

L'analisi di sensitività, infine, ci consente di dire che:

- i fattori che più contribuiscono alla determinazione dei risultati della rete “Sc-Net1” sono:  $O_3(t)Bg$  e  $O_3(t)Vo$ ;
- i valori in uscita dal modello “Sc-Net2” subiscono una maggiore influenza da parte delle variabili  $O_3(t-1)Sc$  e  $O_3(t)Bg$ ;
- il modello “Sc-Net3” produce delle uscite i cui valori dipendono soprattutto dalle variabili  $Rst(t-2)Sc$ ,  $O_3(t-1)Sc$  e  $O_3(t-1)Vo$ .

Le città maggiormente compartecipi allo smog fotochimico di Schio sono Bassano e Vicenza.

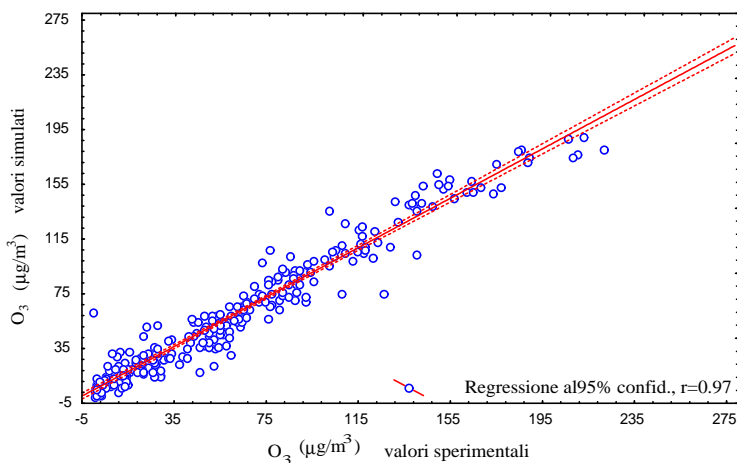
#### 5.4 Modelli per l'ozono di Valdagno

Le strutture dei modelli di ozono per Valdagno sono riportate in tabella 5.31. Le serie storiche di Valdagno contengono le stesse variabili misurate a Bassano del Grappa e a Montecchio Maggiore ed i modelli sono dotati di strutture simili a quelle adottate in queste località. Tuttavia, risulta limitante la scarsissima numerosità dei *patterns* disponibili. Il numero dei dati mancanti nelle serie temporali originarie è, infatti, distribuito in modo tale da implicare l'eliminazione di molti *vettori d'addestramento* e questo fatto riduce le capacità di apprendimento della rete neurale. Le analisi dei risultati hanno confermato la scarsa efficacia dell'apprendimento.

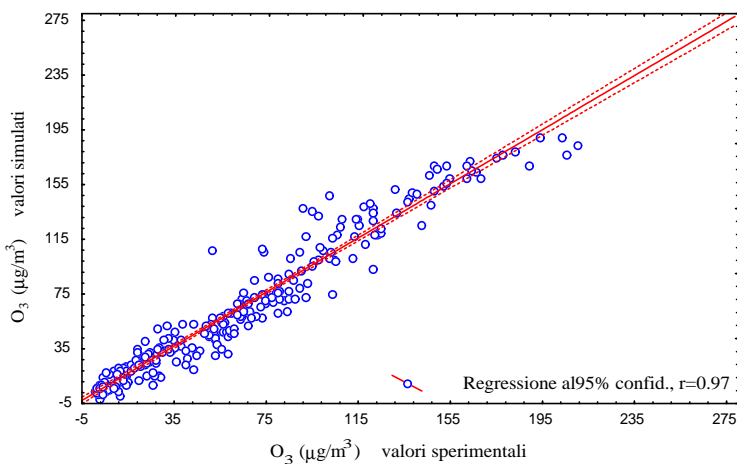
**Tabella 5.31.** Reti neurali per la previsione dell'ozono di Valdagno.

Rete	Tipo	N° patterns		Elementi del vettore d'input
		Trn.	Tst.	
VI-Net1	f-7-5-1	400	267	Rst(t-2)VI-T(t-1)VI-Ur(t-1)VI-O <sub>3</sub> (t)Bg-O <sub>3</sub> (t)Mm-O <sub>3</sub> (t)Sc-O <sub>3</sub> (t)Vo;
VI-Net2	f-9-7-1	400	270	NO <sub>2</sub> (t-1)VI-T(t-1)VI-Ur(t-1)VI-Rst(t-2)VI-O <sub>3</sub> (t-1)VI-O <sub>3</sub> (t)Bg-O <sub>3</sub> (t)Mm-O <sub>3</sub> (t)Sc-O <sub>3</sub> (t)Vo;
VI-Net3	f-9-7-1	400	270	NO <sub>2</sub> (t-1)VI-T(t-1)VI-Ur(t-1)VI-Rst(t-2)VI-O <sub>3</sub> (t-1)VI-O <sub>3</sub> (t-1)Bg-O <sub>3</sub> (t-1)Mm-O <sub>3</sub> (t-1)Sc-O <sub>3</sub> (t-1)Vo;

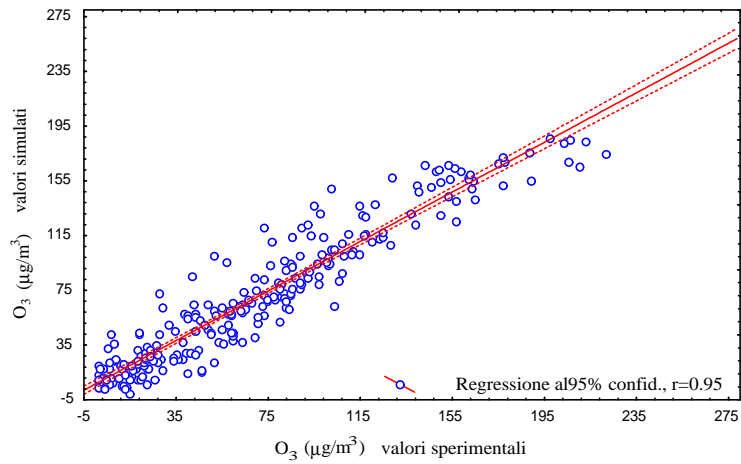
**Fig. 5.28.** Modello “VI-Net1”: regressione lineare tra  $O_3$  sperimentale ed  $O_3$  simulato.



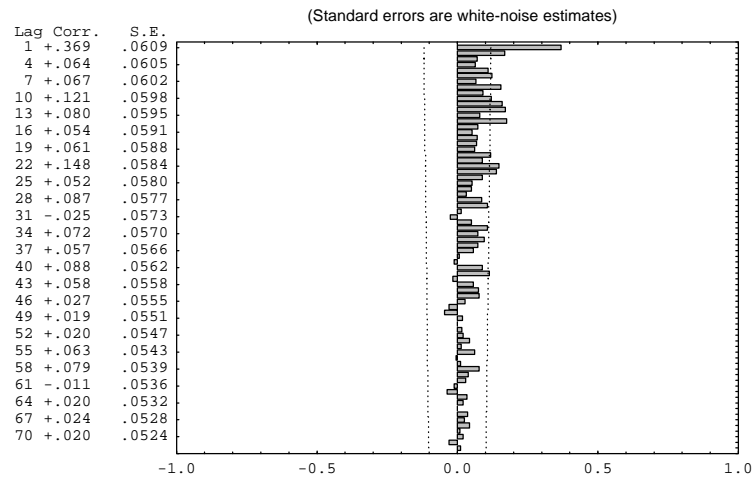
**Fig. 5.29.** Modello “VI-Net2”: regressione lineare tra  $O_3$  sperimentale ed  $O_3$  simulato.



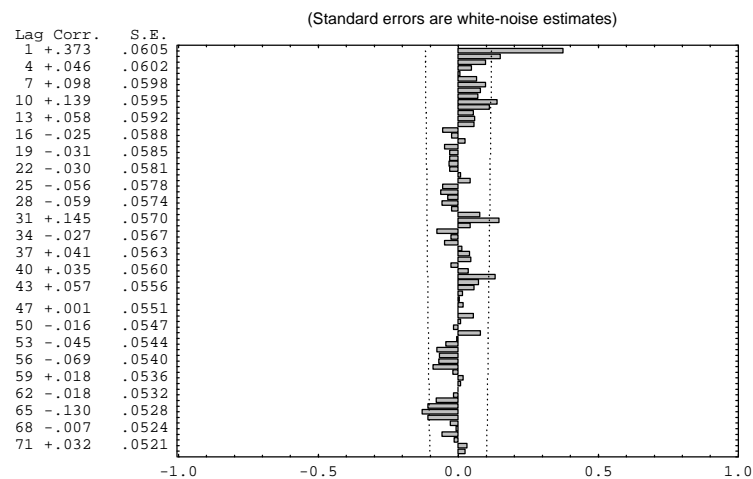
**Fig. 5.30.** Modello “VI-Net3”: regressione lineare tra  $O_3$  sperimentale ed  $O_3$  simulato.



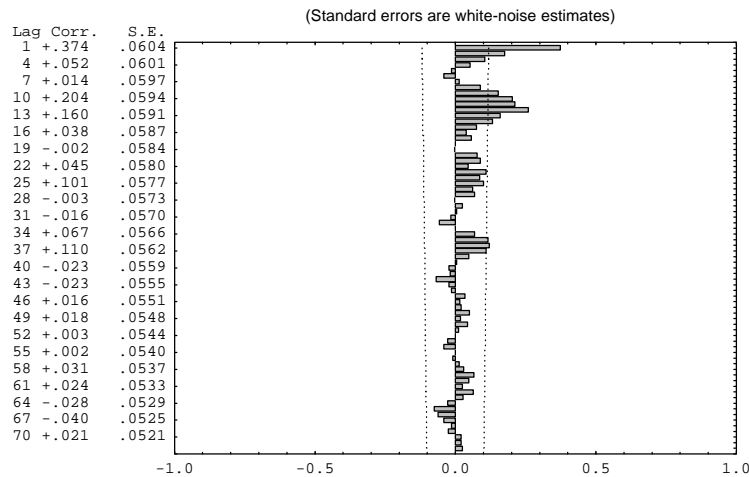
**Fig. 5.31.** Autocorrelazione dei residui della rete "VI-Net1".



**Fig. 5.32.** Autocorrelazione dei residui della rete "VI-Net2".



**Fig. 5.33.** Autocorrelazione dei residui della rete "VI-Net3".



Le figure 5.28÷5.33 mostrano un livello di apprendimento del fenomeno abbastanza buono, se si fa riferimento al grado di correlazione tra i valori previsti e quelli sperimentali, ma piuttosto scorretto, se si guardano i valori di autocorrelazione dei residui e, nello specifico, quelli riportati in fig. 5.43, relativi al modello “VI-Net3”.

Nelle tabelle 5.32, 5.33 e 5.34 si riportano le analisi di confronto tra la serie sperimentale del *testing set* e quella corrispondente, calcolata dal modello.

**Tabella 5.32.** *Analisi statistica dell’accuratezza dei risultati della rete “VI-Net1”.*

Modello “VI-Net 1”			
	<i>Training set</i>		<i>testing set</i>
numero di esempi, N	400		267
media dei valori osservati, $\bar{O}$	62.92		62.90
media dei valori previsti, $\bar{P}$	62.39		61.52
deviazione standard dei valori osservati, $s_o$	50.79		51.12
deviazione standard dei valori previsti, $s_p$	49.15		47.57
coefficiente di correlazione	0.97		0.97
varianza spiegata	0.95		0.95
regressione lineare	a = 3.07	b = 0.94	a = 4.61   b = 0.90
errore medio assoluto, MAE	8.47		8.62
radice dell’errore quadratico medio, RMSE	11.49		12.2
errore quadratico medio sistematico, $RMSE_s$	2.95		5.06
errore quadratico medio casuale, $RMSE_u$	11.11		11.11
indici di Willmott, $d_1$ e $d_2$	$d_1 = 0.90$	$d_2 = 0.99$	$d_1 = 0.89$   $d_2 = 0.98$

**Tabella 5.33.** *Analisi statistica dell’accuratezza delle previsioni realizzate dalla rete “VI-Net2”.*

Modello “VI-Net 2”		
	<i>Training set</i>	<i>testing set</i>
numero di esempi, N	400	270

media dei valori osservati, $\bar{O}$	64.44	61.20
media dei valori previsti, $\bar{P}$	64.23	62.83
deviazione standard dei valori osservati, $s_o$	51.61	49.72
deviazione standard dei valori previsti, $s_p$	50.30	50.56
coefficiente di correlazione	0.98	0.97
varianza spiegata	0.96	0.94
regressione lineare	a = 2.78   b = 0.95	a = 2.33   b = 0.99
errore medio assoluto, MAE	7.58	8.60
radice dell'errore quadratico medio, RMSE	10.64	11.97
errore quadratico medio sistematico, $RMSE_s$	2.40	1.73
errore quadratico medio casuale, $RMSE_u$	10.37	11.84
indici di Willmott, $d_1$ e $d_2$	$d_1 = 0.91$   $d_2 = 0.99$	$d_1 = 0.89$   $d_2 = 0.99$

**Tabella 5.34.** *Analisi statistica dell'accuratezza delle previsioni realizzate dalla rete "VI-Net3".*

Modello "VI-Net 3"				
	<i>Training set</i>		<i>testing set</i>	
numero di esempi, N	400		271	
media dei valori osservati, $\bar{O}$	61.50		65.72	
media dei valori previsti, $\bar{P}$	61.42		66.10	
deviazione standard dei valori osservati, $s_o$	53.27		53.36	
deviazione standard dei valori previsti, $s_p$	50.47		50.56	
coefficiente di correlazione	0.96		0.95	
varianza spiegata	0.92		0.91	
regressione lineare	a = 5.04	b = 0.91	a = 6.61	b = 0.90
errore medio assoluto, MAE	9.79		11.77	
radice dell'errore quadratico medio, RMSE	13.77		15.75	
errore quadratico medio sistematico, $RMSE_s$	4.20		5.07	
errore quadratico medio casuale, $RMSE_u$	13.11		14.92	
indici di Willmott, $d_1$ e $d_2$	$d_1 = 0.87$	$d_2 = 0.98$	$d_1 = 0.86$	$d_2 = 0.98$

Le tabelle 5.32÷5.34 riportano valori abbastanza soddisfacenti per quanto riguarda i modelli "VI-Net1" e "VI-Net2" e poco soddisfacenti per quanto riguarda il modello "VI-Net3", infatti:

- il modello "VI-Net1" è dotato di un errore medio (RMSE) di appena il 6% della soglia di concentrazione stabilita per il *livello di attenzione*, nel *training set*, e del 7% nel *testing set*; il coefficiente di correlazione tra valori sperimentali e simulati è uguale a 0.97 sia per il *training set* che per il *testing set*, con una varianza spiegata dello 0.95%; lo scarto tra la media delle osservazioni e quella delle previsioni è basso;

- il modello “VI-Net2” presenta un errore medio del 6% del *livello d’attenzione* sia nel *training set* che nel *testing set* ed il *training set* è dotato di un coefficiente di correlazione tra valori sperimentali e simulati altissimo, pari a 0.98 (valore mai incontrato prima), con il 96% di varianza spiegata; anche lo scarto tra la media dei valori previsti e quella dei valori osservati del *training set* presenta un ottimo valore:  $0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- il modello “VI-Net3”, a differenza degli altri due, è caratterizzato da un errore medio piuttosto consistente, pari all’8% del *livello d’attenzione*, nel *training set*, e al 9% del *livello d’attenzione* nel *testing set* ed il coefficiente di correlazione tra valori sperimentali e simulati assume un valore inferiore a quello dei due modelli precedenti.

Le analisi degli eventi acuti non danno risultati altrettanto soddisfacenti. Infatti, le tabelle 5.36, 5.38 e 5.40 riportano per tutti e tre i modelli valori di probabilità di previsione corretta (POD) inferiore od uguale allo 0.5. Il massimo valore di POD è relativo al modello “VI-Net2”, mentre il più basso caratterizza il modello “VI-Net1”. La rete “VI-Net3” fornisce la peggiore prestazione dal punto di vista dell’accuratezza dei risultati, ma non altrettanto è la sua prestazione per quanto riguarda la previsione degli eventi acuti.

Le figure 5.34, 5.35 e 5.36 mostrano la maggiore difficoltà del modello “VI-Net3” a riprodurre l’andamento delle concentrazioni di  $\text{O}_3$  sperimentale.

**Tabella 5.35.** *Tabella di contingenza per il superamento del livello d’attenzione dell’ $\text{O}_3$  nei valori sperimentali ed in quelli simulati del testing set della rete “VI-Net1”.*

<b>Tabella di contingenza per <math>\text{O}_3 &gt; 180 \text{ mg}/\text{m}^3</math>, “VI-Net1”</b>		
	<b>Eventi favorevoli per i valori previsti</b>	<b>Eventi sfavorevoli per i valori previsti</b>
<b>Eventi favorevoli per i valori osservati</b>	3 (A)	6 (B)
<b>Eventi sfavorevoli per i valori osservati</b>	0 (C)	257 (D)

**Tabella 5.36.** *Analisi statistica sulla previsione degli eventi acuti realizzata dalla rete “VI-Net1”. L’analisi è stata applicata ai valori del testing set.*

<i>Probability of detection, POD</i>	0.33
<i>Miss Rate, MISS</i>	0.67

<i>False Alarm Rate, FAR</i>	0.00
<i>Correct Null Forecast, CNULL</i>	1.00
<i>Critical Success Index, CSI</i>	0.33
<i>True Skill Scores, TSS</i>	0.33
<i>Heidke Skill Score, S</i>	0.49

**Tabella 5.37.** *Tabella di contingenza per il superamento del livello d'attenzione dell'O<sub>3</sub> nei valori sperimentali ed in quelli simulati del testing set del modello "VI-Net2".*

<b>Tabella di contingenza per O<sub>3</sub> &gt; 180 mg/m<sup>3</sup>, "VI-Net2"</b>		
	<b>Eventi favorevoli per i valori previsti</b>	<b>Eventi sfavorevoli per i valori previsti</b>
<b>Eventi favorevoli per i valori osservati</b>	3 (A)	3 (B)
<b>Eventi sfavorevoli per i valori osservati</b>	0 (C)	264 (D)

**Tabella 5.38.** *Modello "VI-Net2": analisi statistica della previsione degli eventi acuti. L'analisi è stata applicata ai valori del testing set.*

<i>Probability of detection, POD</i>	0.50
<i>Miss Rate, MISS</i>	0.50
<i>False Alarm Rate, FAR</i>	0.00
<i>Correct Null Forecast, CNULL</i>	1.00
<i>Critical Success Index, CSI</i>	0.50
<i>True Skill Scores, TSS</i>	0.50
<i>Heidke Skill Score, S</i>	0.66

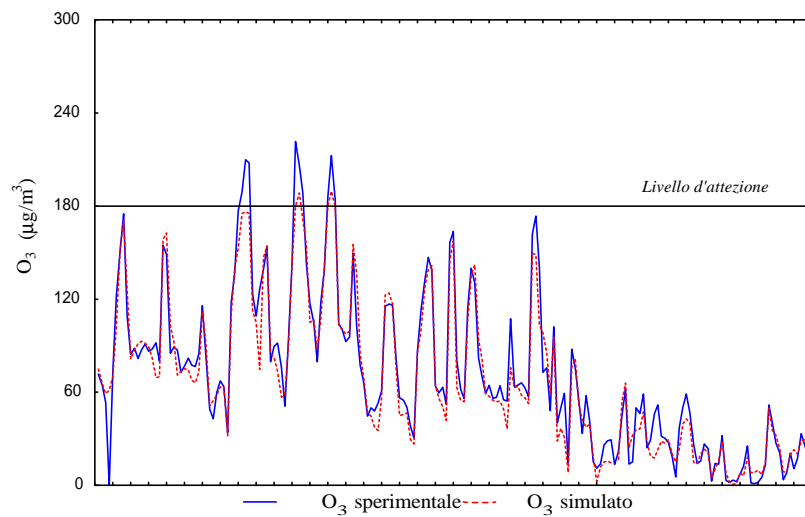
**Tabella 5.39.** *Modello "VI-Net3": tabella di contingenza del superamento del livello d'attenzione nei valori sperimentali ed in quelli simulati appartenenti al testing set.*

<b>Tabella di contingenza per O<sub>3</sub> &gt; 180 mg/m<sup>3</sup>, "VI-Net3"</b>		
	<b>Eventi favorevoli per i valori previsti</b>	<b>Eventi sfavorevoli per i valori previsti</b>
<b>Eventi favorevoli per i valori osservati</b>	4 (A)	5 (B)
<b>Eventi sfavorevoli per i valori osservati</b>	0 (C)	262 (D)

**Tabella 5.40.** Modello “VI-Net3”: analisi degli eventi acuti nei valori sperimentali ed in quelli simulati del testing set.

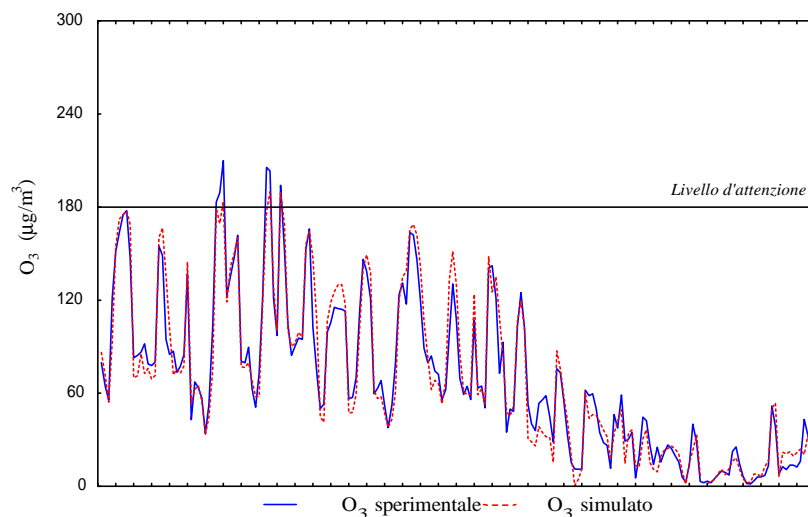
<i>Probability of detection, POD</i>	0.44
<i>Miss Rate, MISS</i>	0.56
<i>False Alarm Rate, FAR</i>	0.00
<i>Correct Null Forecast, CNULL</i>	1.00
<i>Critical Success Index, CSI</i>	0.44
<i>True Skill Scores, TSS</i>	0.44
<i>Heidke Skill Score, S</i>	0.61

**Fig. 5.34.** Modello “VI-Net1”: confronto tra valori sperimentali ed osservati del testing set.

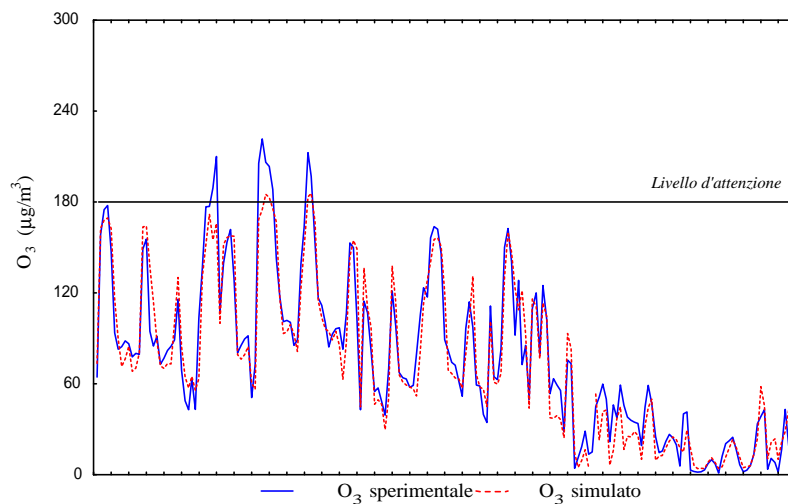


**Fig. 5.35.** Modello “VI-Net2”: confronto tra i valori sperimentali e simulati del testing set.





**Fig. 5.36.** Modello “VI-Net3”: confronto tra valori sperimentali e simulati del testing set.



Utilizzando i modelli neuronali costruiti per l’ozono di Valdagno come strumento interpretativo del problema, si è notato che:

- il modello “VI-Net1” è guidato nelle sue determinazioni soprattutto dalla temperatura, dall’ozono di Bassano del Grappa e dall’ozono di Schio;
- le variabili che influiscono di più sulle determinazioni del modello “VI-Net2” sono la temperatura, la radiazione solare, l’ozono di Valdagno dell’ora precedente e l’ozono di Schio;

- il modello “VI-Net3” è guidato con più forza dalle stesse variabili che influenzano maggiormente le determinazioni del modello “VI-Net2”: la temperatura, la radiazione solare, l’ozono di Valdagno dell’ora precedente e l’ozono di Schio.

L’ozono di Valdagno, quindi subisce un effetto a scala di bacino con il particolare intervento dell’ozono di Bassano del Grappa e di Schio.

### 5.5 Modelli per l’ozono di Vicenza

Le serie di dati della città di Vicenza non hanno le misure di umidità relativa. Tale lacuna, tuttavia, non ha prodotto particolari difficoltà per la riproduzione del fenomeno in questa località, al contrario di quanto è accaduto a Schio.

La tabella 5.41 riporta le strutture dei modelli di  $O_3$  elaborati per Vicenza.

**Tabella 5.41.** Reti neurali per la previsione dell’ozono di Vicenza.

Rete	Tipo	N° patterns		Elementi del vettore d’input
		Trn.	Tst.	
Vo-Net1	f-6-4-1	1141	500	Rst(t-2)Vo-T(t-1)Vo-O <sub>3</sub> (t)Bg-O <sub>3</sub> (t)Mm-O <sub>3</sub> (t)Sc-O <sub>3</sub> (t)VI;
Vo-Net2	f-8-6-1	1036	600	NO <sub>2</sub> (t-1)Vo-T(t-1)Vo-Rst(t-2)Vo-O <sub>3</sub> (t-1)Vo-O <sub>3</sub> (t)Bg-O <sub>3</sub> (t)Mm-O <sub>3</sub> (t)Sc-O <sub>3</sub> (t)VI;
Vo-Net3	f-8-6-1	1037	600	NO <sub>2</sub> (t-1)Vo-T(t-1)Vo-Rst(t-2)Vo-O <sub>3</sub> (t-1)Vo-O <sub>3</sub> (t-1)Bg-O <sub>3</sub> (t-1)Mm-O <sub>3</sub> (t-1)Sc-O <sub>3</sub> (t-1)VI;

Tutti e tre i modelli riproducono il fenomeno in modo sufficientemente fedele, come mostrato dai grafici di regressione lineare tra  $O_3$  sperimentale del *training set* ed il corrispondente  $O_3$  simulato e dai diagrammi di autocorrelazione dei residui, riportati nelle figure 5.37÷5.42.

**Fig. 5.37.** Modello “Vo-Net1”: regressione lineare tra  $O_3$  sperimentale ed  $O_3$  simulato.