

- per quanto riguarda la “Mm-Net1” esiste una forte dipendenza dei risultati dalle variabili $T(t-1)Mm$, $O_3(t)Bg$ ed $O_3(t)Vo$;
- gli output forniti dalla rete “Mm-Net2” sono stati determinati con maggior forza dalle variabili $NO_2(t-1)Mm$, $O_3(t-1)Mm$, $O_3(t)Bg$ ed $O_3(t)Vo$;
- la rete “Mm-Net3” è maggiormente sensibile alle stimolazioni provenienti dagli ingressi corrispondenti a $Rst(t-2)Mm$, $T(t-1)Mm$, $O_3(t-1)Mm$, $O_3(t-1)Bg$ ed $O_3(t-1)Vo$.

Le osservazioni fatte sulla sensitività di ciascuna rete portano ad interpretare lo smog fotochimico a Montecchio Maggiore come un fenomeno fortemente dipendente dalle variabili meteorologiche legate alla radiazione solare e dotato di carattere diffuso. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, risultano maggiormente determinanti l'ozono di Bassano del Grappa e di Vicenza Ovest.

5.3. Modelli per l'ozono a Schio

Anche per Schio sono stati sviluppati gli stessi tre modelli neurali descritti per Bassano del Grappa e Montecchio Maggiore. Unica differenza riguarda l'assenza dell'umidità relativa perché la stazione di Schio non è dotata del relativo misuratore. Le reti utilizzate sono descritte in tab. 5.20.

Tabella 5.20. Reti neurali per la previsione dell'ozono a Schio.

Rete	Tipo	N° patterns		Elementi del vettore d'input
		Trn.	Tst.	
Sc-Net1	f-6-4-1	1000	561	$Rst(t-2)Sc-T(t-1)Sc-O_3(t)Bg-O_3(t)Mm-O_3(t)VI-O_3(t)Vo$;
Sc-Net2	f-8-5-1	600	373	$NO_2(t-1)Sc-T(t-1)Sc-Rst(t-2)Sc-O_3(t-1)Sc-O_3(t)Bg-O_3(t)Mm-O_3(t)VI-O_3(t)Vo$;
Sc-Net3	f-8-5-1	600	374	$NO_2(t-1)Sc-T(t-1)Sc-Rst(t-2)Sc-O_3(t-1)Sc-O_3(t-1)Bg-O_3(t-1)Mm-O_3(t-1)VI-O_3(t-1)Vo$;

Sono opportune alcune considerazioni sull'importanza dell'umidità relativa come parametro d'input alle reti neurali:

- in ciascuno dei siti di monitoraggio utilizzati nel presente lavoro, l'umidità relativa è fortemente correlata con l'O₃ dello stesso sito di provenienza e con l'O₃ degli altri siti;
- l'analisi delle componenti principali mette in rilievo come tale variabile abbia un peso di circa l'80%, in valore assoluto, sulla prima componente principale;
- le analisi di sensitività svolte sui modelli elaborati per Bassano del G. e per Montecchio M. hanno dimostrato la notevole pressione esercitata da tale variabile nella determinazione dei risultati.

Sulla base di tali evidenze ci si aspetta che l'assenza di una variabile così importante degradi la qualità dei dati prodotti. In effetti è così: si è notata una forte perdita di efficienza soprattutto per le prestazioni del modello "Sc-Net1", nel quale l'informazione di tipo puntuale proviene esclusivamente dalle variabili meteorologiche. Gli altri due modelli si sono dimostrati meno sensibili a tale perdita, in quanto essa viene in parte recuperata dalla variabile O₃(t-1)Sc, che si porta appresso tutta l'informazione relativa ai processi delle ore precedenti, compresa quella relativa all'umidità.

Tali considerazioni sono confermate dai risultati delle analisi di qualità dei dati.

Fig. 5.19. *Correlazione tra i valori sperimentali di O₃ ed i corrispondenti valori previsti dalla rete "Sc-Net1".*

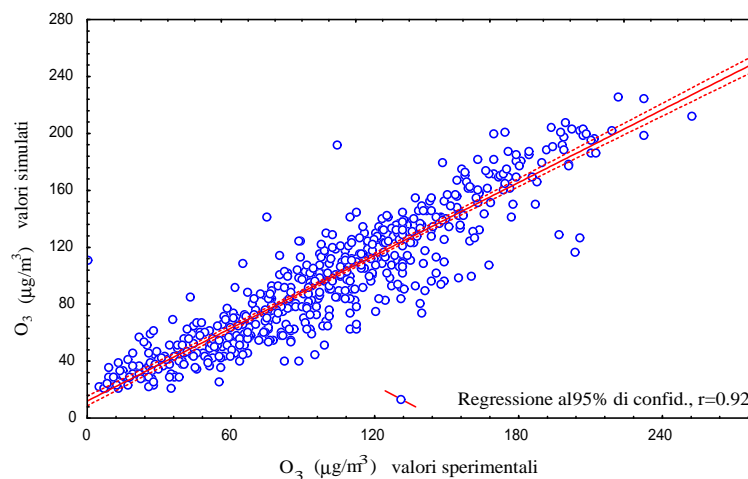


Fig. 5.20. Correlazione tra i valori sperimentali di O_3 ed i corrispondenti valori previsti dalla rete “Sc-Net2”.

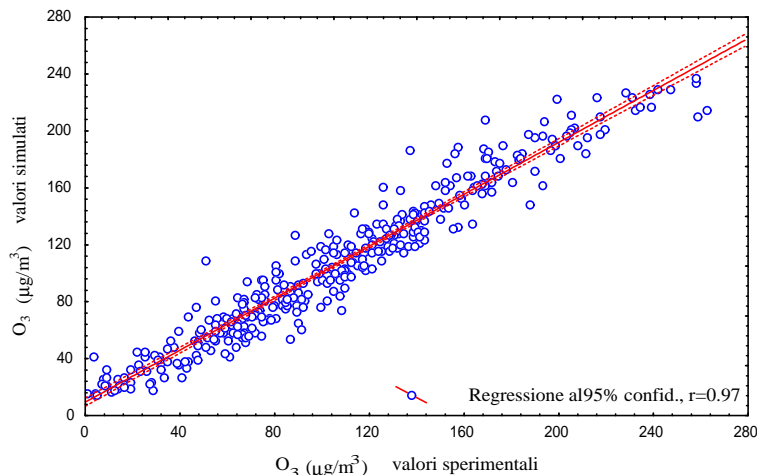
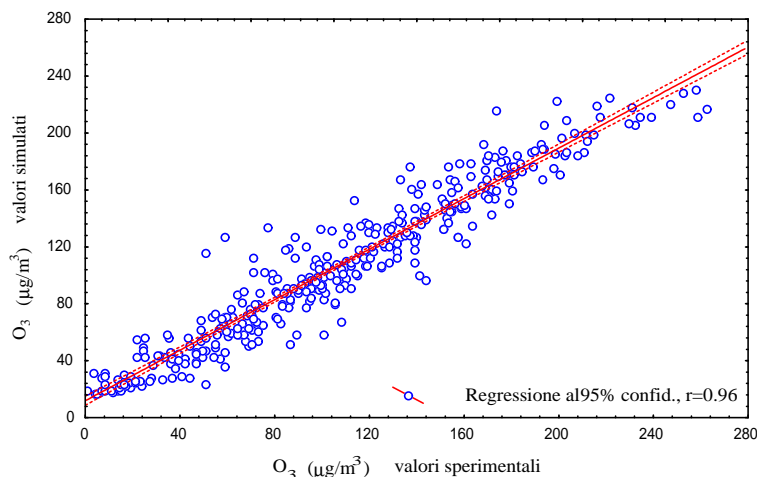


Fig. 5.21. Regressione lineare tra i valori sperimentali di O_3 ed corrispondenti valori simulati dalla rete “Sc-Net3”.



I diagrammi delle figure 5.19÷5.21 consentono il confronto diretto dei dati mediante la retta di regressione lineare tra i valori sperimentali del *testing set* ed i corrispondenti valori previsti dai modelli “Sc-Net1”, “Sc-Net2” e “Sc-Net3”.

La rete “Sc-Net2” sembra fornire la migliore prestazione, con un coefficiente di correlazione tra O_3 sperimentale ed O_3 simulato pari a 0.97. Come si presumeva, la rete “Sc-Net1” genera valori meno correlati (coefficiente di correlazione di 0.92) a dimostrazione delle difficoltà determinate dall’assenza dell’umidità relativa come parametro d’ingresso al modello.

Di seguito si riportano i correlogrammi dei residui relativi a ciascuna rete (fig.22÷24), i quali dimostrano, a loro volta, la particolare difficoltà della rete “Sc-Net1” a fornire risultati corretti. Le reti “Sc-Net2” e “Sc-Net3”, invece, elaborano valori in buona parte compresi nell’intervallo del *rumore bianco* e privi di particolari periodicità

Fig. 5.22. Autocorrelazione dei residui della rete “Sc-Net1”.

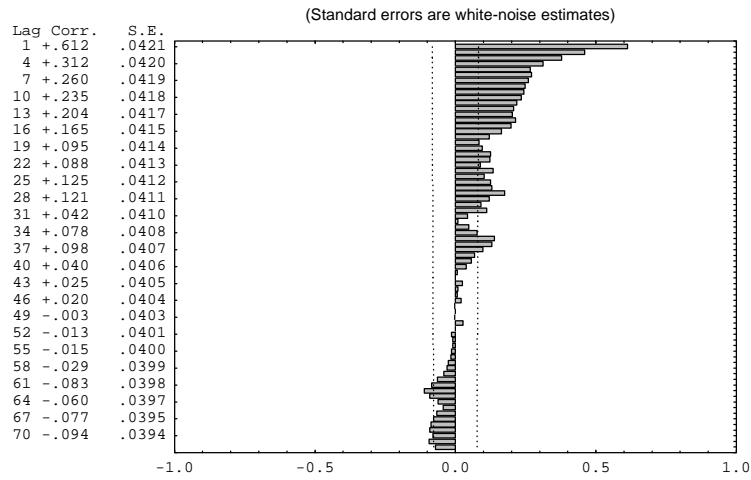


Fig. 5.23. Autocorrelazione dei residui della rete “Sc-Net2”.

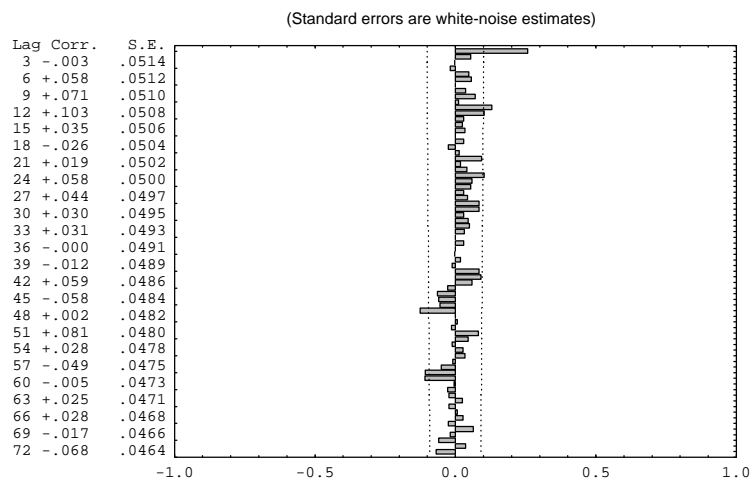
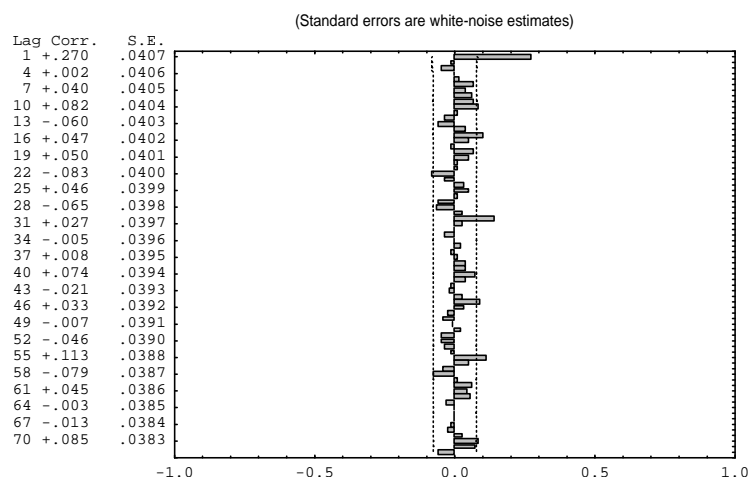


Fig. 5.24. Autocorrelazione dei residui della rete “Sc-Net3”.



Le statistiche per il confronto tra la serie sperimentale e quella simulata, per i modelli rispettivamente “Sc-Net1”, “Sc-Net2” e “Sc-Net3”, sono riportate nelle tabelle 5.21÷5.23, mentre le tabelle 5.24÷5.29 illustrano l’analisi in dettaglio sulla previsione degli eventi acuti.

Tabella 5.22. Analisi statistica dell’accuratezza dei risultati della rete “Sc-Net1”.

Modello “Sc-Net 1”				
	Training set		testing set	
numero di esempi, N	1000		561	
media dei valori osservati, \bar{O}	101.08		99.68	
media dei valori previsti, \bar{P}	98.63		97.02	
deviazione standard dei valori osservati, s_o	54.37		50.33	
deviazione standard dei valori previsti, s_p	50.18		46.62	
coefficiente di correlazione	0.94		0.92	
varianza spiegata	0.88		0.85	
regressione lineare	a = 10.85	b = 0.87	a = 12.05	b = 0.85
errore medio assoluto, MAE	14.18		14.26	
radice dell’errore quadratico medio, RMSE	18.60		19.86	
errore quadratico medio sistematico, $RMSE_s$	7.56		7.88	
errore quadratico medio casuale, $RMSE_u$	17.00		18.23	
indici di Willmott, d_1 e d_2	$d_1 = 0.84$	$d_2 = 0.97$	$d_1 = 0.82$	$d_2 = 0.96$

Tabella 5.23. Analisi statistica dell'accuratezza dei risultati della rete "Sc-Net2".

Modello "Sc-Net 2"				
	<i>Training set</i>		<i>testing set</i>	
numero di esempi, N	600		373	
media dei valori osservati, \bar{O}	107.24		105.00	
media dei valori previsti, \bar{P}	107.33		104.42	
deviazione standard dei valori osservati, s_o	54.51		56.49	
deviazione standard dei valori previsti, s_p	51.86		53.17	
coefficiente di correlazione	0.97		0.97	
varianza spiegata	0.94		0.94	
regressione lineare	a = 7.69	b = 0.92	a = 9.49	b = 0.91
errore medio assoluto, MAE	10.48		10.65	
radice dell'errore quadratico medio, RMSE	13.69		13.94	
errore quadratico medio sistematico, $RMSE_s$	4.33		4.94	
errore quadratico medio casuale, $RMSE_u$	12.99		13.04	
indici di Willmott, d_1 e d_2	$d_1 = 0.88$	$d_2 = 0.98$	$d_1 = 0.88$	$d_2 = 0.98$

Tabella 5.24. Analisi statistica dell'accuratezza dei risultati della rete "Sc-Net3".

Modello "Sc-Net 3"				
	<i>Training set</i>		<i>testing set</i>	
numero di esempi, N	600		374	
media dei valori osservati, \bar{O}	104.91		107.07	
media dei valori previsti, \bar{P}	104.42		106.94	
deviazione standard dei valori osservati, s_o	53.30		58.01	
deviazione standard dei valori previsti, s_p	50.27		53.62	
coefficiente di correlazione	0.96		0.96	
varianza spiegata	0.92		0.92	
regressione lineare	a = 9.27	b = 0.91	a = 11.94	b = 0.89
errore medio assoluto, MAE	11.33		12.28	
radice dell'errore quadratico medio, RMSE	14.66		16.37	

errore quadratico medio sistematico, RMSE _s	4.98		6.53	
errore quadratico medio casuale, RMSE _u	13.79		15.01	
indici di Willmott, d ₁ e d ₂	d ₁ = 0.87	d ₂ = 0.98	d ₁ = 0.87	d ₂ = 0.98

Tabella 5.25. Tabella di contingenza per il superamento del livello d'attenzione dell'O₃ nei valori sperimentali ed in quelli simulati dalla rete "Sc-Net1".

	Eventi favorevoli per i valori previsti	Eventi sfavorevoli per i valori previsti
Eventi favorevoli per i valori osservati	26 (A)	9 (B)
Eventi sfavorevoli per i valori osservati	8 (C)	518 (D)

Tabella 5.26. Analisi statistica sulla previsione degli eventi acuti realizzata dalla rete "Sc-Net1".

<i>Probability of detection, POD</i>	0.74
<i>Miss Rate, MISS</i>	0.26
<i>False Alarm Rate, FAR</i>	0.23
<i>Correct Null Forecast, CNULL</i>	0.98
<i>Critical Success Index, CSI</i>	0.60
<i>True Skill Scores, TSS</i>	0.73
<i>Heidke Skill Score, S</i>	0.74

Tabella 5.27. Tabella di contingenza per il superamento del livello d'attenzione dell'O₃ nei valori sperimentali e nei risultati della rete "Sc-Net2".

	Eventi favorevoli per i valori previsti	Eventi sfavorevoli per i valori previsti
Eventi favorevoli per i valori osservati	38 (A)	4 (B)
Eventi sfavorevoli per i valori osservati	10 (C)	321 (D)

Tabella 5.28. Analisi della previsione degli eventi acuti della rete "SC-Net2".

<i>Probability of detection, POD</i>	0.90
<i>Miss Rate, MISS</i>	0.1
<i>False Alarm Rate, FAR</i>	0.21
<i>Correct Null Forecast, CNULL</i>	0.97
<i>Critical Success Index, CSI</i>	0.73
<i>True Skill Scores, TSS</i>	0.87
<i>Heidke Skill Score, S</i>	0.82

Tabell

a 5.29. *Tabella di contingenza per il superamento del livello d'attenzione dell'O₃ nei dati*

Tabella di contingenza per O₃ > 180 mg/m³, “Sc-Net3”		
	Eventi favorevoli per i valori previsti	Eventi sfavorevoli per i valori previsti
Eventi favorevoli per i valori osservati	32 (A)	9 (B)
Eventi sfavorevoli per i valori osservati	9 (C)	324 (D)

sperimentali e nei risultati della rete “Sc-Net3”

Tabella 5.30. *Analisi della previsione degli eventi acuti della rete “Sc-Net3”.*

<i>Probability of detection, POD</i>	0.78
<i>Miss Rate, MISS</i>	0.22
<i>False Alarm Rate, FAR</i>	0.22
<i>Correct Null Forecast, CNULL</i>	0.97
<i>Critical Success Index, CSI</i>	0.64
<i>True Skill Scores, TSS</i>	0.75
<i>Heidke Skill Score, S</i>	0.75

Le statistiche per il confronto tra dati sperimentali e simulati confermano una simulazione insoddisfacente da parte del modello “Sc-Net1”. Quest’ultimo, infatti, genera valori dotati di una media che si discosta da quella delle osservazioni di 2.4 µg/m³, nel *training set*, e di 2.7 µg/m³, nel *testing set*, quantità ragguardevoli se confrontate con le corrispondenti del modello “Sc-Net2”: 0.1 µg/m³ per il *training set* e 0.6 µg/m³ per il *testing set*. L’errore medio (RMSE) prodotto dalla rete “Sc-Net1” corrisponde a circa il 10% del *livello d’attenzione*, mentre l’errore medio prodotto dalla rete “SC-Net2” corrisponde all’8% del *livello d’attenzione*. Il modello “Sc-Net3” effettua una riproduzione intermedia a quelle eseguite dagli altri due modelli: “Sc-Net1” scarsa e “Sc-Net2” ottima.

Anche l'analisi sulla previsione degli eventi acuti conferma il comportamento peggiore da parte del modello "Sc-Net1", mentre il modello "Sc-Net2" realizza una prestazione ottima, con il 90% di previsioni di eventi acuti corrette e la più bassa percentuale di falso allarme. La rete "Sc-Net3" anche in questo caso si trova in una condizione intermedia tra quelle corrispondenti alle reti "Sc-Net1" e "Sc-Net2".

Tali considerazioni trovano ulteriore conferma nei diagrammi 5.25÷5.27.

Fig. 5.25. Confronto tra i dati sperimentali e quelli simulati dalla rete "Sc-Net1".

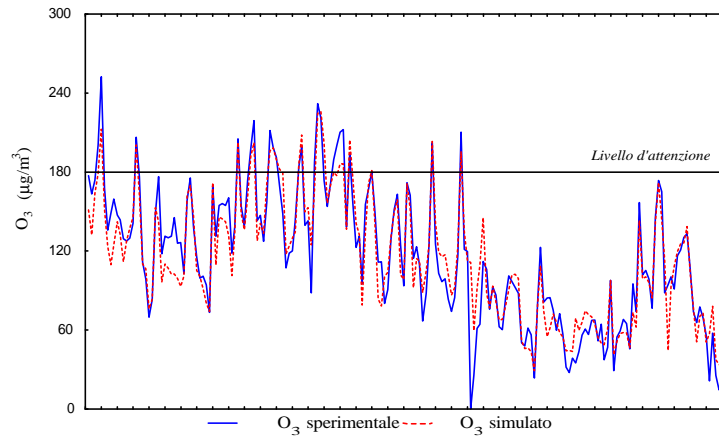


Fig. 5.26. Confronto tra i dati sperimentali ed i risultati della rete "Sc-Net2".

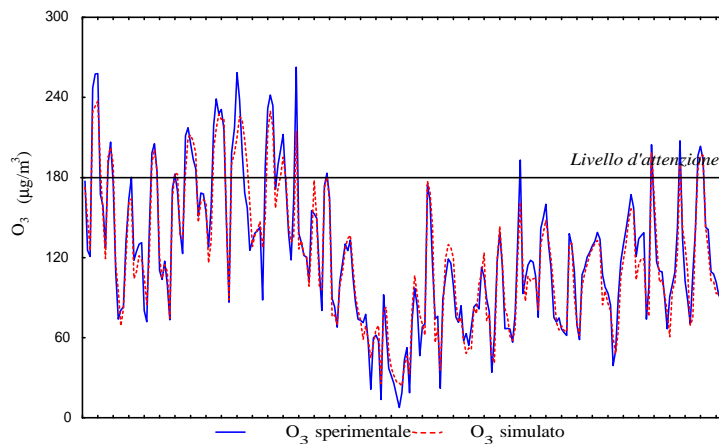
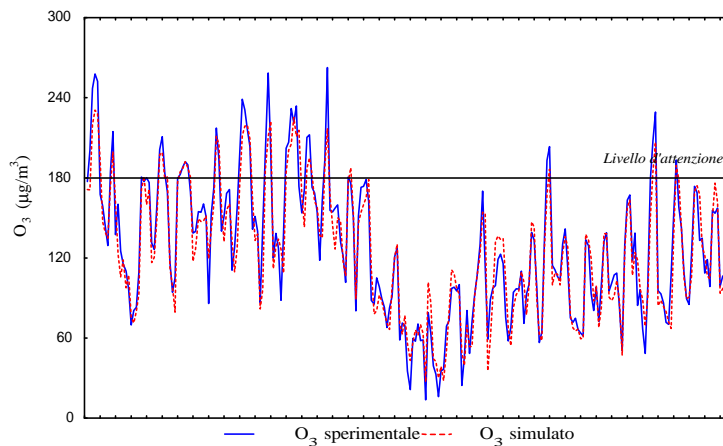


Fig. 5.27. Rete "Sc-Net3": confronto tra valori sperimentali ed simulati.



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.