

MODELLI DI DISPERSIONE E ODORI

Mauri Favaron - Nov 2012

Indice

Sezione	Pag.
1. Il contesto pratico	12
2. Il problema	13
3. La concentrazione media oraria rivisitata	22
4. Comunque, non scherziamo!	39
5. Una possibile via d'uscita	44
6. Un'altra linea di condotta	67
7. La varianza delle fluttuazioni di	107
8. L'uso dei modelli convenzionali, rivisitato	121
9. Un possibile piano di tesi	138

12

La dispersione di sostanze odorose

1. Il contesto pratico

Di recente, la Lombardia ha emanato una Legge Regionale che disciplina la materia degli odori. Questa Legge Regionale contiene una Linea Guida che, insieme ad altre cose interessanti, introduce l'uso dei modelli di dispersione nel caso specifico degli odori.

Rome tutte le Linee Guida, anche la nostra dice cose molto interessanti su come usare i modelli. E come spesso accade, di questi ultimi si limita a dare per scontato quello che esiste. In particolare, Palpuff.

La Linea Guida andrebbe considerata, a detta dei suoi/pure autori/autrici, come sperimentale e migliorabile.

13

E gli spazi di miglioramento possibili sono molti. Soprattutto, perché in Lombardia i dati disponibili per la modellistica sono molti di più! Nédi ad esempio la rete SHAKEUP di ARPA Lombardia.

2. Il problema

I modelli di dispersione come Palpuff sono stati progettati pensando alle applicazioni nel campo della qualità dell'aria.

Tutte queste applicazioni portano con sé una medesima ipotesi di lavoro: gli inquinanti atmosferici hanno effetti sulla salute umana e dell'ambiente. Ma questi effetti sono quasi sempre dovuti ad accumulazione, su un arco temporale di mesi/anni. I modelli di dispersione, dunque, sono fatti per

¹⁴ prevedere effetti a lungo termine. La stessa impostazione, guarda il caso, usata per formulare i limiti di legge degli inquinanti, sempre espresi come medie annuali, percentili annuali, e più in generale "statistiche" su base annuale.

In pratica. Per prima cosa si fissano:

- una griglia spaziale (un insieme di punti $\Gamma = \{G_1, G_2, \dots, G_N\}$) [1]
- un intervallo temporale.

Nella stragrande maggioranza dei casi la griglia è "regolare", cioè generata dalla regola

$$G_i = [\tilde{x} \equiv x_0 + m_i(\Delta x), \tilde{y} \equiv y_0 + n_i(\Delta y)] \quad [2]$$

Nel nostro caso, che la griglia sia o no regolare non ci cambia la vita - e mai non fareremo questa restrizione, tutto sommato inutile. ¹⁵

Torniamo dunque al nostro caso. Il modello accetta come ingressi i dati di emissione e meteorologici per ogni passo temporale.

E restituisce in uscita tanti campi di concentrazione

$$C: \Gamma \rightarrow \mathbb{R}^+ \quad [3]$$

$$C(G_1) = e_1, C(G_2) = e_2, \dots, C(G_N) = e_N$$

quanti i passi temporali. Questi esampi, presi e congiuntamente, vanno a costituire una serie temporale

16

$$C(t_u) : \Gamma \rightarrow \mathbb{R}^+$$

[4]

dove

$$t_u = t_0 + (u) \cdot \Delta t$$

[5]

Compiuta una "girata" del modulo, e ottenuta così una serie temporale di campi del tipo [4], un secondo programma (il post-processore) la trasforma in indicatori statistici usabili (quelli, per intendere, usati "per quell'inquinante" nella definizione dei limiti di legge).

Ad esempio, nel caso della media annua il post-processore prende uno ad uno ~~stai~~ i campi, li somma, e divide il risultato per il numero di ore:

$$\bar{C} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K C(t_k)$$

[6]

¹⁷ Il "risultato del modello", nel caso, è da tutt* considerato il campo medio \bar{C} .

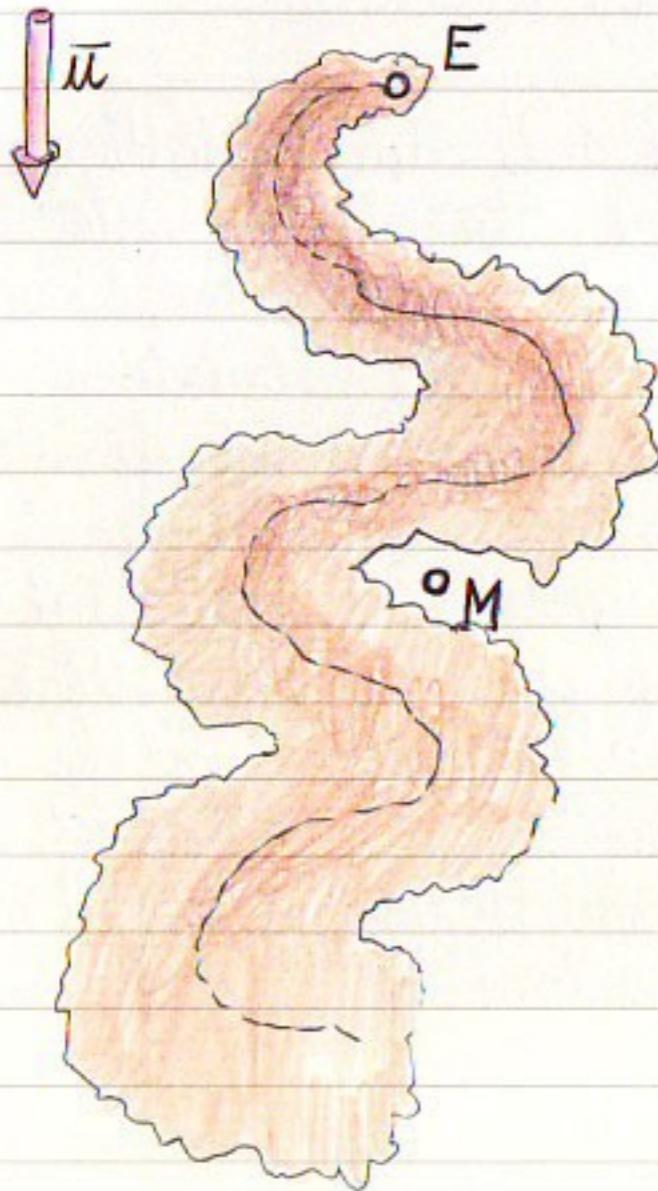
Nel caso degli odori questa impostazione non funziona!

La percezione degli odori, infatti, è quasi istantanea. Più precisamente, un odore può essere percepito (o no) in occasione di ogni atto di inspirazione. Secondo le norme tedesche VDE, gli atti di inspirazione sono "esattamente" 5 in un minuto. Forse come individui della specie umana possiamo dissentire sul numero - ma l'esenza è che gli atti di inspirazione sono molto brevi. Più brevi del passo temporale Δt dei modelli di dispersione.

Viene da chiedersi se, oltre che "brevi", gli atti di inspirazione possono anche

18

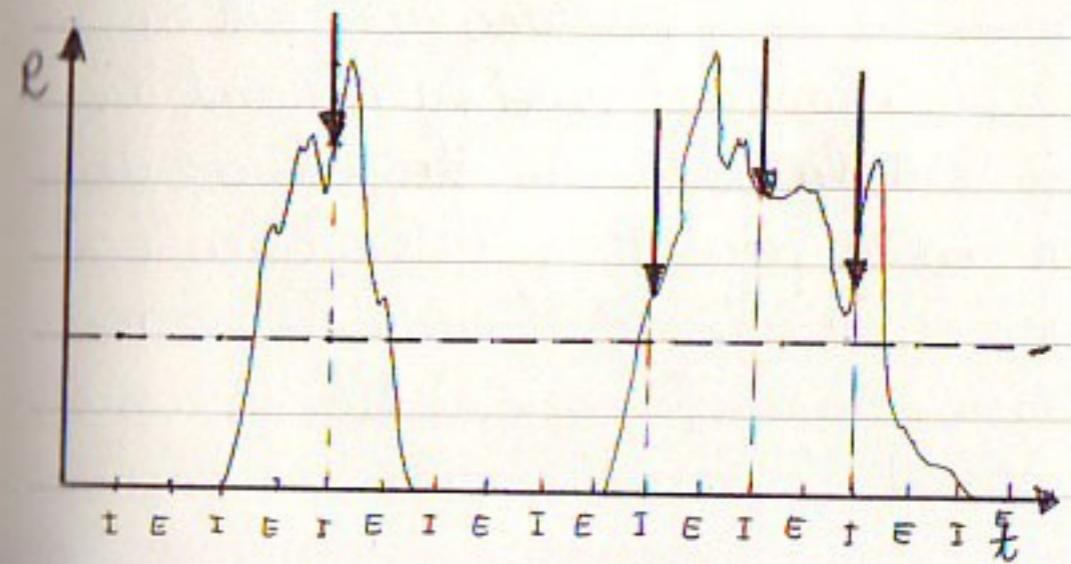
essere "significativamente diversi" in termini di odori. La risposta, dipendente dal contesto, tende al positivo. Vediamo un esempio.



19

Nella figura qui a fianco vediamo il caso di un'emissione (*E*) e di un punto di misura (*M*) immediatamente sottovovento.

Nell'istante raffigurato, il punto *M* si trova a sperimentare una concentrazione pari a zero per effetto del trascinamento dei meandri del pennacchio da parte del vento medio *U*. Tra "breve" il pennacchio investirà il punto *M*, e se la concentrazione riguarda una sostanza odorosa, ne consegnerà la comparsa di un certo numero di inspirazioni accompagnate da percezione di odore.



20

Il grafico della pagina precedente era di chiarire la questione. In essa vediamo il tempo, con le "I" che mostrano gli atti di inspirazione, e le "E" che fanno vedere gli atti di espirazione (facendo finta che i due siano speculari nel tempo - non è sempre così).

In ordinata, invece, vediamo le concentrazioni - con la linea tratteggiata a marcare la soglia percepitiva della persona osservatrice nel punto M.

Gli "istanti" di percezione di odore sono quelli che corrispondono agli atti di inspirazione nei quali la concentrazione della sostanza odorosa supera la soglia percepitiva. Nel grafico si può vedere evidenziati con delle grosse frecce. In questo caso vediamo come solo 4 inspirazioni delle 9 visibili

21

hanno dato luogo a sensazioni di odore.

Se il nostro modello di dispersione fosse capace di riprodurre le concentrazioni istantanee con la medesima precisione del grafico di pag. 19, allora tutti i nostri problemi si ridurrebbero alla determinazione della soglia percepitiva (problema complesso ma almeno ben determinato; se ne occupa l'olfattometria).

Purtroppo, non è così! Come già abbiamo veduto, i modelli restituiscono una specie di media oraria, in corrispondenza di ogni singolo passo temporale.

Rosa possiamo fare, per ovviare a questo inconveniente?

Il metodo che si segue nella pratica è piuttosto brutale: si introduce un "fat-

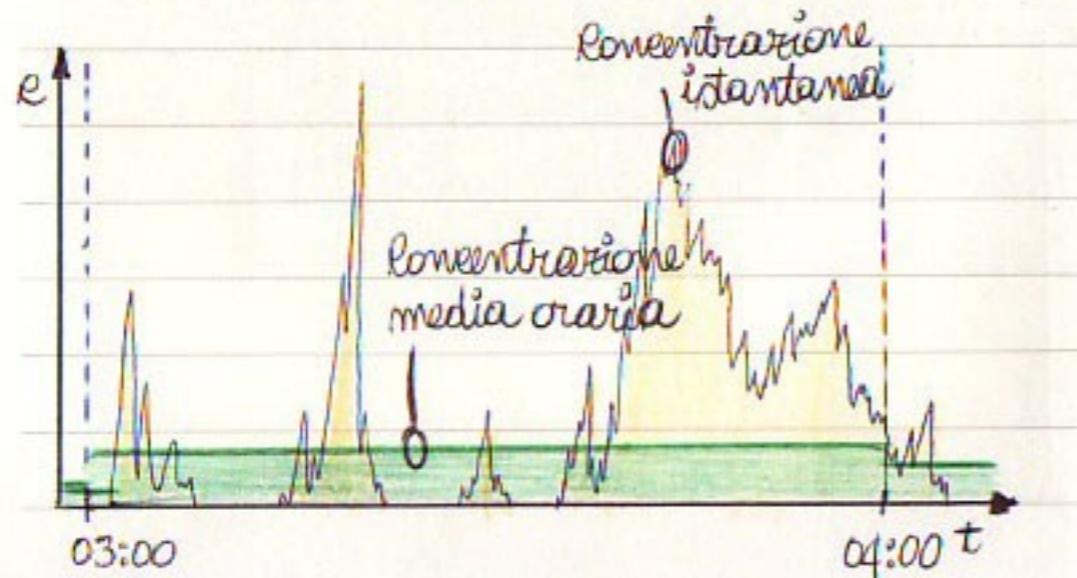
22

"tore eautolativo", lo si moltiplica per il valore della media oraria, e si confronta il risultato con la soglia perettiva.

Se il valore di concentrazione media "opportunamente moltiplicato" supera la soglia perettiva, allora si dice che "c'è odore".

3. La concentrazione media oraria rivisitata

Ma torniamo un momento alla "cosa che non possiamo avere", la concentrazione istantanea.



23

Se la conosciamo esattamente, la potremmo usare per definire la media oraria, per esempio con una regola del tipo

$$\bar{e} = \frac{1}{t_b - t_a} \int_{t_a}^{t_b} e(t) \cdot dt \quad [7]$$

È quello che vediamo nel grafico qui di fianco, in cui la media oraria è rappresentata dalla linea verde scura.

Per come abbiamo costruito la "media oraria" sappiamo che l'area immediatamente sotto a lei è esattamente uguale (imprecisione del mio disegno a parte) a quella, nella stessa ora, sotto la curva della concentrazione istantanea.

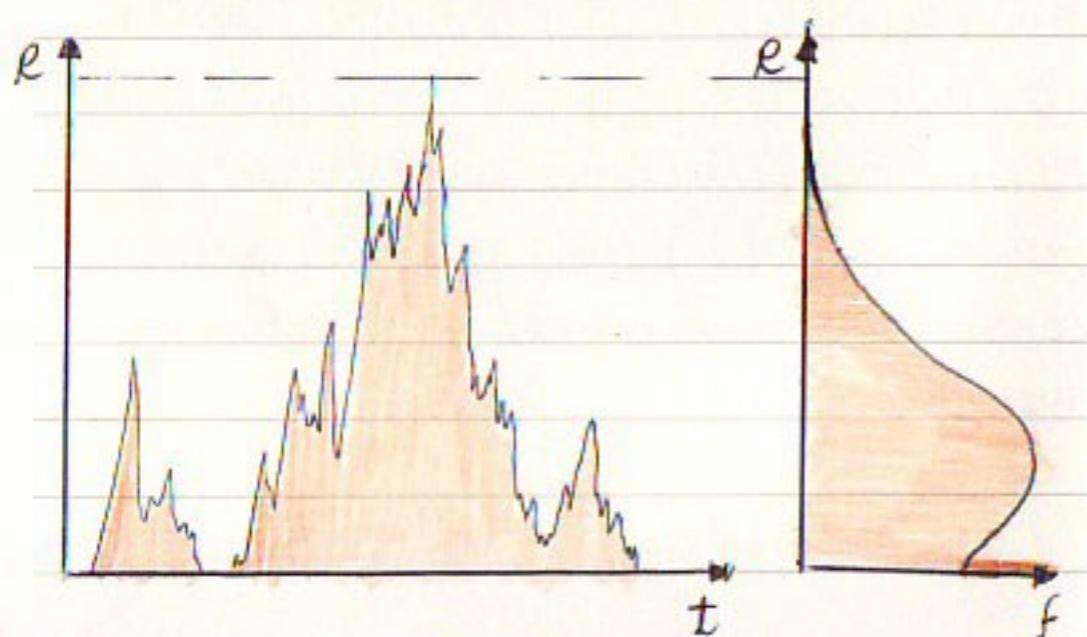
A parte questo fatto tranquillizzante,

24

però, vediamo bene come la concentrazione media oraria descriva malissimo la situazione reale.

In particolare non ci dice nulla sui "buchi" (gli intervalli temporali nei quali la concentrazione è nulla) e sui picchi.

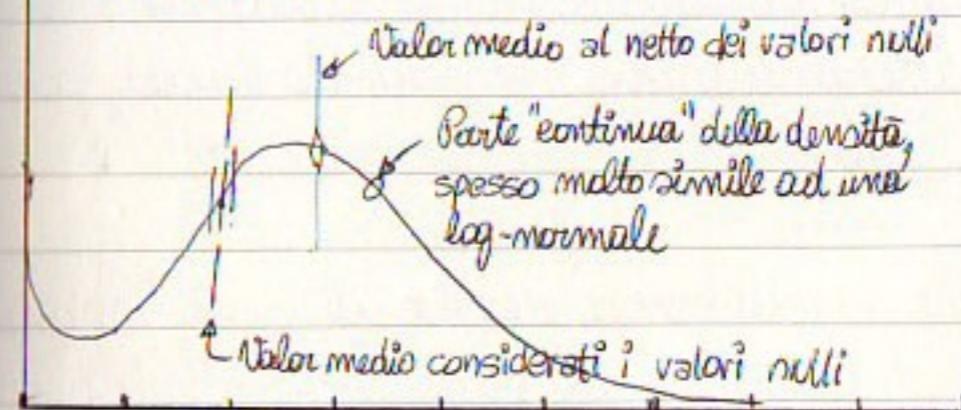
Cosa potremmo fare, se desiderassimo migliorare il nostro livello di comprensione? Un modo molto conveniente potrebbe essere rappresentato da un istogramma orario delle concentrazioni istantanee.



25

d'istogramma, al tendere a 0 dell'ampiezza delle classi, converge alla funzione densità associata alla concentrazione. Nel diagramma di pag. 24 la vediamo in picco e rovesciata, ma può essere conveniente allargarla per apprezzarne i dettagli.

Questo picco in realtà è una "delta di Dirac" che rappresenta i molti istanti in cui la concentrazione è nulla



E sono proprio i dettagli che ci portano a pensare e riconsiderare. Torniamo alla figura di pagina 18, che incidentalmente è molto simile a quella che compare in molti "paper" rilasciati dal gruppo di ricerca che per primo si è occupato degli odori.

26

Come possiamo vedere, rappresenta una emissione puntuale. E qui può essere utile un po' di "diotrologia" - a fin di bene.

Il gruppo di ricerca che ha lavorato più di recente sugli odori ha origine in Austria. La prima attività affrontata ha avuto a che fare con un problema di grande importanza in Austria: le "fattorie odorose" - in primo luogo, porcilaie.

Che questo possa essere "il" problema in Austria non è del tutto sorprendente: lì la densità di popolazione non è alta come da noi, e ci sono state ampie possibilità (sfruttate) di governo del territorio. Grazie a questo, gli unici impianti odorosi che hanno modo di trovarsi a ridosso degli abitati sono, nelle aree rurali, le fattorie.

27

Gli altri impianti odorosi sono, banalmente, a distanza. Dove nessuno può evitare.

Ora: le fattorie, in virtù delle loro piccole dimensioni, si possono rappresentare alla stregua di sorgenti puntuali.

In Lombardia le cose sono molto diverse, come possiamo vedere già da questa elementare tabella:

	Lombardia	Austria
Sup. (km ²)	23860	83858
Popolaz.	10 015 209	8 404 252
Densità	419.75	100.22

(Dati da Wikipedia).

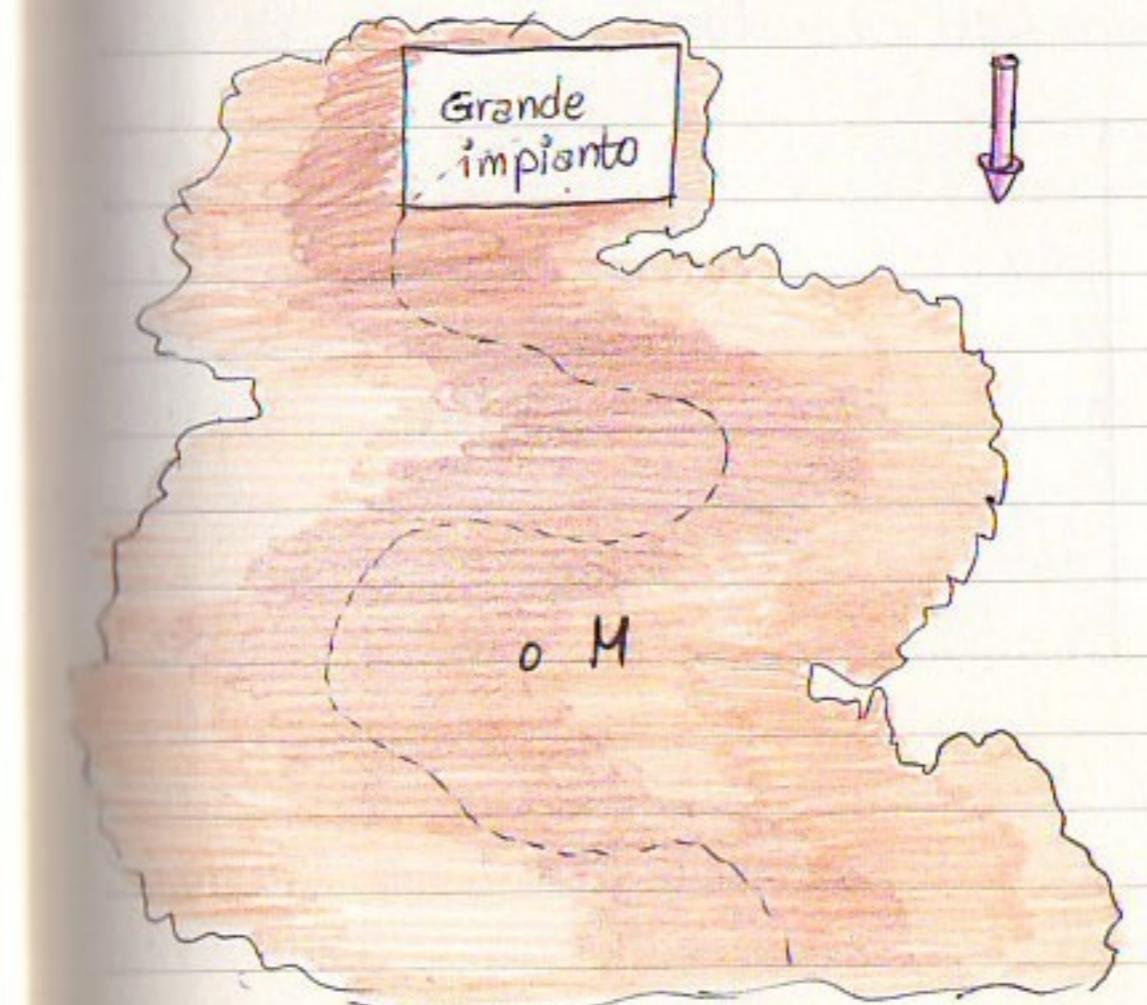
Dei circa 10 milioni di abitanti della Lombardia, più di 8 si trovano nella mega-

urbazione compresa nelle vecchie province di Milano, Monza, Lomo, Varese e Lecco. Ne consegue che da noi è praticamente impossibile localizzare gli impianti maggiori, odorosi e non, a distanza di sicurezza dalla popolazione civile.

E in un contesto del genere, "il" problema dei lombardi non è proprio lo stesso degli austriaci: da noi non ci sono (solo) le fattorie, ma i grandi impianti industriali, depuratori/impianti di compostaggio/di cariche in primo luogo.

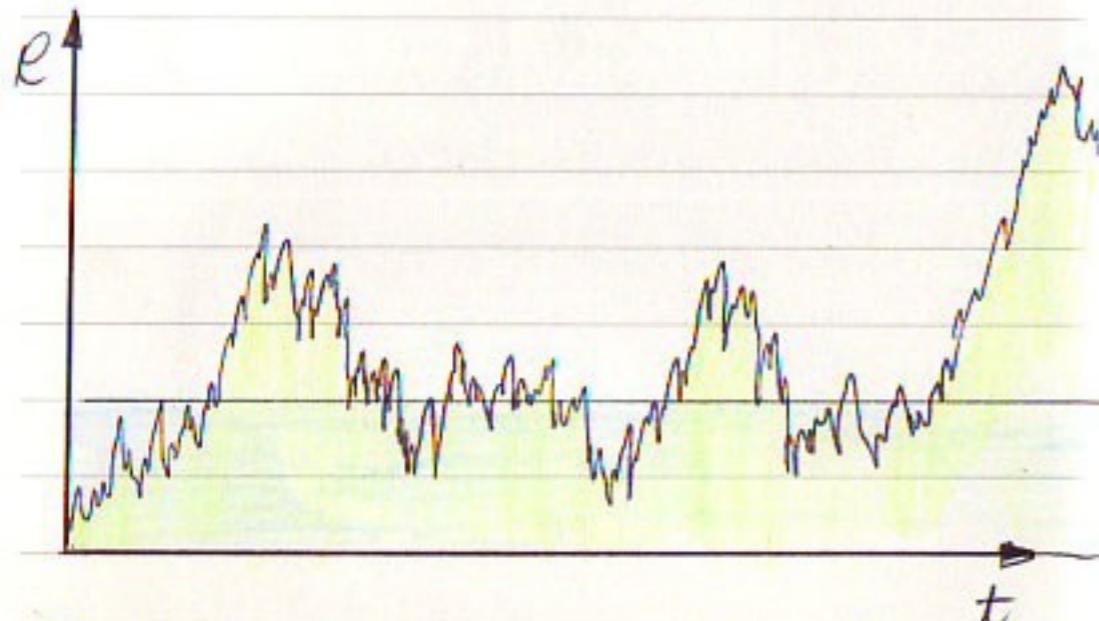
I grandi impianti industriali sono, per natura, appunto grandi. Come tali, più che come sorgenti puntuali li si può modellizzare come sorgenti areali.

Se confrontiamo la figura di pag. 18 con quella di pag. 29, vediamo che già a

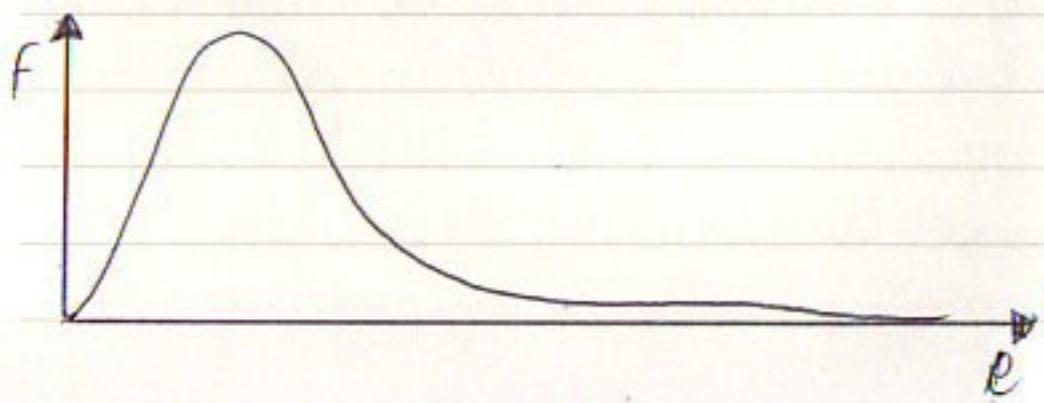


causa delle maggiori dimensioni della regione di emissione, la probabilità che il punto M, sottovento all'emissione, possa sperimentare di tanto in tanto concentrazioni è praticamente zero. Il grafico delle concentrazioni istan-

³⁰ tante, nel caso, avrebbe un aspetto come di seguito.



L'istogramma perderebbe con ciò la sua parte corrispondente alla concentrazione nulla - che come abbiamo veduto è una Delta di Dirac. Rimarrebbe più o meno questo:



In altri termini: qualcosa di simile ad ³¹ una densità log-normale!

L'idea che i dati di concentrazione in un punto seguano davvero una distribuzione log-normale è fortemente suggerita dalla analisi di serie di misure orarie come quelle scaricabili dal sito di ARPA Lombardia. Nel nostro caso, però, stiamo guardando concentrazioni nell'ambito di un'ora.

Qui, però, credo sia utile un chiarimento. Quando parliamo di "funzione densità", tende a scattare (parlo per me che scrivo) un riflesso pavloviano, che mi fa immediatamente pensare alla "funzione cumulata" e (peggio) alla distribuzione di una variabile casuale.

Qui, però, di casuale non c'è nulla! Se mai c'è una concentrazione che varia

32 con continuità nel tempo, che in linea di principio potrebbe essere restituita da uno strumento analogico ideale. Oppure da un ipotetico modello analitico "continuo". Nulla, se non i limiti della nostra parvenza, ci impedirebbe di scrivere un modello del genere, avessimo abbastanza carta e penne: basterebbe determinare posizione-e-velocità (!) di tutti le molecole coinvolte, ignorare un po' di effetti quantistici, integrare le equazioni del moto del sistema e... via! le modelli!

Con questo non desidero invitare qualcuno a buttare via una preziosa vita per qualcosa di così contingente. Se mai, mi preme far notare che quello di fronte a me è un processo deterministico, per il quale come minimo il concetto di "distribuzione" e "variabile casuale" è mal definito.

33

La statistica, però, è terribilmente comoda.

E di sicuro attrae profondamente le persone con poco tempo dedicabile a frivolerze.

Quindi, possiamo fare finta che le misure ideali / uscite del supermodello siano, prese tutte insieme in funzione del tempo, una realizzazione di un processo casuale. Processo che (proprio perché scelto da noi) possiamo supporre goda di alcune proprietà:

- i. È stazionario in senso forte.
- ii. È log-normal.
- iii. I parametri log-normali coincidono con quelli ottenuti dalla realizza-

34

zione.

Quindi, riassumendo. Siamo entro una ben precisa ora. Abbiamo fatto infinite bellissime misure, che possiamo rappresentare idealmente su un grafico. Da quelle misure abbiamo determinato la media (oraria) e la deviazione standard (anche lei oraria). Poi, con alcuni passi algebrici, abbiamo trasformato media e deviazione standard nei due parametri numerici che definiscono, tra tutte le possibili, la particolare distribuzione log-normale che interessa al nostro caso.

E adesso?

Adesso possiamo cominciare a porci delle domande interessanti sulle concentrazioni istantanee! Ad esempio, quella che in relazione agli odori ci interessa

35

di più:

<< Dati m e s (valori di media e deviazione standard ottenuti da un campione discreto dei nostri dati), con che frequenza, nell'ora, verrà superata la soglia di odore C_s ? >>

Dato che sappiamo la distribuzione log-normale, abbiamo fortuna: possiamo risolvere il problema in modo completamente analitico (capita di rado). E vale la pena di farlo!

Per cominciare, esprimiamo la densità log-normale. In letteratura ci sono varie forme, tra le quali selezioniamo (a caso) questa qui:

$$\text{PDF}_{\text{lognormal}(a, b)}(x) = \begin{cases} \frac{1}{bx\sqrt{2\pi}} \exp \frac{[\log(x)-a]^2}{-2b^2} & x \geq 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$$

[8]

³⁶ Ora determiniamo media e deviazione standard "analitici" - cosa per fortuna possibile:

$$\mu = \exp(a + \frac{b^2}{2}) \quad [9]$$

e

$$\sigma = \sqrt{\exp(2a + b^2) \cdot [\exp(b^2) - 1]} \quad [10]$$

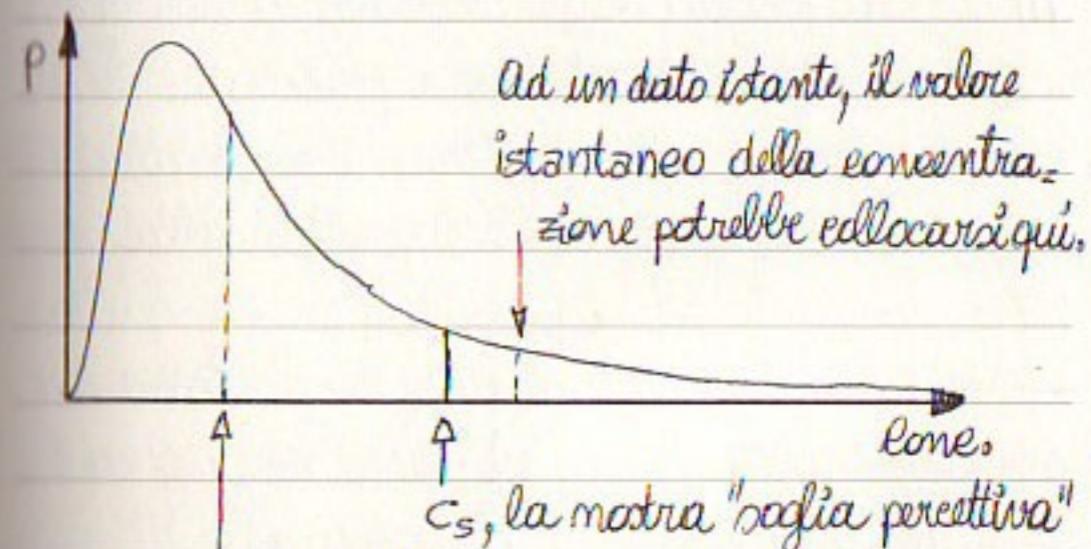
Le relazioni [9] e [10], volendo, si possono anche usare come equazioni per determinare i due parametri 'a' e 'b': basta sostituire a μ , σ rispettivamente m e s . Queste due equazioni hanno una soluzione analitica:

$$a = \log(m) - \frac{1}{2} \log \left(1 + \frac{s^2}{m^2} \right) \quad [11]$$

$$b = \sqrt{\log \left(1 + \frac{s^2}{m^2} \right)} \quad [12]$$

³⁷ I due valori 'a' e 'b', una volta determinati, permettono di rispondere alla nostra domanda principale usando le tavole della distribuzione log-normal, oppure, in modo meno giurassico, usando l'inversa della cumulata log-normal disponibile in R, o in sistemi simili.

Vediamo, però, di chiarire cos'è accaduto:



Ad un dato istante, il valore istantaneo della concentrazione potrebbe edlocarsi qui, c_s , la nostra "saglia percettiva".
 m : la "media" log-normal potrebbe essere più o meno qui. Di sicuro è a destra della "moda".

Un modello di dispersione convenzionale, come

38

Ralpuff, ci avrebbe restituito solo la media oraria m. E non la deviazione standard s. In mancanza di questa informazione critica, non potendo identificare "la" particolare log-normalità che ci interessa non avremmo il modo di rispondere alla Domanda.

Tutt'al più, potremmo confrontare la media m con la soglia C_S . In caso di supero saremmo certi che una persona osservatrice percepirà l'odore. Ma che dire, in caso di non-supero? Il grafico della pagina 37 è eloquente al riguardo: la concentrazione istantanea potrebbe benissimo eccedere la soglia (la probabilità di supero è infatti "per costruzione" positiva). La probabilità associata potrebbe però essere così piccola da poterla trascurare. Chi decide a che probabilità-limite il rischio di percepire l'odore è "trascurabile"? In linea di

39

principio, "la politica" (a riprova della grande utilità di una classe dirigente che conosca la statistica ☺).

4. Comunque, non scherziamo!

Ovvero: l'offatometria è una disciplina non banale.

Rome la maggior parte degli umani, i modelisti (o molti di loro) tenderanno a dare per scontato che la loro disciplina è importante e risolutiva, e le altre puramente anellari.

Questo bias psicologico non è molto da scienziati*, ma è difficile da evitare. E porta con sé l'idea (pericolosissima) che le ipotesi tagliate con l'accetta che hanno permesso di scrivere materialmente le equazioni del modello siano delle leggi di natura.

⁴⁰: Nel nostro caso abbiamo fatto ben due ipotesi "su vasta scala":

- a) La distribuzione delle concentrazioni istantanee è veramente log-normalle,
- b) La soglia C_s è costante.

Dell'ipotesi "a)" possiamo dire poco: l'esperienza suggerisce che proprio lontano dal vero non dobbiamo essere. Ma è anche, nella sua forma, la tipica affermazione indecidibile: per falsificarla dovremmo poter determinare le concentrazioni in ogni istante possibile di tempo, con precisione infinita. Ma non possiamo, e quindi la nostra "ipotesi a)" non è falsificabile. E se la dobbiamo tenere com'è, nulla consapevolmente sappiamo con certezza che altre ipotesi (altrettanto non falsificabili) sono anche peggio: o perché lontane dalla poca esperienza che c'è, o perché

"indigeribili" dal punto di vista analitico.⁴¹

L'ipotesi "b)", invece, è più interessante: di lei sappiamo con certezza che è completamente falsa.

La soglia percettiva associata ad una data sostanza, infatti, non è costante:

- Persone diverse reagiscono in modi molto differenti.
- La risposta di una stessa persona cambia normalmente nel tempo:
 - In corrispondenza dell'ovulazione la sensibilità generale agli odori aumenta di uno-due ordini di grandezza.
 - Se, poi, la sostanza odorosa "mima" un feromone dei tanti, la sensibilità a "quell'"odore può aumentare di 3-4 ordini di grandezza.

42

- In caso di raffreddore, il blocco delle canali nasali riduce la sensibilità agli odori (a volte la annulla).
- La sensibilità agli odori diminuisce con l'età.
- La sensibilità ad un odore può diminuire in caso di esposizione prolungata.
- Alcuni odori possono essere percepiti a livello sub-conscio in condizioni normali, ma a livello consci in caso di stress (ad esempio nel caso dei feromoni del(la) partner dopo una lunga assenza o un abbandono).
- Alcuni odori sono percepiti diversamente al variare delle aspettative personali.
- ...
- Alcuni odori sono percepiti (e valutati gradevoli o meno) in funzione della loro associazione con altri odori.
- La "pucca" prodotta dallo skunk

43

- (una puccia americana) è considerato rivoltante da solo, ma trova uso nella industria profumiera - in associazione ad altre pucce rivoltanti.
- Analogamente per cadaverina, putrescina, scatolo, e ammine prodotte nella decomposizione (ad esempio) del pesce.

Si potrebbe proseguire a lungo.

Il punto secondo me essenziale è che non si dovrebbe mai dimenticare quanto "incompleta" sia la visuale di ogni singolo specialista. La comunità degli "olfattometri" è arrivata a definire una soglia di concentrazione usabile, in modo indipendente dalla comunità dei "modellisti". E viceversa: chi si occupa di modelli stima concentrazioni in modo indipendente da chi si interessa di olfattometria. In parte questa cosa è inevitabile: oggi non sarebbe pensabile un approccio "interdiscipli-

⁴⁴ mare nelle stesse persone". Molto più praticabile, e sensata, l'interdisciplinarità ottenuta per ed elaborazione di specialisti di estrazione diversa.

La ed elaborazione, però, può accadere solo se si mantiene viva la comunicazione (la sola "informazione" non basta). Bisogna almeno essere sicuri che le ipotesi implicite siano riconosciute ed esposte: gli "altri" specialisti, diversamente, non potrebbero nemmeno coglierle.

5. Una possibile via di uscita

A proposito, potremmo dire, di ipotesi più o meno implicite.

A pagina 33, l'ipotesi "i" sulle caratteristiche del processo stocastico (immaginario) che sta dietro le concentrazioni afferma la sta-

⁴⁵ zionarietà in senso forte. Quando poi guardiamo il grafico di pagina 30, che mostra una particolare realizzazione del processo (quella che corrisponde alle concentrazioni che potremmo osservare in situ, disponendone di strumenti "ideali"), vediamo un andamento che fa pensare a tutto, tranne che alla stazionarietà.

A rigore "non c'è nulla di strano". La realizzazione di un processo stocastico non dà informazioni rilevanti su quest'ultimo.

Vedendo, possiamo assumere anche un punto di vista diverso. Ricordando che, dopotutto, il fenomeno che abbiamo per comodità rappresentato come stocastico è, in realtà, deterministico. Le "disuniformità" che possiamo osservare nei dati di concentrazione, se adottiamo questo punto di vista, trovano la loro spiegazione nei fenomeni che "deter-

⁴⁶ minano" la concentrazione, e nelle loro non-stazionarietà intrinseche.

Il fenomeno certamente non-stazionario che, a parità di emissione, più d'ogni altro determina la concentrazione è la "meteodologia".

Le figure alle pagine 18 e 29 in effetti suggeriscono una possibile macroscopica disuniformità: in entrambe si da per scontato che il vento medio sia costante ed uniforme. Un'ipotesi "implicita", molto pesante. Ma cosa accadrebbe, se nel periodo di misurazione il vento dovesse ruotare?

Che ciò possa accadere, è cosa scontata. È normale, soprattutto nelle zone di pianura, che la direzione del vento cambi nel giro di un'ora (o anche meno) allo

alternarsi dei regimi di brezza (di monte,⁴⁷ di piano).

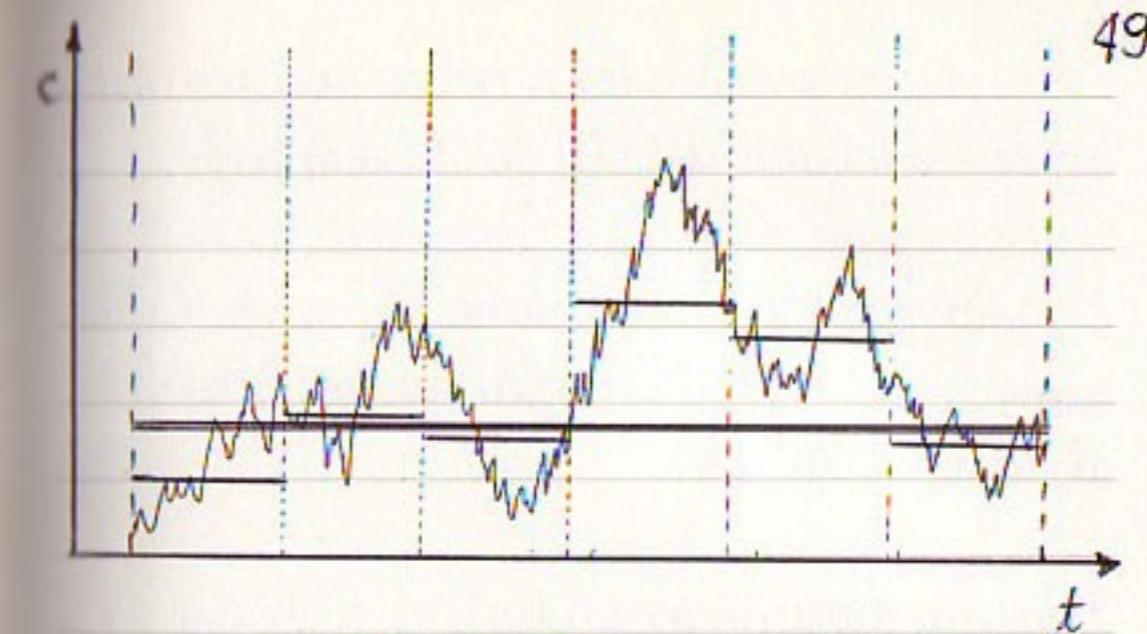
Quando il vento ruota, già "a intuito" possiamo accettare che un punto prima sottovento all'emissione possa poi trovarsi al traverso, se non addirittura sopravento. Le concentrazioni dovute all'emissione sperimentate nel punto in questione si troveranno così a variare di molti ordini di grandezza.

Ora, molti altri fenomeni oltre all'alternanza tra le brezze di monte e di piano possono causare la rotazione del vento. Tra questi, ad esempio, la formazione di "grandi" strutture coerenti per effetto dello apporto di calore solare. La varietà di queste cause è tale da fare i aspettare rotazioni piuttosto frequenti nella direzione del vento.

48 E questo fenomeno dovrebbe essere particolarmente evidente nei dati misurati: la riproduzione di queste finuzze con un modello meteorologico richiederebbe infatti tecniche speciali ("large eddy simulation", fluidodinamica computazionale), fuori dalla portata dei modelli semplificati di uso corrente (ad esempio Calmet).

Per fortuna, misure di vento precise e sofisticate non ne mancano. Vediamo per esempio la rete SHAKEUP di ARPA Lombardia, composta da nove stazioni di cui 8 attrezzate con un anemometro ultrasonico tri-aziale.

Se le cose stanno in questi termini, perché non usare la non-stazionarietà per tentare di stimare la deviazione standard usando un modello di dispersione d'impianto convenzionale?



Un modo molto intuitivo per comprendere la questione è di usare un metodo "multi-resolution". Come vediamo nel grafico qui sopra, dove la media oraria (linea orizzontale spessa) è mostrata insieme alle medie su 10 minuti (linee orizzontali sottili).

Chiaramente, le differenze tra le medie su 10 minuti ci dicono qualcosa sulla deviazione standard oraria (che un modello convenzionale non restituisce). Fino a che punto, però, possiamo spingerci?

50

Per vederlo, conviene porre la questione in termini un po' più formalizzati.

E fissiamo così l'attenzione su una data ora, che consideriamo la nostra "regione di riferimento" Ω .

Si ha ora data una partizione Π di Ω in intervalli disgiunti,

$$\Pi = \{I_1, I_2, \dots, I_k\} \quad [13]$$

con

$$I_i = \{t_i \leq t < t_{i+1}\}$$

$$t_1 = \inf \Omega < t_2 < \dots < t_{k+1} = \sup \Omega$$

$$\bigcup_{i=1}^k I_i = \Omega \quad I_i \cap I_j = \emptyset \text{ se } i \neq j$$

Tipicamente Π è composto da 6 intervalli,

51

si lasciano lungo 10 minuti - ma possiamo immaginare altre "scatole" temporali. La scelta dei 10 minuti è comoda in quanto coincide col tempo di mediazione SHAKENUP.

Detta

$$e = e(t) \quad t \in \Omega \quad [14]$$

la concentrazione istantanea, possiamo definire

$$m = \frac{1}{m(\Omega)} \int_{\Omega} e(t) \cdot dt \quad [15]$$

$$s = \left[\frac{1}{m(\Omega)} \int_{\Omega} (e(t) - m)^2 \cdot dt \right]^{1/2} \quad [16]$$

dove $m(\Omega)$ designa la misura (nel senso di Lebesgue) della regione Ω .

A questo punto possiamo calcolare media e deviazione standard per ciascuno dei sottointervalli:

$$m_i = \frac{1}{m(I_i)} \int_{I_i} e(t) \cdot dt \quad [17]$$

e

$$s_i = \left[\frac{1}{m(I_i)} \int_{I_i} (e(t) - m_i)^2 \cdot dt \right]^{1/2} \quad [18]$$

Per come abbiamo posto le cose, chiaramente deve essere

$$m = \frac{m(I_1)}{m(\Omega)} m_1 + \dots + \frac{m(I_k)}{m(\Omega)} m_k \quad [19]$$

(cioè: la media delle medie parziali coincide con la media totale; nel caso in cui tutti gli I_i hanno uguale misura la [19] assume la forma più familiare $m = (1/k) \sum_i m_i$, che rende la mia affermazione più accettabile).

Che possiamo dire della deviazione standard? Di sicuro non possiamo usare per lei una espressione come la [19]: ogni singola s_i è calcolata a partire da una diversa m_i , il che non permette di ottenere grandi da una somma sul modello della [19].

Per ottenere qualcosa, però, possiamo procedere sulla falsariga dei metodi "multiresolution". A questo fine introduciamo le funzioni ausiliarie

$$\mu = m \cdot \chi(\Omega) \quad [20]$$

e

$$\mu_i = m_i \cdot \chi(I_i) \quad [21]$$

dove $\chi(E)$ rappresenta la "funzione caratteristica" dell'insieme $E \subseteq \Omega$, uguale a 1 per ogni $x \in E$ ed a 0 per $x \notin E$.

Introduciamo anche la funzione

$$\mu_s = \sum_i \mu_i \quad [22]$$

che, data la [21], è una funzione a scala.

Sia (breve) successione

$$\mu, \mu_s$$

costituisce un'approssimazione sempre migliore della funzione "e". Idealmente, se raffittissimo ogni sottointervallo e ripetessimo la costruzione all'infinito, potremmo costruire una "vera" successione di funzioni convergente a "e" (salvo al più un insieme di misura nulla).

Sulla scorta di questa constatazione, introduciamo per prima cosa il resido totale, definito dalla relazione

$$e' = e - \mu$$

[23]

Introdotta questa grandezza funzionale, possiamo riscrivere la [16] come

$$s = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \int (e')^2 dt} \quad (M = m(\Omega))$$

Ora facciamo un passo in più. Preso il residuo totale e' , ne calcoliamo le medie sui sottointervalli,

$$y_i = \frac{1}{m(I_i)} \cdot \int_{I_i} e'(t) \cdot dt =$$

$$= \frac{1}{m(I_i)} \int_{I_i} (e - \mu) \cdot dt =$$

$$= m_i - \frac{1}{m(I_i)} \int_{I_i} m \cdot dt =$$

$$= m_i - m$$

[24]

Analogamente a quanto fatto con le medie parziali, introduciamo la funzione

$$\mu'_s = \sum_{i=1}^k \mu'_i \quad [25]$$

dove

$$\begin{aligned} \mu'_i &= \gamma_i \cdot \chi(I_i) = (m_i - m) \cdot \chi(I_i) = \\ &= \mu_i - m \cdot \chi(I_i) \end{aligned}$$

Tenuto conto che $\sum_i \chi(I_i) \equiv \chi(\Omega)$, possiamo riscrivere la [25] in questo modo:

$$\begin{aligned} \mu'_s &= \sum_i (\mu_i - m \cdot \chi(I_i)) = \\ &= \sum_i \mu_i - m \sum_i \chi(I_i) = \\ &= \mu_s - \mu \quad [26] \end{aligned}$$

Detto altrimenti: $\mu_s = \mu + \mu'_s$: la funzio-

ne a scala delle medie di sottoperiodo è uguale alla somma della media di periodo e delle medie residue.

Proseguendo, introduciamo il residuo secondo,

$$e'' = e' - \mu'_s \quad [27]$$

che esprime lo spiazzamento del residuo rispetto alla media del residuo rispetto ai sottoperiodi.

Come contropreva, applicando la [23] e la [26], possiamo riscrivere la [27]:

$$\begin{aligned} e'' &= e' - \mu'_s = (e - \mu) - (\mu_s - \mu) = \\ &= e - \mu_s \text{ od anche } = e - \mu - \mu'_s \end{aligned}$$

che possiamo scrivere nella forma

$$e = \mu + \mu'_s + e''$$

[28]

dove abbiamo espresso la concentrazione come decomposizione, di una media μ di periodo, un insieme di scostamenti medi di sottoperiodo, e un residuo. Tutte le manipolazioni compiute nelle pagine precedenti servivano per arrivare a questo punto. Di qui partiamo, per comprendere il funzionamento della deviazione standard. Anzi, per comodità la varianza, il suo quadrato.

Piprendiamo così la [16], riveduta sulla base delle ultime trasformazioni e definizioni:

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{1}{M} \cdot \int_{\Omega} (e - \mu)^2 dt = \\ &= \frac{1}{M} \cdot \int_{\Omega} [(\mu + \mu'_s + e'') - \mu]^2 dt = \\ &= \frac{1}{M} \cdot \int_{\Omega} (\mu'_s + e'')^2 dt \end{aligned}$$

[29]

dove $M = m(\Omega)$. Sviluppando il quadrato,

$$s^2 = \frac{1}{M} \int_{\Omega} (\mu'^2_s + 2\mu'_s e'' + e''^2) \cdot dt \quad [30]$$

Vediamo così che ci sono tre termini:

$$s_s^2 = \frac{1}{M} \int_{\Omega} \mu'^2_s dt \quad [31]$$

$$q^2 = \frac{1}{M} \int_{\Omega} 2\mu'_s e'' dt \quad [32]$$

$$s_r^2 = \frac{1}{M} \int_{\Omega} e''^2 dt \quad [33]$$

Romineiamo, analizzando il primo. Dalla [25] sappiamo che $\mu'_s = \sum_i \mu'_i$ è una funzione a scala, con $\mu'_i = (m_i - m) \cdot \chi(I_i)$. Dalle proprietà degli integrali sappiamo che se I_1, I_2, \dots, I_K sono (come nel caso) una partizione finita di Ω , allora

$$\int_{\Omega} F = \int_{I_1} F + \int_{I_2} F + \dots + \int_{I_K} F \quad [34]$$

60

Moltre: dato che le funzioni caratteristiche non si sovrappongono mai per estensione, possiamo dire che

$$\mu_s'^2 = \sum_i^k \mu_i'^2 \quad [35]$$

che unita alla [31] ed alla [34] ci permette di scrivere

$$s_s^2 = \frac{1}{M} \int_{\omega} \mu_s'^2 dt =$$

$$= \frac{1}{M} \sum_i^k \int_{I_i} \mu_i'^2 dt =$$

$$= \frac{1}{M} \sum_i^k \int_{I_i} (m_i - m)^2 \chi(I_i) dt =$$

$$= \frac{1}{M} \sum_i^k (m_i - m)^2 \int_{I_i} \chi(I_i) dt =$$

61

$$= \frac{1}{M} \sum_i^k m(I_i) \cdot (m_i - m)^2 \quad [36]$$

Se (come nel nostro caso) tutti gli I_i hanno uguale misura, con $M = k \cdot m(I_i)$, la [36] si riduce alla familiare

$$s_s^2 = \frac{1}{k} \sum_i^k (m_i - m)^2 \quad [37]$$

che possiamo chiamare "varianza delle sottomedie" o "varianza dei sottoperiodi".

Consideriamo ora q^2 , definita dalla [32]. Anche in questo caso possiamo applicare la proprietà [34], osservando che

$$q^2 = \frac{2}{M} \int_{\omega} \mu_s' e'' = \frac{2}{M} \sum_i^k \int_{I_i} \mu_i' e''$$

Dato che $\mu_i' = (m_i - m) \cdot \chi(I_i)$ ha valore costante nell'intervallo di integrazione, e ne possiamo portare quindi il valore fuori dal segno di integrale:

$$q^2 = \frac{2}{M} \sum_i (m_i - \bar{m}) \int_{I_i} e'' \quad [38]$$

Per procedere, dobbiamo considerare e'' . In base alla [27] lo sappiamo essere il "residuo secondo", ovvero la differenza $e' - \mu_s$ tra il residuo $e' = e - \mu$ e la funzione a scala che caratterizza le medie di sottoperiodo. Proprio per come sono state definite queste ultime - come medie del residuo e' sui sottointervalli I_i - ne deriva che

$$\int_{I_i} e''_i = 0 \quad \text{per ogni } i=1,2,\dots,k$$

e ciò ci autorizza a concludere che

$$q^2 = 0 \quad [39]$$

Possiamo riassumere questa proprietà, affermando che le due funzioni μ_s e e'' sono tra loro ortogonali.

Infine, su S_r^2 non possiamo dire nulla di particolare, a parte che è una grandezza positiva o nulla che rappresenta la varianza "interna" al residuo secondo.

In conclusione abbiamo "scoperto" che

$$S^2 = S_s^2 + S_r^2 \quad [40]$$

cioè che la varianza complessiva si ripartisce tra due componenti:

- S_s^2 , la parte che rende conto della variazione alla scala temporale dei sottointervalli o superiore.

- S_r^2 , la quota di variazione che accorre al di sotto della scala temporale dei sottointervalli,

le due quote di variazione "non si mis-

shano tra loro", cosa onestamente molto comoda.

La ripartizione della varianza in una quota "gridded" ed in una "subgrid" solleva la questione dell'analogia con la varianza "intra-gruppi" e "inter-gruppi" che si trova nelle analisi di tipo ANOVA. Purtroppo, l'analogia è solo somiglianza superficiale: s_s^2 è un osservabile, ma s_r^2 no!

Ad esempio, dalla versione 6 di Calpuff in poi è possibile specificare un passo di mediazione inferiore ad 1 ora. A quel punto il fattore limitante diviene la metodologia, spesso disponibile su base oraria.

Spero, ma non sempre! I dati della rete SHAKEUP di ARPA Lombardia, per esempio, vengono mediati ogni 10 mi-

nuti. E dato che le stazioni SHAKEUP conservano per anni i dati generati da anemometro ultrasonico, in linea di principio è anche possibile elaborare i generi fuori linea (per esempio usando la libreria SonicLib) su una base di mediazione diversa, eventualmente inferiore a 10 minuti.

Il problema - chiave, a questo punto, consiste nella scelta "sensata" del passo di mediazione: più questo è corto, maggiore la quota di varianza totale che "finisce in s_s^2 ".

Idealmente, tutta la varianza totale dovrebbe finire in s_s^2 . Ma per arrivare ad un grado di dettaglio simile dovremmo adottare un tempo di mediazione molto breve, al limite "nullo". Il tempo di calcolo crescerebbe in proporzione inversa, e presto

dovrebbe proibitivo. Questo, se immaginiamo di poter scegliere in libertà il tempo di mediazione.

Se, viceversa, il tempo di mediazione fosse "fisso" (ad esempio 10 minuti), a priori non avremmo alcun elemento per affermare che "il grosso della varianza è catturato da s_s^2 ". Né avremmo un modo per compiere verifiche.

D'altra parte: il calcolo di s_s^2 può essere compiuto usando modelli convenzionali, al prezzo di un'aerescita complessità computazionale. E, per risultati sensati, di una ri-elaborazione fuori linea di dati grezzi "ultrasonici".

Tutto ciò allo stato attuale è possibile, grazie all'uso combinato della rete SHAKEUP e della libreria SonicLib.

A priori non possiamo assumere che fissato il tempo di mediazione a 10 minuti la maggior parte della varianza venga catturata da s_s^2 .

Ma non possiamo neppure escluderlo!

Solo alcune prove di caratterizzazione potrebbero dirlo!

Punto che, se fosse davvero così allora sarebbe possibile usare in modo diretto le medie su 10 minuti usate da SHAKEUP. In termini operativi, il vantaggio sarebbe a dir poco enorme.

6. Un'altra linea di condotta

Il metodo di cui abbiamo indagato la fattibilità nella sezione precedente, basato sulla ripartizione della varianza, è applicabile

con le "tecnologie esistenti", al prezzo di molto lavoro - di caratterizzazione, e di calcolo. Cosa molto interessante di per sé. Ma che inevitabilmente eredita le limitazioni dei modelli esistenti.

Naturalmente esiste un'altra possibilità: costruire un modello dedicato alla stima della varianza. (Usarne uno già fatto, tra i pochi esistenti).

Reto, usare sarebbe meglio che "inventare": ei permetterebbe di concentrare la attenzione sulla dispersione, non sulla modellistica.

Purtroppo, questa via attraente è vita di ostacoli: l'unico modello di "facile uso", Scipuff, è legato a versioni arcaiche di Microsoft Windows. Altri modelli meno amichevoli, come quelli a "particelle ae-

copicate", si prestano poco ad impieghi operativi.

Per fortuna, il problema degli odori in Lombardia è:

- Più presente in Pianura Padana che altrove.
- Di interesse "locale" - le sostanze odorose sopravvivono meno a lungo all'ossidazione rispetto ai classici "inquinanti".

Quindi non è irragionevole pensare ad un "rifacimento" di Scipuff, che da un lato lo adatti alle esigenze lombarde, e dall'altro incorpri i progressi compiuti sino ad oggi dalla tecnologia.

Per "rifare" è opportuno prima "ascoltare e comprendere". Rosa che facciamo, parten-

do proprio dal manuale di Scipuff. In questa sede ci occupiamo in particolare dell'aspetto "innovativo" di Scipuff, segnatamente della stima della varianza. Le altre parti più tradizionali sono del pari descritte nel Manuale di Scipuff ed in altri riferimenti, molto meglio di quanto possa fare io. Non mi pare dunque granché astuto "perderei del tempo".

In Scipuff quella che ho chiamato semplicemente "varianza delle concentrazioni istantanee" è chiamata "concentration fluctuation variance". Il significato pratico è uguale. L'enfasi però punta in modo più deciso sull'"origine fisica": il termine "fluctuation" richiama la manifestazione - cardine del regime di moto turbolento.

E infatti, in questa diversa linea di

pensiero la concentrazione è considerata la realizzazione di un processo stocastico. La ragione della casualità è proprio la turbolenza, eadica e non descrivibile che tramite la statistica e il calcolo delle probabilità.

Più in particolare: la stima della varianza è compiuta partendo da un'equazione di trasporto basata sulle ipotesi di chiavezza della turbolenza usate anche nella stima del valor medio.

Per esprimere questo concetto, però, è necessario qualche dettaglio. Lo prendo dal manuale della versione 2 ~~del~~ Manuale di Scipuff - con pertinenti rielaborazioni.

Il punto di partenza di tutto è l'espressione di un singolo "puff" che, lasciando perdere i problemi di "settling" delle polveri, i condiziona-

menti dovuti alla geometria dello Strato Sottomarino Planetario, il galleggiamento, la variazione di quota dovuta all'interazione del vento con il cammino (se c'è) e le ostruzioni, eccetera, si può esprimere così:

$$e(x) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} [\text{Det}(\sigma)]^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\sigma_{ij}^{-1}(x_i - \bar{x}_i)(x_j - \bar{x}_j)\right] \quad [41]$$

Qui occorre fare un po' di attenzione: "x" designa una quantità vettoriale (la posizione nello spazio a tre dimensioni), mentre σ è la matrice delle covarianze. Il vettore $\bar{x} = [\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3]$ rappresenta la posizione del "centro" del puff, e non va confusa con la "media" (temporale o di insieme) come usata nella descrizione della turbolenza.

La concentrazione [41] è (matematicamente) un caso particolare di "funzione densità", e come tale ha senso chiedersi quali ne siano i momenti. Dato che la [41] esprime una

gaussiana multidimensionale, il valore della concentrazione è interamente determinato quando si conoscano \bar{x} e i momenti sino al secondo incluso.

OK, ma quali momenti? Quelli spaziali, naturalmente, che variano nel tempo. Questi momenti hanno dei precisi nomi:

- La massa (momento d'ordine zero):

$$\langle e \rangle = Q \quad [42]$$

- Le coordinate del centroide,

$$\langle e \cdot x_i \rangle = Q \cdot \bar{x}_i \quad [43]$$

che sono i tre momenti primi.

- La dispersione dei tre momenti del secondo ordine,

$$\langle e \cdot (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}}_i)(\bar{x}_j - \bar{\bar{x}}_j) \rangle = Q \cdot \sigma_{ij} \quad [44]$$

Si noti che 3 dei 3²=9 momenti secondi che definiscono la "dispersione" sono dipendenti dagli altri: la matrice σ è infatti simmetrica:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ji} \quad (i \neq j)$$

Si noti come la forma "tensoriale generale" della [41] permetta di esprimere dei puffs orientati in ogni direzione spaziale.

Ha poi rilevato che, anche se le [41]-[44] non ne fanno menzione esplicita, tutti i momenti primi e secondi sono funzioni del tempo.

Quanto alla massa, in teoria la possiamo considerare costante se decidiamo di non considerare la deposizione, e facciamo finta che la sostanza in questione non sia resistiva. Entrambe queste ipotesi non sono dannose: ciascuna conduce a valutazioni

conservative.

A questo punto dobbiamo fare un'ipotesi molto pesante. Rosa accade, quando il "puff" è abbandonato alla deriva nel vento?

"Ovviamente" (concedetemi la spudorata) si sposta e si deforma. La deformazione è dovuta al fatto sperimentalmente noto che la velocità del vento cambia in direzione e modulo con la quota (o meglio: soprattutto con la quota, i cambi in orizzontale essendo meno evidenti, specialmente su piccole aree piatte).

Grazie alla deformazione, a priori non c'è alcuna garanzia che la bellissima convezione Gaussiana $e(x, t)$ rimanga ancora Gaussiana al tempo $t + \Delta t$. Anzi!

Poté, da modellisti facciamo finta che la

"gaussianità" venga conservata. Piú, che il puff possa al massimo traslare, ruotare, dilatarsi o contrarsi (nel senso "affine"). Chiaramente siamo di fronte a una forzatura della realtà. (Detto "en passant": questa forzatura non è "obbligatoria", pur di negliere bene il modello; ad esempio i modelli a particelle me sono immuni).

In questo senso, considerare i momenti primi e secondi "funzioni del tempo" riflette la fondamentale "conservazione del tipo di forma" dei puffs.

Se il puff rimane gaussiano al passare del tempo, e quindi le trasformazioni ammesse possono essere solo traslazioni - rotazioni - dilatazioni affini, allora dobbiamo anche ammettere che il puff si sposta "come un tutt'uno". Nel farlo deve "scgliere" una ben precisa velocità. Dico "scgliere", perché

la velocità del vento cambia con la quota. Questa "scelta" è compiuta in modo esplicito assegnando una precisa quota di riferimento, che nel caso di Scipuff è

$$z_{\text{ref}} = \max(\bar{z}, \sqrt{\sigma_{zz}}) \quad [45]$$

Naturalmente sono possibili altre scelte.

Per descrivere l'evoluzione temporale dei momenti si usano delle equazioni di trasporto. Comunque le si vogliano definire, queste equazioni di trasporto devono essere compatibili con le equazioni di advezione - diffusione "generalì" - o con loro opportune semplificazioni. Nel caso di Scipuff la semplificazione consiste nel considerare il flusso del vento incompressibile, nel qual caso le equazioni di tras advezione - diffusione assumono la forma

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i c) = k \nabla^2 c + S \quad [46]$$

Qui un chiarimento sull'ineocomprensibilità può essere utile. Il flusso incomprensibile è chiamato anche "idrostatico" in analogia con l'idraulica. È' aspetto importante, però, non è immaginare il gas "aria" in qualche modo simile al liquido incomprensibile "acqua". Se mai, vuol dire trascurare le variazioni di pressione, cosa sensata se

- la velocità del vento è sempre (molto) minore della velocità del suono;
- l'area geografica di interesse è tanto piccola da farei escludere cambiamenti di pressione dovuti alle differenze di quota.

In mancanza di cambiamenti orizzontali di pressione, il vento non si muoverà più a edmare le differenze di pressione, ma

tenderà a fluire "per pura inerzia". Ricé: si ammetti che il "motore" del vento sia da qualche parte, fuori però dalle differenze di pressione. Al di là delle apparenze, niente di che. Sperimentalmente è piuttosto facile constatare che il vento si comporta davvero quasi come incomprensibile: a scale spaziali "dai 100 km in giù".

Tornando all'equazione di advezione-diffusione incomprensibile, posiamo riconoscere i suoi "organi interni".

Il termine $\partial c / \partial t + \partial(u_1 c) / \partial x_1$ rappresenta la variazione totale di concentrazione. Dal punto di vista matematico, questa è una "derivata totale": nulla di che, pura analisi. Ma questa sostituzione è pericolosamente riduttiva. Infatti, le tre componenti u_1, u_2, u_3 del vento includono le fluttuazioni turbolente, e come vedremo il tipo di "advezione" da esse determinato è anche molto "diffusivo".

Il termine $\frac{k}{V} \nabla^2$ è la controparte matematica della diffusione indebolire. Questo fenomeno è di solito "poco importante numericamente" - ma in Scipuff è conservato per due ragioni:

- Essendo in pratica l'unico termine "dissipativo" dell'equazione di advezione-diffusione. In quanto tale, ne è l'unico "stabilizzatore" (numerico, e fisico).
- Le sostanze trattate da Scipuff hanno composizioni diversissime, e comportamenti diffusivi di conseguenza molto variabili.

Puffine, S è il termine di sorgente. Se supponiamo la sostanza non reattiva, lo possiamo trascurare.

Come dicevo, l'equazione di advezione-diffusione [46] contiene sia il vento "medio" che

le fluttuazioni turbolente. Per procedere, dobbiamo chiarire questo concetto - e lo faremo introducendo la decomposizione di Reynolds e i "postulati" di Reynolds.

La decomposizione di Reynolds si applica a qualunque grandezza soggetta a fluttuazione: vento, il vento. Ma anche, la temperatura, la concentrazione c , ...

La decomposizione di Reynolds di una grandezza c si scrive così:

$$c = c' + \bar{c}$$

[47]

In questa relazione, c , c' e \bar{c} rappresentano tre funzioni del tempo. In più

- i) c' rappresenta la fluttuazione
- ii) \bar{c} rappresenta la media.

Il modo in cui la media è realmente calcolata è lasciato impreciso. Di solito, la si interpreta in modo ideale come media di insieme. Dico "ideale", perché la media d'insieme andrebbe calcolata su un numero (si spera elevato) di uscite di altrettanti esperimenti compiuti in laboratorio, in condizioni rigorosamente controllate.

In Matura, però, non abbiamo alcun modo di fissare accuratamente condizioni iniziali e "ripetere esperimenti". Le proprietà matematiche delle medie d'insieme sono però così attraenti sul piano pratico che le si è "adottate" - e le si richiede a tutte le "medie" immaginabili nella forma di "postulati di Reynolds", su cui torneremo tra brevissimo.

Prima, però, è utile osservare due aspetti.
Il primo: la decomposizione di Reynolds

è uno strumento utile, che come vedremo serve per separare, nelle equazioni, una "parte media" da una "parte turbolenta". Sicuramente non è uno strumento perfetto. Di certo, però, è molto "potente".

Il secondo: scritta come nella [47] la decomposizione ci appare come un concetto cristallinamente astratto e (apparentemente?) chiaro. Ma non è così che la decomposizione è attuata nella pratica. A questo fine può essere utile riscriverla in forma di algoritmo. E in effetti "ma i praticoni" fanno così:

A1. [Scelta] Scegliamo un "operatore media" (possibilmente compatibile con i "postulati di Reynolds" (vedi dunque), e comunque sulla base di esperienza personale e preferenze estetiche individuali).

A2. [Media] Applicazione dell'operatore "media" al segnale originale " \circ ", e ottenimento del "valore medio" $\bar{\circ}$.

A3. [Differenza] Raledo della "fluttuazione", applicando la relazione $\circ' = \circ - \bar{\circ}$.

In questo modo possiamo scegliere più facilmente la delicatezza dell'operazione: \circ è un osservabile che esiste a priori, $\bar{\circ}$ è calcolato a partire da \circ applicando una regola in parte soggettiva, ed \circ' segue di conseguenza. Meglio saperlo prima...

(Nota personale di Mauri: la scienza è soggettiva. Di per sé nella soggettività - che conduce a pochi certi domande invece che altre e finanziare in modo selettivo certe discipline o linee di ricerca - non c'è nulla di male. Alcune "scienze", come la

matematica, sono completamente creazioni umane e come tali "assolutamente soggettive". Perché la scienza sia "scienza", appunto, è importante che siano finite in modo severo regole di validità e che sia seguito il metodo d'indagine scientifica. E poi molto desiderabile che la soggettività sia nota in modo dichiarato, trasparente). (Opinione mia. Non pretendo debba essere "universalmente valida").

Possiamo ora introdurre i "postulati di Reynolds". Rhedo su sa se li descriverò in modo non sempre aderente alle abitudini. Non lo faccio per un attaccamento di primadonna niente a niente (per quanto conto...). Semplicemente, scritti "così" sono più facili da verificare. O così sembrano a me... ☺

Ecceli:

- i) $\bar{\bar{\circ}} = \bar{\circ}$ (carattere "involutivo" dello operatore di media) [48]

ii) Se s_1 ed s_2 sono funzioni del tempo, e a_1 e a_2 due scalari, allora

$$\overline{a_1 s_1 + a_2 s_2} = a_1 \bar{s}_1 + a_2 \bar{s}_2 \quad [49]$$

("linearità" dell'operatore di media)

iii) Se s_1 ed s_2 sono due funzioni del tempo,

$$\overline{s_1 \cdot s_2} = \bar{s}_1 \cdot \bar{s}_2 \quad [50]$$

A voler essere a tutti i costi rigorosi, ci sarebbe un quarto postulato che afferma l'esistenza e l'unicità della media se s appartiene ad una opportuna classe di funzioni "benate". Ma preferisco cercare di mantenere un'apparenza di serietà evitando scherzi non necessari...

Le tre proprietà [48]-[50] sono immediatamente verificabili nel caso della media d'insieme -

ed anzi è da lì che vengono. Le invece che come proprietà constatata li usiamo come "filtro"; i postulati di Reynolds ci permettono di capire se un operatore di "media" xelto ad esperienza è accettabile o no. Se, poi, la media xelta dovesse risultarsi accettabile, i postulati di Reynolds ci possono adoperare (insieme alla decomposizione) per manipolare le equazioni in modo molto meccanico, come si fa calcolando le derivate delle funzioni.

Alcuni esempi di "medie":

a) Media a Macchi: $\bar{s} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} s \cdot dt$

Molto popolare, molto usata. La funzione $\bar{s}(t) = \bar{s} \cdot \chi([t_1, t_2])$ soddisfa ai postulati di Reynolds.

b) Uscita di un filtro AR(1): $\bar{s}_m = \alpha s_m + (1-\alpha)\bar{s}_{m-1}$
Romoda, se la serie discreta dei dati non

ha "buchi". Purtroppo, non soddisfa (almeno) il "postulato" [48].

- e) Filtro passa-basso ideale con frequenza di taglio $f_0 > 0$.
- d) Uscita di un filtro diverso da AR(1) (ad esempio ARIMA(p, q, r)).
- e) Eccetera! Ne sono infinite.

I "postulati" di Reynolds permettono di ricavare alcune proprietà d'uso pratico:

$$\bar{e}' = \bar{e} - \bar{\bar{e}} \stackrel{[48]}{=} \bar{e} - \bar{e} = \bar{e} - \bar{e} = \emptyset \quad [51]$$

$$\begin{aligned} \bar{e}'\bar{e}' &= (\bar{e} - \bar{\bar{e}})(\bar{e} - \bar{\bar{e}}) = \bar{e}\bar{e} - \bar{e}\bar{\bar{e}} - \bar{\bar{e}}\bar{e} + \bar{\bar{e}}\bar{\bar{e}} \stackrel{[49]}{=} \\ &= \bar{e}\bar{e} - \bar{e}\bar{\bar{e}} - \bar{\bar{e}}\bar{e} + \bar{\bar{e}}\bar{\bar{e}} \stackrel{[50]}{=} \bar{e}\bar{e} - \bar{e}\bar{\bar{e}} - \bar{\bar{e}}\bar{e} + \bar{\bar{e}}\bar{\bar{e}} = \\ &\stackrel{[50], [49], \text{algebra}}{=} \bar{e}\bar{e} - \bar{e}\bar{\bar{e}} \quad [52] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{e}}{\partial \bar{e}} &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\bar{e}(\bar{e}+h) - \bar{e}(\bar{e})}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\bar{e}(\bar{e}+h) - \bar{e}(\bar{e})}{h} = \\ &= \frac{\partial \bar{e}}{\partial \bar{e}} \quad [53] \end{aligned}$$

Usando postulati e proprietà [51]-[53] si possono così separare le parti media e di fluttuazione delle equazioni, come accennato. Vediamo un esempio, partendo dalla [46] che sappiamo cominciare media e fluttuazione,

Applicando la decomposizione di Reynolds alla [46] otteniamo

$$\frac{\partial(e'+\bar{e})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} [(u'_i + \bar{u}_i)(e' + \bar{e})] = k \nabla^2(e' + \bar{e}) \quad [54]$$

Se mediamo questa relazione otteniamo la parte "media" dell'equazione. Applicando i postulati e le loro conseguenze immediate otteniamo

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \overline{(e' + \bar{e})} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}'_i e' + u'_i \bar{e} + \bar{u}_i e' + \bar{u}_i \cdot \bar{e}) &= \\ &= k \nabla^2 \overline{(e' + \bar{e})} \end{aligned}$$

ovvero

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{e}' + \bar{e}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i' e' + \bar{u}_i' \bar{e} + \bar{u}_i e' + \bar{u}_i \bar{e}') = \\ = k \nabla^2 (\bar{e}' + \bar{e})$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\phi + \bar{e}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i' e' + \bar{u}_i' \bar{e} + \bar{u}_i e' + \bar{u}_i \bar{e}') = \\ = k \nabla^2 (\phi + \bar{e})$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \bar{e} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i' e' + \bar{u}_i \bar{e}') = k \nabla^2 \bar{e}$$

In quest'ultima relazione compare la derivata della covarianza $\bar{u}_i' e'$, che ha il significato fisico di una "diffusione" operata dalla fluttuazione congiunta del vento e della concentrazione. Come tale la si può portare dalla altra parte, insieme alla diffusione molecolare:

$$\frac{\partial \bar{e}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \cdot \bar{e}) = k \nabla^2 \bar{e} - \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i' e') \quad [55]$$

La covarianza $\bar{u}_i' e'$ ha un significato intuitivo importante: rappresenta il flusso turbolento dello "scalare" e nella direzione dell'asse x_i .

L'equazione [55] è importantissima, nella "conomia" di Scipuff, perché costituisce il punto di partenza per determinare i momenti spaziali "in funzione del tempo" - più esattamente, per ottenere le desiderate "equazioni di trasporto".

Consideriamo, per cominciare, il momento spaziale di ordine 0:

$$\langle \frac{\partial \bar{e}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \cdot \bar{e}) \rangle = \langle k \nabla^2 \bar{e} - \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i' e') \rangle$$

Vedendo potremmo sviluppare i calcoli in modo completo. Ma non siamo obbligati: in fondo, avendo tolto il termine di sorgente, ciò che è rimasto rappresenta la derivata totale della concentrazione diminuita della diffusione molecolare che, insomma, deve avere per forza media spaziale nulla.

Ciò che rimane, ricordando la definizione [42], è l'espressione

$$dQ/dt = \emptyset \quad [56]$$

che esprime la continuità della massa in forma globale.

Per i tre momenti primi (che danno le coordinate del "centroide" $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3)$ secondo la [43]) si può procedere in modo analogo, arrivando (se decidiamo di fidarci) alle relazioni

$$Q \frac{d\bar{x}_i}{dt} = \langle \bar{u}_i \cdot \bar{e} \rangle + \langle \bar{u}'_i \cdot \bar{e}' \rangle \quad [57]$$

Si noti come, per la [52], il secondo membro della [57] sia uguale a $\langle \bar{u}'_i \cdot \bar{e}' \rangle$, che possiamo interpretare come flusso totale della concentrazione nella direzione x_i .

Sia [57] si può semplificare, se assumia-

mo che la velocità si distribuisca nello spazio in modo da preservare, come dicavamo, la "gaussianità" dei puff - ad esempio se, come hanno deciso i progettisti di Scipuff,

$$\bar{u}_i(\bar{x}) = \bar{u}_i(\bar{x}_0) + (x_j - \bar{x}_j) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \quad [58]$$

(in questo modo il vento varia linearmente partendo dal valore "nato" in corrispondenza del centroide, con un cambiamento a sua volta "nato" e uguale a $\partial \bar{u}_i / \partial x_j$). Se vale la [58] allora la [57] assume la forma

$$\frac{d\bar{x}_i}{dt} = \bar{u}_i(\bar{x}) + \frac{1}{Q} \langle \bar{u}'_i \cdot \bar{e}' \rangle \quad [59]$$

Rome dire: il puff si muove sia (con l'aria) per effetto del trasporto dovuto al vento medio, che per il flusso turbolento (con una operazione di efficacia inversamente proporzionale alla massa Q). In un certo senso, risivamente, se il vento medio fosse nullo il centroide

potrebbe comunque muoversi con una deriva "turbolenta" più o meno intensa: risultato interessante, accettabile dall'intuito, ma decisamente non immediato.

I momenti secondi spaziali, che descrivono l'allargamento e la deformazione del puff, si trattano allo stesso modo - con molta complessità in più.

Nel caso:

$$\frac{du_i}{dt} = \bar{u}_{ik} \frac{\partial \bar{u}_k}{\partial x_k} + \bar{u}_{jk} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k} + \frac{\langle x_i u_j e \rangle + \langle x_j u_i e \rangle}{Q} \quad [60]$$

Confrontando la [59] con la [60] notiamo una somiglianza allarmante: entrambe le relazioni contengono flussi turbolenti di concentrazione

$\bar{u}_i e$
che allo stato attuale della tecnologia non

si possono misurare direttamente (o per meglio dire, lì si può misurare, ma a condizione che la concentrazione riguardi H_2O , CO_2 , NH_3 , CH_4 (di fatto privi di interesse nel caso degli odori o altre applicazioni "sanitarie") e al prezzo di investimenti a dir poco mostruosi).

Questo fatto accade sempre quando le equazioni originali contengono termini del tipo $u_i e$, come nella [46]. Cosa, questa, d'altra parte inevitabile, dal momento che i termini ($u_i e$) sono la parte "adattiva" della derivata totale.

che fare, allora? Nella pratica si fa ricorso a "ipotesi di chiusura", che sostituiscono i flussi $\bar{u}_i e$ con stime basate su grandezze osservabili. Va notato che le ipotesi di chiusura non sono univoche: la loro selezione da parte dei modellisti è una scelta progettuale.

Nel caso di Scipuff la scelta è data e compiuta in favore di una chiusura del secondo ordine, invece che del primo ordine come accade più di frequente. La particolare chiusura usata è dovuta a Lewellen (1977: "Use of invariant modeling", in "Handbook of Turbulence", ed. W. F. Taitt e T. J. H. Maclaren, Plenum press; pag. 237-280), in una forma adatta a ricostruire l'equazione di trasporto dei momenti secondi. In particolare, se trascuriamo sorgente e diffusione molecolare,

$$\frac{\partial \overline{u_i' e'}}{\partial t} + u_j \frac{\partial \overline{u_i' e'}}{\partial x_j} = - \overline{u_i' u_j} \frac{\partial \bar{e}}{\partial x_j} - \overline{u_j' e'} \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \frac{\partial \overline{u_i' u_j' e'}}{\partial x_j} - \overline{e'} \frac{\partial p'}{\partial x_j} + \frac{q^2}{T_0} \overline{e' \theta'} \quad [61]$$

ove compareno i termini aggiuntivi $\overline{u_i' u_j' e'}$ e $\overline{e' \frac{\partial p'}{\partial x_j}}$, a priori inegniti, che vengono

stimati usando relazioni semiempiriche:

$$\overline{u_i' u_j' e'} = v_c \cdot q \cdot \Lambda \cdot \frac{\partial \overline{u_i' e'}}{\partial x_j} \quad [62]$$

$$\overline{e' \frac{\partial p'}{\partial x_j}} = \Lambda \cdot \frac{q \cdot \overline{u_i' e'}}{\Lambda} \quad [63]$$

dove $\Lambda = 0.75$ e $v_c = 0.3$ sono costanti ottenute tramite "best fit" di dati sperimentali. Quanto a q , è definita come la radice quadrata del doppio dell'energia cinetica turbolenta:

$$q^2 = \overline{u_i' u_i'} \quad [64]$$

mentre Λ rappresenta la lunghezza d'onda della turbolenza, la nuova variabile θ rappresenta la temperatura potenziale, mentre T_0 e g_i rappresentano rispettivamente una temperatura di riferimento e la componente i -esima ($i=1, 2, 3$) del vettore accelerazione di gravità, (θ, ϕ, g_3) . Dati questi significati vediamo che l'ultimo termine $(g_i/T_0) \overline{e' \theta'}$

rappresenta il termine di galleggiamento (nella forma usata nell'approximazione di Boussinesq).

L'equazione di trasporto vera e propria si otterrebbe integrando nello spazio la [61], complete le sostituzioni [62] e [63]. Procedendo nel modo all'apparenza più utile, l'integrazione per parti, posiamo però immaginare come il numero di termini tenda ad "esplosione": il risultato, lasciato allo stato brado, sarebbe con ogni probabilità ben poco utile.

Per rimediare all'inconveniente, gli aut. di Scipuff operano a questo punto molte simili semplificazioni ipotizzando un gran numero di identità (simmetrie) tra termini. I dettagli sono interessanti, ma lo spazio è poco e non ho modo di riportarli qui. Chi volesse vederli elencati, e comprenderne le

conseguenze, può cercare nel "Draft A.R.A.P Report No. 729", scaricabile da Internet, che contiene il manuale della versione 2.2 di Scipuff.

Prima di procedere, ci tengo a dire che le semplificazioni non sono mai anodine. Senza di esse le equazioni del modello sarebbero troppo complesse per essere utili. Ma apportandole si fa deviare il modello dalla realtà - in teoria riducendone la accuratezza.

Questa "deviazione dalla realtà" non è a priori necessariamente un "male". Infatti, la rappresentazione semplificata della realtà data dal modello fisico-matematico spesso cattura qualche elemento essenziale del fenomeno che ci interessa "meglio della realtà stessa". Se non altro, tutti gli aspetti "irrilevanti" (che si manifestano come "perturba-

zioni" di una soluzione necessariamente più "lascia nello spazio delle fasi" data dal modello) nella realtà ci sono e disturbano, ma nel modello no.

Il problema di fondo è: chi decide cosa è "irrilevante" e cosa no? La risposta è semplice, sulla carta: i/le modellisti*. In modo meno evidente, ma altrettanto potente, legislatori e utenti quando, scegliendo un modello, espongono un endorsement implicito delle semplificazioni che gli stanno dietro, e dunque della "visione del mondo" associata.

Detto altrimenti: le semplificazioni assunte da Scipuff non sono "qui", ma questo non vuol dire che siano poco utili/interessanti. Anzi! ☺

È così, integrando nello spazio le [61]-[63] e applicando le Semplificazioni si arriva

alle equazioni di trasporto per i coefficienti di diffusività K_a e di dispersione. Ad esempio,

$$\sigma_y^2(t) = \sigma_0^2 + 2\bar{v}v' \tau (t - \tau + \tau \exp(-t/\tau)) \quad [65]$$

Nota pratica: Integrare nello spazio oggetti come la [61]-[63] comporta moltissimo lavoro, che porta con sé enormi rischi di errore. Specie se, come qualche anno fa, lo si compiva "a mano".

Se può considerare, comunque, è di molto peggio della [61]-[63]. Tra il 1860 e il 1867 l'astronomo Charles-Eugène Delaunay pubblicò i risultati del suo studio sul moto del sistema a tre corpi Luna-Terra-Sole. Questi non stavano in un normale articolo scientifico, e Delaunay dovette in modo immaginario "forzato" pubblicare il tutto in due volumi di 900 pagine ciascuno. Tutte di formule. Negli anni '70 del secolo scorso i calcoli sono stati verificati, ed è stato trovato un errore. Per fortuna

Le conseguenze dell'errore si annullavano tra loro circa 10 pagine dopo. A posteriori dobbiamo connotare con reverenza quanto il Charles-Eugène sia stato sorprendentemente accurato. Ma tant'è. Altri tempi. Fino agli anni '60 del secolo scorso il termine "computer" designava non tanto i calcolatori elettronici, ma una persona (oppure una signora) che "faceva i conti" - negli ultimi tempi con una calcolatrice da tavolo, ma in ere antiche a mano. I "computer umani" esistono certamente sin dall'era dell'Impero Romano.

Cosa più interessante per noi è come sono stati verificati i calcoli del prof. Delaunay. L'opera è stata compiuta usando il primo "computer algebra system", Macsyma, che al tempo "girava" su un mainframe grande come una stanza.

Macsyma esiste ancora, incarnato nel progetto open-source maxima. E da quei tempi lontani ad oggi sono stati immersi nell'uso molti

altri computer algebra system. Ad esempio, per farci alcuni nomi famosi, Maple, Mathematica, Derive - e un'infinità d'altri: uno gira addirittura sul mio cellulare.

Più che la prima versione di Macsyma impiegava alcune ore per risolvere su un mainframe ora richiede qualche secondo su un PC con un computer algebra system moderno.

Di computer algebra system ne esistono molti, sia commerciali che open-source. Io ne uso due:

- Uno commerciale, Mathematica, della Wolfram;
- E uno open-source, SAGE (<http://www.sagemath.org>)

Secondo me, dato che non siamo mat* per software, investire un po' del proprio tempo per imparare SAGE aiuta. Soprattutto proprio in quei compiti lunghi, tediosi e "sbagliosi" come integrare la [61]-[63].

Anche se qui non seguiamo il ragionamento degli Scipuff's nei dettagli, vale la pena che faremo riconoscenza con due concetti che appaiono durante lo sviluppo delle equazioni di trasporto.

Il primo è l'"autocorrelazione della velocità lagrangiana". Senza che la facessi notare, la abbiamo già incontrata. Nella [65]. E più in particolare nel termine "esponenziale"

$$2\bar{v'v'}\tau \cdot [t - \tau + \tau \cdot \exp(-t/\tau)]$$

che regola la crescita di σ_v^2 . In effetti, se misuriamo il vento con un anemometro sonico tri-aziale e calcoliamo la funzione di autocorrelazione, vediamo che (se togliamo di merito eventuali "trend") questa ha effettivamente un andamento del tipo

$$R(l) = \exp(-l/\tau)$$

[66]

dove " l " rappresenta il "lag" dell'autocorrelazione: un numero intero uguale a 0, 1, ... ed espresso in decimi di secondo, se l'anemometro campiona al rateo di 10 Hz. Cosa comune.

La funzione [66] tende a zero per $l \rightarrow +\infty$. Ma la rapidità con cui ciò accade è determinata dal tempo di decorrelazione lagrangiano, τ , che è il secondo "personaggio".

In pratica: al di sotto del tempo di decorrelazione lagrangiana, due misure di vento tendono ad "assomigliarsi statisticamente". Al di sopra, invece, le misure si presentano come indipendenti.

Autocorrelazione e tempo di decorrelazione lagrangiana sono connesi (tramite la velocità del vento) alla lunghezza di scala della turbolenza, Λ , che abbiamo già incontrato. Ma soprattutto fanno in un certo modo da "ponte"

tra il mondo "deterministico" dei puff e quello "stocastico - o - quasi" delle misure di vento.

La lunghezza di scala della turbolenza Λ si collega poi a sua volta ai fenomeni che accadono nell'atmosfera - o meglio, dei fenomeni atmosferici ritenuti nel modello. In questo senso, Λ è un parametro piuttosto "qualitativo" nella sua natura ultima. A rigore può essere non unico. "Quanto" non unico, è ancora una volta una scelta progettuale.

Nel caso di Scipuff si adottano tre lunghezze di scala:

- Quello della turbolenza dovuta allo "shear" ("turbolenza meccanica").
- Quello indotto dal galleggiamento ("turbolenza termica").
- Infine la componente a mesoscala / scala sinottica delle fluttuazioni (specie orizzontali).

Se le tre componenti sono ipotizzate indipendenti, cosicché si può esprimere (ad esempio)

$$\langle \bar{y}' \bar{v}' \bar{e}' \rangle = \langle \bar{y}' \bar{v}' \bar{e}' \rangle_{\text{shear}} + \langle \bar{y}' \bar{v}' \bar{e}' \rangle_{\text{gallegg.}} + \langle \bar{y}' \bar{v}' \bar{e}' \rangle_{\text{mesosinottico}} \quad [67]$$

7. La varianza delle fluttuazioni di concentrazione.

Quanto abbiamo veduto nella sezione precedente prepara il linguaggio per quanto vedremo qui. Avvero, la varianza delle fluttuazioni di concentrazione, che è ciò che rende Scipuff molto diverso rispetto agli altri modelli "puff", e che per quanto riguarda noi permette di determinare le probabilità di supero della soglia di odore.

Sin qui, il motivo d'interesse più o meno esplicito è stato il valor medio della concentrazione.

trazione, è. Adottando questo formalismo, la varianza delle fluttuazioni di eoneentrazione è

$$\overline{e'e'}$$

L'equazione che la riguarda può ancora essere ottenuta dalla [46], applicando la decomposizione e i "postulati" di Reynolds. In particolare:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \overline{e'e'} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{u_i} \cdot \overline{e'e'}) = \\ = -2 \overline{u'_i e'} \frac{\partial \bar{e}}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{u'_i e'e'}) - \\ - 2k \overline{(\partial e'/\partial x_i)^2} + k \nabla^2 \overline{e'e'} \quad [68] \end{aligned}$$

che "come al solito" contiene il termine $\overline{u'_i e'e'}$ ed altre ammità del caso. Consideriamola, e vediamo comunque di comprenderne l'anatomia.

A sinistra compare la solita derivata totale della varianza,

$$\frac{\partial}{\partial t} \overline{e'e'} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{u_i} \cdot \overline{e'e'}) = \frac{d}{dt} \overline{e'e'} \quad [69]$$

Niente di che. Pura "algebra". Più interessante fisicamente il membro destro:

- Il termine $(-2 \overline{u'_i e'} \partial \bar{e} / \partial x_i)$ rappresenta la produzione di turbolenza.
- Il termine $(-\partial \overline{u'_i e'e'} / \partial x_i)$ rappresenta la diffusione turbolenta.
- Il termine $(-2k \overline{(\partial e'/\partial x_i)^2})$ rappresenta la dissipazione turbolenta.
- Il termine $(+k \nabla^2 \overline{e'e'})$ rappresenta infine la diffusione molecolare: numericamente "piccola", magari, ma importante "stabilizzatore".

Se k (come spesso accade) è molto piccolo, allora tra dissipazione turbolenta e diffusione molecolare sopravvive solo la prima.

E qui intervengono nuovamente le ipotesi di chiusura:

$$2k \left(\frac{\partial \bar{e}'}{\partial x_i} \right)^2 = \frac{\bar{e}' \bar{e}'}{\tau_c} \quad [70]$$

dove τ_c è la scala temporale di dissipazione. Per "chiudere" la [68] dovremmo a questo punto trovare una stima del termine "monstre" $\partial(\bar{u}_i \bar{e}') / \partial x_i$, introducendo una qualche espressione "analogia" alla [62]. Ma i/le progettisti di Scipuff percorrono una strada diversa, che permette di eludere questo problema difficile: invece di usare la [68] per l'evoluzione della varianza delle fluttuazioni, se usiamo la varianza totale abbiamo l'espressione

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{e} \bar{e}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \cdot \bar{e} \bar{e}) = - \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{e}' \bar{e}') - 2k \left(\frac{\partial \bar{e}'}{\partial t} \right)^2 \quad [71]$$

ed anche, considerata la [70],

$$\frac{\partial \bar{e}'}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}_i \cdot \bar{e}^2)}{\partial x_i} = - \frac{\partial (\bar{u}_i \bar{e}' \bar{e}')} {\partial x_i} - \frac{\bar{e}' \bar{e}'}{\tau_c} \quad [72]$$

Osservare poi dalla varianza totale alla varianza delle fluttuazioni è facile: basta applicare decomposizione e "postulati" di Reynolds, ottenendo

$$\bar{e}^2 = \bar{e}' \bar{e}' + \bar{e}^2 \quad [73]$$

A questo punto il primo passaggio consiste nella stima di τ_c . Il (completo) percorso seguito in Scipuff procede osservando che

$$\tau_c^{-1} = \frac{q_c}{A_c} \quad [74]$$

dove q_c e A_c sono rispettivamente una velocità e una lunghezza di scala relativa alle fluttuazioni. La prima di queste due grandezze è ottenuta a partire da una versione semplificata dello spettro dell'energia

cinetica turbolenta, mentre la seconda è derivata usando un'equazione di trasporto. I dettagli sono ancora una volta lunghi, e li devo lasciare da parte. Come al solito li possiamo trovare nel manuale Scipuff.

Ora torniamo alla [72] che, essendo locale, ancora non rappresenta una vera equazione di trasporto. Alla pagina 110 avevo affermato che la [72], che descrive l'evoluzione della varianza totale e non delle fluttuazioni, permette di eludere il problema della chiusura del momento terzo.

Questa affermazione merita un chiarimento. Infatti anche nella [72] c'è un momento terzo - non entrato:

$$-\partial(\bar{u}_i \bar{e}^i) / \partial x_i$$

Se passiamo attraverso l'integrazione

spaziale della [72] in effetti scopriamo che

$$\frac{d}{dt} \langle \bar{e}^i \rangle = - \frac{\langle \bar{e}' \bar{e}' \rangle}{\tau_c} \quad [75]$$

I termini diffusivi, simmetrici nello spazio, svaniscono. E ciò accade anche al nostro "amico". Da [75] si può semplificare, pur di applicare la [73] e di constatare la linearità dell'integrale spaziale:

$$\frac{d}{dt} (\langle \bar{e}' \bar{e}' \rangle + \langle \bar{e}^2 \rangle) = -\tau_c^{-1} \langle \bar{e}' \bar{e}' \rangle \quad [76]$$

Da [75] ha la forma di una sorta di regola generale, che "in teoria" si potrebbe usare per definire un "campo" di $\bar{e}' \bar{e}'$. Ma Scipuff è un modello a puff, e l'informazione su $\bar{e}' \bar{e}'$ va conservata appunto "per puff": il campo di $\bar{e}' \bar{e}'$ va quindi ricostruito partendo dai puff, come accade nel caso di \bar{e} . A differenza che in quest'ultimo caso, però, l'equazione che

rappresenta \bar{e} è non-lineare, e dunque non è possibile applicare il principio di separazione degli effetti.

Nel caso di \bar{e} , lineare, il campo di con- trazione totale media in un punto \mathbf{x} è calcolato semplicemente sommando i contributi di ogni singolo puff:

$$\bar{e}(\mathbf{x}) = \sum_1^{N_p} \bar{e}_p(\mathbf{x}) \quad [77]$$

dove $\bar{e}_p(\mathbf{x})$, contributo del puff "p", è cal- colato applicando direttamente la sua espressione Gaussiana - tenendo conto che per "quel" puff sono assegnati e conser- vati i valori istantanei di tutti i suoi momenti spaziali di ordine 0 (massa), 1 (centroide) e 2 ("dimensioni"/"geometria").

Nel caso di \bar{e} è (soprattutto) \bar{e}^2 , si parte dalla [76] per ricavare una condizione di

evoluzione "per puff", determinando al con- tempo il valore del campo.

Nella [76], e nella [75], il membro destro può essere sommato rispetto ai puff, ottenendo da questo calcolo la varianza delle flut- tuazioni "in ogni punto \mathbf{x} ", con una espressione analoga alla [77].

Per arrivare alla varianza totale, si deve aggiungere il contributo del termine \bar{e}^2 della [73]. E qui sta la non-linearità. Dalla [77], elevando al quadrato, vediamo che

$$\bar{e}^2(\mathbf{x}) = \sum_1^{N_p} p, q \bar{e}_p(\mathbf{x}) \cdot \bar{e}_q(\mathbf{x}) \quad [78]$$

In generale la quantità di puff è molto ele- vata. La somma [78] può essere in certa misura semplificata, tenendo in conto solo le coppie "vicine". Anzora però non ci siamo: la variazione locale di \bar{e}^2 potrebbe essere mol-

to grande, e un campionamento eseguito in buona sostanza a caso. In corrispondenza di un insieme di riceitori potrebbe non rappresentare bene le cose. Di maggiore efficienza è usare $\langle \bar{e}^2 \rangle$ piuttosto che \bar{e}^2 . Con il vantaggio che così abbiamo corrispondenza con le equazioni di evoluzione [75] e [76].

In tal modo nasce la necessità di calcolare un gran numero di integrali di interazione parziali,

$$\langle \bar{e}^2(\mathbf{x}) \rangle = \sum_{p,q}^{N_p} \langle \bar{e}_p(\mathbf{x}) \bar{e}_q(\mathbf{x}) \rangle \quad [79]$$

Doversimo affidare i metodi numerici il problema assumerebbe un peso insostenibile, anche con i calcolatori di oggi. Per fortuna, nel caso delle gaussiane gli integrali parziali della [79] ammettono una "semplice" soluzione analitica, dettagliata nel manuale di Scipuff.

Compiti i calcoli, ci troviamo tra le mani una sorta di "fotografia" del campo $\langle \bar{e}^2 \rangle$ all'istante t . Usando la [75] possiamo usare questa informazione per aggiornare i valori di \bar{e} e \bar{e}^2 conservati a livello di puff - per esempio usando la stima

$$\langle \bar{e}^2 \rangle(t + \Delta t) = \langle \bar{e}^2 \rangle(t) - \frac{\Delta t}{\tau_c} \langle \bar{e}' \bar{e}' \rangle(t) \quad [80]$$

(una delle tante possibili - se ne sono di molto migliori).

Questo lungo percorso ci permette di ottenere quanto desideravamo: il campo delle variazioni di concentrazione! Ad un "prezzo" che, se si riescono a calcolare in modo efficiente gli integrali [79], è concorrenziale (e quasi certamente migliore) della modalità di uso di Palpuff "per sottointervalli", se guardiamo ai tempi di calcolo. Però, è utile non limitare il confronto alla sola "spesa". Per

arrivare sin qui ho reso conto (piuttosto male) di una catena molto complessa. Non dubito che avendo ("molto") più tempo a disposizione, e una mente più sveglia, usando in modo un po' "aggressivo" il manuale di Scipuff potremmo "riprodurlo". Non sarebbe una passeggiata, ma non vedo neppure ostacoli insormontabili.

"Per arrivare sin qui" abbiamo anche dovuto ri-perecorrere, con gli/le aut* di Scipuff, numerose ipotesi sulla natura della turbolenza e sul "mondo". Più "esattamente". Se mai riprodessimo Scipuff "esattamente" - per l'appunto - importeremmo anche tutte queste assunzioni. Quale sarebbe l'impatto, nel caso degli odori?

Breviamo a rivedere criticamente almeno le più importanti.

La prima riguarda già la scelta di base delle coordinate, che permette ai puff un no-

tevole grado di libertà di movimento. Specie in situazioni di orografia complessa - ma non troppo. Coordinati di questo tipo "funzionano", se il campo di vento (di cui ho detto solo marginalmente) opera in modo strettamente coordinato con esse. E "campo di vento strettamente coordinato ed sistema di coordinate" in pratica vuol dire "molto liscio", addirittura lineare (a piccola scala) nelle direzioni degli assi.

Detto in modo più esplicito: dimensioni del dominio di calcolo "relativamente grandi" rispetto a quelle tipiche degli odori.

Quanto alla chiusura di ordine due, la sua adozione è senz'altro interessante e innovativa. Grazie a lei è possibile arrivare alla stima del campo delle varianze delle concentrazioni. Ma come tutte le chiusure di ordine superiore, quella di Scipuff "paga" la sua maggiore adattabilità potenziale con un alto numero di pa-

metri. Nelle parti del Manuale Scipuff su cui ho sovralato in modo più o meno elegante c'è un mare di valori numerici per questi parametri. Valori determinati su base empirica, ma non sempre citando le fonti. Quando queste ci sono, fanno riferimento (come spesso accade) a casi mordacciani, non necessariamente simili a quelli europei.

Tra l'altro, l'uso esteso delle chiusure (di ogni ordine) è un po' il "marchio di fabbrica" dei modelli degli anni '90 del secolo scorso - quando le misure dirette dei momenti del secondo ordine nel dominio del tempo erano scarse, estraendendo così a compiere delle stime.

Indubbiamente "scrivere un nuovo modello", forse anche una copia più o meno fedele di Scipuff, garantisce a chi ci riesce un alto prestigio nella comunità scientifica. Prendo che, in tempi come questi, il prestigio non faccia

schifo a nessuno. Ma "noi utenti", alla fin fine, cosa ci guadagniamo davvero?

Nel complesso, mi sento di dire che la via esplorata nelle sezioni 6 e 7 (questa qui) può essere carina in assoluto. Ma che in relazione agli odori assomiglia moltissimo a un "eul de sae".

S. L'uso di modelli convenzionali, rivisitato

La strada esplorata nella sezione 5 si mostra promettente, in teoria. Ma lascia in ombra un punto molto importante, del quale ci occupiamo qui.

I modelli più recenti in uso comune, ad esempio Ralpuff, ormai permettono di specificare un passo temporale inferiore all'ora. Questo passo, però, non può essere scelto in modo completamente libero: deve infatti coincidere con il

passo temporale del file meteorologico.

Come abbiamo veduto nella sezione 5, la possibilità di usare un passo temporale sub-orario permette, almeno in linea di principio, di stimare in modo molto semplice i valori di \bar{e} e \bar{e}^2 su base oraria, senza dover fare ricorso a tecniche situazione-dipendenti come ad esempio l'uso di fattori moltiplicativi.

Ma: così facendo ammettiamo che i campi $e(t_i)$ manifestino una certa variabilità tra loro, dimodoché lo stimatore

$$\bar{e}^2 = \frac{1}{m} \sum_i^m (e(t_i) - \bar{e})^2 \quad [79]$$

abbia qualche speranza di assumere un valore significativamente diverso da zero.

Da dove "deve" provenire questa variabilità?

Di sicuro non dall'emissione. Questa, infatti, certamente varia, ma su una scala di tempo molto lunga, più di quella (di pochi minuti) che ci interessa.

Dato che i modelli hanno due input, emissione e meteorologia, la variabilità non provenendo dal primo non possiamo che aspettarcela dalla seconda: la "meteorologia".

E qui abbiamo (almeno) due problemi:

- La variabilità della meteorologia deve essere "rappresentativa" della realtà.
- La variabilità deve essere "calcolabile".

Questi due aspetti, intrecciati, costituiscono la principale ragione di esplorazione di questa sezione. Ma vediamo più nel merito, e nei dettagli.

La "meteodologia" è un termine generico. Nella realtà, l'input "meteologico" di un modello di dispersione si compone di alcuni gruppi di informazioni a vario titolo rilevanti ai fini della dispersione in quanto tale.

In particolare:

- Anemologia (velocità e direzione del vento). Principale indicatore del trasporto.
- Precipitazione. Principale indicatore della deposizione umida.
- Turbolenza. Principale indicatore della diffusione, e proxy della deposizione secca.

Trasporto, deposizione (umida e secca, nel qual caso influenzata dalla turbolenza) e diffusione costituiscono congiuntamente e nelle loro interazioni la "dispersione".

Di queste tre categorie una, la precipitazione, rappresenta (pur con tutta la difficoltà di misura associata) la parte tutto sommato "facile". Anemologia e turbolenza, invece, hanno entrambe vari aspetti delicati. Procediamo con ordine.

Il primo aspetto delicato è "tecnologico". Se il vento può essere misurato anche con strumenti meccanici (con tutti gli artefatti del caso tipo "calme di vento" e "venti deboli/variabili"), la turbolenza resiste a tutti i tentativi di misura banali. La ragione strutturale: gli anemometri meccanici hanno delle meraviglie. Le inerzie tagliano le fluttuazioni. Il vento "senza fluttuazioni" non contiene più informazione sulla turbolenza. Il problema non può essere eliminato.

A questo punto, non potendo misurare "facilmente" (leggi: gratuitamente) la turbolenza, si possono imboccare (almeno) due strade:

a. Più che non può essere misurato (la turbolenza) viene stimato. Partendo da misure "più semplici".

B. Se gli strumenti meccanici non bastano, ci si mette del capitale d'investimento e si adoperano strumenti migliori.

Sia strada a., allo stato attuale della tecnologia, non è percorribile. Infatti, nel caso della turbolenza la sua stima parte dalla misura delle sue forzanti, cioè il bilancio energetico alla superficie del suolo. Il termine dominante del bilancio al suolo dal punto di vista della turbolenza è la radiazione netta, la cui scala temporale tipica di variazione è giornaliera. Il risultato della stima, dunque, è necessariamente costituito da "indicatori di turbolenza" che a loro volta cambiano in modo continuo e lento: velocità di frizione, flusso di calore sensibile,

lunghezza di Obukhov, e simili altri indicatori "bulk". Addirittura, peggio, le "clavi di stabilità".

Dato che questi indicatori cambiano molto lentamente nel tempo, il loro uso ad un passo temporale sub-orario maschera ogni variabilità. La conseguenza (fisicamente assurda) sarebbe

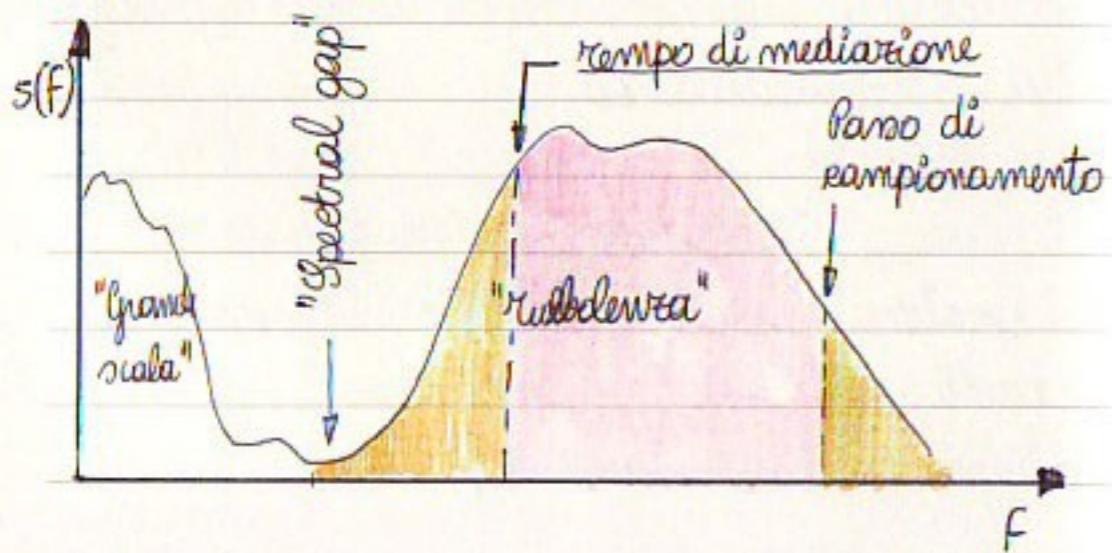
$$\bar{e}^2 \equiv 0$$

Quanto alla via B, "investimento & capitali"; in Lombardia è già stata seguita (la rete SHAKEUP!) Adesso ne esploriamo le potenzialità.

Supponiamo, allora, di poter compiere misure di vento comprensive della fluttuazione turbolenta - per esempio usando gli anemometri ultrasonici di SHAKEUP.

Con i dati raccolti, applicando tecniche di elaborazione ormai bene assedate (come la eddy covariance) è possibile arrivare in modo diretto alla valutazione delle medesime grandezze ottenute per stima: velocità di frizione u_* , flusso di calore sensibile H_0 , lunghezza di Obukhov L .

Se però facciamo un grafico di questi indicatori nel tempo vediamo che la loro variazione non è meno lenta che nel caso delle stime. Con un problema in più: la eddy covariance opera fissato un tempo di mediazione ben preciso.



Idealmente, il tempo di mediazione dovrebbe essere uguale alla posizione dello "spectral gap". E il rateo di acquisizione infinitamente alto (o almeno, elevato sino al punto di raggiungere la scala spaziale degli "eddy" turbolenti più piccoli, immediatamente prima della barriera della viscosità).

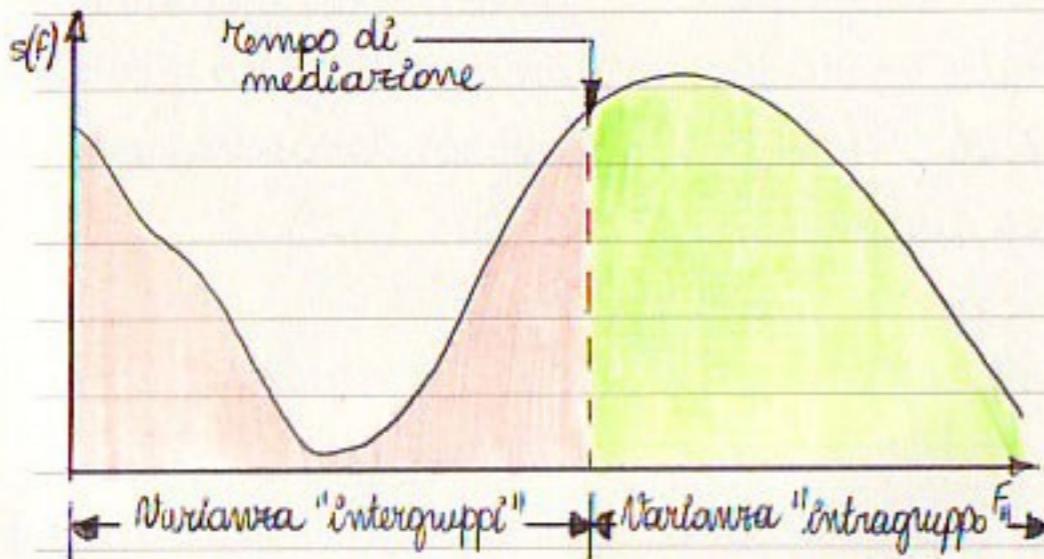
Se il tempo di mediazione è più basso, e il rateo di campionamento finito, ci troviamo nella situazione presentata nel grafico a sinistra in basso: la variabilità che possiamo portare ("incorporare") nelle grandezze u_* , H_0 e L è quella della regione elaborata in fucsia - quando invece la parte che ci interessava comprendeva anche le aree arancioni.

In pratica: se il tempo di mediazione è troppo basso, le valutazioni di u_* , H_0 e L sono imprecise. Se abbassiamo ulteriormente

Il tempo di mediazione, come verrebbe voglia di fare usando il modello a scala sub-oraaria, il grado di imprecisione nella valutazione di u_* , H_0 e L aumenta.

Per fortuna alcuni modelli (tra cui Palpuff) possono essere alimentati con dati di turbolenza "di più basso livello" rispetto a u_* , H_0 ed L . Ad esempio le tre componenti σ_u , σ_v e σ_w della "variazione" del vento.

Questa possibilità cambia tutto.



La differenza-chiave di questi dati di turbolenza "a basso livello" rispetto a u_* , H_0 e L è che il loro comportamento al cambiare del tempo di mediazione è semplice.

Nel caso delle σ , ricordando la [40], possiamo dire che

$$\sigma_{\text{totale}}^2 = \sigma_{\text{intergruppi}}^2 + \sigma_{\text{intragruppo}}^2 \quad [80]$$

Nel grafico in basso a sinistra vediamo che la varianza intergruppi e intragruppo dipende dal tempo di mediazione.

Ma mano a mano che il tempo di mediazione si sposta verso destra, la varianza intergruppi aumenta, somigliando sempre più alla varianza totale.

La legge di variazione della varianza intergruppi rispetto al tempo di mediazione

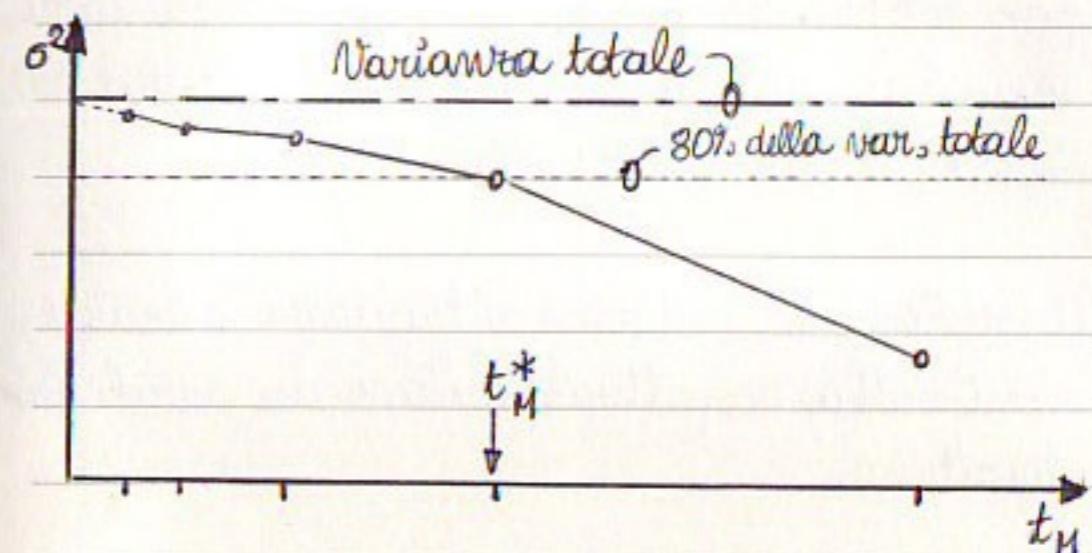
dipende dalla forma dello spettro, e dunque cambia nel tempo. Ma con ogni probabilità lo fa mantenendo una sua eccezione "climatologica", sito-dipendente ma determinabile.

Per determinarla realmente è sufficiente eseguire in corrispondenza delle stazioni SHAKEUP (o con strumentazione equivalente) uno "studio di caratterizzazione", da compiersi partendo dai dati orari (disponibili: l'aquisitore Meteoflux Core delle stazioni SHAKEUP li registra automaticamente su scheda).

L'elaborazione si può eseguire usando la libreria SonicLib, calcolando le medie su tempi decrescenti, operando su un campione dei dati orari gerzi.

Procedendo come nel grafico qui di seguito,

il valore della varianza intergruppi convergerà alla varianza totale al diminuire del tempo di mediazione.



Nel grafico, t_M^* rappresenta il più alto tempo di mediazione in corrispondenza del quale la varianza intergruppi [37] supera (ad esempio) l'80% della varianza totale.

Il valore minimo di t_M^* trovato nel campione può essere assunto come "tempo di mediazione del modello". In questo modo è garantito che la variabilità indotta dalla meteorologia è rappresentativa,

134

significativa e calcolabile.

(Una nota pratica: t_M^* viene calcolato ora per ora) (i file di dati gressi sono organizzati su base oraria, secondo lo standard SonicLib, il che aiuta).

A questo punto, vediamo di tradurre le indicazioni sulla caratterizzazione da parole in algoritmo.

Input: Un insieme di file di dati orari gressi, in formato standard SonicLib.

Output: Un valore ottimale t_M^* del passo temporale da usare nel modello.

C1. Per ogni file orario dell'insieme di input.

C1.1. Calcolo delle varianze totali σ_H^2 e σ_V^2 , dove

135

$$\sigma_H^2 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left[\sqrt{u_j^2 + v_j^2} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sqrt{u_j^2 + v_j^2} \right]^2 \quad [81]$$

$$\sigma_V^2 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left[w_j - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m w_j \right]^2$$

C1.2. Per $t_M = 30, 20, 15, 10, 5, 2$ minuti, si determinano le medie parziali

$$\bar{u}_j = \frac{1}{m_j q_j} \sum_{i=r_j}^{r_j+q_j-1} \sqrt{u_i^2 + v_i^2} \quad [82]$$

e

$$\bar{w}_j = \frac{1}{m_j q_j} \sum_{i=r_j}^{r_j+q_j-1} w_i \quad [83]$$

dove

$$m_j = r_j - q_j + 1$$

mentre r_j e q_j corrispondono all'inizio ed alla fine della sottomedia d'interesse.

Quindi si calcolano le medie intergruppi,

$$\frac{1}{k} \sum_j h_j = \bar{h} \quad e \quad \frac{1}{k} \sum_j v_j = \bar{v}$$

e le varianze intergruppi,

$$\sigma_{H,int}^2 = \frac{1}{k} \sum_j (h_j - \bar{h})^2 \quad [84]$$

$$\sigma_{V,int}^2 = \frac{1}{k} \sum_j (v_j - \bar{v})^2 \quad [85]$$

c1.3. Si determina, per l'ora corrente, il valore t_M^H del tempo di mediazione in corrispondenza del quale $\sigma_{H,int}^2$ supera l'80% di σ_H^2 .

In modo analogo si determina t_M^V .

Quindi si pone

$$t_M = \min(t_M^H, t_M^V) \quad [86]$$

c2. Si pone

$$t_M^* = \min(t_M) \quad [87]$$

Una volta determinato il tempo di mediazione ottimale si pone il problema di determinare, ora per ora, la varianza e il valor medio delle concentrazioni. Ma a questo punto, la strada è "in discesa".

Input: Un passo temporale sub-orario t_M^* ; un insieme continuo di file orari giorni in formato SonicLib.

Output: Una successione di campi orari di concentrazioni medie, \bar{e} , e di varianze di concentrazione, \bar{e}^2 .

s1. Usando la libreria SonicLib si calcola le medie su base t_M^* dell'insieme di dati.

s2. Partendo dal risultato del passo s1 si forma il file di input meteorologico del modello precelto.

S3. Girata del modello con l'input su base t_M^* , usando quest'ultimo come passo temporale.

S4. Per ogni ora del risultato dell'elaborazione S3, si procede ad isolare i campi (più d'uno) relativi all'ora, \bar{e}_k . E si calcolano la media oraria,

$$\bar{e} = \frac{1}{m_h} \sum_k \bar{e}_k \quad [88]$$

e la deviazione standard oraria,

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{m_h} \sum_k (\bar{e}_k - \bar{e})^2} \quad [89]$$

Le successioni orarie \bar{e} e σ_c sono quindi analizzate come si fa di consueto sulle VIA.

9. Un possibile piano di tesi

Tutto ciò che precede mi serviva per arrivare

qui: ad un possibile piano di tesi, di tipo "magistrale".

Pre-requisiti: Per potere affrontare la tesi senza sofferenze eccessive è utile un poco di dimetichetta nella programmazione (non importa in che linguaggio): parte del lavoro consiste nell'uso di programmi scritti da altri e nella stessa di procedure automatiche di analisi dei risultati.

Quanto alle conoscenze più strettamente fisiche e matematiche:

- Non fa male una conoscenza elementare della statistica descrittiva (comunque più si conosce, maggiori sono le opportunità di "dire cose originali" - il nucleo della questione è molto statistico). I concetti-base sono media e varianza. Un concetto un

poi meno immediato ma utile, è quello di "processo stocastico". Comunque, se non lo si conosce non è un dramma: lo si può imparare "strada facendo".

- Una conoscenza di base della fluidodinamica pure aiuta: permette di "decifrare il linguaggio" con più facilità. Come ad esempio: regime di moto turbolento, numero di Reynolds, riferimento lagrangiano, traiettoria.
- Una certa dimedichetta ed esodo retorico aiuta molto. Non servono comunque cose "stratosferiche": quello che si impara per sopravvivere a Mecanica Razionale è più che sufficiente.
- Superfluo a dirsi, ma molta, molta, molta apertura mentale. Gli argomenti sono di tipo e taglio molto pratico...»

Cose che si impareranno strada facendo:

Naturalmente, a meno di conoscerle prima!

- Una cosa piccola piccola (ma molto utile): anatomia di una "gaussiana multivariata". Aiuta a comprendere i puff: la loro "geometria" parte così. Poi nel tempo si complica. ☺
- Importante: struttura di un modello di dispersione lagrangiano a puff gaussiani. Riferimento: R. Sozzi et al., "La Micro-meteorologia e la dispersione degli inquinanti in aria", Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Terni, 2003 [È un rapporto tecnico che, nuovo, è introvabile; ma ne ho una copia che posso prestare].
- Importante: fenomenologia della turbolenza atmosferica. Riferimento: R. Sozzi, T. Geor-

giadis, M. Valentini "Introduzione alla turbolenza atmosferica - Come, come, misure", Pitagora Editrice, 2002. In particolare: il capitolo 1!

- Molto utile (e, aggiungo, "praticamente impossibile da non imparare") una conoscenza di base della "micrometeorologia". Per chi ama osare, può andar benissimo il Sorri-Georgiadis-Valentini. Per il "resto di noi", R. B. Stull, "An Introduction to Boundary Layer Meteorology", Kluwer Academic Publishers, 1988. Non dico "quali" capitoli perché leggendo di solito ci si innamora e lo si esaurisce regolarmente tutto...
- Importante: funzionamento e uso pratico del modello Lalpuff. Qui il riferimento è il modello stesso, scaricabile da Internet e gratuito. Un avvertimento: Lalpuff è "open source" ma anche un oggetto formidabile. Il ma-

nuale è tutto concentrato sull'uso del programma (cosa peraltro fondamentale). Le equazioni, invece, sono descritte in modo succinto in linguaggio "per iniziati". Per cui il rapporto "la Micrometeorologia eccetera eccetera" di pag. 141 non farebbe schifo "prima"...

- Importante: il linguaggio R. I riferimenti sono moltissimi (la maggior parte gratuiti e su Internet). Il pericolo, però, è di "perdersi": di per sé R non è difficile. Ma è enorme. Utile capire "l'uno per cento delle cose che permettono di capire il restante novantanove". Qui, la cosa forse in assoluto più spiccia è che dica lo stesso di base. Poi si può procedere con i "tutorial" in rete.
- Importante: la SonicLib. Il riferimento è il Manuale, che però descrive un mare di cose. La parte che interessa riguarda

tre delle tante funzioni. Ma anche qui, posso dire lo. In incidentemente, la SonicLib è scritta interamente in R.

Un "caveat": la tesi non comporta dei "picchi" di difficoltà, nel senso che è certo che tutti i suoi argomenti sono "fattiibili". Il che non vuol dire necessariamente "faelli". Soprattutto, però, sono argomenti molto diversi. Il risultato finale emerge dall'integrazione di queste diversità, e da un processo di sintesi. Rose che potrebbero essere molto meno semplici di quanto appaia da subito.

Lo sviluppo di questa tesi comporta la necessità di dare simultaneamente attenzione a piani e argomenti apparentemente assai poco ed legati, e può risultare congeniale alle persone che si trovano più a loro agio ed "multitasking"

che con il pensiero lineare. credo che i miei appunti, ed loro saltare "di palla in frasca" pressoché continuo, possano dare un esempio concreto della mia affermazione.

Risultato atteso: Il "prodotto" che mi aspetto dalla tesi è una procedura, scritta in R, per determinare il tempo t_M^* dell'algoritmo di pagg. 134-136.

Accompagnata dalle "prove" che ne attestino validità e utilità.

E, supportata da alcuni esempi applicativi che possono facilitare la comprensione della Rosa ad un pubblico "intelligente ma non specialista".

In pratica: ci sarà, come sempre, un normale elaborato di tesi, con un indice che conteremo nei dettagli.

L'elaborato svilupperà gli argomenti del caso, "produrrà le prove", mostrerà i graffi e cetera.

In aggiunta, verrà realizzata la procedura. Questa costituirà uno dei principali strumenti operativi usati nella stesura dell'elaborato "vero e proprio".

La procedura sarà open-source e di pubblico dominio. L'omnipotenza di chi svolge il lavoro di tesi, del Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano, e di Servizi Territorio srl (la "mia" ditta).

La procedura potrà essere incorporata in una futura versione della SonicLib e con essa distribuita. La persona che ci ha lavorato durante la sua tesi farà parte, se lo desidererà, del gruppo di lavoro SonicLib.

Via di Fuga intermedia: è sempre utile immaginare risultati utili anche nel malaugurato caso in cui sopravvissimo qualche "brutto" imprevisto.

In questo caso, la soluzione intermedia "di emergenza" consiste nell'esplorazione in dettaglio del comportamento di falloff al diminuire della lunghezza del passo temporale. Argomento di grande interesse pratico anche in caso di risposta negativa.

(Scommetto che però questa "via di fuga" non sarà necessaria).

Decomposizione in attività.

Io premetto, per dovere: quello che segue non è un indice! ☺

È "solo" un elenco disordinato di attività.

Come dicevo il lavoro ha una forte impronta "multitasking", con molti rami che potrebbero anche svolgersi simultaneamente, farsi esercizi illimitati. Alcune attività precedono le altre per natura, ma ciò non sposta la sostanza delle cose.

1. Presa di contatto.

- 1.1. Teoria. Usare i riferimenti che dicevo.
- 1.2. Ralpuff. Mettersi in condizione di usarlo.
 - 1.2.1. Acquisire i sorgenti.
 - 1.2.2. Compilare i sorgenti per il proprio sistema operativo.
 - 1.2.3. Far funzionare il "modo di prova ufficiale". Al sito di Ralpuff...
 - 1.2.4. Imparare a estrarre l'input meteo di Ralpuff [aiuto ST]
 - 1.2.5. Far funzionare il convertitore del file di output Ralpuff in formato "binario puro" [aiuto ST; ConcDecode].
2. Preparare il "dataset".

2.1. Check dati SHAKEUP.

2.1.1. Acquisizione posizioni e caratteristiche delle stazioni SHAKEUP basate su Meteoflux Core (dovrebbero essere 6, alla data di oggi, 28 Novembre 2012).

2.1.2. Scelta di una stazione SHAKEUP "bella" tra quelle di cui al punto 2.1.1 [aiuto ST].

2.1.3. Raccolta dei dati della stazione SHAKEUP prescelta. Quelli grezzi!

2.2. Preparazione dati all'elaborazione.

2.2.1. Determinazione del tipo dei file grezzi (o dei tipi) [aiuto ST]

2.2.2. Acquisizione e messa in funzione del ("dei") convertitore (convertitori) dal formato Meteoflux Core al formato standard SonicLib.

2.2.3. Conversione vera e propria dei dati, e produzione dei dati nel formato SonicLib.

3. Scelta del campione di caratterizzazione.

Mota bene: il "dataset" può contenere anche mesi di dati. Il campione, invece, è piccolo. Al massimo di 10 elementi - scelti "bene".

3.1. Elaborazione "tradizionale" del dataset usando la Eddy Covarianee (in SonicLib; collegamento con la tesi di Alessandra Pavoneello).

3.2. Determinazione (usando R) delle distribuzioni empiriche di U (velocità del vento) e H_0 (flusso di calore sensibile).

3.3. Identificazione, sulla base delle distribuzioni empiriche, dei valori di U e H_0 :

- "medi"

- "estremi inferiori"

- "estremi superiori"

3.4. Scelta dei file del campione: prese le serie temporali di U e H_0 di cui al punto 3.1, si trovano i 9 file che rappresentano le combinazioni possibili "medi/inferiori/superiori". O meglio, le loro

marche temporali.

3.5. Organizzazione del campione: copia dei file le cui marche temporali sono state individuate al punto 3.4 in una directory dedicata.

4. Caratterizzazione. Vedi algoritmo alle pagg. 134-136.

5. Valutazione critica dei risultati della caratterizzazione.

I dettagli li definiamo in base alla necessità.

6. Girata modellistica usando l'intero "dataset". Vedi algoritmo alle pag. 137-138.

6.1. Preparazione dell'input meteo.

6.2. Predisposizione dell'input principale di Lalpuff (*.inp).

6.3. Girata vera e propria.

6.4. Conversione (usando ConcDecode) dell'output del modello Lalpuff in versione "01" (binaria pura).

6.5. Raledo (usando R) delle concentra-

zioni medie orarie e delle varianze orarie, e loro scrittura in due file "01" paralleli [sul formato "01": aiuto ST].

6.6. Elaborazione (R!) di statistiche riassuntive delle concentrazioni medie e delle varianze.

6.6.1. Andamento temporale delle medie/percentili spaziali.

6.6.2. Distribuzione empirica.

6.6.3. Valore "di riferimento" (media/mediana).

7. Confronto delle situazioni di supero dedotte dalle successioni \bar{e} , \bar{e}^2 ottenute al punto 6. con le stime ottenute usando il metodo dei moltiplicatori.

7.1. Scelta di una concentrazione soglia. [aiuto ST]

7.2. Calcolo, per ogni ora e per ogni punto ricevitore, della probabilità di supero della soglia. Determinazione ad ogni ricevitore della media temporale e del massimo della probabilità. [Si suppone

che la distribuzione delle concentrazioni istantanee sia log-normale, con media e dev. standard effettive uguali rispettivamente a \bar{e} e $\sqrt{\bar{e}^2}$.]

7.3. Calcolo della stima della massima concentrazione oraria ed metodo dei moltiplicatori, $\hat{e}_{\max} = k \cdot \bar{e}$, usando per k il valore usato in Austria, $k=4$. Conteggio, per ogni punto ricevitore, del numero di superi e traduzione in una stima della probabilità media di supero.

7.4. Come 7.3, usando però il valore "lombardo", $k=2,3$. [E' in legge Regionale].

7.5. Confronto tra la probabilità media di supero, di cui al punto 7.2, e le stime 7.3 e 7.4.

8. Conclusioni [aiuto di tutta].

Immaginiamo la lista come "tentativa":

di scavo verranno in mente molti miglioramenti possibili.

Tempistiche: A esami finiti, lavorando "ventre a terra" e nell'ipotesi di non incontrare troppi imprevisti, a occhio "sui sei mesi".

Poi magari ci vuole di più.

Dipende anche da quanto si riesce ad andare veloci - il che vuole per lo più dire quanti esami mancano.

Secondo me, se mancano esami, può essere utile cominciare con le parti che richiedono un minore coinvolgimento cognitivo ed emotivo. Ad esempio il punto 1.2., o il 2. Sia 1.1 può richiedere "mente sgombera".

Tenere presente che il lavoro non è pochissimo...

Collaborazioni esterne: Naturalmente con me, che farò da "relatore esterno". Non sto neanche a parlarne.

Poi:

- Ron ARPA Lombardia, proprietaria della rete SHAKEUP.
- Ron il gruppo di lavoro SonicLib, che può dare aiuti importanti.
- Ron ST-Mauri-a-parte. Da ST si occupa "da sempre" di valutazioni d'impatto ambientale, e adopera lalpuff da molti anni. Può indicare cosa (non) fare. Inoltre, Meteoflux Core è stato realizzato in ST, che può mostrare funzionamento, particolarità e modo d'uso.

Benefici: Penso che questa sia una tesi molto pratica. Il suo aspetto innovativo consiste nell'esplorazione di un modo d'impiego dei modelli convenzionali al quale nessuno sinora ha mai pensato (o dovuto pensare).

Insieme a questo "nuovo" modo di usare la modellistica ci sono altre novità, la più importante delle quali "per noi utenti" è cambiare completamente paradigma nell'interpretazione dei risultati dei modelli, dalla attuale visione deterministica ad una, più sofisticata e "matura", di stampo probabilistico.

Il contesto applicativo di oggi, gli odori, può sembrare meno "importante" che altre applicazioni più vicine nell'apparenza a temi di sanità delle persone o protezione dello ambiente.

Rerto, gli odori sono un aspetto comunque importante della qualità dell'aria.

Comunque, vorrei forse chiaro che quella degli odori è una copertura (molto poco coperta), la vera posta in gioco consiste nell'usare i modelli di dispersione per applicazioni di carattere istantaneo, e non (come d'uso comune) per calcolare medie temporali o altre statistiche a lungo termine. Oltre agli odori (per i quali comunque c'è una legge Regionale) queste applicazioni includono:

- Gestione di rilasci tossici in situazioni di incidente industriale.
- Difesa da agenti nervini, "bombe radioleggere" ed altri attacchi di tipo terroristico.
- Studio delle dinamiche di diffusione di semi, spore, agenti biologici naturali ad opera di processi naturali.

- Ecetera!

Va anche, poi, tenuto conto dei benefici indiretti. Per "fare la tesi" si devono imparare cose che tornano utili in campi completamente diversi, e persino imprevedibili.

Per cominciare, si impara un metodo di lavoro. Come dicevo l'attività è integrativa e "multitasking". In questo assomiglia moltissimo ai lavori che si incontrano nell'industria.

Poi si impara la "micrometeorologia", cioè la fluidodinamica ambientale, con usi davvero vari.

E non trascurerò la programmazione, in un mondo fatto per lo più di "utenti di pacchetti software". Chi sa programmare i "pacchetti" li costruisce, non li subisce.

Infine, perché no? Un poco di visibilità personale: per esempio partecipando in modo attivo al gruppo di lavoro SonicLib, nel quale si avrà modo di conoscere persone di vari gruppi di ricerca nazionali e internazionali.

Possibili sviluppi futuri: articoli accademici a parte, sempre possibili (anzi...), la tesi permette alcuni sviluppi interessanti.

Nel testo ho detto che, personalmente, oggi preferisco far funzionare modelli già esistati in modo migliore che farne di nuovi. Il prestigio sociale che ne consegue è più basso, ma il beneficio complessivo del sistema è più elevato.

Non elio non voglio esprimere contrarietà allo sviluppo di nuovi modelli. Solo, credo sarebbe

il caso che questi nuovi modelli fossero rivoluzionari. Adesso, questa possibilità esiste: modelli che, partendo dalle misure oggi disponibili, le usino nel modo più diretto per produrre valutazioni di tipo probabilistico.

Un'altra naturale evoluzione di questo lavoro sarebbe una procedura adattiva che potrebbe rivedere ora per ora il valore del passo temporale ottimale t_M^* , in vista di un impiego dei modelli in tempo reale.

Infine, accenniamo alla possibilità di riempire l'enorme buco della SonidLib relativo alla qualità dell'aria. O almeno, cominciare a farlo...

Sorry so sloppy. Mauri Favaron