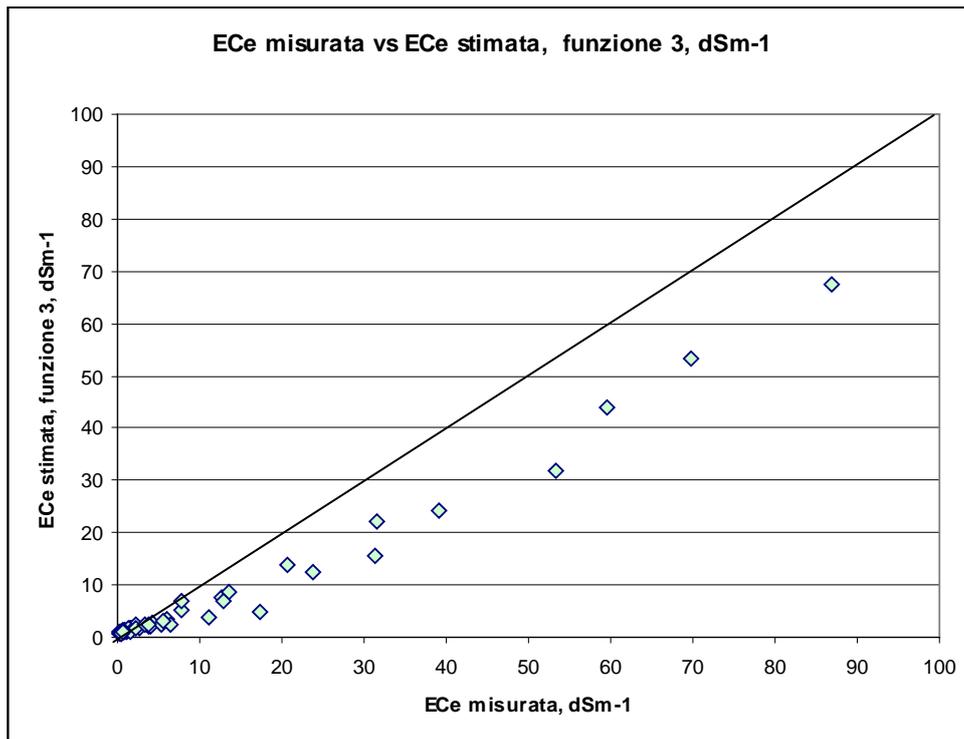


Figura 9. EC<sub>e</sub> (dSm<sup>-1</sup>) stimata con la funzione 3 e EC<sub>e</sub> (dSm<sup>-1</sup>) osservata, data set di validazione.

## 1.7 Stima della conducibilità in pasta saturo a partire di $EC_{1:2.5}$

L'andamento della relazione fra  $EC_{1:2.5}$  e  $EC_e$  è riportato nella figura 10. Analogamente al caso della relazione fra  $EC_e$  e  $EC_{1:5}$ , i punti si dispongono in due aree distinte: sulla sinistra per bassi valori di conducibilità  $1:2.5$  ( $< 1 dSm^{-1}$ ),  $EC_e$  e  $EC_{1:2.5}$  mostrano una evidente relazione lineare; nella parte destra, per valori maggiori di  $1 dSm^{-1}$ , la relazione mostra un andamento meno inclinato, ma si ha un andamento più confuso dovuto alla presenza di osservazioni lontane dalla linearità. I punti evidenziati sul grafico sono relativi agli orizzonti profondi di suoli Piretolo, suoli sabbiosi delle depressioni interdunali.

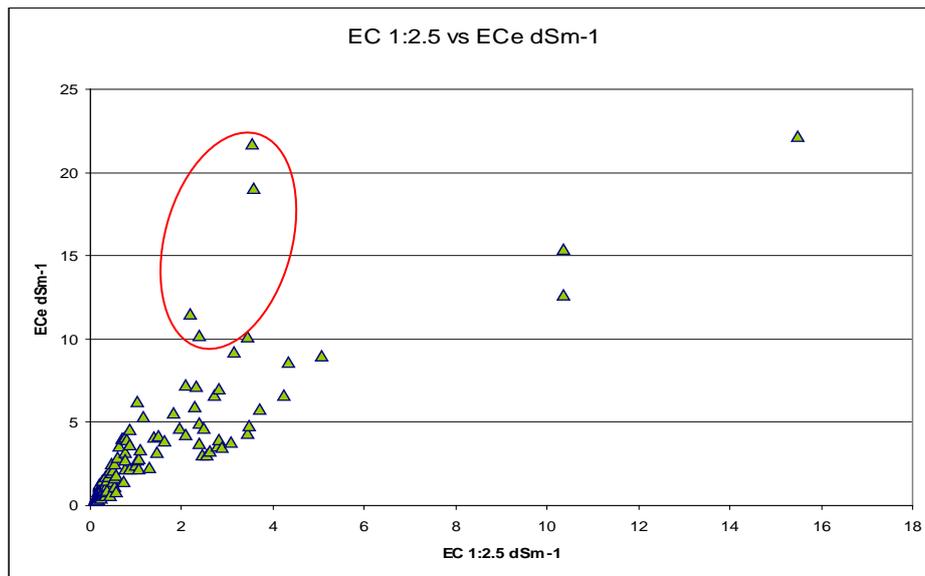


Figura 10.  $EC_{1:2.5}$  vs  $EC_e$  ( $dSm^{-1}$ ). I 4 punti evidenziati dal cerchio rosso sono relativi ai suoli PIR

Plottando i coefficienti di correlazione tra le due variabili,  $EC_e$  e  $EC_{1:2.5}$ , nell'intervallo fra  $EC_{1:2.5} = 0.2$  e  $15.4$ , valore massimo misurato di  $EC_{1:2.5}$  si ottiene il grafico riportato in figura 11.

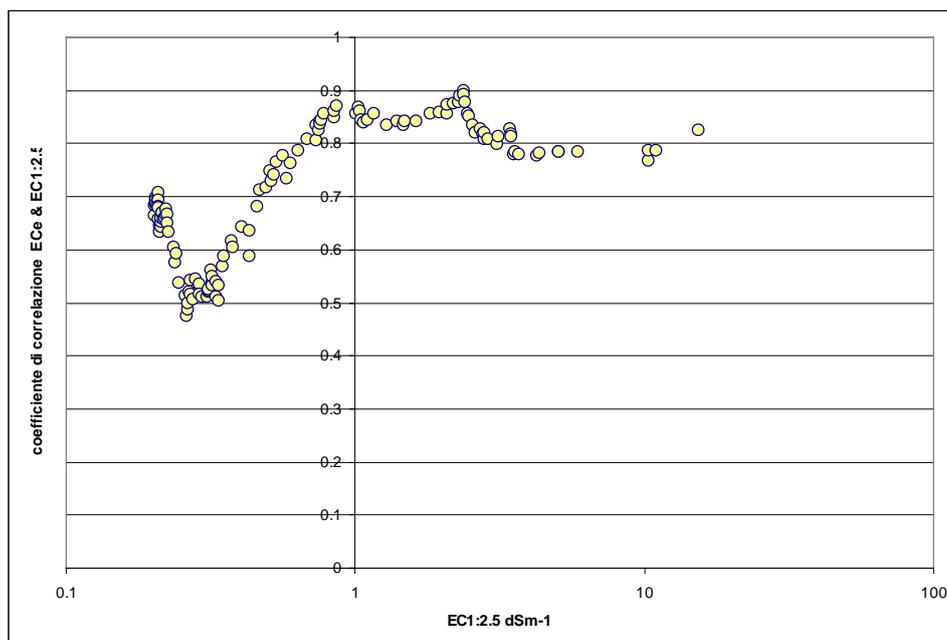


Figura 11. Coefficienti di correlazione tra le due variabili  $EC_e$  e  $EC_{1:2.5}$  nell'intervallo fra  $EC_{1:2.5} = 0.2$  e  $15.4 dSm^{-1}$

Dall'esame del grafico si vede che la correlazione fra le due variabili decresce nell'intervallo  $0.22 \text{ dSm}^{-1} > EC_{1:2.5} > 0.2 \text{ dSm}^{-1}$ , quindi sale fino ad un massimo locale per valori pari a  $1 \text{ dSm}^{-1}$ . Oltre questa soglia la relazione diviene più confusa con un nuovo minimo e massimo locale, ma senza aumento per le EC maggiori.

Riportando l'asse delle ascisse in scala logaritmica, ed evidenziando con colori diversi i dati con  $EC_{1:2.5} < 1$  e  $> 1 \text{ dSm}^{-1}$ , si ha il grafico riportato in figura 12.

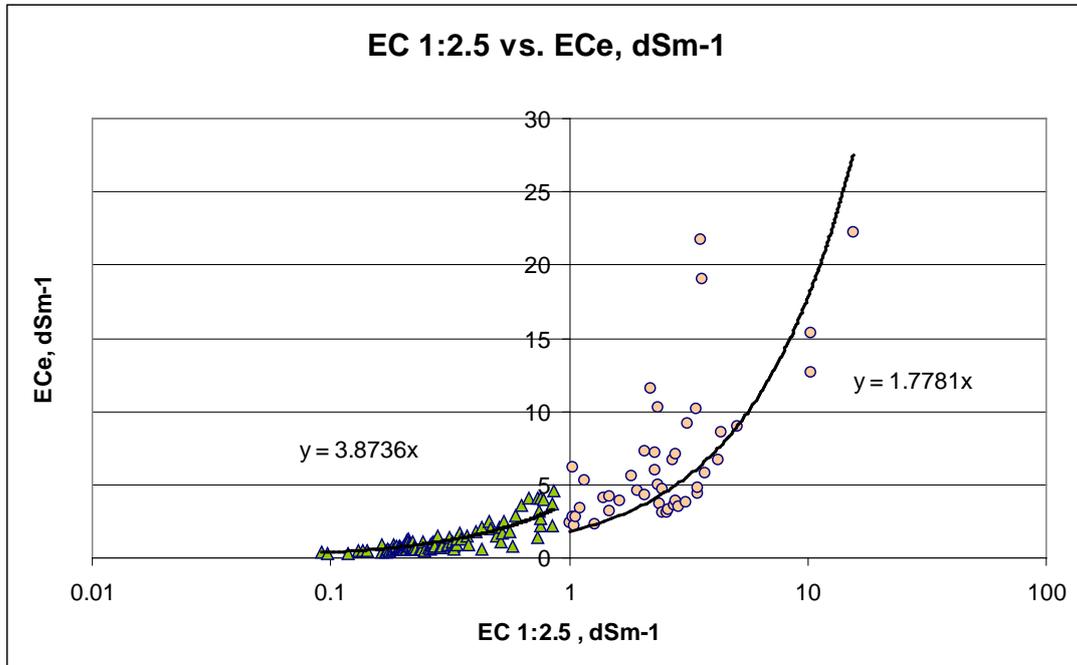


Figura 12.  $EC_{1:2.5}$  vs  $EC_e$  ( $\text{dSm}^{-1}$ ), ascisse in scala logaritmica. Con i simboli verdi sono evidenziati i valori con  $EC_{1:2.5} < 1$ , con i cerchi arancioni quelli con  $EC_{1:2.5} > 1$ .

L'andamento delle rette interpolanti i dati hanno un coefficiente angolare differente nelle due aree del grafico, rispettivamente di 3.87 e 1.78 per i valori di  $EC_{1:2.5} < 1$ , e di  $EC_{1:2.5}$  superiori a 1 rispettivamente. E' inoltre evidente la presenza di numerose misure lontane dalla linearità. Come già accennato, si tratta per lo più di misure su orizzonti profondi di suoli sabbiosi delle serie PIR1 e PIR2, tipici delle depressioni interdunali costiere.

Per i 152 campioni per i quali sono disponibili le misure sono state quindi calibrate delle equazioni di regressione per il calcolo della  $EC_e$  a partire dalla  $EC_{1:2.5}$ . Sono state formulate tre possibili soluzioni di calcolo (tabella 9). La prima considera l'intero data set; la seconda combina due equazioni di regressione per di  $EC_{1:2.5} < 1$  e  $> 1$ ; la terza utilizza diverse equazioni per gli orizzonti di gruppo tessiturale diverso:

Funzione 1

$$EC_e = 1.026 + 1.586 * EC_{1:2.5} \quad [17]$$

Funzione 2

$$EC_e = -0.187 + 4.306 * EC_{1:2.5} \quad \text{per } EC_{1:2.5} < 1 \text{ dSm}^{-1} \quad [18]$$

$$EC_e = 2.839 + 1.251 * EC_{1:2.5}$$

[19]

per  $EC_{1:2.5} > 1 \text{ dSm}^{-1}$

Funzione 3

$$EC_e = 2.276 * EC_{1:2.5}$$

per orizzonti argillosi [20]

$$EC_e = 0.839 + 1.384 * EC_{1:2.5}$$

per orizzonti di medio impasto [21]

$$EC_e = -0.492 + 5.431 * EC_{1:2.5}$$

per orizzonti sabbiosi [22]

$$EC_e = 1.519 * EC_{1:2.5}$$

per orizzonti organici [23]

	Num oss	Intercetta	Std Err	EC1:2.5	Std Err	Adj. R <sup>2</sup>	Std. Err. stima
<b>Funzione 1</b>							
tutti	152	1.026	0.198	1.586	0.089	0.68	2.107
<b>Funzione 2</b>							
EC1:2.5 < 1 dSm-1	107	-0.187	0.089	4.306	0.237	0.76	0.463
EC1:2.5 > 1 dSm-1	45	2.839	0.805	1.251	0.198	0.47	3.543
<b>Funzione 3</b>							
C	26			2.276	0.098	0.95	0.715
L	69			1.632	0.096	0.81	1.253
S	40	-0.492	0.215	5.431	0.199	0.95	1.059
O	17			1.519	0.073	0.96	1.613

Tabella 9. Coefficienti delle equazioni di regressione e relativi errori, R<sup>2</sup> e errore di stima. C, orizzonti argillosi, L, orizzonti di medio impasto, S, orizzonti sabbiosi e O, orizzonti organici.

In tabella 10 sono riportati gli indici di errore delle diverse funzioni sul data set di calibrazione (statistiche descrittive nella tabella 11).

	Funzione 1	Funzione 2	Funzione 3
R <sup>2</sup>	0.680	0.729	0.921
RMSD	2.09	1.93	1.04
AE	0.00	0.00	-0.07

Tabella 10. Indici di errore delle funzioni sul data set di calibrazione

	Calibrazione	Funzione 1	Funzione 2	Funzione 3
N	152	152	152	152
media	2.828	2.828	2.833	2.762
dev. std	3.710	3.058	3.170	3.610
min	0.270	1.172	0.208	0.008
mediana	1.148	1.555	1.248	1.238
max	22.189	25.593	22.214	23.526

Tabella 11. E<sub>Ce</sub>, dSm<sup>-1</sup>. Statistiche descrittive del data set di calibrazione e dei risultati delle funzioni

La relativamente modesta prestazione delle funzioni di regressione lineare è dovuta alla presenza nel data set di misure che si discostano di molto dall'andamento generale,

relative agli orizzonti profondi di suoli sabbiosi delle serie PIR1 e PIR2. La funzione 3, che combina regressioni calibrate su data set differenziati per gruppo tessiturale, offre, come da attendersi, le migliori prestazioni, anche come rappresentazione della variabilità del data set di calibrazione (figura 13).

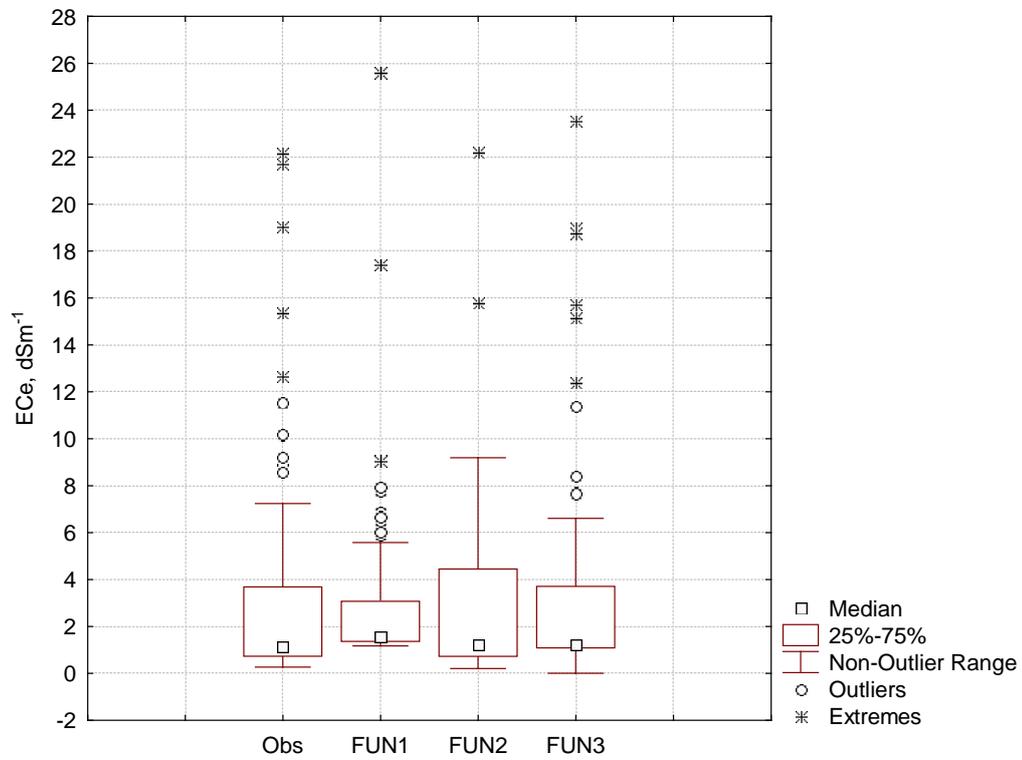


Figura 13. Confronto tra la popolazione osservata di  $EC_e$  e quelle stimate con le tre funzioni. I valori limiti per outlier e valori estremi sono definiti in base all'ampiezza del range interquartile (IQ): range outlier =  $IQ \pm 1.5 * IQ$ ; range valore estremi =  $IQ \pm 3.0 * IQ$ .

In figura 14 è riportato il grafico con i valori di  $EC_e$  stimati con la funzione 3, quella che presenta i minori errori quadratici, e quelli misurati (la linea rappresenta la relazione 1:1).

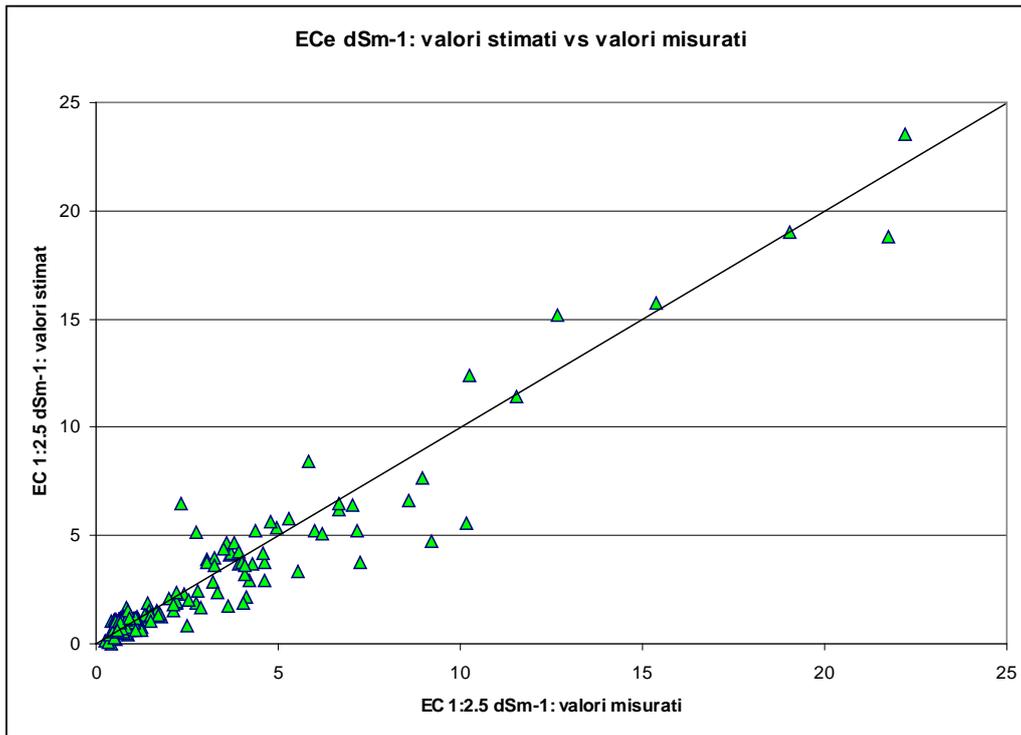


Figura 14. EC 1:2.5, dSm-1 stimata con la funzione 3 e misurata.

Gli errori di stima, sia relativi e che assoluti, sono sempre mediamente più elevati per le classi tessiture O ed S; come si osserva nella seguente tabella la funzione 3 è quella che fornisce i risultati più accurati per tutte le classi, con la sola eccezione della classe L per la quale risulta leggermente più accurata la funzione 2.

GRUPPO	FUN	RE Media	RE Std. Dev.	RE Min	RE Median	RE Max	AE Media	AE Std. Dev.	AE Min	AE Median	AE Max
L	FUN1	0.33	1.04	-3.69	0.54	4.77	0.77	0.78	0.02	0.66	4.77
L	FUN2	0.14	0.88	-3.03	0.01	3.11	0.49	0.74	0.01	0.18	3.11
L	FUN3	0.00	1.00	-4.58	0.30	2.49	0.64	0.77	0.01	0.44	4.58
C	FUN1	0.22	0.92	-2.47	0.69	1.07	0.77	0.52	0.08	0.73	2.47
C	FUN2	0.52	0.78	-1.43	0.41	2.13	0.74	0.57	0.07	0.45	2.13
C	FUN3	-0.10	0.71	-1.90	-0.10	2.59	0.39	0.59	0.00	0.16	2.59
S	FUN1	-1.08	3.43	-15.08	0.41	0.94	1.79	3.11	0.02	0.75	15.08
S	FUN2	-1.08	3.09	-14.46	-0.20	2.13	1.36	2.98	0.05	0.29	14.46
S	FUN3	0.00	1.05	-2.96	-0.22	4.19	0.60	0.85	0.00	0.32	4.19
O	FUN1	1.32	2.51	-3.21	1.71	9.08	1.98	2.01	0.08	1.88	9.08
O	FUN2	1.68	2.43	-2.45	1.40	9.19	2.03	2.13	0.02	1.96	9.19
O	FUN3	0.02	2.44	-4.44	0.34	7.72	1.59	1.81	0.20	0.89	7.72
All Groups		0.03	1.63	-15.08	0.00	9.19	0.70	1.47	0.00	0.30	15.08

Tabella 12. RE: errore relativo; AE: errore assoluto.

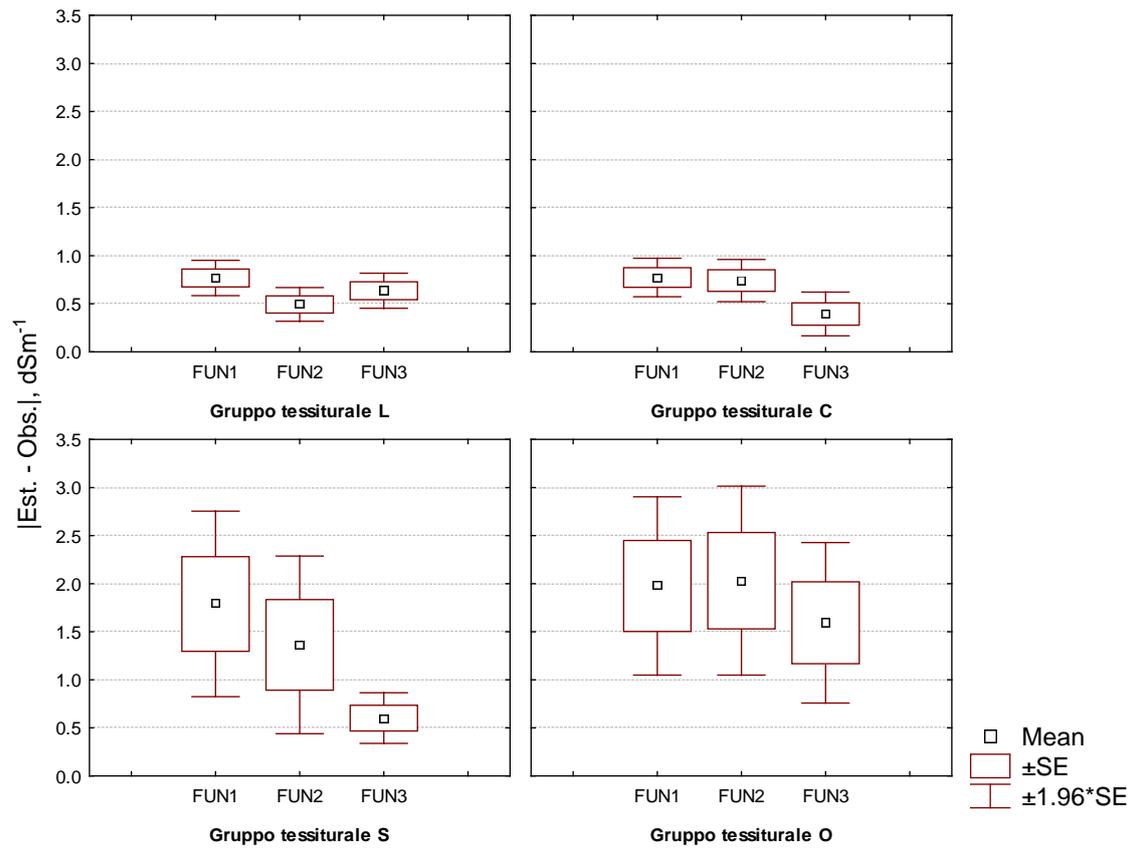


Figura 15. Confronto fra gli errori assoluti delle diverse funzioni di stima della E<sub>c</sub>e per i quattro gruppi tessiturali.

## 2. Stima della conducibilità in pasta saturo dalle misure con Field Scout

Scopo di questa parte dell'analisi dei dati è quello di verificare le relazioni tra le misure di EC in pasta saturo e quelle più speditive effettuate con il Field Scout. In particolare viene cercata una relazione che consenta di stimare la conducibilità in pasta saturo a partire dal dato rilevato con il Field Scout sulla pasta saturo ottenuta dal campione in campagna o in laboratorio. Nel caso in cui sia disponibile la lettura con il Field Scout in ufficio previa preparazione della pasta saturo e si voglia utilizzare questa lettura come proxy per la stima del valore di ECe sull'estratto in assenza di altre informazioni, è possibile utilizzare la seguente relazione determinata su 107 coppie di valori (tabella 13):

$$EC_e = 2.2326 EC_{e\ fs} + 0.0478 \quad (R^2 = 0.97)$$

Dal data set di calibrazione, le cui statistiche descrittive sono riportate nella tabella 13, sono stati escluse due misure (Fig. 15a) che si discostano in modo significativo dal trend generale (Fig 15b): la E5019T0028 (50-120 cm) e la E5019T0028 (15-50 cm) appartenenti allo stesso sito ricollegato alla serie CSP1.

	Num. Oss.	Media	Minimo	Mediana	Massimo	Std.Dev.	Std.Err.
<b>ECe</b>	107	2.700	0.270	1.120	22.189	3.563	0.27
<b>ECe fs</b>	107	0.959	0.105	0.500	10.030	1.386	0.13

Tabella 13. Statistiche descrittive del data set di calibrazione

Il valore di RMSE per la regressione semplice è pari a  $0.576 \text{ dSm}^{-1}$  (errore minimo  $-1.27 \text{ dSm}^{-1}$ , massimo  $2.29 \text{ dSm}^{-1}$ ). L'intercetta della regressione non è statisticamente significativa, per cui può essere ragionevolmente posta pari a zero, semplificando ulteriormente la relazione:

$$EC_e = 2.2489 EC_{e\ fs} \quad (R^2 = 0.97)$$

In questo caso Il valore di RMSE passa a  $0.570 \text{ dSm}^{-1}$  (errore minimo  $-1.34 \text{ dSm}^{-1}$ , massimo  $2.30 \text{ dSm}^{-1}$ ).

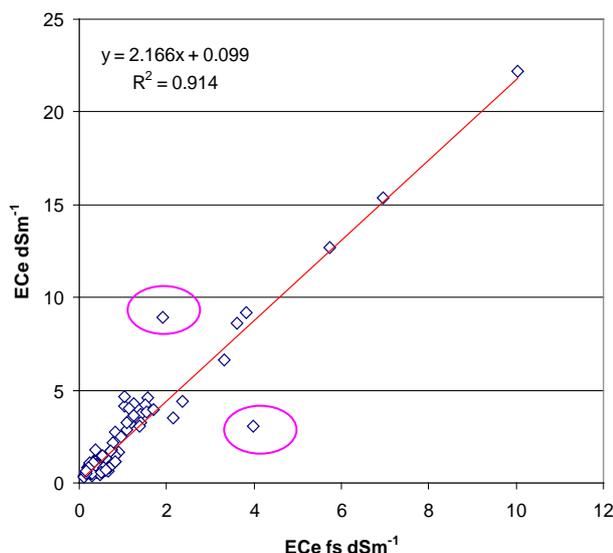


Figura 16a.

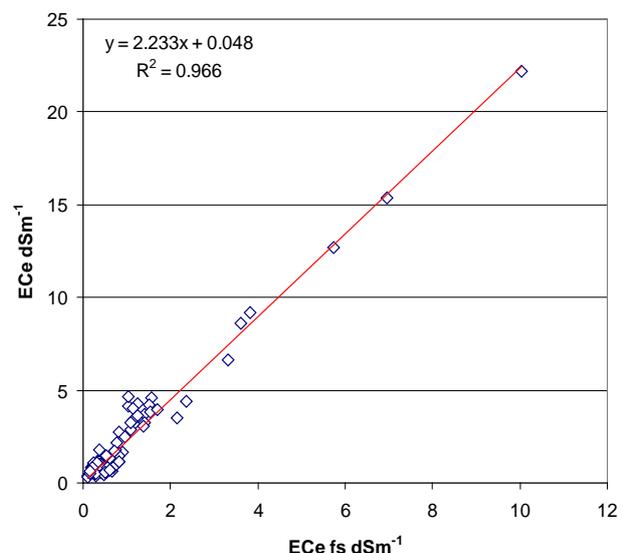


Figura 16b.

Anche in questo caso le due relazioni fornite dal manuale del Field Scout per convertire le letture non forniscono stime accettabili della conducibilità sull'estratto di pasta satura (figura 17).

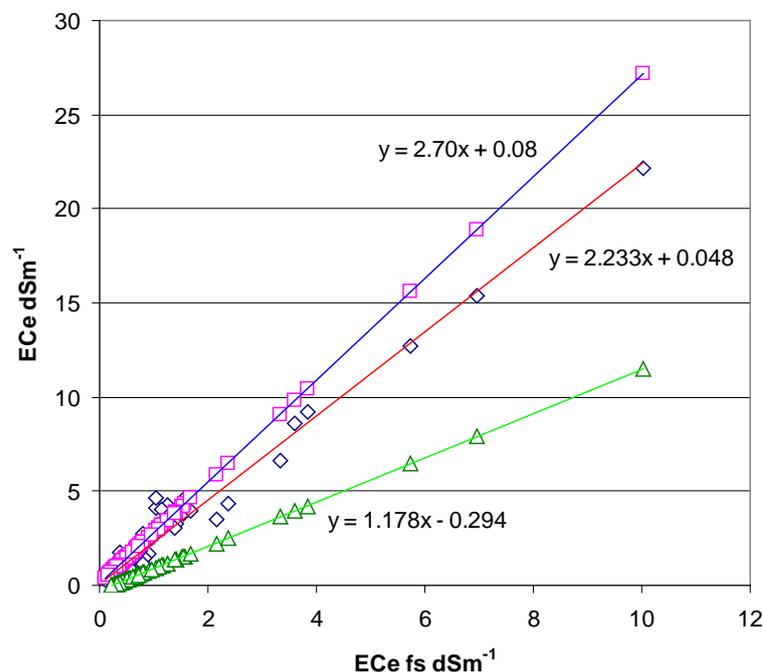


Figura 17.

Per completezza si riportano infine le relazioni tra misure in pasta satura con il field scout e quelle in estratto 1:5 e 1:2.5:

$$EC_{1:5} = 0.9635 EC_{e fs} - 0.2376 \quad (R^2 = 0.93)$$

$$EC_{1:2.5} = 1.5576 EC_{e fs} - 0.4255 \quad (R^2 = 0.97)$$

In entrambi i casi le regressioni individuate forniscono stime negative per valori di  $EC_{e fs}$  inferiori a quello dell'intercetta che è negativa in entrambi i casi. Per questo motivo, nonostante la significatività statistica dell'intercetta, si consiglia di utilizzare le seguenti relazioni per le quali il valore dell'intercetta è stato posto pari a zero:

$$EC_{1:5} = 0.8825 EC_{e fs} \quad (R^2 = 0.91)$$

$$EC_{1:2.5} = 1.4126 EC_{e fs} \quad (R^2 = 0.93)$$

Nella tabella 14 sono riportate le statistiche dei residui e delle popolazioni osservate e stimate relative ai due metodi di misura di EC e ai due set di regressioni.

	EC 1:5	EC 1:2.5								
	Obs.	Est.	Res	Est.	Res	Obs.	Est.	Res	Est.	Res
<b>Intercetta</b>	-0.238	-0.238	-0.238	0.00	0.00	-0.426	-0.426	-0.426	0.00	0.00
<b>Min</b>	0.054	-0.136	-1.594	0.093	-1.522	0.092	-0.262	-2.402	0.148	-2.272
<b>Max</b>	9.069	9.426	1.403	8.851	1.414	15.490	15.197	1.845	14.168	2.252
<b>Media</b>	0.637	0.637	0.000	0.801	-0.164	0.989	0.989	0.000	1.283	-0.294
<b>Mediana</b>	0.160	0.238	-0.029	0.436	-0.215	0.253	0.344	-0.039	0.698	-0.364

Tabella 14.

### 3. Verifiche con ulteriori criteri di raggruppamento delle osservazioni ed eliminazione di specifici subset di dati.

#### 3.1 Raggruppamento in funzione della classe tessiturale

Nella tabella 15 sono riportate le statistiche descrittive del data set suddiviso al suo interno in quattro gruppi in base alla tessitura dei suoli:

- O: orizzonti organici e tutti gli orizzonti (anche minerali) se appartengono a Histosuoli (VME1, CSP1, CLN1) o a suoli con orizzonti organici molto caratterizzanti es (LCO1);
- C: orizzonti argillosi con classi USDA A e AL
- L: orizzonti di medio impasto con classi USDA FLA, FL, F, FA, L
- S: orizzonti sabbiosi con classi USDA S, SF ed FS

A differenza di quanto riportato nel paragrafo 1.3, in questo caso gli orizzonti a tessitura FS sono stati attribuiti al gruppo S e non al gruppo L, spostando da un gruppo all'altro 15 osservazioni (media  $EC_e$  1.23  $dSm^{-1}$ ), determinando un leggero aumento della  $EC_e$  media osservata nel gruppo L (+0.14  $dSm^{-1}$ ), ed una diminuzione più marcata di quella del gruppo S (-0.53  $dSm^{-1}$ ).

GRUPPO_TXT	EC1:2.5 Means	EC1:2.5 N	EC1:2.5 Std.Dev.	EC 1:5 Means	EC 1:5 N	EC 1:5 Std.Dev.	ECe Means	ECe N	ECe Std.Dev.
L	0.852	54	1.557	0.491	61	0.915	1.938	59	2.322
C	1.030	26	1.019	0.574	40	0.539	2.244	40	2.223
S	0.565	55	0.747	0.161	36	0.098	2.653	55	4.131
O	4.541	20	3.688	2.953	20	2.140	6.576	17	5.204
All Grps	1.256	155	2.125	0.750	157	1.300	2.700	171	3.563

GRUPPO_TXT	ECe fs Means	ECe fs N	ECe fs Std.Dev.	pH H <sub>2</sub> O Means	pH H <sub>2</sub> O N	pH H <sub>2</sub> O Std.Dev.	clay% Means	clay% N	clay% Std.Dev.
L	0.721	45	0.829	7.862	61	0.765	26.543	60	7.051
C	0.611	13	0.111	7.978	40	0.333	52.255	33	9.955
S	0.359	31	0.249	8.034	55	0.447	5.446	50	3.712
O	2.839	18	2.331	6.317	20	1.233	18.563	16	9.736
All Grps	0.959	107	1.386	7.767	176	0.853	24.442	159	18.244

Tabella 15.

In figura 18 sono riportate le medie, l'errore standard e l'intervallo di confidenza della  $EC_e$  nei quattro gruppi tessiturali. Gli orizzonti organici (N = 17, invariati) mostrano i valori di  $EC_e$  mediamente più elevati (6.58  $dSm^{-1}$ ) e significativamente diversi da quelli osservati per gli altri tra gruppi ( $p < 0.05$ ), seguiti dagli orizzonti sabbiosi, sabbioso franchi e franco sabbiosi (2.65  $dSm^{-1}$ , N = 55), che però non si differenziano significativamente da quelli fini (2.24  $dSm^{-1}$ , N = 40, invariati) e da quelli a medio impasto (1.94  $dSm^{-1}$ , N = 59). Rispetto al raggruppamento precedente si osserva quindi lo stesso andamento in termini di valori medi di  $EC_e$ , ossia  $O > S > C > L$ , con la differenza che in questo secondo caso le differenze tra il gruppo S ed i due gruppi C ed L sono meno pronunciate, ed ugualmente non significative come nel caso del primo raggruppamento tentato.

Per i due nuovi gruppi L ed S sono state calibrate le regressioni per la stima dell' $EC_e$  a partire dal valore misurato sull'estratto 1:5 e 1:2.5; i risultati sono riassunti nella tabella 15. In termini di valori medi, non si osservano differenze significative tra le medie osservate e quelle stimate nei due raggruppamenti per le due classi. Nel caso delle equazioni per la stima dell' $EC_e$  a partire dall'estratto acquoso in 1:5, i risultati ottenuti con il nuovo raggruppamento sono peggiorativi per entrambe le classi tessiturali, mentre il contrario si

osserva nel caso delle stime a partire dagli estratti 1:2.5. Nel caso delle stime a partire dalle misure in 1:5, l'errore assoluto aumenta dell' 8 e 12% rispettivamente per le classi S ed L, mentre la radice dello scarto quadratico medio aumenta del 13 e del 9% rispettivamente per le classi S ed L. Maggiore invece il guadagno in accuratezza ottenuto per le stime a partire dagli estratti in 1:2.5: in termini di errore assoluto si osserva una diminuzione del 21 e del 16% rispettivamente per le classi S ed L; in termini di radice dello scarto quadratico medio, l'incremento di accuratezza è pari al 13 ed al 40% rispettivamente. I valori medi degli indici di errore per i due raggruppamenti tessiturali sono riassunti nella tabella 16.

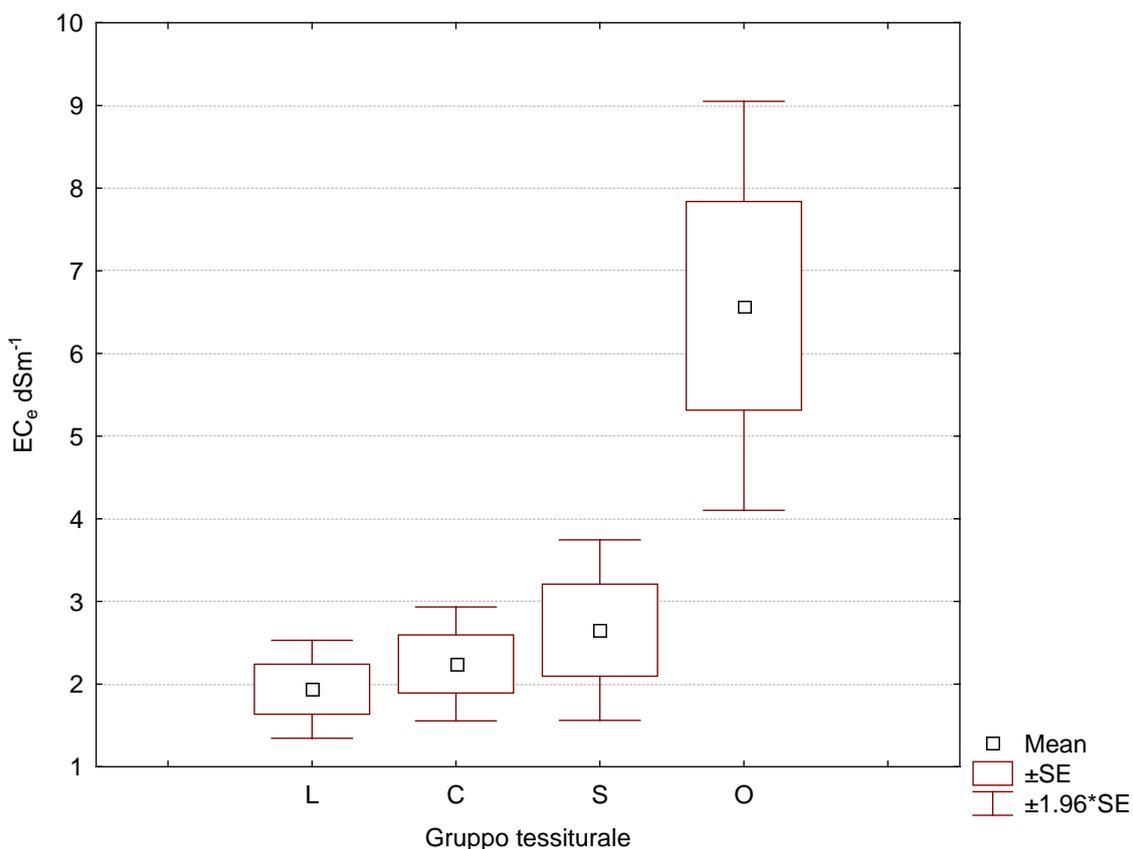


Figura 18.  $EC_e$ , valori medi, errore standard e intervallo di confidenza per subset di campioni di orizzonti a diversa tessitura: C (N=40), orizzonti fini; L (N=59), orizzonti franchi; S (N=55), orizzonti grossolani; O (N=17), orizzonti organici.

	Num oss	Intercetta	Std Err	Std Err	Std Err	Adj. R <sup>2</sup>	Std. Err. stima
			EC1:5	EC1:5	EC1:2.5		
<b>Funzione 3</b>							
L2	59	0.87737	0.17861	2.13851	0.17057	0.7339	1.2083
S2	36			7.28042	0.23978	0.9624	0.2704
<b>Funzione 3</b>							
L2	54	0.8361	0.17206		1.37804	0.09763	1.1069
S2	55	-0.3953	0.15443		5.39388	0.16578	0.951

Tabella 16. Coefficienti delle equazioni di regressione e relativi errori,  $R^2$  ed errore di stima per i due nuovi raggruppamenti.

Sulla base dei risultati ottenuti non è possibile però arrivare ad una decisione univoca in quanto i data base che sono a monte dei risultati non sono allineati: e questo non solo perché il confronto avviene tra gruppi numericamente diversi ma soprattutto perché i dati al loro interno non sono omogenei in termini di informazioni disponibili, dato che in alcuni

casi sono presenti o le determinazioni sull'estratto 1:5 o quelle sull'estratto 1:2.5, e in particolare nel caso delle misure sull'estratto 1:5 mancano il 50% circa delle determinazioni sugli orizzonti grossolani nel primo raggruppamento ed il 35% nel secondo rispetto alle determinazioni su 1:2.5 e su estratto saturo; in entrambi i casi le determinazioni mancanti sono relative agli orizzonti con maggiore contenuto salino. Per questo motivo i risultati ottenuti non sono congrui tra i due metodi di misurazione della EC su estratti acquosi.

<b>Classe TXT</b>	<b>Stimatore</b>	<b>ER</b>	<b>AE</b>	<b>RMSE</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>N</b>
<b>S1</b>	<b>EC 1:5</b>	0.04408	0.1816	0.2361	0.932	21
<b>S1</b>	<b>EC 1:2.5</b>	-0.00048	0.6015	1.0322	0.951	40
<b>S2</b>	<b>EC 1:5</b>	0.03962	0.1963	0.2666	0.901	36
<b>S2</b>	<b>EC 1:2.5</b>	-0.00001	0.4774	0.8938	0.952	55
<b>L1</b>	<b>EC 1:5</b>	-0.00106	0.6839	1.0916	0.730	74
<b>L1</b>	<b>EC 1:2.5</b>	-0.65870	0.8418	1.2435	0.788	69
<b>L2</b>	<b>EC 1:5</b>	-0.000002	0.7655	1.1877	0.734	59
<b>L2</b>	<b>EC 1:2.5</b>	0.000001	0.7060	0.7523	0.793	54

Tabella 17. Confronto tra gli indici di errore di stima per ECe a partire da EC1:2.5 o EC1:5 per i due criteri di raggruppamento delle classi tessiturali. ER: errore relativo, dSm<sup>-1</sup>; AE: errore assoluto, dSm<sup>-1</sup>; RMSE: radice dello scarto quadratico medio, dSm<sup>-1</sup>.

### 3.2 Elaborazioni per specifici subset di dati

Nel primo paragrafo, è stato descritto il dataset utilizzato per le elaborazioni riportate nel presente rapporto. Provenendo i dati da fonti diverse, questi sono stati analizzati per definirne il grado di omogeneità dal punto di vista statistico.

Nei grafici in figura 19, 20 e 21 sono riportate le medie, l'errore standard e l'intervallo di confidenza della  $EC_e$ , della  $EC_{1:5}$ , e  $EC_{1:2.5}$ , nei tre diversi subset: A, profili e trivellate esistenti in data base; B, trivellate effettuate nel corso del 2010; C, misure effettuate in un lavoro di tesi nella pineta di San Vitale. Per quest'ultimo dataset non è presente la misura dell'estratto 1:5.

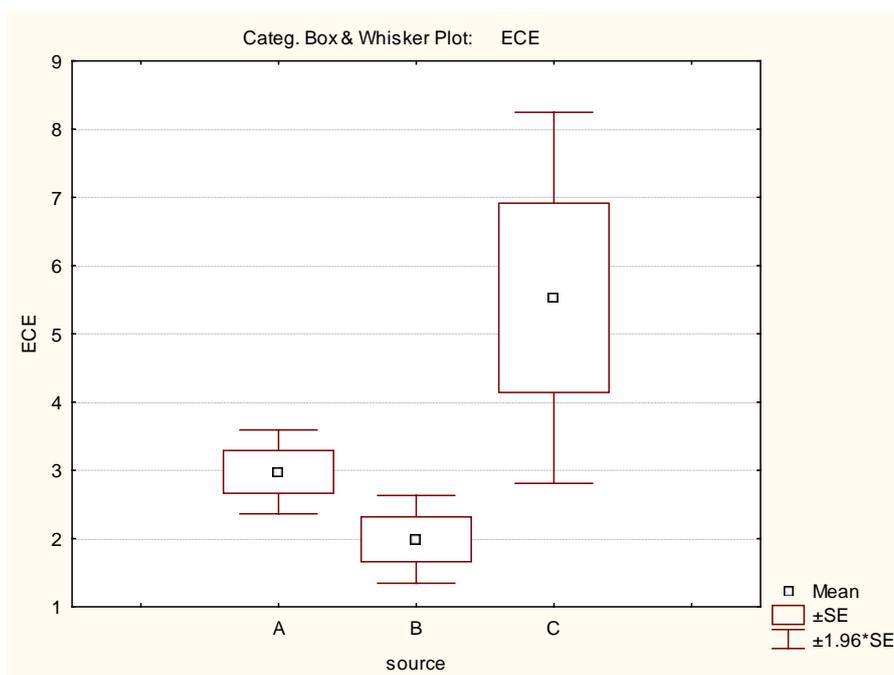


Fig. 19.  $EC_e$ , valori medi, errore standard e intervallo di confidenza per i tre subset di campioni esaminati: A (N=32), dati esistenti nell'archivio regionale; B (N=97), nuovi dati; C (N=19), dati tesi pineta San Vitale

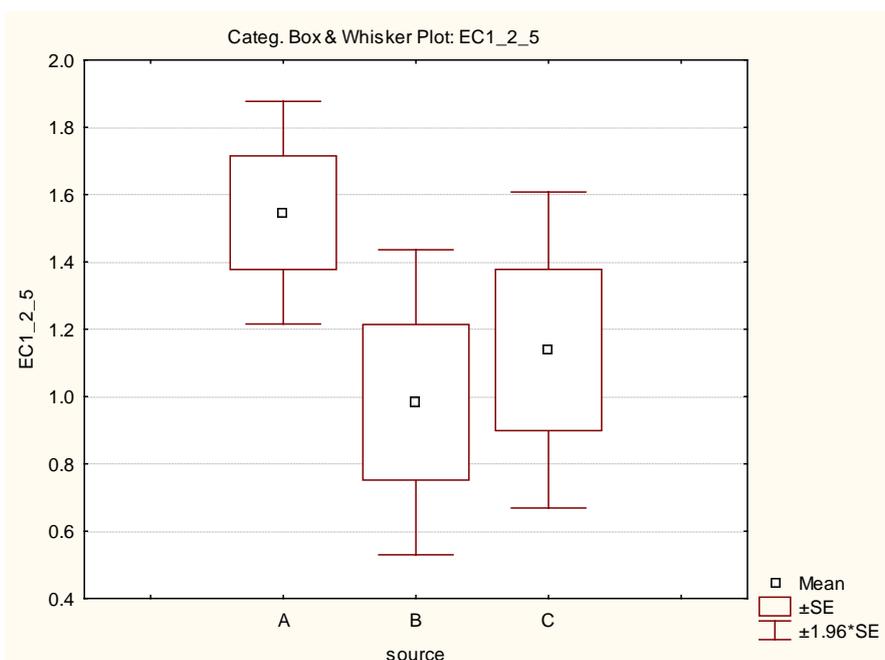


Fig. 20.  $EC_{1:2.5}$ , valori medi, errore standard e intervallo di confidenza per i tre subset di campioni esaminati: A (N=32), dati esistenti nell'archivio regionale; B (N=97), nuovi dati; C (N=19), dati tesi pineta San Vitale

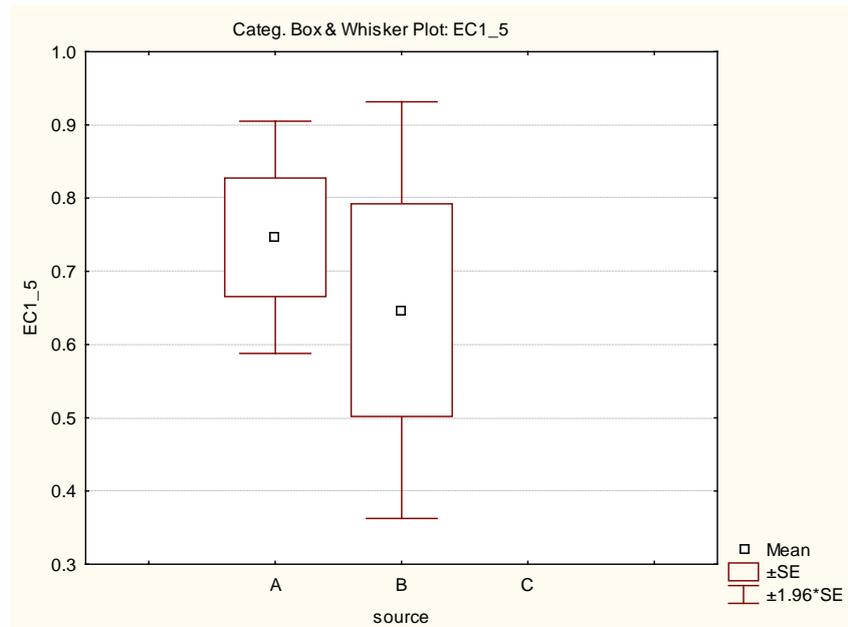


Fig. 21. EC 1:5, valori medi, errore standard e intervallo di confidenza per i due subset di campioni esaminati: A (N=32), dati esistenti nell'archivio regionale; B (N=97)

L'unica differenza statisticamente significativa ( $p < 0.05$ ) è quella fra la  $EC_e$  del gruppo B e quella del gruppo C. Occorre però sottolineare che nel gruppo B mancano i termini più decisamente salini, presenti invece nel gruppo A; e che i campioni del gruppo C derivano esclusivamente da suoli sabbiosi delle depressioni interdunali della pineta di San Vitale.

Nel grafico in figura 22 sono riportati i valori di  $EC_{1:2.5}$  verso i valori di  $EC_e$ . I simboli quadrati, di colore giallo, sono relativi alle misure esistenti nel database regionale; i simboli romboidali, di colore verde, si riferiscono alle misure fatte nel corso del 2009-2010; i triangoli scuri infine sono le misure relative ai suoli della pineta di S. Vitale.

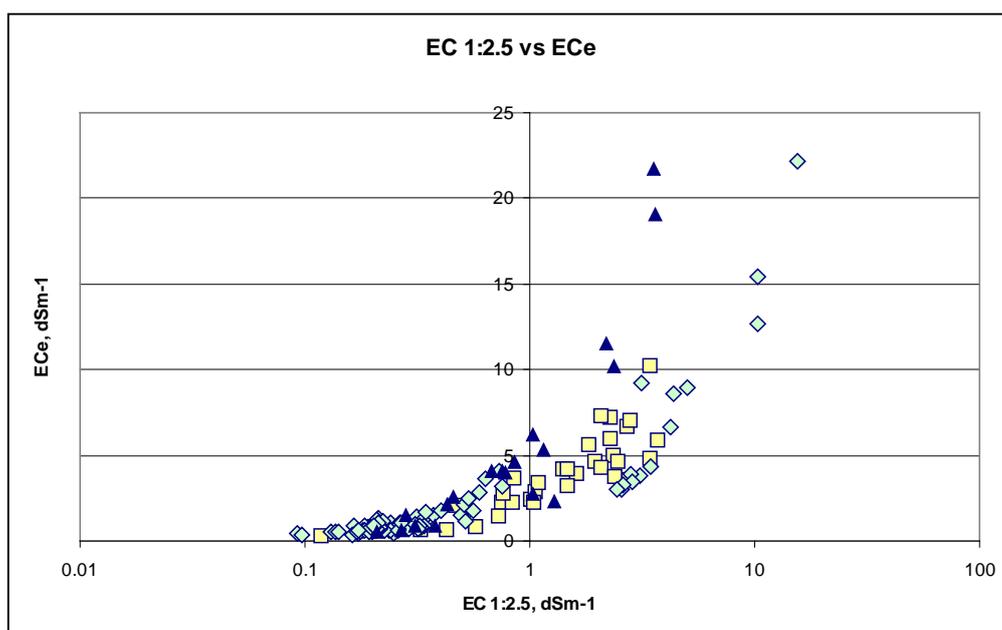


Fig. 22.  $EC_{1:2.5}$  vs  $EC_e$  ( $dSm^{-1}$ ). I quadrati, di colore giallo, sono relativi alle misure esistenti nel database regionale; i simboli romboidali, di colore verde, si riferiscono alle misure fatte nel corso del 2009-2010; i triangoli scuri infine sono le misure relative ai suoli della pineta di S. Vitale

Dall'esame del grafico è evidente il diverso andamento delle misure del subset C. Come già osservato in precedenza, i punti che maggiormente si discostano dall'andamento generale sono relativi ad orizzonti di profondità, presumibilmente interessati dalla risalita di acque salmastre. Tuttavia, considerando soltanto le misure del data set relativo alla tesi nella pineta di San Vitale, si ottiene il grafico riportato in figura 23. Si nota che le misure si allineano piuttosto bene lungo la retta di regressione lineare. Il data set appare quindi coerente al suo interno e apparentemente rappresentativo del comportamento dei suoli analizzati.

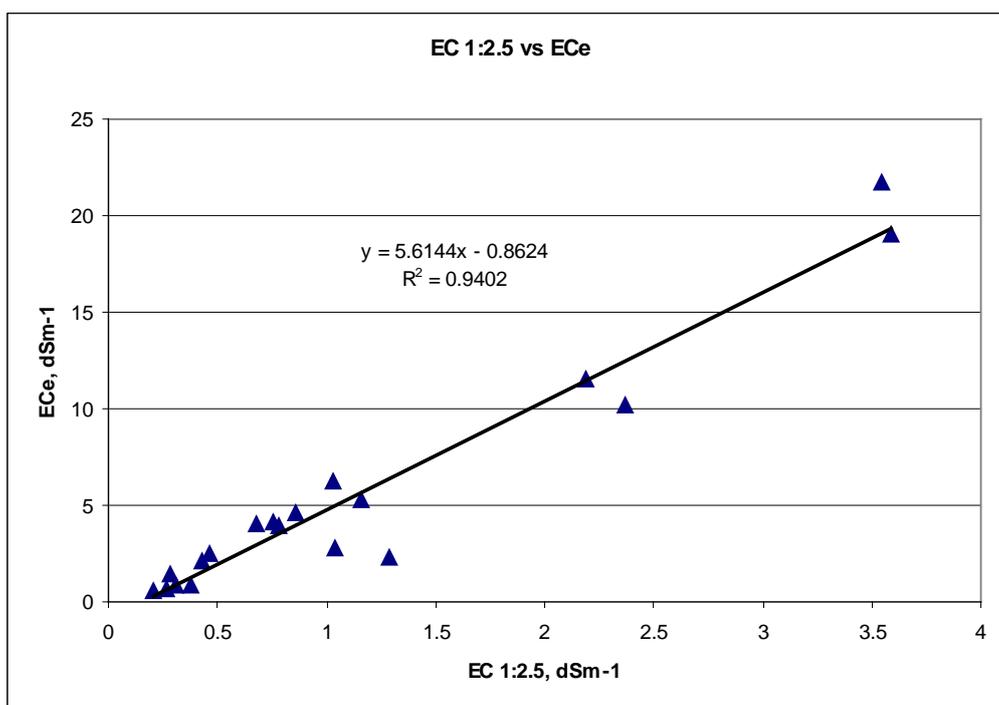


Fig. 23.  $EC_{1:2.5}$  vs  $EC_e$  ( $dSm^{-1}$ ). Misure relative ai suoli della pineta di S. Vitale

Non considerando questo subset di dati, e limitatamente alle misure di EC in estratto 1:2.5 verso l'EC in estratto saturo, si ottengono rette di regressione i cui parametri sono riportati in tabella 18. I coefficienti di determinazione e gli indici di errore (tabella 19) sono migliori rispetto a quelli alle equazioni riportate nel paragrafo 1.7.

	Num oss	Intercetta	Std Err	EC1:2.5	Std Err	Adj. R <sup>2</sup>	Std. Err. stima
<b>Funzione 1</b>							
tutti	133	0.807	0.102	1.440	0.044	0.89	1.03
<b>Funzione 2</b>							
EC1:2.5 < 1 dSm-1	96			3.548	0.114	0.91	0.396
EC1:2.5 > 1 dSm-1	37	1.830	0.404	1.260	0.092	0.84	1.612
<b>Funzione 3</b>							
C	26			2.276	0.098	0.95	0.715
L	69			1.632	0.096	0.81	1.253
S	21			4.179	0.125	0.98	0.186
O	17			1.519	0.073	0.96	1.613

Tabella 18. Coefficienti delle rette di regressione sul data set senza le misure della tesi sulla pineta di S. Vitale

Questo è maggiormente vero nel caso delle equazioni derivate dal data set completo, ( $R^2$  0.89 contro 0.68) e dal data set diviso per classi di EC  $_{1:2.5}$  ( $R^2 = 0.91$  contro 0.73) mentre gli indici restano più o meno invariati nel caso delle equazioni suddivise per gruppo tessiturale, con l'  $R^2$  che peggiora leggermente ( $R^2 = 0.90$  contro 0.92) a fronte dell'RMSD che migliora leggermente (0.96  $dSm^{-1}$  contro 1.04).

In tabella 19 sono riportati gli indici di errore delle diverse funzioni sul data set di calibrazione (statistiche descrittive nella tabella 20).

	Funzione 1	Funzione 2	Funzione 3
<b>R<sup>2</sup></b>	0.890	0.914	0.903
<b>RMSD</b>	1.02	0.90	0.96
<b>AE</b>	0.00	0.02	-0.07

Tabella 19. Indici di errore delle funzioni sul data set di calibrazione

	Calibrazione	Funzione 1	Funzione 2	Funzione 3
<b>N</b>	133	133	133	133
<b>media</b>	2.444	2.442	2.458	2.370
<b>dev. std</b>	3.080	2.917	2.961	2.995
<b>min</b>	0.270	0.939	0.326	0.384
<b>mediana</b>	1.059	1.262	1.121	1.203
<b>max</b>	22.189	23.109	21.352	23.526

Tabella 20.  $EC_e, dSm^{-1}$ . Statistiche descrittive del data set di calibrazione e dei risultati delle funzioni

In figura 24 è riportato il grafico con i valori di  $EC_e$  stimati con la funzione 3, quella che presenta i minori errori quadratici, e quelli misurati (la linea rappresenta la relazione 1:1).

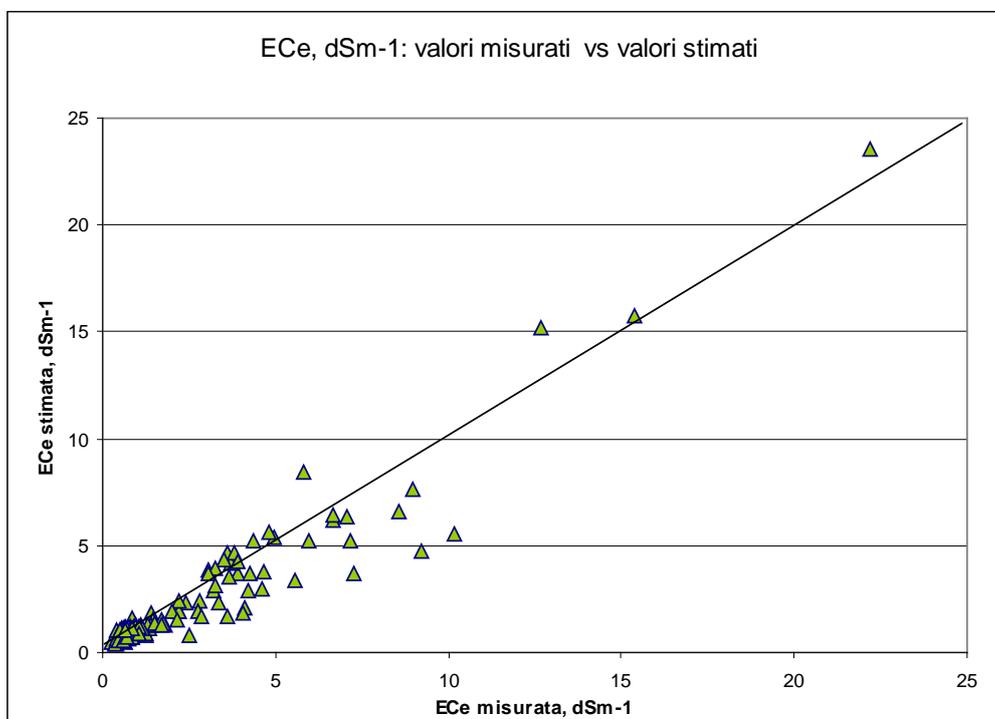


Figura 24. EC 1:2.5,  $dSm^{-1}$  stimata con la funzione 3 e misurata.

## Bibliografia

- Ahmed, A., Yamamoto, T., Bakheit, C., Cookson, P., 2006. Soil Salinity Assessment by Some Destructive and Non Destructive Methods in Calcareous Soils. *J. Jpn. Soc. Soil Phys.* 104, 27-40.
- Landon, J.R. (ed), (1984) *Booker Tropical Soil Manual*. London and New York: Longman pp. 450
- Ozcan, H., Ekinci, H., Yigini, Y., Yuksel, O., 2006. Comparison of four soil salinity extraction methods. *Proceedings of 18th International Soil Meeting on "Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology"*, May 22–26, 2006, Sanliurfa, Turkey, p. 697–703.
- Shirokova, Y., Forkutsa, I., Sharafutdinova, N., 2000. Use of electrical conductivity instead of soluble salts for soil salinity monitoring in Central Asia. *Irrig. Drain. Syst.* 14, 199–205.
- Slavich, P.G., Petterson, G.H., 1993. Estimating the electrical-conductivity of saturated paste extracts from 1–5 soil, water suspensions and texture. *Australian Journal of Soil Research* 31 (1), 73–81.
- Sonmez, S., Buyuktas, D., Okturen, F., Citak, S., 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma*, 144 (2008) 361–369.
- Visconti F, de Paz, J.M., Rubio, J.L., 2010. What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands?. *Geoderma*, 154, 387-397