

CONCLUSIONI

Nelle aree con particolari condizioni ambientali (grande traffico automobilistico e/o perdite di COV in presenza di elevata radiazione solare, come ad es. Mexico City, ma anche Los Angeles, Milano, Mestre, Vicenza, ecc.) l'inquinamento atmosferico è sostanzialmente quello che va sotto il nome di «smog fotochimico». Un tale inquinamento comprende gas di tipo primario (come ad es. CO, NO_x e COV) e secondario (come O₃ e PAN). L'O₃ ne è un indicatore privilegiato anche se non discrimina fra contributi antropici e naturali (il PAN, che lo potrebbe fare, non si presta a misure remote ed in continuo). La letteratura sullo smog fotochimico, soprattutto quella più recente, riconosce la natura non lineare dei fenomeni ad esso connessi, ma finisce sempre per trattare i dati con modelli lineari (come ad esempio i modelli a box descritti nel paragrafo 1.5.5 o analoghi). Nel presente lavoro, ci si è posti, per prima cosa, l'obiettivo di superare una tale difficoltà, analizzando, dapprima, la struttura deterministica del problema (v. ad es. l'analisi dimensionale riferita nel paragrafo 1.5.4) per passare poi allo studio di algoritmi stocastici propriamente non lineari.

L'analisi dimensionale mostra una strada che sarebbe percorribile solo con campagne di misura dedicate alla individuazione della funzione $F(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3) = 0$. Questa strada sarebbe in grado di fornire lo strumento necessario per le previsioni a distanza di giorni, ma richiederebbe previsioni con lo stesso anticipo dei flussi di traffico e della meteorologia locale dettagliata (profili di temperatura, profili di vento e altezza dello strato limite), dati, in ogni caso, difficili da avere. Senza contare che il ragionamento riportato nel paragrafo 1.5.4 dovrebbe essere generalizzato includendo, tra le variabili dimensionali, anche la radiazione solare e l'umidità dell'aria.

Mostrato che la previsione anche solo al giorno dopo non è ragionevole si sono indirizzati i lavori verso il *nowcasting* del fenomeno, tramite reti neurali a lag temporale di un'ora. La scelta di un tale tempo è dettata dal fatto che l'ora è il passo delle misure e costituisce, quindi, il più breve sfasamento possibile e che la ricerca voleva considerare effetti spaziali, a differenza di quanto si era fatto in precedenti lavori (Liguori, 1996; Liguori et Al., 1997 a; 1997 b; Liguori et Al., 1998). Rispetto a tali lavori è stato

cambiato anche il territorio (Provincia di Vicenza invece dell'area cittadina di Mestre) perchè la Provincia di Venezia risulta carente di dati distribuiti. Inoltre, era presente un marcato interesse, anche nell'ambito del progetto MOTAP, per analizzare i comportamenti dello smog fotochimico in un'area poco studiata in precedenza (le aree ad influenza marina di Ravenna e Mestre-Marghera sono già state oggetto di vasta letteratura). A Vicenza infine erano disponibili anche misure in quota.

L'interesse per gli effetti spaziali dello smog fotochimico deriva dalla necessità di stabilire una struttura a sottobacini dell'area padana, in quanto è poco ragionevole ritenere che l'intero bacino subisca vicende comuni e comunque, se così fosse, bisognerebbe dimostrarlo. Il presente lavoro si caratterizza proprio per la metodologia messa a punto al fine di poter valutare le caratteristiche comuni dei diversi siti di misura, con il duplice scopo di stabilire l'appartenenza di un sito ad un bacino e di rendere operative le stazioni di misura mobili. Quest'ultimo obiettivo è di grande interesse perché tutte le reti dispongono di mezzi mobili che vengono impropriamente usati come stazioni fisse che, all'occorrenza, possono essere spostate, senza rispondere a piani di utilizzo in appoggio alla rete fissa. Inoltre, l'organizzazione del territorio padano in sottobacini richiede ricerche sistematiche anche per dare un senso logico alle grandi moli di dati accumulati nel tempo dalle reti di sensori fissi.

Il lavoro svolto ha individuato dei protocolli operativi che potrebbero costituire la base per costruire un paradigma adatto a sfruttare i giacimenti informativi esistenti e capace di finalizzare i risultati alla definizione dei sottobacini e di programmare le campagne di misura delle centraline mobili.

La scelta delle reti neurali come strumento di manipolazione finale dei dati (in prima battuta si sono usati i normali strumenti della statistica) deriva dalla convinzione che non si possano più usare solo modelli lineari (almeno da quando tutti proclamano la non linearità dei fenomeni) e dalla constatazione che l'algoritmo neuronale è il più intelligente dei modelli stocastici ed il più funzionale dei sistemi esperti.

Le prestazioni delle reti neurali utilizzate sono risultate tutte (tre architetture diverse) eccellenti per tutti i siti disponibili (cinque stazioni). Il risultato è importante perché mostra, senza ombra di dubbio, che gli effetti territoriali sono molto importanti. Infatti le tre architetture neurali considerate usano come input le concentrazioni di ozono rilevate

nelle altre stazioni e quindi il successo delle simulazioni deriva anche da quello che avviene in siti “vicini”. Inoltre, si è osservato che il successo di simulazione è maggiore se si tiene conto dei siti vicini piuttosto che di istanti vicini (effetti regressivi). L’andamento dei successi di simulazione menzionati è visibile in fig. 6.1, se si osserva quanto la fascia dei punti di ciascun diagramma si addensi attorno alle rette a 45 gradi, che indicano la corrispondenza perfetta. Interessante è anche osservare come la dispersione dei valori più alti sia molto ridotta, nonostante che per tali condizioni l’istruzione della rete sia povera.

Naturalmente, quanto appena rilevato va attribuito al fatto che le cinque stazioni subiscono, rispetto all’ozono, le stesse vicissitudini (appartenenza allo stesso sottobacino), mentre nulla si può dire sui rapporti di causa-effetto (ad esempio “vicenza influenza Valdagno” o altro) né sui rapporti di sequenzialità (ad esempio “ a Vicenza la nuvola di ozono si forma prima che a Montecchio M.” o altro). D’altra parte l’obiettivo del lavoro era proprio quello di valutare la “vicinanza” di siti diversi e non la loro “causalità” o “sequenzialità”. Per valutare questi effetti si possono ancora usare le reti neurali, ma sarà necessario studiare architetture adatte.

Le architetture neurali usate forniscono anche altre informazioni sul territorio. Infatti se si analizza la “sensitività” dell’output alle informazioni del vettore di input è possibile stabilire graduatorie di merito per i diversi siti, cioè quale dei siti sia più “vicino” a quello di output. In tabella 6.1. sono riportati, con riferimento a Net1, i coefficienti di sensitività. Dalla loro lettura si osserva che:

- il primo vicino di Bassano del Grappa è Schio;
- il primo vicino di Montecchio Maggiore è Vicenza Ovest;
- il primo vicino di Schio è Bassano del Grappa;
- il primo vicino di Valdagno è Schio;
- il primo vicino di Vicenza Ovest è Montecchio Maggiore.

Fig 6.1. Confronto dei risultati ottenuti dalle reti. Le righe del seguente schema rappresentano le stazioni di rilevamento della qualità dell'aria, rispettivamente, di Bassano del Grappa, Montecchio Maggiore, Schio, Valdagno e Vicenza Ovest. Le colonne indicano, invece, i modelli “*-Net1”, “*-Net2” e “*-Net3”.

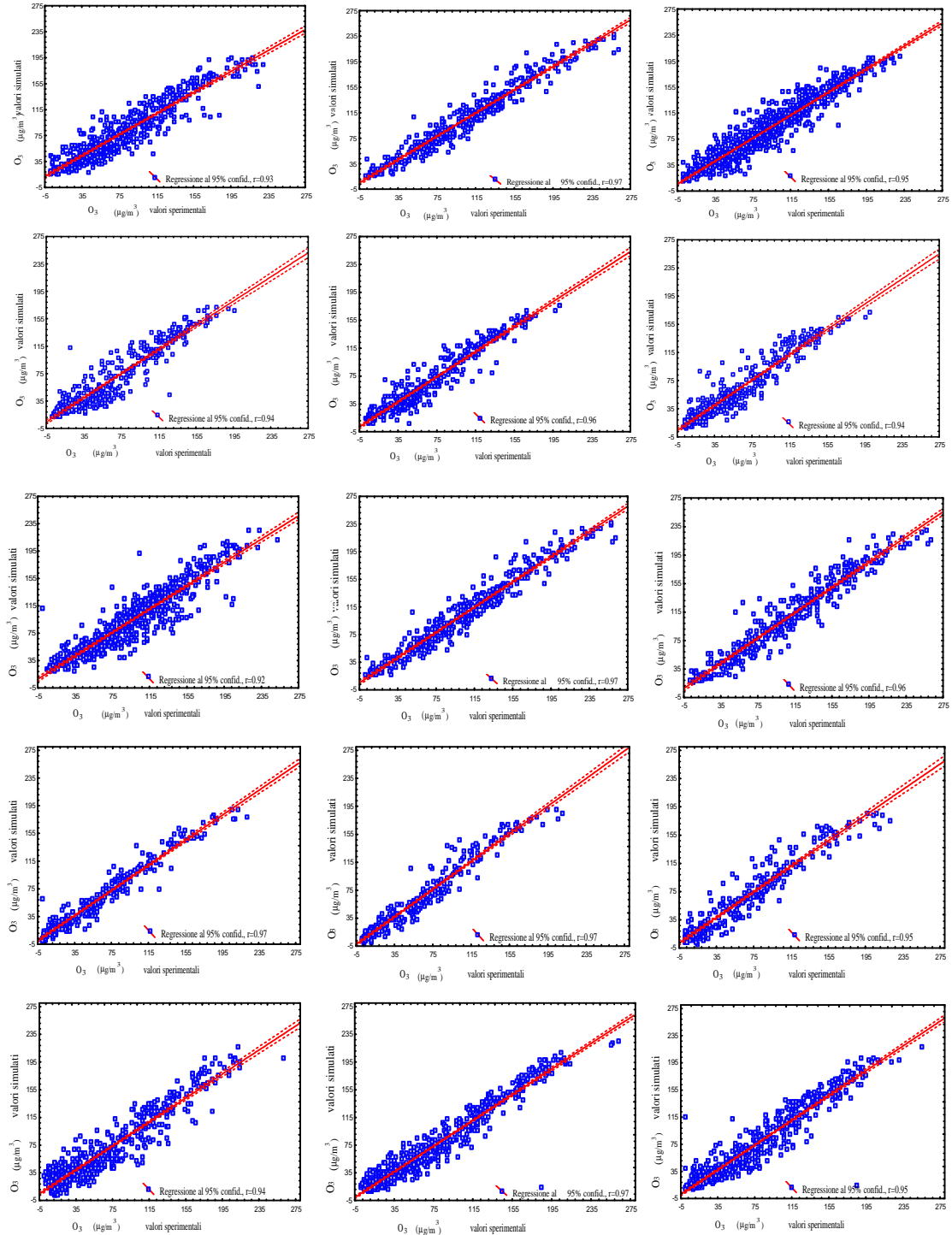


Tabella 6.1. Coefficienti di sensitività di ciascun sito sugli altri. La rete neuronale è la Net1. Nella prima colonna sono riportati i siti in output.

	$O_3(t)Bg$	$O_3(t)Mm$	$O_3(t)Sc$	$O_3(t)VL$	$O_3(t)Vo$
Bassano del Grappa	---	1.36	1.52	0.52	0.86
Montecchio Maggiore	1.59	---	0.54	0.29	2.46
Schio	2.14	0.56	---	1.68	0.60
Valdagno	1.23	0.07	1.97	---	0.94
Vicenza Ovest	0.34	2.22	0.04	0.81	---

Si osserva che la matrice di tabella 6.1 non è simmetrica perchè se un sito A è primo del sito B, non è detto che B sia necessariamente il primo vicino di A. Questa proprietà permette di rendere più robusto il concetto di “vicino” in senso aerologico, che tra l’altro potrebbe non coincidere con quello geografico (struttura fine del bacino aerologico). Ciò accade, ad esempio, se due siti sono separati da un rilievo e giacciono in valli che confluiscono in un’area presidiata da una terza centralina. Quest’ultima potrebbe risultare la prossima vicina delle altre due anche se esse fossero tra loro geograficamente più prossime (analoghe considerazioni valgono per particolarità meteorologiche indotte da altre presenze geografiche quali, ad esempio fiumi, laghi, coste, boschi, strade, insediamenti urbani, ecc.).

Naturalmente il tutto non è invariante rispetto all’architettura della rete la cui qualità va indagata prima ed a fondo utilizzando, come nel presente lavoro, test di qualità degli output (v. schema riassuntivo di tabella 6.2.).

Tabella 6.2. Confronto tra alcuni parametri per la valutazione della qualità delle prestazioni per i modelli “Net1”, “Net2” e “Net3”. I valori di RMSE hanno unità di misura mg/m^3 mentre gli altri parametri sono quantità adimensionali. Tutti i valori riportati sono stati calcolati sui dati del testing set. La miglior prestazione di ciascun sito e ciascun indice è segnalata con sfondo grigio.

	Net1			Net2			Net3		
	RMSE	POD	FAR	RMSE	POD	FAR	RMSE	POD	FAR
Bassano	19.2	0.50	0.08	14.7	0.63	0.15	16.0	0.70	0.16
Mont. M	16.6	0.43	0.14	13.6	0.33	0.14	15.0	0.71	0.00
Schio	19.9	0.74	0.23	13.9	0.90	0.21	16.4	0.78	0.22
Vald.	12.2	0.33	0.00	12.0	0.50	0.00	15.7	0.44	0.00
Vicenza	18.5	0.74	0.18	14.3	0.77	0.17	16.6	0.56	0.26

Una volta che sia stato definito l'assetto dei sottobacini, i modelli neuronali consentono di moltiplicare le prestazioni di una rete di monitoraggio permettendo di far buon uso dei mezzi mobili. Infatti, si consideri un sottobacino sorvegliato (cioè l'insieme dei punti che sono analoghi ai punti fissi di una rete di monitoraggio) ed un mezzo mobile installato per un periodo di tempo limitato (ad esempio una quindicina di giorni), in un punto del sottobacino è possibile istruire un modello neuronale per quel punto con i dati rilevati dal mezzo mobile e farlo poi funzionare come simulatore del mezzo mobile stesso. Così, in breve tempo, è possibile avere una sorveglianza del punto e liberare il mezzo mobile per altra destinazione. Una tale possibilità è stata verificata con successo nel presente lavoro operando sulle cinque stazioni fisse a disposizione, come se ognuna di esse fosse, di volta in volta, un mezzo mobile supportato dalle altre quattro.

Concludendo, il lavoro svolto ha permesso di stabilire che:

1. - le reti neuronali forniscono eccellenti simulazioni a breve termine (qualche ora) dell'ozono sfruttando contributi regressivi (conferma di risultati precedenti ottenuti a Mestre);
2. - per l'ozono a breve termine le reti neuronali forniscono risultati migliori sostituendo input regressivi con dati distribuiti sul territorio, cioè se supportate da una rete di monitoraggio;
3. - particolari architetture neuronali permettono di individuare i sottobacini di un territorio caratterizzati da punti con affinità di comportamento aerologico;
4. - è possibile stabilire dei protocolli (il presente lavoro ne indica un paradigma) per usi combinati delle reti di monitoraggio fisse e dei mezzi mobili molto efficienti.

Naturalmente i risultati ottenuti possono essere migliorati sia per quanto riguarda l'architettura delle reti neuronali sia per quanto riguarda le prestazioni, soprattutto se fosse possibile verificare la persistenza pluriennale delle prestazioni neuronali e se si potesse disporre di informazioni adeguate sul traffico veicolare e sulla distribuzione verticale dell'ozono. Purtroppo, l'argomento è stato affrontato (con grande dispendio di energie per la raccolta e l'analisi dei dati) anche nel presente lavoro, ma sostanzialmente per constatare che le informazioni disponibili sono o troppo poche (distribuzione verticale dell'ozono) o poco utili perchè raccolte con finalità diverse (dati di traffico).

Da ultimo va tolta l'illusione che le reti neuronali, in virtù della loro capacità di apprendere, riducano il lavoro agli operatori. Esse, infatti, permettono di utilizzare le grandi masse di dati in modi altrimenti impossibili, ma richiedono un impegno molto meticoloso nella preparazione dei *pattern* di input e nella raccolta e controllo dei dati sperimentali disponibili.